

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y  
RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA  
CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO  
HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

PRESENTADO POR:

**JOSÉ EDUARDO GARCIA ROJAS  
WALTER IVÁN GUERRERO CONTRERAS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2009

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

Presentado por :

**JOSÉ EDUARDO GARCIA ROJAS  
WALTER IVÁN GUERRERO CONTRERAS**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes Directores :

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA  
ING. RICARDO BURGOS OVIEDO  
ING. JOSÉ TULIO PINEDA MARTÍNEZ**

San Salvador, Marzo de 2009

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA**

**ING. RICARDO BURGOS OVIEDO**

**ING. JOSE TULIO PINEDA MARTINEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de graduación, si bien, ha requerido de esfuerzo y de mucha dedicación por parte de nosotros, como sus autores y de nuestros docentes directores, no hubiese sido posible sin la cooperación y el apoyo brindado, por personas e instituciones que de manera desinteresada colaboraron para su consecución.

Primero y antes que nada, tenemos que dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada momento de nuestras vidas; y que en esta ocasión, nos ha ayudado a superar todos los contratiempos, las dificultades y los obstáculos que se presentaron, durante el desarrollo de esta investigación.

Además, queremos agradecer a nuestros docentes directores en este trabajo de graduación: **Ing. Lesly Emidalía Mendoza, Ing. Ricardo Burgos Oviedo e Ing. José Tulio Pineda**, por el tiempo brindado; la disposición y la confianza mostrada, en todo momento a lo largo de estos meses de trabajo. Así como por aclararnos cada una de nuestras inquietudes y darnos sus valiosas recomendaciones, para la preparación de esta tesis.

También, queremos agradecer al Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), ya que este estudio, no hubiera sido posible asimismo, sin la paciencia mostrada por su Director Ejecutivo: **Ing. Rafael Alejandro González**; la excelente labor del personal administrativo: **Licda. Ana Carolina Campo; Ing. Carlos Antonio Quintanilla; Ing. Jaime Omar Ávalos; Br. Edwin Adiel Rodríguez; Br. Marcos Ulises Rivas; Sra. Maritza Urrutia de Avilés; Srita. Gabriela Vega Bruch y Sr. Jaime Santos Sánchez**; y al personal de la biblioteca de dicha institución, en especial, al **Sr. Mercedes Rivera**.

No podemos dejar de agradecer, la oportunidad que nuestro trabajo nos ha brindado para hacer valiosos amigos, dentro del Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), en el que se ha desarrollado mayoritariamente nuestra labor: **Téc. Julio Alberto Hernández; Br. Víctor Samuel Ramírez;**

**Br. Edilmar Vicente Ávalos; Br. Dimas Ali García y Br. Ronald Retana Pineda**, a quienes agradecemos su dedicación, aporte y participación en la elaboración de las mezclas, la realización de los ensayos y la obtención de los datos experimentales.

Queremos agradecer también, al Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES): **MSc. Ing. Fredy Fabricio Orellana Calderón** y al personal del Laboratorio de Suelos y Materiales “Mario Ángel Guzmán Urbina”, especialmente al **Téc. Carlos Edgardo Morataya**.

Damos las gracias también, por la desinteresada ayuda y los consejos recibidos de los catedráticos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (UES): **Ing. José Ranulfo Cárcamo; Ing. José Miguel Landaverde e Ing. Dílber Antonio Sánchez**.

Quisiéramos reconocer igualmente, la aportación del **Ing. José Guillermo Flores** de la empresa Concretera Salvadoreña S.A. de C.V. y especialmente, al **Ing. Walter Montoya Anzora** de la empresa NOX-CRETE, en el proyecto de investigación en que se enmarca la presente tesis.

Asimismo, deseamos mostrar nuestro agradecimiento al **Ing. Mario Alejandro Avelar**, por estar siempre dispuesto a compartir con nosotros, sus conocimientos sobre los pavimentos de concreto hidráulico, y al **Ing. Hugo Edgardo Bonilla**, ambos miembros de la empresa CEMENTO DE EL SALVADOR S.A. de C.V. (CESSA), sin cuyos aportes, este trabajo no hubiera sido posible.

No podemos olvidar agradecer de forma especial, todas las contribuciones realizadas por **Br. Mauricio Giovanni Guerrero** en el desarrollo de cada etapa de este trabajo de graduación, ya que siempre estuvo dispuesto a brindarnos su ayuda de manera oportuna y entusiasta, para mejorar la calidad de cada uno de los capítulos de este documento, así como en la preparación del material necesario para la defensa de este trabajo.

**Los autores.**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación con mucho afecto:

A Dios Todopoderoso, por brindarme la existencia y darme la voluntad y fortaleza necesaria para alcanzar esta etapa de mi vida, guiándome en cada momento por el camino correcto, para hacer posible la culminación de mis estudios universitarios.

A mis padres **Vicente Garcia** y **Margarita Rojas de Garcia**, por darme la vida, cuidarme y por ser incondicionales sin importar las vicisitudes del camino. Gracias por enseñarme con el ejemplo, los valores y principios de corrección y firmeza.

A mi hermana y mi hermano, **Karla Marcella y Carlos Vicente**, quienes son los que han compartido conmigo los momentos más indispensables de mi vida, mis logros y metas alcanzadas.

A mi amigo y compañero **Walter Iván Guerrero**, por depositar su confianza en mí y brindarme la oportunidad de formar parte de este trabajo, por su tolerancia y esmero en la realización de esta investigación; porque estoy seguro que en un futuro muy cercano volveremos a recordar como algo agradable, este ciclo de nuestras vidas.

A mis amigos, con quienes compartí tan gratos momentos, con quienes estudiamos, nos desvelamos, festejamos y en otras hasta peleamos y que aunque cada uno, tomemos caminos diferentes, nunca olvidaran la amistad que un día nos unió. Gracias por hacer de mi estancia en la Universidad inolvidable.

A nuestros docentes directores, **Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía, Ing. Ricardo Burgos Oviedo e Ing. José Tulio Pineda Martínez** por ser ellos quien desinteresadamente nos brindaron de su tiempo, conocimientos y depositaron su confianza en nosotros para realizar esta investigación.

**José Eduardo Garcia Rojas.**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación con mucho afecto:

A Dios, por estar a mi lado y ser mi guía. Gracias, por permitirme alcanzar esta meta; por llenar mi vida de bendiciones; por seguir siempre de cerca mi camino y protegerme a lo largo de todo el trayecto. Le doy las gracias, por concederme el privilegio de culminar exitosamente mis estudios universitarios.

A mi padre, **Walter Sidney Guerrero Avellán**, por ser mi ejemplo de sencillez, honestidad y responsabilidad. Gracias, por educarme sobre el camino del bien; por fomentarme los valores y enseñarme que el éxito solo se puede lograr con base en el esfuerzo propio; y por su empeño para que alcanzara, mi formación académica. Pero sobre todo, le agradezco, por guiarme en mis momentos difíciles y ser siempre mi héroe de carne y hueso, él que nunca me falla y él que me alienta a superarme a diario.

A mi madre, **Noemy Ernestina Contreras de Guerrero**, mujer admirable que me dio la vida y me ha enseñado a vivirla. Gracias, por tu amor incondicional, cariño, esfuerzo, sacrificio, comprensión e incansable apoyo, sin condiciones ni medida. Por constituir, el mayor modelo de ser humano que pueda seguir y ser la motivación que me impulsa a conquistar nuevos desafíos, por las palabras de aliento; los consejos y las llamadas al buen camino, lo que me permite seguir en la dirección correcta.

A mi hermana y mis hermanos, **Elny Arely Guerrero Contreras, Mauricio Giovanni Guerrero Contreras y Sidney Eduardo Guerrero Contreras**, por ser mis mejores amigos. Les agradezco, por estar incondicionalmente en todos mis momentos difíciles y por ser, los primeros en celebrar mis triunfos. Gracias, por ser mi motivo para querer ser mejor cada día; por nunca dejarme solo, ante cualquier dificultad y en particular, por ser las personas más importantes, con las que siempre cuento.

A mi amigo y compañero **José Eduardo García Rojas**, por el esfuerzo, dedicación y empeño que colocaste en el desarrollo de nuestro trabajo de graduación. Te agradezco, tu comprensión, la confianza y el apoyo. Gracias, por todos los momentos que vivimos; por tolerarme y por todas las satisfacciones que me brindaste, al superar juntos cada una de las dificultades que se nos presentaron a lo largo de estos meses de trabajo. Pero en especial, gracias por tu perdurable amistad. Sé que cada momento compartido, fortaleció nuestra amistad y que esta, se mantendrá durante de toda nuestra vida.

A nuestros docentes directores, **Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía, Ing. Ricardo Burgos Oviedo e Ing. José Tulio Pineda Martínez** por ser la piedra angular de este trabajo de graduación. Gracias; por el tiempo; la ayuda desinteresada; los consejos; la confianza que nos brindaron y por formar parte de este logro.

A las catedráticas y los catedráticos que colaboraron en mi trayectoria académica, por compartir conmigo, un poco de su invaluable sabiduría dentro y fuera del ámbito académico; además, por su paciencia y el tiempo invertido, en la empresa tan incierta que representaba mi aprendizaje.

A mis amigas y amigos, que estuvieron conmigo durante tantos años y con quiénes compartí tantas aventuras, experiencias, desvelos y triunfos. Gracias a todos y a cada uno de ustedes, por hacer que mi estancia en la Universidad de El Salvador (UES) fuese inolvidable, por su amistad y el cariño sincero que surgió, al ser compañeros y compartir momentos imborrables que dejaron huella en mi vida.

Y a todas y cada una de las personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, y que no necesito nombrar porque saben que desde lo más profundo de mi corazón, les hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

**Walter Iván Guerrero Contreras.**

## INDICE DEL CONTENIDO TEMATICO

CONTENIDO	PAG.
Prologo.....	
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>36</b>
1.1 Introducción.....	37
1.2 Antecedentes.....	38
1.3 Planteamiento del problema.....	41
1.4 Objetivos.....	42
1.4.1 Objetivo general.....	42
1.4.2 Objetivos específicos.....	42
1.5 Alcances y Limitaciones.....	43
1.5.1 Alcances.....	43
1.5.2 Limitaciones.....	47
1.6 Justificación.....	48
<b>CAPITULO II: CONCRETO HIDRAULICO. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>49</b>
2.1 Introducción.....	50
2.2 Generalidades del concreto hidráulico.....	51
2.2.1 Antecedentes y Evolución (En su uso para carreteras).....	51
2.2.2 Características que debe satisfacer el concreto para su utilización en la construcción de carreteras.....	53
2.2.3 Ventajas.....	54
2.3 Componentes del concreto hidráulico.....	55
2.3.1 Cementantes.....	56
2.3.1.1 Tipos de cemento.....	56
2.3.1.1.1 Cemento ASTM C1157.....	57
2.3.2 Agregados.....	59
2.3.2.1 Agregados gruesos.....	61
2.3.2.2 Agregados finos.....	62
2.3.2.3 Características de los agregados.....	62
2.3.2.3.1 Granulometría.....	63
2.3.2.3.1.1 Análisis granulométrico.....	64
2.3.2.3.1.2 Curva de granulometría.....	65
2.3.2.3.1.3 Granulometría para el agregado fino.....	65
2.3.2.3.1.3.1 Módulo de finura (MF).....	66
2.3.2.3.1.4 Granulometría para el agregado grueso..	67

2.3.2.3.1.4.1	Tamaño máximo de las partículas.....	67
2.3.2.3.1.4.2	Tamaño Máximo Nominal de las partículas.....	68
2.3.2.3.2	Materiales perjudiciales.....	69
2.3.2.3.3	Gravedad específica (densidad o peso específico).....	71
2.3.2.3.4	Sanidad.....	71
2.3.2.3.5	Absorción, contenido de humedad y porosidad.....	72
2.3.2.3.5.1	Absorción.....	72
2.3.2.3.5.2	Contenido de humedad.....	73
2.3.2.3.5.3	Porosidad.....	75
2.3.2.3.6	Forma y textura superficial de las partículas.....	75
2.3.2.3.6.1	Forma de las partículas.....	75
2.3.2.3.6.2	Textura superficial de las partículas.....	76
2.3.2.3.7	Resistencia al desgaste.....	78
2.3.3	Agua.....	78
2.3.4	Aire.....	81
2.3.5	Aditivos.....	84
2.3.5.1	Generalidades de los aditivos.....	85
2.3.5.1.1	Tipos de aditivos según ASTM C494.....	85
2.3.5.2	Aditivos superplastificantes.....	86
2.3.5.3	Utilización de los superplastificantes.....	87
2.3.5.4	Compatibilidad entre el cemento y los superplastificantes.....	88
2.3.5.5	Interacción de los aditivos superplastificantes en la relación agua/cemento (A/C).....	88
2.3.5.6	Clasificación de los superplastificantes.....	89
2.3.5.7	Efectos de los superplastificantes sobre las propiedades del concreto.....	90
2.3.5.7.1	Propiedades en estado fresco.....	90
2.3.5.7.2	Propiedades en estado endurecido.....	91
2.4	Concreto hidráulico en estado fresco.....	92
2.4.1	Limites del estado fresco del concreto.....	92
2.4.2	Atributos del concreto en estado fresco.....	94
2.4.3	Aspectos que definen la trabajabilidad del concreto en estado fresco.....	94
2.4.3.1	Estabilidad.....	95
2.4.3.2	Compactabilidad.....	95
2.4.3.3	Movilidad.....	95
2.4.4	Medios para evaluar la trabajabilidad del concreto en estado fresco.....	96

2.4.4.1	Homogeneidad y uniformidad.....	96
2.4.4.2	Consistencia (Cohesión y Viscosidad).....	97
2.4.4.2.1	Influencia de las características de los componentes...	101
2.4.4.2.2	Influencia de la proporción de los componentes.....	101
2.4.4.3	Temperatura de la mezcla.....	101
2.4.4.4	Estabilidad (Segregación y sangrado).....	102
2.4.4.5	Compacidad (Densidad relativa).....	103
2.5	Etapas del fraguado del concreto.....	103
2.5.1	Evolución del fraguado.....	104
2.5.1.1	Fraguado del cemento.....	105
2.5.1.2	Fraguado del concreto.....	106
2.6	Endurecimiento del concreto.....	106
2.7	Concreto hidráulico en estado endurecido.....	107
2.7.1	Definición y propiedades del concreto en estado endurecido.....	107
2.7.2	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	107
2.7.2.1	Resistencia mecánica.....	107
2.7.2.1.1	Resistencia a la Compresión.....	108
2.7.2.1.2	Resistencia a la Flexión.....	110
2.7.2.1.2.1	Módulo de Ruptura (MR).....	112
2.8	Mezclado, transporte y colocación del concreto.....	114
2.8.1	Generalidades.....	114
2.8.2	Mezclado.....	115
2.8.3	Transporte.....	119
2.8.4	Colocación.....	124
2.8.4.1	Compactación.....	125
2.9	Acabado superficial.....	129
2.10	Curado.....	131
2.10.1	Métodos de curado.....	132
2.11	Manera de evitar el agrietamiento por contracción debida a la plasticidad.....	136
<b>CAPITULO III:</b>	<b>TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR.....</b>	<b>140</b>
3.1	Introducción.....	141
3.2	Generalidades.....	142
3.3	Parámetros fijos y variables.....	143
3.3.1	Parámetros fijos.....	143
3.3.1.1	Condiciones de laboratorio.....	143
3.3.1.2	Agregados pétreos para el concreto.....	144
3.3.1.3	Combinación óptima de agregados gruesos.....	144

3.3.1.4	Cemento.....	144
3.3.1.5	Agua.....	145
3.3.1.6	Aditivo Reductor de agua de alto rango y retardante.....	145
3.3.1.7	Condición de materiales pétreos para el concreto.....	146
3.3.1.8	Método para el proporcionamiento de las mezclas.....	146
3.3.1.9	Revenimiento.....	146
3.3.2	Parámetros variables.....	146
3.4	Metodología del trabajo experimental.....	147
3.5	Identificación de la estructura de la investigación.....	150
3.5.1	Ejecución de la investigación.....	151
3.5.1.1	Etapas 1: Selección de los materiales.....	153
3.5.1.2	Etapas 2: Definición de ensayos a realizar.....	154
3.5.1.3	Etapas 3: Investigación de las propiedades de los materiales.....	155
3.5.1.3.1	Características geológicas - mineralógicas del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.....	156
3.5.1.3.1.1	Localización geográfica.....	156
3.5.1.3.1.2	Geología del yacimiento.....	157
3.5.1.3.1.3	Características de los agregados del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.....	160
3.5.1.3.1.4	Ensayo Petrográfico.....	161
3.5.1.3.2	Características de los agregados del Río Tihuapa.....	162
3.5.1.3.2.1	Localización geográfica.....	162
3.5.1.3.2.2	Descripción de los agregados.....	162
3.5.1.3.2.3	Usos.....	162
3.5.1.3.2.4	Información técnica.....	163
3.5.1.3.3	Ensayos para la obtención de las propiedades de los agregados.....	163
3.5.1.3.3.1	Muestreo de agregados.....	164
3.5.1.3.3.2	Reducción a tamaño de prueba.....	164
3.5.1.3.3.3	Granulometría.....	165
3.5.1.3.3.4	Impurezas orgánicas.....	166
3.5.1.3.3.5	Gravedad específica, absorción y contenido de humedad.....	167
3.5.1.3.3.6	Peso volumétrico o peso unitario.....	168
3.5.1.3.3.7	Partículas planas y/o alargadas.....	169
3.5.1.3.3.8	Resistencia a la abrasión.....	170
3.5.1.4	Etapas 4: Diseño de mezclas.....	171

3.5.1.5	Etapa 5: Hechura de mezcla, elaboración de espécimenes y ensayos al concreto fresco.....	172
3.5.1.5.1	Hechura de mezcla de concreto en laboratorio.....	172
3.5.1.5.2	Prueba de revenimiento.....	172
3.5.1.5.3	Peso volumétrico o peso unitario del concreto.....	174
3.5.1.5.4	Tiempo de fraguado del concreto.....	174
3.5.1.5.5	Ensayo de temperatura.....	175
3.5.1.5.6	Contenido de aire.....	176
3.5.1.5.7	Fabricación, curado y almacenamiento de espécimenes de concreto elaborados en laboratorio..	177
3.5.1.6	Etapa 6: Ensayos al concreto endurecido.....	178
3.5.1.6.1	Resistencia del concreto a la compresión.....	178
3.5.1.6.2	Resistencia del concreto a la flexión.....	179
3.5.1.7	Etapa 7: Análisis de resultados.....	180
3.6	Requisitos del concreto y sus componentes.....	180
3.6.1	Requisitos del cemento.....	180
3.6.2	Requisitos del agregado fino.....	180
3.6.3	Requisitos del agregado grueso.....	181
3.6.4	Requisitos del agua.....	182
3.6.5	Requisitos de los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes....	182
3.6.6	Requisitos del concreto en estado fresco.....	183
3.7	Codificación de pruebas y espécimenes.....	183
<b>CAPITULO IV: PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA.....</b>		<b>186</b>
4.1	Introducción.....	187
4.2	Control de la calidad y pruebas de laboratorio de los componentes de la mezcla.....	188
4.2.1	Componentes de la mezcla.....	190
4.2.1.1	Cemento ASTM C1157 Tipo HE.....	190
4.2.1.2	Agregados.....	190
4.2.1.2.1	Análisis granulométrico del agregado.....	191
4.2.1.2.2	Propiedades físicas.....	191
4.2.1.2.3	Agregado grueso.....	193
4.2.1.2.3.1	Combinación de agregados gruesos....	195
4.2.1.2.3.2	Propiedades físicas de la combinación de agregados gruesos.....	201
4.2.1.2.4	Agregado fino.....	201
4.2.1.3	Agua.....	202
4.2.1.4	Aditivo.....	203
4.3	Calculo experimental del diseño de la mezcla de concreto hidráulico.....	204

4.3.1	Generalidades sobre la proporción de la mezcla, mediante el procedimiento sugerido por el Comité ACI 211.1.....	205
4.3.2	Procedimiento utilizado para el diseño de la mezcla de concreto.....	207
4.3.2.1	Paso I: Información para el diseño de la mezcla.....	210
4.3.2.1.1	Datos de la obra.....	210
4.3.2.1.2	Datos de los materiales.....	211
4.3.2.2	Paso II: Elección de la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ).....	212
4.3.2.3	Paso III: Elección del revenimiento.....	214
4.3.2.4	Paso IV: Elección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso.....	214
4.3.2.5	Paso V: Calculo del agua de mezclado y contenido de aire.....	215
4.3.2.5.1	Estimación del contenido de aire en el concreto.....	215
4.3.2.5.2	Estimación de la cantidad de agua de mezclado	215
4.3.2.5.2.1	Uso de aditivos químicos.....	216
4.3.2.6	Paso VI: Selección de la relación agua/cemento (A/C).....	217
4.3.2.7	Paso VII: Determinación de la cantidad mínima de cemento.....	218
4.3.2.8	Paso VIII: Estimación del contenido de agregado grueso.....	218
4.3.2.9	Paso IX: Estimación del contenido de agregado fino.....	220
4.3.2.9.1	Método de peso de concreto por unidad de volumen.....	220
4.3.2.9.2	Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.....	221
4.3.2.10	Paso X: Ajuste por humedad del agregado.....	222
4.3.2.11	Paso XI: Estimación de la mezcla de laboratorio total.....	222
4.3.2.12	Paso XII: Ajustes de la mezcla de prueba.....	223
4.4	Aplicación del proceso de diseño del Comité ACI 211.1.....	223
	<b>CAPITULO V: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>240</b>
5.1	Introducción.....	241
5.2	Ajustes en el agua de mezclado.....	242
5.3	Pruebas al concreto.....	249
5.3.1	Concreto en estado fresco.....	249
5.3.1.1	Consistencia del concreto.....	249
5.3.1.2	Peso volumétrico (Peso unitario) del concreto.....	255
5.3.1.3	Contenido de aire del concreto.....	262
5.3.1.4	Temperatura del concreto.....	267
5.3.1.5	Tiempo de fraguado del concreto.....	272
5.3.2	Comportamiento del concreto hidráulico en estado endurecido.....	278
5.3.2.1	Resistencia a la Compresión obtenida a diferentes edades.....	278

5.3.2.2	Resistencia a la Flexión obtenida a diferentes edades.....	294
5.4	Correlaciones de los resultados.....	308
5.4.1	Correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo”.....	309
5.4.2	Correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo”.....	317
5.4.3	Correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”.....	325
5.4.4	Correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”.....	331
5.4.5	Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”.....	336
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>342</b>
6.1	Conclusiones.....	343
6.1.1	Tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento.....	343
6.1.1.1	Consistencia del concreto (Revenimiento).....	343
6.1.1.2	Resistencia a la Compresión del concreto.....	343
6.1.1.3	Resistencia a la Flexión del concreto.....	344
6.1.1.4	Tiempo de Fraguado del concreto.....	345
6.1.1.5	Temperatura del concreto.....	345
6.1.1.6	Peso volumétrico (peso unitario) del concreto.....	346
6.1.1.7	Contenido de aire del concreto.....	347
6.1.2	Tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento.....	348
6.1.2.1	Consistencia del concreto (Revenimiento).....	348
6.1.2.2	Resistencia a la Compresión del concreto.....	348
6.1.2.3	Resistencia a la Flexión del concreto.....	349
6.1.2.4	Tiempo de Fraguado del concreto.....	350
6.1.2.5	Temperatura del concreto.....	350
6.1.2.6	Peso volumétrico (peso unitario) del concreto.....	351
6.1.2.7	Contenido de aire del concreto.....	352
6.1.3	Tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento.....	353
6.1.3.1	Consistencia del concreto (Revenimiento).....	353
6.1.3.2	Resistencia a la Compresión del concreto.....	353
6.1.3.3	Resistencia a la Flexión del concreto.....	354
6.1.3.4	Tiempo de Fraguado del concreto.....	356
6.1.3.5	Temperatura del concreto.....	356
6.1.3.6	Peso volumétrico (peso unitario) del concreto.....	356
6.1.3.7	Contenido de aire del concreto.....	357
6.1.4	Correlaciones de los resultados.....	359
6.1.4.1	Correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo”.....	359
6.1.4.2	Correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo”.....	359

6.1.4.3	Correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”.....	360
6.1.4.4	Correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”.....	360
6.1.4.5	Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”.....	361
6.2	Recomendaciones.....	363
6.2.1	Relativo a los resultados obtenidos.....	363
6.2.2	Relativo a las correlaciones del concreto.....	364
6.2.3	Relativo a la metodología utilizada.....	365
6.2.4	Relativo a futuros temas de investigación.....	367
<b>GLOSARIO.....</b>		<b>369</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>376</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>		<b>378</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>384</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>392</b>
	<b>Anexo A:</b> Control de granulometría y propiedades físicas de la grava N° 1 (TMN de $\frac{3}{4}$ de pulgada), grava N° 2 (TMN de $1\frac{1}{2}$ pulgadas) y la combinación de gravas....	394
	<b>Grava N° 1:</b> Tamaño Máximo Nominal (TMN) de $\frac{3}{4}$ de pulgada.....	395
	<b>Grava N° 2:</b> Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada.....	405
	<b>Combinación de gravas:</b> Análisis granulométrico de la combinación.....	411
	<b>Anexo B:</b> Control de granulometría y propiedades físicas de la arena.....	414
	<b>Anexo C:</b> Control de calidad del cemento.....	426
	<b>Anexo D:</b> Control de calidad del aditivo PLASTIFLOW-R.....	431
	<b>Anexo E:</b> Diseños de las mezclas de concreto.....	434
	<b>Anexo F:</b> Tiempos de Fraguado del concreto.....	471

## LISTADO DE TABLAS

TABLA	TITULO	PAG.
Tabla 2.1	Normas ASTM que rigen cada tipo de cemento.....	57
Tabla 2.2	Aplicaciones de los cementos ASTM C1157.....	57
Tabla 2.3	Requerimientos físicos de cementos con adición.....	59
Tabla 2.4	Tamaños estándares de agregado grueso.....	63
Tabla 2.5	Requisitos de granulometría para agregado fino.....	64
Tabla 2.6	Clasificación del agregado fino, según el Módulo de Finura (MF).....	66
Tabla 2.7	Materiales perjudiciales en los agregados.....	69
Tabla 2.8	Limites de las sustancias deletéreas en las arenas.....	70
Tabla 2.9	Limites de las sustancias deletéreas en las gravas.....	70
Tabla 2.10	Requerimientos del desarrollo del concreto para el agua de mezclado.....	80
Tabla 2.11	Grados de consistencia de la mezcla de concreto.....	99
Tabla 2.12	Factores que influyen en la consistencia del concreto fresco.....	100
Tabla 2.13	Condiciones y procedimientos normalizados, para la determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto en especímenes representativos..	109
Tabla 3.1	Ensayos y normas respectivas del trabajo de graduación.....	154
Tabla 3.2	Características de los agregados del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.....	160
Tabla 3.3	Análisis petrográfico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.....	161
Tabla 3.4	Ensayos y normas respectivas de los agregados para concreto.....	163
Tabla 3.5	Normas a utilizar en el diseño de mezclas de concreto.....	171
Tabla 3.6	Calidad de los agregados finos (especificaciones).....	181
Tabla 3.7	Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).....	181
Tabla 3.8	Requisitos físicos de los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes.....	182
Tabla 3.9	Requisitos del concreto en estado fresco.....	183
Tabla 3.10	Listado de las mezclas de concreto a realizar en el trabajo de investigación..	184
Tabla 3.11	Proceso de codificación de especímenes de concreto.....	184
Tabla 4.1	Cuadro resumen del origen, propiedades físicas y calidad de los materiales.	188
Tabla 4.2	Continuación de cuadro resumen del origen, propiedades físicas y calidad de los materiales.....	189
Tabla 4.3	Análisis granulométrico del muestreo periódico de grava N° 2.....	193
Tabla 4.4	Análisis de las propiedades físicas de la grava N° 2.....	194
Tabla 4.5	Análisis granulométrico del muestreo periódico de grava N° 1.....	194
Tabla 4.6	Análisis de las propiedades físicas de la grava N° 1.....	195

Tabla 4.7	Especificaciones y granulometrías de los dos agregados gruesos a ser combinados.....	197
Tabla 4.8	Combinación de agregados gruesos, por el “método de prueba y error” o “método de tanteos”.....	198
Tabla 4.9	Análisis de las propiedades físicas de la combinación de agregados gruesos.....	201
Tabla 4.10	Análisis granulométrico del muestreo periódico del agregado fino.....	201
Tabla 4.11	Análisis de las propiedades físicas del agregado fino.....	202
Tabla 4.12	Factor de modificación, para desviación estándar (S).....	212
Tabla 4.13	Resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), cuando existe información para establecer una desviación estándar (S).....	212
Tabla 4.14	Resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar (S).....	213
Tabla 4.15	Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcciones.....	214
Tabla 4.16	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales (TMN) de agregado grueso.....	216
Tabla 4.17	Correspondencia entre la relación agua/cemento y la Resistencia a la Compresión del concreto.....	217
Tabla 4.18	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	219
Tabla 4.19	Calculo tentativo del peso del concreto fresco.....	220
Tabla 4.20	Procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	226
Tabla 4.21	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	227
Tabla 4.22	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	228
Tabla 4.23	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	229
Tabla 4.24	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	230
Tabla 4.25	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	231
Tabla 4.26	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	232
Tabla 4.27	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	233
Tabla 4.28	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	234
Tabla 4.29	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	235
Tabla 4.30	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	236
Tabla 4.31	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	237
Tabla 4.32	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	238
Tabla 4.33	Continuación de procedimiento de diseño de mezcla 1 ( $M_1$ ).....	239
Tabla 5.1	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento.....	243

Tabla 5.2	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento.....	244
Tabla 5.3	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento.....	245
Tabla 5.4	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento.....	246
Tabla 5.5	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento.....	247
Tabla 5.6	Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento.....	248
Tabla 5.7	Tolerancias en la prueba de revenimiento, usando el cono de Abrams.....	250
Tabla 5.8	Revenimiento del concreto de cemento hidráulico.....	251
Tabla 5.9	Revenimiento del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> .....	252
Tabla 5.10	Revenimiento del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> .....	253
Tabla 5.11	Peso volumétrico del concreto fresco.....	256
Tabla 5.12	Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	257
Tabla 5.13	Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	258
Tabla 5.14	Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	259
Tabla 5.15	Peso volumétrico del concreto fresco con Contenido de aire.....	260
Tabla 5.16	Contenido de aire del concreto fresco.....	263
Tabla 5.17	Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	264
Tabla 5.18	Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	265
Tabla 5.19	Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	266
Tabla 5.20	Temperatura del concreto de cemento hidráulico, recién mezclado.....	269

Tabla 5.21	Temperatura del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> .....	270
Tabla 5.22	Temperatura del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> .....	271
Tabla 5.23	Tiempo de fraguado del concreto.....	274
Tabla 5.24	Tiempo de fraguado del concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> .....	275
Tabla 5.25	Tiempo de fraguado del concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm <sup>2</sup> .....	276
Tabla 5.26	Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> , en cilindros de concreto.....	279
Tabla 5.27	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	280
Tabla 5.28	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	281
Tabla 5.29	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	282
Tabla 5.30	Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> , en cilindros de concreto.....	284
Tabla 5.31	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	285
Tabla 5.32	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	286
Tabla 5.33	Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	287
Tabla 5.34	Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> ), en cilindros de concreto.....	289
Tabla 5.35	Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Compresión (250 kg/cm <sup>2</sup> ), en cilindros de concreto.....	290
Tabla 5.36	Porcentaje de Resistencia a la Compresión (f <sub>c</sub> ) obtenido a cada edad.....	292
Tabla 5.37	Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm <sup>2</sup> , en viguetas de concreto.....	296
Tabla 5.38	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	297
Tabla 5.39	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	298
Tabla 5.40	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	299
Tabla 5.41	Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm <sup>2</sup> , en viguetas de concreto.....	301
Tabla 5.42	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.....	302

Tabla 5.43	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.....	303
Tabla 5.44	Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm <sup>2</sup> , para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.....	304
Tabla 5.45	Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Flexión (34 kg/cm <sup>2</sup> ), en viguetas de concreto.....	306
Tabla 5.46	Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Flexión (34 kg/cm <sup>2</sup> ), en viguetas de concreto.....	307
Tabla 5.47	Porcentaje de Módulo de Ruptura (MR) obtenido a cada edad.....	308
Tabla 5.48	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.....	310
Tabla 5.49	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.....	311
Tabla 5.50	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.....	312
Tabla 5.51	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.....	313
Tabla 5.52	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.....	314
Tabla 5.53	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.....	315
Tabla 5.54	Incremento en el porcentaje de Resistencia a la Compresión (f'c) obtenido entre cada edad.....	316
Tabla 5.55	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.....	318
Tabla 5.56	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.....	319
Tabla 5.57	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm <sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.....	320

Tabla 5.58	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de $37 \text{ kg/cm}^2$ y reducción en el agua de mezclado del 12%.....	321
Tabla 5.59	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de $37 \text{ kg/cm}^2$ y reducción en el agua de mezclado del 20%.....	322
Tabla 5.60	Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de $37 \text{ kg/cm}^2$ y reducción en el agua de mezclado del 30%.....	323
Tabla 5.61	Incremento en el porcentaje de Módulo de Ruptura (MR) obtenido entre cada edad.....	325
Tabla 5.62	Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 12%.....	326
Tabla 5.63	Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 20%.....	327
Tabla 5.64	Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 30%.....	328
Tabla 5.65	Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 12%.....	332
Tabla 5.66	Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 20%.....	333
Tabla 5.67	Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 30%.....	334
Tabla 5.68	Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de $34 \text{ kg/cm}^2$ y Resistencia a la Compresión de $210 \text{ kg/cm}^2$ .....	337
Tabla 5.69	Gráfico de correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de $34 \text{ kg/cm}^2$ y Resistencia a la Compresión de $210 \text{ kg/cm}^2$ .....	338
Tabla 5.70	Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de $37 \text{ kg/cm}^2$ y Resistencia a la Compresión de $250 \text{ kg/cm}^2$ .....	339
Tabla 5.71	Gráfico de correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de $37 \text{ kg/cm}^2$ y Resistencia a la Compresión de $250 \text{ kg/cm}^2$ .....	340
Tabla 5.72	Valores de la constante “k”, asumiendo una relación de tipo lineal y potencial.....	341

## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA	TITULO	PAG.
Figura 2.1	Componentes del concreto.....	55
Figura 2.2	Composición del concreto.....	56
Figura 2.3	Materiales cementantes.....	56
Figura 2.4	Resistencia en psi de los cementos ASTM C1157, a diferentes edades.....	58
Figura 2.5	Ejemplo de los límites establecidos para una curva de granulometría en particular.....	61
Figura 2.6	Agregados gruesos para concreto.....	62
Figura 2.7	Agregado fino para concreto.....	62
Figura 2.8	Equipo utilizado para realizar análisis granulométrico de agregados.....	64
Figura 2.9	Ejemplo de trazado de una curva de granulometría.....	65
Figura 2.10	Condiciones de humedad en los agregados.....	74
Figura 2.11	Formas de las partículas de agregado grueso.....	76
Figura 2.12	Influencia de la forma y textura del agregado grueso, en las propiedades del concreto fresco.....	77
Figura 2.13	Agua para mezclado y curado del concreto.....	79
Figura 2.14	Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el método de presión.....	82
Figura 2.15	Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el método volumétrico.....	83
Figura 2.16	Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el indicador de aire Chace.....	84
Figura 2.17	Aditivos químicos para concreto.....	84
Figura 2.18	Lapsos y actividades características, en los diferentes estados de un concreto convencional a temperatura normal.....	93
Figura 2.19	Parámetros de la reología del concreto fresco.....	95
Figura 2.20	Medios para evaluar la trabajabilidad del concreto en estado fresco.....	96
Figura 2.21	Representación esquemática de tres mezclas de concreto convencional con el mismo revenimiento, pero con diferente cohesividad.....	98
Figura 2.22	Representación esquemática de la prueba de revenimiento en mezclas de concreto fluido.....	98
Figura 2.23	Intervalos de consistencia para diferentes tipos de concreto fresco, en los cuales, son aplicables los procedimientos de medición de uso común.....	100
Figura 2.24	Segregación y sangrado del concreto.....	102
Figura 2.25	Gráfico de las etapas del fraguado de concreto, utilizando las agujas Proctor.....	105

Figura 2.26	Representación esquemática de los procedimientos usuales, para determinar la Resistencia a la Flexión del concreto.....	112
Figura 2.27	Mezclado del concreto a mano.....	116
Figura 2.28	Mezclado con equipo portátil y carga de materiales en un camión mezclador.....	116
Figura 2.29	Planta central de mezclado y transporte sin mezclado.....	117
Figura 2.30	Mezclado en dos fases.....	118
Figura 2.31	Transporte del concreto.....	119
Figura 2.32	Canaletas para transportar concreto.....	120
Figura 2.33	Cucharones para transportar concreto.....	120
Figura 2.34	Bandas y ductos para transportar concreto.....	121
Figura 2.35	Camiones para transportar concreto.....	121
Figura 2.36	Bombas para transportar concreto.....	124
Figura 2.37	Colocación del concreto en la obra.....	125
Figura 2.38	Regla vibratoria para la consolidación del concreto.....	126
Figura 2.39	Vibradores de escoplo, montados en serie, para compactación de pavimentos de concreto.....	127
Figura 2.40	Vibradores de superficie tipo artesa y niveladora antigua con camiones.....	128
Figura 2.41	Vibradores manuales para concreto.....	129
Figura 2.42	Aplanadera de mango largo y aplanadera de mano.....	130
Figura 2.43	Aplanaderas motorizadas.....	130
Figura 2.44	Acabado con escoba.....	131
Figura 2.45	Curado por inundación, por aspersión y cubiertas húmedas.....	132
Figura 2.46	Curado con papel impermeable, hojas de plástico y compuestos líquidos que forman membrana.....	133
Figura 2.47	Curado con vapor.....	133
Figura 2.48	Aplicación del curado en pavimentos con equipo mecánico.....	134
Figura 2.49	Curado en pavimentos a mano o con equipo aspersor operado mecánicamente.....	135
Figura 2.50	Efecto de la humedad relativa, la velocidad del viento, las temperaturas del concreto y del aire en el grado de evaporación en la superficie del concreto..	139
Figura 3.1	Flujograma de mezclas a realizar en la investigación.....	147
Figura 3.2	Flujograma del proceso de investigación del trabajo de graduación.....	152
Figura 3.3	Acopio de gravas y arena utilizadas, en el desarrollo del trabajo experimental.....	155
Figura 3.4	Ubicación del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.....	157
Figura 3.5	Columnas hexagonales con lado mayor de 1.0 a 1.25 metros.....	158
Figura 3.6	Discontinuidades rellenas con óxido.....	158

Figura 3.7	Discontinuidades en forma de roseta.....	159
Figura 3.8	Grandes bloques de basalto en la parte inferior.....	159
Figura 3.9	Ubicación del Río Tihuapa.....	162
Figura 3.10	Muestreo de agregado fino y grueso.....	164
Figura 3.11	Equipo utilizado para reducción de material fino a tamaño de prueba.....	165
Figura 3.12	Cuartheador mecánico y reducción a tamaño de prueba de agregado grueso, mediante cuarteo manual.....	165
Figura 3.13	Equipo utilizado para análisis granulométrico.....	166
Figura 3.14	Equipo a utilizar, para la determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.....	167
Figura 3.15	Equipo a utilizar, para la determinación de la gravedad específica del agregado grueso.....	167
Figura 3.16	Equipo a utilizar, para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino.....	168
Figura 3.17	Equipo a utilizar, para la determinación del peso volumétrico varillado de la grava.....	169
Figura 3.18	Equipo a utilizar, para la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas, o partículas planas y/o alargadas en agregado grueso.....	170
Figura 3.19	Equipo a utilizar, para la determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso.....	171
Figura 3.20	Cono de Abrams y varilla de compactación.....	173
Figura 3.21	Prueba de revenimiento.....	173
Figura 3.22	Peso volumétrico del concreto fresco.....	174
Figura 3.23	Procedimiento para determinar el tiempo de fraguado del concreto.....	175
Figura 3.24	Ensayo de temperatura del concreto recién mezclado.....	175
Figura 3.25	Equipo a utilizar, para la determinación del contenido de aire del concreto fresco.....	176
Figura 3.26	Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio.....	177
Figura 3.27	Especímenes cilíndricos y viguetas de concreto.....	178
Figura 3.28	Ilustración del ensayo de Resistencia a la Compresión, en cilindros de concreto.....	179
Figura 3.29	Ilustración del ensayo de Resistencia a la Flexión, en viguetas de concreto.....	180
Figura 3.30	Codificación de cilindros de concreto.....	185
Figura 3.31	Codificación de viguetas de concreto.....	185
Figura 4.1	Curva granulométrica del muestreo periódico de la grava N° 2.....	193
Figura 4.2	Curva granulométrica del muestreo periódico de la grava N° 1.....	194
Figura 4.3	Curva granulométrica la combinación de agregados gruesos.....	199

Figura 4.4	Combinación de agregados gruesos, mediante el “método gráfico”.....	200
Figura 4.5	Curva granulométrica del muestreo periódico del agregado fino.....	202
Figura 4.6	Proceso de proporcionamiento, mezclado en concreteira y ensayo de revenimiento del concreto.....	204
Figura 4.7	Flujograma para la selección de las proporciones de las mezclas de concreto.....	209
Figura 5.1	Tipos de revenimiento.....	255
Figura 5.2	Curvas de aumento de Resistencia a la Penetración.....	272
Figura 5.3	Fallas observadas en los espécimenes de prueba a compresión.....	293
Figura 5.4	Tipos de fallas en espécimenes cilíndricos de concreto.....	293
Figura 5.5	Diagramas de Cuerpo Libre, Fuerza Cortante y Momento Flector de vigueta, con sus respectivas fórmulas, para el cálculo del Módulo de Ruptura (MR)...	294
Figura 5.6	Fallas observadas en los espécimenes de prueba a flexión.....	295
Figura 5.7	Condición de carga de viga y zonas de rechazo de prueba.....	295
Figura 5.8	Ruptura de agregado grueso, en la zona de falla.....	305

## SIGLAS

<b>AASHTO:</b>	Sociedad Americana de Estado de Carreteras y Oficiales de Transporte.
<b>ACI:</b>	Instituto Americano del Concreto.
<b>AI:</b>	Instituto Americano del Asfalto.
<b>AIES:</b>	Aeropuerto Internacional El Salvador.
<b>AMSS:</b>	Área Metropolitana de San Salvador.
<b>ASTM:</b>	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales.
<b>ANDA:</b>	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados.
<b>ASTM:</b>	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales.
<b>CEL:</b>	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
<b>CESSA:</b>	Cemento de El Salvador S.A. de C.V.
<b>CFE:</b>	Comisión Federal de Electricidad.
<b>DIN:</b>	Instituto Alemán para la Estandarización.
<b>GESAL:</b>	Geotérmica Salvadoreña.
<b>ICPC:</b>	Instituto Colombiano de Productores de Concreto.
<b>IMCYC:</b>	Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
<b>ISCYC:</b>	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto.
<b>ITCA:</b>	Instituto Tecnológico Centroamericano.
<b>MOP:</b>	Ministerio de Obras Públicas.
<b>PCA:</b>	Asociación del Cemento Pórtland.
<b>S.A. DE C.V.:</b>	Sociedad Anónima de Capital Variable.
<b>UCA:</b>	Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”.
<b>UES:</b>	Universidad de El Salvador.
<b>UNAM:</b>	Universidad Nacional Autónoma de México.
<b>UPES:</b>	Universidad Politécnica de El Salvador.

## ABREVIATURAS

<b>A.C.</b>	Antes de Cristo.
<b>A/C</b>	Agua/Cemento.
<b>Av.</b>	Avenida.
<b>Blvd.</b>	Boulevard.
<b>C.</b>	Calle.
<b>C.P.</b>	Calle Poniente.
<b>D.F.</b>	Distrito Federal.
<b>D.C.</b>	Distrito de Columbia.
<b>Ec.</b>	Ecuación.
<b>E.S.</b>	El Salvador.
<b>etc.</b>	Etcétera.
<b>exp.</b>	Expresado.
<b>Fig.</b>	Figura.
<b>h</b>	Hora(s).
<b>Ing.</b>	Ingeniero.
<b>Ingra.</b>	Ingeniera.
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar.
<b>MAX, Máx.</b>	Máximo.
<b>MF</b>	Módulo de Finura.
<b>Mich.</b>	Michigan.
<b>MIN, Mín.</b>	Mínimo.
<b>min</b>	Minuto(s).
<b>MR</b>	Módulo de Ruptura.
<b>N.Y.</b>	Nueva York.
<b>N/D</b>	No disponible.
<b>PAG.</b>	Página.
<b>Pa.</b>	Filadelfia.
<b>PAG, Pág(s)</b>	Página(s).
<b>Pje.</b>	Pasaje.
<b>PROM.</b>	Promedio.
<b>ref.</b>	Referencia.
<b>Res.</b>	Residencial.
<b>REV.</b>	Revenimiento.
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto.
<b>S.S.</b>	San Salvador.
<b>SSS</b>	Saturado Superficialmente Seco.

<b>Sta.</b>	Santa.
<b>Sec.</b>	Sección.
<b>TCC</b>	Tag Closed Cup = Tasa cerrada.
<b>TMN</b>	Tamaño Máximo Nominal.
<b>U.S.</b>	Estados Unidos de América.
<b>UM</b>	Unidad(es) de medida.
<b>Vol.</b>	Volumen.

## SIMBOLOGIA

$\pm$	Más o menos.
%	Por ciento.
$\bar{X}$	Media muestral.
<b>A</b>	Área de sección transversal.
$\pi$	Número pi.
$\rho$	Densidad.
$\rho_{\text{ADITIVO}}$	Densidad del aditivo.
$\rho_{\text{AGUA}}$	Densidad del agua.
<b>A%</b>	Absorción.
<b>b</b>	Ancho promedio de la vigueta.
<b>B<sub>n</sub></b>	Bachada n.
<b>C</b>	Cantidad mínima de cemento.
<b>cm</b>	Centímetro(s).
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro(s) cuadrado(s).
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro(s) cubico(s).
<b>CV</b>	Coefficiente de variación.
<b>D</b>	Diámetro de sección transversal.
<b>d</b>	Altura promedio de la vigueta.
<b>f</b>	Esfuerzo debido a carga.
<b>F</b>	Fuerza o carga.
<b>f<sub>c</sub></b>	Esfuerzo axial debido a carga de compresión en concreto de 28 días de edad.
<b>f<sub>cr</sub></b>	Esfuerzo axial de compresión requerido del concreto para diseño.
<b>f<sub>t</sub></b>	Esfuerzo a tracción debido a carga de compresión en eje longitudinal en concreto de 28 de de edad.
<b>g</b>	Gramo(s).
<b>G<sub>s</sub></b>	Gravedad específica.
<b>h</b>	Hora(s).
<b>in, ”, pulg.</b>	Pulgada(s).
<b>k</b>	Valor de una constante cualquiera en una ecuación.
<b>kg</b>	Kilogramo(s).
<b>km</b>	Kilometro(s).
<b>L</b>	Longitud o Longitud entre apoyos.
<b>l</b>	Litro(s).
<b>lb</b>	Libra(s).
<b>m</b>	Metro(s).
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro(s) cuadrado(s).

<b>m<sup>3</sup></b>	Metro(s) cúbico(s).
<b>ml</b>	Mililitro(s).
<b>mm</b>	Milímetro(s).
<b>M<sub>máx.</sub></b>	Momento máximo de flexión.
<b>M<sub>n</sub></b>	Mezcla n.
<b>MPa</b>	Mega pascal(es).
<b>n</b>	Número de muestras.
<b>Nº</b>	Número
<b>°C</b>	Grado(s) Celsius.
<b>°F</b>	Grado(s) Fahrenheit.
<b>P</b>	Carga máxima aplicada.
<b>pie</b>	Pie(s).
<b>pie<sup>2</sup></b>	Pie(s) cuadrado (s).
<b>psi</b>	Libra(s) por pulgada(s) cuadrada(s).
<b>PV</b>	Peso volumétrico.
<b>PVS</b>	Peso volumétrico suelto.
<b>PVV</b>	Peso volumétrico varillado.
<b>P.V.V<sub>g.</sub></b>	Peso volumétrico varillado de la grava.
<b>S</b>	Desviación estándar de una muestra.
<b>V</b>	Esfuerzo Cortante.
<b>µmm</b>	Micromilímetro(s)

## FACTORES DE CONVERSION

Factores de conversión: pulgada-libra a SI (Métrico) <sup>A</sup>		
Para convertir de	a	Multiplique por
<b>Longitud</b>		
pulgada	milímetro (mm)	25.4 <sup>B</sup>
pie	metro (m)	0.3048 <sup>B</sup>
yarda	metro (m)	0.9144 <sup>B</sup>
milla (terrestre)	Kilómetro (km)	1.609
<b>Área</b>		
pulgada cuadrada	milímetro cuadrado (mm <sup>2</sup> )	645.2
pie cuadrado	metro cuadrado (m <sup>2</sup> )	0.0929
yarda cuadrada	metro cuadrado (m <sup>2</sup> )	0.8361
<b>Volumen (capacidad)</b>		
onza	milímetro cúbico (mm <sup>3</sup> )	29.57
galón	metro cúbico (m <sup>3</sup> ) <sup>C</sup>	0.003785
pulgada cúbica	centímetro cúbico (cm <sup>3</sup> )	16.4
pie cúbico	metro cúbico (m <sup>3</sup> )	0.02832
yarda cúbica	metro cúbico (m <sup>3</sup> ) <sup>C</sup>	0.7646
<b>Fuerza</b>		
Kilogramo-fuerza	newton (N)	9.807
Kip-fuerza	Kilo newton (kN)	4.448
libra-fuerza	newton (N)	4.448
<b>Presión o esfuerzo (fuerza por área)</b>		
Kilogramo-fuerza por metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )	pascal (Pa)	9.807
Kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )	megapascal (MPa)	0.0981
Kip-fuerza por pulgada cuadrada (ksi)	megapascal (MPa)	6.895
newton por metro cuadrado (N/m <sup>2</sup> )	pascal (Pa)	1.00 <sup>B</sup>
libra-fuerza por pie cuadrado	pascal (Pa)	47.88
libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi)	kilopascal (kPa)	6.895
libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi)	megapascal (MPa)	0.0714
libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi)	Kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado	0.7278
megapascal (MPa)	Kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado	10.1937
megapascal (MPa)	libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi)	140.056
<b>Momento de torsión o torque</b>		
libra de fuerza-pulgada	newton -metro (N.m)	0.113
libra de fuerza-pie	newton-metro (N.m)	1.356
kilogramo fuerza-metro	newton-metro (N.m)	9.807
<b>Masa</b>		
onza-masa (avoirdupois)	gramo (g)	28.34
libra-masa (avoirdupois)	kilogramo (kg)	0.4536
tonelada (métrica)	megagramo (Mg)	1.00 <sup>B</sup>
tonelada (corta, 2000 lbm)	kilogramo (kg)	907.2
<b>Masa por volumen</b>		
libra-masa por pie cúbico	kilogramo por metro cúbico (kg/m <sup>3</sup> )	16.02
libra-masa por pie cúbico	kilogramo por metro cúbico (kg/m <sup>3</sup> )	0.5933
libra-masa por galón	kilogramo por metro cúbico (kg/m <sup>3</sup> )	119.8
<b>Temperatura<sup>D</sup></b>		
grados Fahrenheit	grados Celsius (C)	$t_c = \frac{t_f - 32}{1.8}$
grados Celsius	grados Fahrenheit (F)	$t_f = 1.8 t_c + 32$

<sup>A</sup> Esta lista seleccionada da factores de conversión prácticos de unidades encontradas en la tecnología del concreto. Las fuentes de referencia para información sobre unidades SI y factores de conversión más exactos son ASTM E621 y ASTM E380. Los símbolos de las unidades métricas se dan en paréntesis.

<sup>B</sup> Indica que el valor dado es exacto.

<sup>C</sup> Un litro (decímetro cúbico) es igual a 0.001 m<sup>3</sup> o 1000 cm<sup>3</sup>.

<sup>D</sup> Estas ecuaciones convierten la lectura de una temperatura en otra e incluye las correcciones de escalas necesarias. Para convertir una diferencia de temperatura de grados Fahrenheit a grados Celsius, divida entre 1.8 únicamente, es decir, un cambio de 70°F a 88°F representa un cambio de 18°F o 18/1.8 = 10°C.

Fuente: Los autores (2009).

## PROLOGO

En el último tercio del siglo XX, el desarrollo de la tecnología del concreto, se enfocó principalmente en mejorar el desempeño de este material por medio del uso de aditivos químicos, adiciones, fibras naturales y sintéticas, etc. En el caso de los pavimentos de concreto, es común el uso de aditivos superplastificantes como componentes de la mezcla, por lo cual, es importante estudiarse el efecto de éstos en la misma.

El trabajo de graduación denominado, “**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**”, busca evaluar al término de su realización, la influencia del uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante de última generación con tres tasas de dosificación, utilizando materiales locales, bajo un contexto de clima tropical propio de nuestro país y considerando tres reducciones en el agua de mezclado, las cuales, se definieron en la etapa previa al diseño de las mezclas.

Habrà que tener en cuenta que el objetivo primordial de esta investigación, no es comparar una mezcla de control con otra que contenga aditivo en su composición, sino observar cómo se verán afectadas las propiedades de las mezclas con la variación de la dosis de dicho ingrediente. Para esto, se elaboraron dieciocho mezclas de concreto para módulos de ruptura (MR) a los 28 días, de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup> y con cada una de éstas, se prepararon especímenes de prueba (cilindros y viguetas) para ensayos de Resistencia a Compresión y Flexión, a los 7, 28 y 56 días. Además, a cada mezcla se le realizó las pruebas de Revenimiento (ASTM C143), Peso Volumétrico y Contenido de aire (ASTM C231), Temperatura (ASTM C1064) y Tiempo de fraguado (ASTM C403).

El trabajo está dividido en seis capítulos, los cuales de manera breve, se describen a continuación:

El capítulo primero “GENERALIDADES”, es de carácter informativo, ya que se detallan los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y se definen los alcances y las limitaciones de la investigación.

El segundo capítulo “CONCRETO HIDRAULICO. MARCO CONCEPTUAL” corresponde a un resumen general de tecnología del concreto, elaborado con el propósito de describir la terminología a emplear, para facilitar la comprensión del lector de los capítulos posteriores.

El capítulo tercero “TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR” compete a la parte experimental de la investigación, comprende la descripción de la metodología a desarrollar, las pruebas seleccionadas, los requisitos de los componentes del concreto y de éste, ya sea en estado fresco o endurecido. Finalizando con la codificación que se le dará a los especímenes.

El cuarto capítulo “PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA” abarca la propuesta para los dieciocho diseños de mezcla, denominados como mezcla 1 ( $M_1$ ) hasta mezcla 18 ( $M_{18}$ ), también se presenta la información de los componentes, requerida para emplear el procedimiento propuesto por el Comité ACI 211.1.

Los resultados de las pruebas realizadas al concreto y el análisis de éstas se muestran en el quinto capítulo “ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS”.

Para finalizar se desarrollan las conclusiones de la investigación experimental y las recomendaciones del trabajo, la cuales se presentan en el sexto capítulo “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.

Como complemento a este documento, tenemos las secciones de: glosario, donde se definen términos empleados a lo largo del desarrollo del documento, referencias, referencias bibliográficas y bibliografía, donde se menciona el material consultado y los anexos, en los que se presenta información adicional de resultados de ensayos, tablas, gráficos, ilustraciones, diseños de mezclas, etc.



# CAPITULO I

## GENERALIDADES



Monumento al Hermano Cercano. San Salvador, El Salvador

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## 1.1 INTRODUCCION

El concreto hidráulico utilizado en la construcción de carreteras, se caracteriza por ser una masa rígida que al endurecerse soporta pocas deformaciones, cualidad que le permite distribuir las cargas adecuadamente a toda la estructura del pavimento. Las propiedades del concreto, evolucionan conforme avanza el tiempo, hasta adquirir sus características definitivas, comenzando en la etapa de fraguado inicial y finalizando en la madurez de éste. Es por ello, necesario dotar a este material de una consistencia adecuada para facilitar su colocación y evitar así, posibles problemas de segregación. Además, debe proveérsele la resistencia adecuada, la cual, depende en gran medida de la calidad de los agregados que se utilizan, un contenido de cemento alto y una relación agua/cemento (A/C) tan alta como para garantizar que la mezcla sea trabajable, sin reducir la resistencia en forma inaceptable.

La calidad de un pavimento rígido está ligada a la calidad de los materiales empleados, a la realización de un buen diseño y a los procesos constructivos a seguir. Es por esto, que para satisfacer los requerimientos de las diversas especificaciones, bajo las condiciones propias del proyecto (ambientales, constructivas, tiempos, etc.), se recurre al empleo de aditivos en la mezcla de concreto.

Con el desarrollo de esta investigación, se busca determinar por medio de un análisis experimental, la influencia que tiene el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante de última generación, sobre las propiedades de consistencia y resistencia del concreto hidráulico usado en la construcción de carreteras, debido a que éstas son fundamentales para la etapa de diseño, como durante el proceso de colocación.

El presente documento, está dividido en seis secciones que abarcan los aspectos generales en los que se basará el desarrollo de la investigación, como: antecedentes, el planteamiento del problema, objetivos, alcances, limitaciones, justificación, entre otros.

## 1.2 ANTECEDENTES

El concreto es el material más ampliamente usado a nivel mundial en la industria de la construcción. El desarrollo de éste, puede rastrearse hasta tiempos muy remotos, ya que en la antigüedad, las grandes civilizaciones como por ejemplo, los egipcios, griegos y romanos utilizaron morteros aglomerantes y cementantes para realizar sus construcciones.

Se cree que los primeros caminos pavimentados, surgieron hace alrededor de 5,500 años en Mesopotamia, posteriormente los pueblos Asirio y Egipcio construyeron una ruta entre Asia y Egipto por el año 3,500 A.C.

Según el historiador griego Heródoto (484-425 A.C.), los primeros caminos de piedra fueron construidos en Egipto durante el reinado de Keops, y éstos sirvieron para transportar los inmensos bloques de piedra utilizados en la construcción de las pirámides.

Con el paso del tiempo, las actividades del ser humano se fueron diversificando y volviéndose cada vez más complejas; lo cual obligó a mantener un estudio constante y permanente sobre el mejoramiento de las técnicas de construcción de caminos y carreteras, ya que estas obras, fueron mayormente exigidas desde el punto de vista estructural y funcional, representando así, un constante desafío, el conseguir mejores vías de comunicación con los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles en ese momento.

De esta manera, tenemos que ya en el siglo I de nuestra era, los romanos utilizaban leche, grasa y sangre de animales, para aumentar la trabajabilidad de sus concretos puzolánicos, a estos materiales se les conoce actualmente con el nombre de “Aditivos”.

En forma de recordatorio, un aditivo es definido, según ACI 116.R <sup>[1]</sup> como: “Materiales distintos del agua, de los agregados, del cemento hidráulico y de las fibras de refuerzo que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o

---

<sup>[1]</sup> ACI Committee 116 (1990): “Cement and Concrete Terminology”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

durante su mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que sea más adecuada a las condiciones de trabajo, que hagan posible su adecuado transporte o comportamiento, durante y después de colocado o para reducir los costos de producción”.

La historia del uso de aditivos químicos en el concreto, se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra, el 21 de octubre de 1824, un producto al que llamó “Cemento Pórtland”.

Si bien no se puede hablar de una utilización detallada de estos materiales, si existen referencias de aplicaciones pioneras de los mismos, la primera, según los registros es el uso de una adición de Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) como aditivo acelerante para el concreto en 1873, obteniéndose su patente en 1885.

Durante la época de la colonia, en Chile se utilizaba clara de huevo como aditivo y existen datos que señalan al año de 1879, como la fecha en que se usaron, por primera vez, acelerantes en Europa. Sin embargo, no es hasta el año de 1910, que se inicia la producción industrial y el desarrollo sostenido de aditivos, cuando Kaspar Winkler funda en Suiza, una empresa que introdujo y comercializó impermeabilizantes y acelerante.

Poco antes de que estallara la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), ya se utilizaban aditivos en toda Europa, en Norte y Sudamérica, y hasta en el lejano Japón. Esta fue la época del desarrollo de los aditivos “Plastiment”, los cuales, fueron los primeros plastificantes del mundo.

Los plastificantes fueron comercializados hacia 1935. Los agentes inclusores de aire aparecieron en 1939; en cuanto a los retardantes, si bien, su comercialización no tuvo lugar hasta bastante tiempo después, los efectos de ciertos productos como el azúcar, que desde 1909 se conoce su efecto retardante y el óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ ), que también ejerce un efecto similar, eran ya muy conocidos.

La norma ASTM C494 <sup>[2]</sup>, los clasifica como: TIPO A (Reductor de agua), TIPO B (Retardante), TIPO C (Acelerante), TIPO D (Reductor de agua y retardante), TIPO E (Reductor de agua y acelerante), TIPO F (Reductor de agua de amplio rango) y TIPO G (Reductor de agua de alto rango y retardante).

El uso de aditivos superplastificantes se ha convertido en una práctica bastante común. Éstos fueron desarrollados originalmente en Japón y Alemania, a principios de la década de 1960 e introducidos en los Estados Unidos de América, a mediados de la década de 1970.

Los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes, permiten que se produzca concreto empleando cantidades de agua menores, ya que cuando son usados a tasas normales, estos aditivos (clasificados por ASTM C494, como Tipo G), reducen los requerimientos de agua entre el 12% al 30%, con lo que se mejora la Resistencia a la Compresión y a la Flexión del material. Además, pueden utilizarse este tipo de aditivos para otras finalidades, como por ejemplo, mejorar la trabajabilidad, evitar la segregación de sus componentes, mantener el revenimiento en climas calurosos (como los predominantes en nuestro país), o bien, para prolongar el tiempo de fraguado del concreto, previniendo retrasos que generen pérdida de consistencia en la mezcla, debido a imprevistos que pudiesen presentarse desde el proceso de mezclado hasta la colocación del concreto en la obra.

El uso de los aditivos para concreto en El Salvador, se remonta al año de 1955, cuando se les empezó a usar en obras tales como: los comienzos de la Catedral de San Salvador; la Canaleta de Los Ausoles, en Ahuachapán; Presas “Cerrón Grande” y “15 de Septiembre”; Ampliación del Muelle de Acajutla; 15 Tanques de ANDA (Proyecto Zona Norte); Hospital Regional de San Miguel; Autopista San Salvador-Comalapa, etc.; su uso continuo, de una manera ascendente, al comprobarse en campo las bondades de estos productos.

---

<sup>[2]</sup> ASTM Designation C494/494M-99a<sup>e1</sup>: “Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto hidráulico debe cumplir con ciertas características para su utilización en la construcción de carreteras, las cuales son: ser manejable, resistente a cargas, durable, impermeable, resistente al desgaste y capaz de dársele acabados. Sin embargo, pueden presentarse situaciones en donde se requieran propiedades especiales, como por ejemplo, mayor tiempo de fraguado, rapidez en la adquisición de resistencia o la reducción del calor de hidratación. En estos casos, puede ser conveniente emplear aditivos, ya que su uso como componente en la mezcla, se espera que produzcan los efectos especiales que se requieren.

Actualmente en El Salvador, a pesar de contar con muchos datos sobre el uso de aditivos, se han realizado pocas investigaciones formales acerca de este tema. Por lo que no se cuenta con un documento ordenado, de tal forma que pueda servir de guía para los contratistas, diseñadores y/o productores de concreto. Si bien es cierto, cada uno de éstos resuelve individualmente su problema (sobre la aplicación de dicho ingrediente), se vuelve necesario sistematizar la información obtenida con base en experiencias anteriores, para facilitar ante una circunstancia específica, la identificación de las causas de los problemas y sus consecuencias.

Por medio de esta investigación, se demostrará que al utilizar un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante en el concreto, aumenta la Resistencia a Compresión y Flexión, así como también, mejora la trabajabilidad de la mezcla y retarda su tiempo de fraguado, sin afectar de forma nociva otras propiedades.

Por tal motivo, se evaluará mediante ensayos de laboratorio el comportamiento que presenta el concreto en sus propiedades de consistencia y resistencia, cuando en su diseño de mezcla se ha considerado la inclusión de este tipo de aditivo.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

- ⊕ Evaluar la influencia que tiene la variación de la dosificación de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante (Tipo G), así como también, las reducciones en el agua de mezclado, sobre las propiedades de consistencia y resistencia del concreto hidráulico utilizado en la construcción de carreteras.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ⊕ Investigar los requisitos que debe satisfacer el concreto hidráulico, para su utilización en la construcción de carreteras, así como los ensayos que deben de realizárseles a los componentes de la mezcla y al concreto mismo.
- ⊕ Obtener información de las propiedades y características del cemento, los agregados (fino y grueso), el agua y el aditivo a utilizar en la investigación, para verificar su calidad y al mismo tiempo, emplearla en el diseño de las mezclas.
- ⊕ Diseñar mezclas de concreto de peso normal, según la metodología propuesta por el Comité ACI 211.1 <sup>[3]</sup>, considerando la inclusión de un aditivo Tipo G (reductor de agua de alto rango y retardante de última generación).
- ⊕ Realizar pruebas de laboratorio al concreto en estado fresco y endurecido.
- ⊕ Evaluar el comportamiento de las propiedades de consistencia y resistencia del concreto hidráulico, mediante el análisis de los resultados obtenidos en la etapa experimental.

---

<sup>[3]</sup> ACI Committee 211.1-91 (2002): "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.5.1 ALCANCES

La investigación se enfocará en el área de Ingeniería Civil, específicamente en el ramo de construcción de carreteras, con el objeto de evaluar la influencia que tiene la variación de la dosificación de un aditivo (reductor de agua de alto rango y retardante), sobre las propiedades de consistencia y resistencia del concreto. Respaldo la validez del uso de estos materiales, mediante los resultados obtenidos en la etapa experimental.

El estudio se efectuará a nivel teórico y experimental. Delimitándose, únicamente al diseño y elaboración de las mezclas de concreto, con el fin de estudiar algunas de sus propiedades en estado fresco y endurecido, y no con el propósito de colocar un tramo de prueba para su comprobación.

Los materiales pétreos seleccionados procederán de una misma fuente, la cual, es reconocida en nuestro país y poseen una amplia trayectoria de uso, en la elaboración de pavimentos de concreto. Por lo tanto, para la realización de los diseños de las mezclas, se partirá de los datos brindados por el proveedor.

Los diseños de mezclas se realizarán siguiendo el procedimiento establecido por el Comité ACI 211.1, para “concretos de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>), considerando dos Resistencias a la Compresión ( $f'_c$ ) a los 28 días de edad, las cuales serán de 20.60 MPa (210 kg/cm<sup>2</sup>) y 32.86 MPa (250 kg/cm<sup>2</sup>), o sus equivalencias en Resistencia a la Flexión, expresado mediante su Módulo de Ruptura (MR) <sup>[4]</sup> de 3.34 MPa (34 kg/cm<sup>2</sup>) y 3.65 MPa (37 kg/cm<sup>2</sup>), respectivamente, utilizando para cada resistencia especificada, tres dosificaciones del aditivo (reductor de agua de alto rango y retardante), basadas en las especificaciones del fabricante, las cuales serán de 175, 250 y 350 mililitros por bolsa de cemento Pórtland. También se

---

<sup>[4]</sup> Haciendo uso de la ecuación  $MR = C \sqrt{f'_c}$  (Kg/cm<sup>2</sup>) propuesta por el Comité ACI 330R-01 y utilizando 2.35 como valor del coeficiente (C).

considerara, el efecto que genera en la mezcla el uso de este ingrediente, aplicando reducciones en la cantidad de agua de mezclado del 12, 20 y 30%. Cabe destacar, que no se considerará la inclusión de aire en las mezclas.

El rango especificado en la prueba de revenimiento, será de 2 a 3 pulgadas (5.0 a 7.5 cm), ya que éste, es el recomendado para efectuar en forma correcta, la colocación del concreto en la construcción de pavimentos.

El tipo de cemento a utilizar, será CESSA PAV (fabricado bajo la norma ASTM C1157 <sup>[5]</sup> Tipo HE), el cual, es un cemento hidráulico por desempeño, que alcanza resistencias mayores a 4,200 psi (295.90 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días de edad, por lo que éste es el recomendado para la elaboración de concreto utilizado en pavimentos.

Los tipos de agregados grueso a emplear, serán dos gravas trituradas con Tamaños Máximos Nominales (TMN) de ¾ de pulgada y 1 pulgada, mientras que para el agregado fino se utilizara únicamente una arena natural.

En la elaboración de las mezclas de concreto, también se utilizará un aditivo (reductor de agua de alto rango y retardante de última generación), disponible en nuestro medio.

Con referencia al proceso a seguir; se realizará el diseño de nueve mezclas de concreto, para cada resistencia en estudio, en combinación con las tres tasas de dosificación del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado, haciendo un total de dieciocho mezclas.

Para los ensayos al concreto en estado fresco, se considerará la realización de la prueba de revenimiento, siguiendo la norma ASTM C143 <sup>[6]</sup>; el control de temperatura se hará

---

<sup>[5]</sup> ASTM Designation C1157-02: "Standard Performance Specification for Hydraulic Cement", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[6]</sup> ASTM Designation C143/C143M-00: "Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

conforme lo estipula la norma ASTM C1064 <sup>[7]</sup>; el peso volumétrico y el contenido de aire según la norma ASTM C231 <sup>[8]</sup>; y el tiempo de fraguado siguiendo la norma ASTM C403 <sup>[9]</sup>, para cada proceso de elaboración de mezcla.

Los ensayos de revenimiento y temperatura serán realizados a cada una de las cinco batchadas (B<sub>1</sub> a B<sub>5</sub>), de todas las mezclas a elaborar. Mientras que los ensayos de tiempo de fraguado, peso volumétrico y contenido de aire, se efectuarán únicamente a la primer batchada (B<sub>1</sub>) de cada mezcla.

Los especímenes de ensayo (seis cilindros y seis viguetas para cada mezcla), se elaborarán y curarán, siguiendo la norma ASTM C192 <sup>[10]</sup>. En total, se realizarán 108 cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, así como también, 108 viguetas con sección transversal de 15 x 15 cm y con una longitud de 60 cm.

En cuanto a los ensayos al concreto en estado endurecido, se ensayaran dos cilindros y dos viguetas por mezcla, para cada edad (7, 28 y 56 días), según lo establecido en la norma ASTM C39 <sup>[11]</sup> y ASTM C78 <sup>[12]</sup>, para obtener valores confiables de Resistencia a Compresión y Flexión, estos resultados corroborarán la calidad de los diseños de mezclas.

---

<sup>[7]</sup> ASTM Designation C1064/C1064M-01: "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[8]</sup> ASTM Designation C231-97<sup>e1</sup>: "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[9]</sup> ASTM Designation C403/C403M-99: "Standard Test Method for Time of Setting Concrete Mixtures by Penetration Resistance", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[10]</sup> ASTM Designation C192/C192M-02: "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[11]</sup> ASTM Designation C39/C39M-05: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[12]</sup> ASTM Designation C78-02: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

Con la finalidad de obtener mayor información sobre la Resistencia a la Compresión y Flexión del concreto a diferentes edades, se interpolará con los datos obtenidos en nuestra investigación, para las edades de 3 y 14 días.

Cabe destacar, que para el diseño de las mezclas de concreto y los ensayos de laboratorio al concreto, tanto en estado fresco como endurecido, se tomará de referencia las normas ASTM y los Comités ACI.

### 1.5.2 LIMITACIONES

- ⊕ A los componentes que se utilizarán en la elaboración de las mezclas de concreto, no se les realizarán ensayos de laboratorio. Se trabajará con los datos brindados por los fabricantes, sobre los productos que distribuyen, mostrados en la ficha informativa o carta de control de calidad de éstos.
- ⊕ La investigación se limitará únicamente a estudiar por medio de ensayos de laboratorio, el comportamiento de las mezclas de concreto con aditivo (reductor de agua de alto rango y retardante), ya que no se realizará la colocación de un tramo de prueba, para su comprobación.
- ⊕ Si con alguno de los diseños de mezclas, los resultados de la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) o los módulos de ruptura (MR) del concreto excede los requisitos establecidos en las especificaciones, solo se realizarán observaciones a los mismos y no se efectuará otro diseño contemplando el uso de adiciones.

## 1.6 JUSTIFICACION

Las limitantes económicas de nuestro país, obligan a priorizar aquellos proyectos viales que se espera tengan un mayor impacto benéfico en la calidad de vida de sus habitantes, por lo cual, se hace necesario brindar calles y carreteras de mejor calidad y mayor duración.

Es por ello, que el estudio de los aditivos superplastificantes de última generación, es de suma importancia para el área de la Ingeniería Civil, en especial, en la rama de la construcción de carreteras de concreto hidráulico, porque con estos avances se generan mejoras en las técnicas y los procesos constructivos, así como también, se busca obtener soluciones factibles que permitan aumentar la calidad de las vías, disminuir los costos de construcción y brindar un buen servicio durante todo el período de tiempo, para el que han sido diseñadas.

Por tal motivo, se propone realizar una investigación que brinde información sobre el comportamiento que presentan las mezclas de concreto, cuando se le incorpora un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, en diferentes dosificaciones. Con la finalidad, de evaluar las variaciones generadas sobre las propiedades de consistencia y resistencia del concreto.

Al finalizar este trabajo de graduación, se obtendrá un documento que recopile los resultados obtenidos mediante un proceso experimental y que sirva de base para el diseño de mezclas o como material de apoyo para los contratistas, diseñadores y/o productores de concreto.



## CAPITULO II

# CONCRETO HIDRAULICO MARCO CONCEPTUAL



Monumento al Salvador del Mundo. San Salvador, El Salvador.

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## 2.1 INTRODUCCION

La palabra concreto viene del término latino “Concretus”, que significa crecer y es definido, como: “Una mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Pórtland hidráulico), un material de relleno (agregados), agua y muy frecuentemente aditivos, que al endurecerse forman un sólido compacto, que después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión y flexión”.

El concreto fabricado con cemento Pórtland ha sido considerado como el material del siglo XX, ya que se ha convertido en el material de construcción más ampliamente usado a nivel mundial, prueba de ello, son la construcción de presas, edificios, puentes, calles, carreteras y otras obras que desafían al tiempo por su durabilidad. Cuando se utiliza en la construcción de pavimentos, el concreto es elaborado bajo un estricto control de calidad, conforme parámetros de las normas ASTM y los Comités ACI, con una dosificación de materiales como son: agregados (de granulometrías controladas), cemento Pórtland, agua y aditivos químicos para mejorar las características del producto, tanto en el estado fresco como endurecido.

Para el correcto desarrollo de este trabajo de graduación es necesario conocer la terminología a emplear y el marco conceptual acerca de los temas que se abordaran a lo largo de los diferentes capítulos.

Es por esto que en este capítulo, se abordan los principales temas sobre el concreto, como son: los componentes de la mezcla, destacando principalmente, el aditivo a utilizar en el desarrollo de esta investigación; el comportamiento en estado fresco del concreto, donde se definen términos como por ejemplo, la trabajabilidad y los medios para su evaluación; el comportamiento en estado endurecido, que se enfatiza en el desempeño del concreto como material de construcción, a través de su comportamiento mecánico (Resistencia a la Compresión y Flexión); el mezclado, transporte, colocación y finalmente, los métodos de curado para el concreto.

## **2.2 GENERALIDADES DEL CONCRETO HIDRAULICO**

### **2.2.1 ANTECEDENTES Y EVOLUCION (EN SU USO PARA CARRETERAS)**

El desarrollo de los pavimentos de concreto fabricados con cemento Pórtland, se inició en 1865 en Inverness (Escocia). Las experiencias que le siguieron fueron las pavimentaciones hechas en Edimburgo (Escocia) en 1866 y 1872.

En América, el primer registro en la construcción de pavimentos de concreto se remonta a 1891, cuando George Bartholomew en Bellfontaine (Ohio, Estados Unidos de América), construyó una franja de 80.0 m de largo y 2.4 m de ancho, que aún hoy existe. Dos años, se construyó ahí mismo, el primer pavimento con el ancho de una vía, el cual fue cruzado con éxito por el primer vehículo de combustión interna.

Hasta el año de 1908, se había construido en Estados Unidos de América alrededor de 10,000 km de estos pavimentos, aplicándose exclusivamente en calles, pero a partir de 1909 se iniciaron sus aplicaciones en caminos rurales. Esta tecnología se desarrollo rápidamente en ese país con estudios, ensayos de laboratorio y tramos de prueba a escala natural.

En España, se introduce en 1915 con aplicaciones dispersas, encontrándolas en aquella época en Canarias y en la Carretera de Barcelona a Santa Cruz Calafell (España). En Suiza, Alemania, Francia y en otros países europeos, las pavimentaciones urbanas con concreto fueron bastante usuales, aunque en menor proporción comparado con la ciudad de Buenos Aires en Argentina y Santiago de Chile.

En El Salvador, la tecnología del concreto en pavimentos se introdujo en 1924, luego de que para 1928 se construyeran un total de 15,250 m<sup>2</sup> como parte del proyecto "Saneamiento y Pavimentación de San Salvador"; que se inicio en marzo de 1924, en el Campo Marte ahora Parque Infantil y Avenida Independencia, simultáneamente, finalizando el 30 de junio de 1928.

A partir de 1933, se entra realmente en la era industrial de los pavimentos de concreto, primero en Alemania, como una lucha contra el desempleo e igualmente, para permitir el desplazamiento rápido y seguro de las unidades militares.

Luego de un leve estancamiento en la construcción de carreteras utilizando concreto en nuestro país, fue hasta el año 1960 que se continuó con esta técnica en la Tercera Calle Poniente costado Norte de la actual Lotería Nacional de Beneficencia y 24 Avenida Norte frente al actual Mercado “La Tiendona”. Entre el periodo de 1961 a 1970, se construyeron: un Tramo en la Avenida España, 49ª Avenida Sur en San Salvador y 2ª Calle Oriente en Santa Tecla.

En 1970 en El Salvador, se inicio la construcción de la primera carretera de 20 kilómetros de longitud, utilizando pavimentos de concreto hidráulico en losas de 20 cm de espesor con Módulo de Ruptura (MR) de  $38.7 \text{ kg/cm}^2$  (550 psi).

En 1999 los pavimentos de concreto en El Salvador representaban el 1% del total de la red vial pavimentada, a finales de 2006 había alcanzado el 12% aproximadamente de la red administrada por el MOP. Porcentaje que se verá sustancialmente incrementado con la finalización del Boulevard Diego de Holguín (actualmente en construcción); La Cuchilla – Sitio del Niño; San Martín – Desvío de Ilopango; San Salvador – Aeropuerto Internacional El Salvador (AIES) y Zacatecoluca – Puente San Marcos Lempa. De aquí la importancia del estudio, de cómo hacer mezclas más eficientes tales que su desempeño sea el esperado a corto, mediano y largo plazo, a través del uso de diferentes tipos de aditivos solos o combinados.

## 2.2.2 CARACTERISTICAS QUE DEBE SATISFACER EL CONCRETO PARA SU UTILIZACION EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

Con referencia a las especificaciones del concreto para pavimentos en carreteras, la resistencia seleccionada debe ser adecuada al uso y tiempos de servicio, pero para propósitos de diseño y durabilidad, el Comité ACI 316 <sup>[13]</sup> recomienda que las resistencias especificadas del concreto no deben ser menores de 4.5 MPa (45.7 kg/cm<sup>2</sup>) de Resistencia a la Flexión a 28 días de edad, en viguetas con carga en el tercio medio, y de 28 MPa (281.2 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días, en muestras probadas a compresión (cilindros), con contenidos mínimos de cemento de 335 kg/m<sup>3</sup> (7.88 bolsas de cemento/m<sup>3</sup>). Sin embargo, si la experiencia y los materiales empleados demuestran que se pueden disminuir estas especificaciones, dicho Comité recomienda que la Resistencia a la Flexión a 28 días de edad no sea, inferior a 3.9 MPa (38.7 kg/cm<sup>2</sup>) y que el contenido de cemento en ningún caso sea menor de 280 kg/m<sup>3</sup> (6.59 bolsas de cemento/m<sup>3</sup>).

En todo caso, la experiencia local ha demostrado que para pavimentos, la Resistencia a la Flexión funcional (MR) oscila entre 3.92 – 4.41 MPa (40 - 45 kg/cm<sup>2</sup>) dependiendo del tipo de tráfico y/o del diseño de la estructura del pavimento.

Por otra parte, dependiendo de los sistemas de colocación y de compactación, se recomienda utilizar una consistencia entre 1 pulgada (25 mm) (con terminadora vibratoria) y 3 pulgadas (75 mm) (colocación manual) <sup>[14]</sup>.

Para obtener buena resistencia a la abrasión, se recomienda utilizar tamaños máximos del agregado superiores a 1 pulgada (25 mm), así como el uso de relaciones de agua/cemento

---

<sup>[13]</sup> ACI Committee 316-74: "Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

<sup>[14]</sup> Sánchez de Guzmán, Diego (2007): "Concretos de alto desempeño"; Revista del ISCYC: Año 12, No.46, pág. 15. ISCYC. El Salvador.

(A/C) bajas (0.40 – 0.45). De igual modo, se recomienda un contenido mínimo de aire de acuerdo a las condiciones de exposición<sup>[14]</sup>.

En lo concerniente a los concretos para pavimentos, hay necesidad de que el fraguado inicial se difiera al máximo, para permitir el transporte y la colocación en la obra, y se exige una resistencia bastante alta. Sin embargo, a menos que se necesite dar al servicio la vía en un plazo corto, se trata de buscar una retracción y un calor de hidratación lo más bajo posibles, así como una gran regularidad en la fabricación.

### 2.2.3 VENTAJAS

Entre las principales ventajas de un pavimento de concreto, podemos mencionar:

- ⊕ **DURABILIDAD**, los pavimentos de concreto realizados mediante un buen diseño de mezcla, con los procesos constructivos adecuados y utilizando materiales de calidad, son capaces de durar por muchos años, prestando un servicio aceptable a los usuarios que transitan por éste.
- ⊕ **BAJO COSTO DE MANTENIMIENTO**, los pavimentos rígidos se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es sin duda, una de las ventajas principales que ofrecen estas alternativas de pavimentación. La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía, permite que el concreto sea una opción muy económica.
- ⊕ **SEGURIDAD**, el concreto colocado bajo las especificaciones y con los equipos adecuados permite lograr una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad y dada su rigidez esta superficie permanece plana durante toda su vida útil. Por el color claro del pavimento de concreto hidráulico se tiene una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en la oscuridad de días nublados.

- ⊕ **ALTOS INDICES DE SERVICIO**, los pavimentos de concreto permiten ser construidos con altos índices de servicio, debido a que con este material se puede lograr un alto grado de planicidad o un índice de perfil muy bueno.
- ⊕ **MEJOR DISTRIBUCION DE ESFUERZOS BAJO LAS LOSAS**, dada la rigidez de la losa de concreto, los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento (base y subrasante), se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, esto permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean significativamente menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

### 2.3 COMPONENTES DEL CONCRETO HIDRAULICO

Cuando hablamos de concreto es necesario tener en cuenta que debemos hablar también de sus componentes: cemento, arena, grava, agua, aire y aditivos, si se usarán (Véase Figura 2.1).

**Figura 2.1:** Componentes del concreto.



Figura tomada de: [www.cement.org](http://www.cement.org)

Además, es necesario conocer la composición del concreto. El concreto es obtenido mediante la mezcla de mortero y agregado grueso, en donde el término “Mortero” hace referencia a la mezcla de pasta y agregado fino (arena) y el término “Pasta” se refiere a la mezcla de cemento, agua, aire (naturalmente atrapado o intencionalmente incorporado) y aditivos, cuando son empleados (Véase Figura 2.2).

Figura 2.2: Composición del concreto.



Los autores (2009).

### 2.3.1 CEMENTANTES

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella. Los principales cementantes son: los cementos hidráulicos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones (Véase Figura 2.3).

Figura 2.3: Materiales cementantes.



Figura tomada de: [www.cement.org](http://www.cement.org)

#### 2.3.1.1 TIPOS DE CEMENTO

El tipo de cemento a utilizar en una obra, dependerá de las necesidades propias del proyecto. De esta forma, los tipos de cementos deberán especificarse por las normas respectivas.

Las normas ASTM para los distintos tipos de cemento, se muestran en la Tabla 2.1 y son las siguientes:

**Tabla 2.1:** Normas ASTM que rigen cada tipo de cemento.

TIPOS DE CEMENTO	NORMA
Cemento Pórtland sin adiciones	ASTM C150
Cemento Pórtland con adiciones hidráulicamente activas	ASTM C595
Cemento Siderúrgico	-----
Cemento Puzolánico	ASTM C1157
Cemento Aluminoso	-----
Cemento de Mampostería	ASTM C91
Cemento Blanco	ASTM C150

Fuente: Folletos de clase de la materia "Tecnología del Concreto". UES (2007).

### 2.3.1.1.1 CEMENTO ASTM C1157

Los cementos puzolánicos, son los que se obtienen por la molienda conjunta de clínker de cemento Pórtland y regulador del fraguado, en proporción inferior al 80% en peso y puzolana en proporción superior al 20% en peso, éstos están regidos por la norma ASTM C1157 y sus aplicaciones, están definidas como se indica en la Tabla 2.2, a continuación:

**Tabla 2.2:** Aplicaciones de los cementos ASTM C1157.

TIPO	CARACTERISTICAS
GU	Cemento hidráulico mezclado para construcciones generales. Se usa cuando uno o más de los tipos especiales no son requeridos.
HE	Alta resistencia temprana
MS	Moderada resistencia a los sulfatos
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: Norma ASTM C1157.

El cemento ASTM C1157 Tipo HE, en nuestro país es comercializado bajo el nombre de "CESSA PAV", éste es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma

composición química del cemento Tipo I, pero con adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final.

Este cemento alcanza resistencias a la compresión mayores que la obtenida por los otros cementos regidos por la norma ASTM C1157, ya que a los 28 días rebasa los 4,200 psi. (Véase Figura 2.4).

**Figura 2.4:** Resistencia en psi de los cementos ASTM C1157, a diferente edades.

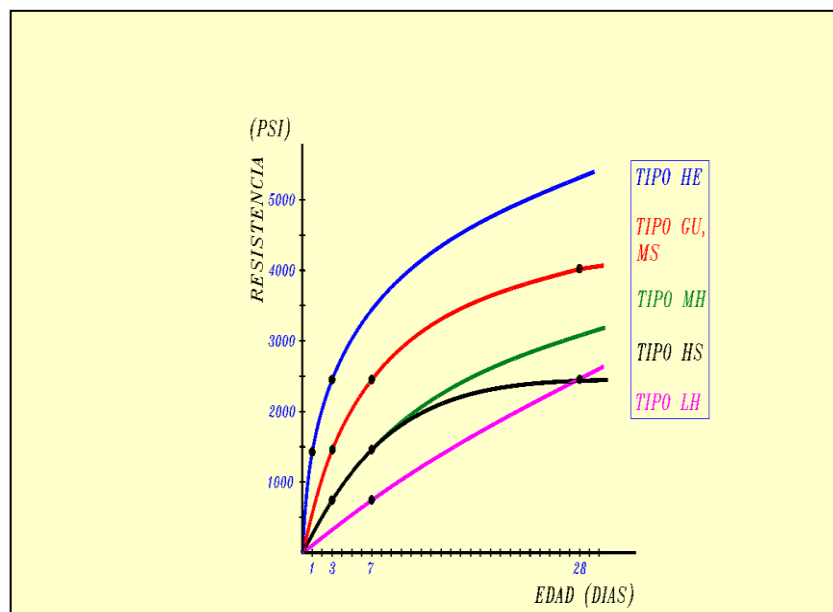


Figura tomada de: Folletos de clase de la materia "Tecnología del Concreto". UES (2007).

Además, entre sus características se puede mencionar, una mayor resistencia a los agentes químicos; se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar; tener menor dilatación y ser más impermeable que el Cemento Pórtland, disminuyendo la exudación y segregación. Al comparar los tipos de cemento regidos por ASTM C1157, obtenemos los requerimientos físicos que se muestran en la Tabla 2.3 y son los siguientes:

**Tabla 2.3:** Requerimientos físicos de cementos con adición.

TIPOS DE CEMENTO	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Expansión al autoclave, Máx. %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de fraguado, prueba de Vicat						
Inicial, mín. (minutos)	45	45	45	45	45	45
Final, máx. (minutos)	420	420	420	420	420	420
Resistencia a la compresión. (psi)						
Min. 1 día.	-	1,450	-	-	-	-
3 días.	1,450	2,465	1,450	725	725	-
7 días.	2,465	-	2,465	1,450	1,450	725
28 días.	4,060	-	4,060	2,465	3,190	2,495
Calor de hidratación, cal/g						
Máx. 7 días.	-	-	-	-	70	60
28 días.	-	-	-	-	-	70
Resistencia a sulfatos, exp. %						
Máx. 6 meses	-	-	0.10	0.05	-	-
1 año	-	-	-	0.10	-	-

Fuente: Norma ASTM C1157.

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este cemento es principalmente adecuado para la construcción de pavimentos de concreto, estabilización de suelos y bases granulares.

En el año 2005, el valor de la gravedad específica ( $G_s$ ) del cemento bajo norma ASTM C1157 Tipo HE producido en nuestro país, era de 2.99 pero actualmente (Junio del 2008) éste es de 2.93.

### 2.3.2 AGREGADOS

Los agregados ocupan en la mezcla de concreto aproximadamente del 60% al 75% del de su volumen (70% a 85% en peso), por lo que las características y propiedades de éstos, influyen notablemente en: 1) las proporciones de la mezcla, 2) la economía, 3) las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido.

En el documento ACI 116, "Terminología del Cemento y del Concreto", se define a los agregados como: "Materiales granulares tales como: arena, grava, roca triturada, concreto hidráulico reciclado o escoria de alto horno, que se usan junto con un medio cementante hidráulico para producir ya sea mortero o concreto". La razón principal para utilizar agregados

dentro del concreto, es que éstos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla.

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

- ⊕ Su origen,
- ⊕ El método de fragmentación,
- ⊕ El tamaño de las partículas y
- ⊕ Sus propiedades químicas.

Los agregados usados en la construcción de pavimentos de concreto, se clasifican generalmente, de acuerdo al tamaño de las partículas. Estos incluyen: agregados gruesos (gravas) y agregados finos (arenas).

Cuando la mezcla de concreto pasa del estado fresco al endurecido, durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta, evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica, los cuales, pueden afectar la resistencia del concreto. Además, parte de la resistencia propia de los agregados es aportada a la Resistencia a la Compresión del concreto ( $f'_c$ ).

Las normas sobre agregados comprenden: agregados de peso normal (ASTM C33 <sup>[15]</sup>), tamaños recomendados de las existencias de agregados para construcción de carreteras (ASTM D448 <sup>[16]</sup>) y agregados livianos (ASTM C330 <sup>[17]</sup> y ASTM C332 <sup>[18]</sup>). Estas

---

[15] ASTM Designation C33-03: "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

[16] ASTM Designation D448-03a: "Standard Classifications for Sizes of Aggregates for Road and Bridge Construction", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

[17] ASTM Designation C330-03: "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

especificaciones, limitan las cantidades permisibles de sustancias deletéreas (materiales perjudiciales) e informan de los requisitos para las características de los agregados. No obstante, es importante señalar que el hecho, de que los agregados satisfagan los requisitos de la normas, no garantiza necesariamente un concreto libre de defectos.

Se requiere, por lo general, que los agregados sean: limpios, duros, sanos y durables, que desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento, libres de recubrimientos de arcilla y de impurezas que interfieran el desarrollo de la resistencia del cemento y que los tamaños de las partículas de los agregados estén comprendidos entre los límites establecidos, comúnmente bastante amplios (Véase Figura 2.5).

**Figura 2.5:** Ejemplo de los límites establecidos para una curva de granulometría en particular.

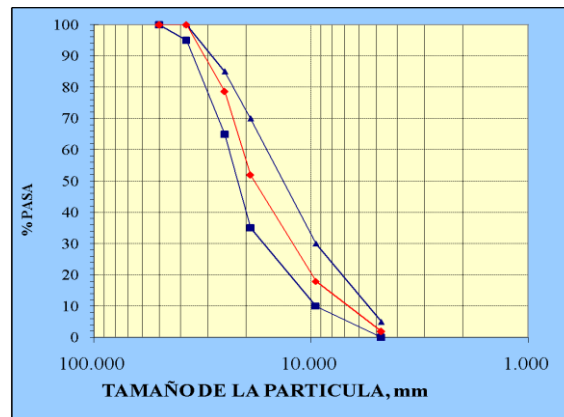


Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

### 2.3.2.1 AGREGADOS GRUESOS

El agregados grueso (grava) consiste en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado, cuyas partículas sean predominantemente mayores que 4.75 mm (malla N° 4) y generalmente, entre 9.50 mm (malla de 3/8 de pulgada) y 37.50 mm (malla de 1 1/2 pulgada) (Véase Figura 2.6).

---

[18] ASTM Designation C332-99: "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

**Figura 2.6:** Agregados gruesos para concreto.



Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

### 2.3.2.2 AGREGADOS FINOS

El agregado fino (arena) comúnmente consiste en arena natural o piedra triturada, siendo la mayoría de sus partículas menores de 4.75 mm (malla N°4), pero mayores de 0.75 mm (malla N° 200) (Véase Figura 2.7).

**Figura 2.7:** Agregado fino para concreto.



Figura tomada de: [www.piolin.cl/img/arena.jpg](http://www.piolin.cl/img/arena.jpg)

### 2.3.2.3 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

Las características comúnmente evaluadas a los agregados y los requisitos mínimos que deberán cumplir, se detallan a continuación:

### 2.3.2.3.1 GRANULOMETRIA

La norma ASTM C136 <sup>[19]</sup>, lo define como: “La distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por el análisis de tamices”. Los tamices estándar para determinar la graduación de los agregados finos son: 3/8”, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y para el agregado grueso: 3”, 2”, 1½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N° 4.

La norma ASTM C33, establece los requisitos de granulometría para agregados gruesos (Véase Tabla 2.4) y agregados finos (Véase Tabla 2.5), es decir, indica la zona donde debe estar contenido el diagrama granulométrico (curva de granulometría), para que el material sea aceptable, para ser utilizado en la elaboración de concreto.

**Tabla 2.4:** Tamaños estándares de agregado grueso.

Número del tamaño	Tamaño Nominal, Abertura Cuadrada	Cantidades más finas que cada malla de laboratorio (abertura cuadrada), peso %														
		100.00 mm (4 in)	90.00 mm (3½ in)	75.00 mm (3 in)	63.00 mm (2½ in)	50.00 mm (2 in)	37.50 mm (1½ in)	25.00 mm (1 in)	19.00 mm (¾ in)	12.50 mm (½ in)	9.50 mm (¾ in)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300.00 µmm (N° 50)	150.00 µmm (N° 100)
1	90 hasta 37.5 mm (3½ in hasta 1½ in)	100	90 hasta 100	.....	25 hasta 60	.....	0 hasta 15	.....	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	63 hasta 37.5 mm (2½ in hasta 1½ in)	.....	.....	100	90 hasta 100	35 hasta 70	0 hasta 15	.....	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	50 hasta 25 mm (2 in hasta 1 in)	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	35 hasta 70	0 hasta 15	.....	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....	.....	.....
357	50 hasta 4.75 mm (2 in hasta No 4)	.....	.....	.....	100	95 hasta 100	.....	35 hasta 70	.....	10 hasta 30	.....	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....
4	37.5 hasta 19 mm (1½ in hasta ¾ in)	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	20 hasta 55	0 hasta 15	.....	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....	.....
467	37.5 hasta 4.75 mm (1½ in hasta N° 4)	.....	.....	.....	.....	100	95 hasta 100	.....	35 hasta 70	.....	10 hasta 30	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....
5	25 hasta 12.5 mm (1 in hasta ½ in)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	20 hasta 55	0 hasta 10	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....	.....
56	25 hasta 9.5 mm (1 in hasta ¾ in)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	40 hasta 85	10 hasta 40	0 hasta 15	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....
57	25 hasta 4.75 mm (1 in hasta N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	100	95 hasta 100	.....	25 hasta 60	.....	0 hasta 10	0 hasta 5	.....	.....	.....
6	19 hasta 9.5 mm (¾ in hasta ½ in)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	20 hasta 55	0 hasta 15	0 hasta 5	.....	.....	.....	.....
67	19 hasta 4.75 mm (¾ in hasta N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	.....	20 hasta 55	0 hasta 10	0 hasta 5	.....	.....	.....
7	12.5 hasta 4.75 mm (½ in hasta N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	40 hasta 70	0 hasta 15	0 hasta 5	.....	.....	.....
8	9.5 hasta 2.36 mm (¾ in hasta N° 8)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 hasta 100	10 hasta 30	0 hasta 10	0 hasta 5	.....	.....
89	9.5 hasta 1.18 mm (¾ in hasta N° 16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 hasta 100	20 hasta 55	5 hasta 30	0 hasta 10	0 hasta 5	.....
9 <sup>a</sup>	4.75 hasta 1.18 mm (N° 4 hasta N° 16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 hasta 100	10 hasta 40	0 hasta 10	0 hasta 5	.....

<sup>a</sup> El tamaño número 9 de agregado es definido en terminología C125 como un agregado fino. Esta incluido como un agregado grueso cuando este es combinado con un tamaño número 9 para crear un tamaño número 89, tal cual es definido como un agregado grueso por la terminología C125.

Fuente: Norma ASTM C33.

[19] ASTM Designation C136-01: “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine of Coarse Aggregates”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

**Tabla 2.5:** Requisitos de granulometría para agregado fino.

TAMAÑO DE MALLA	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO
9.50 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (Nº 4)	95 a 100
2.36 mm (Nº 8)	80 a 100
1.18 mm (Nº 16)	50 a 85
0.60 mm (Nº 30)	25 a 60
0.30 mm (Nº 50)	5 a 30
0.15 mm (Nº 100)	0 a 10

Fuente: Norma ASTM C33.

### 2.3.2.3.1.1 ANALISIS GRANULOMETRICO

Se refiere a la sencilla operación de separar una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales, consta de partículas del mismo tamaño.

La operación de separar el agregado en fracciones de igual tamaño, consiste en hacerlo pasar a través de una serie de tamices, ya sea de forma manual o mediante la utilización de un equipo mecanizado (ROT-TAP) (Véase Figura 2.8).

**Figura 2.8:** Equipo utilizado para realizar análisis granulométrico de agregados.

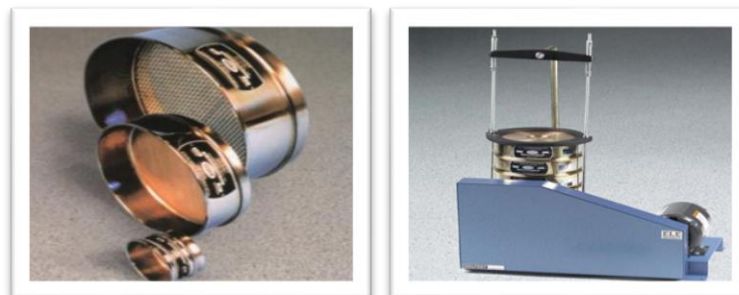


Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

Se ha establecido, para fines prácticos, que la abertura de cualquier tamiz corresponda aproximadamente a la mitad de la abertura del tamiz inmediatamente superior de la serie de tamices que se usan en agregados para concreto.



(A/C) se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría, sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones, se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla de concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniformemente distribuida sea la granulometría mayor será la economía.

### 2.3.2.3.1.3.1 MODULO DE FINURA (MF)

El módulo de finura (MF), según la norma ASTM C125 <sup>[20]</sup>, es definido como: “La sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices que van de la malla N° 4 (4.75 mm) a la N° 100 (0.15 mm) dividido por 100”. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura (MF) son: la de 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 1.18 mm (N° 16), 0.60 mm (N° 30), 0.30 mm (N° 50), 0.15 mm (N° 100). El módulo de finura (MF) es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea éste valor, más grueso será el agregado fino.

La composición granulométrica de la arena suele identificarse por su módulo de finura (MF), como se define en la norma ASTM C125. La Tabla 2.6 muestra la clasificación de la arena con base en su módulo de finura (MF).

**Tabla 2.6:** Clasificación del agregado fino, según el Módulo de Finura (MF).

MODULO DE FINURA (MF)	CLASIFICACION
Menor a 2.0	Muy fina
2.0 a 2.3	Fina
2.3 a 2.6	Medio fino
2.6 a 2.9	Media
2.9 a 3.2	Medio gruesa
3.2 a 3.5	Gruesa
Mayor a 3.5	Muy gruesa

Fuente: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

---

<sup>[20]</sup> ASTM Designation C125-02: “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

Considerándose que un módulo de finura (MF) menor que 2.3, es un indicativo de una arena demasiado fina y mayor que 3.1, como una arena demasiado gruesa para usarse en el concreto.

Las arenas muy finas, a pesar de generar buena trabajabilidad pueden resultar antieconómicas, debido a que se necesita más pasta para cubrir a las partículas; las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables.

#### **2.3.2.3.1.4 GRANULOMETRIA PARA EL AGREGADO GRUESO**

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien, los efectos que produce la granulometría de la grava sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena, éstos deben tenerse en cuenta.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente, se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores.

##### **2.3.2.3.1.4.1 TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS**

El tamaño máximo del agregado, es otro factor que se deriva del análisis granulométrico. La norma ASTM C125 y el Comité ACI 116, lo definen como: "El menor tamaño de malla, por el cual todo el agregado debe pasar".

En general, cuanto más grande es el tamaño máximo del agregado, más pequeña será el área de la superficie por unidad de volumen que ha de ser cubierta por la pasta de cemento, de una relación dada de agua/cemento (A/C).

En la práctica, lo que indica el tamaño máximo de un agregado es el mayor tamaño de partícula que hay dentro de la masa de agregados, el cual, debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la estructura o cualquier otro elemento que se va a construir.

De acuerdo con los Comités ACI 211.1 y ACI 318 <sup>[21]</sup>, en la industria de la construcción, el tamaño máximo del agregado, no deberá ser mayor que: 1) la quinta parte (1/5) de la dimensión más angosta de la cimbra, en la cual, el concreto ha de colarse, 2) ni tampoco deberá ser mayor de tres cuartos (¾) de la distancia libre máxima entre varillas de refuerzo y 3) un tercio (⅓) del peralte de las losas. Estos requisitos pueden rebasarse si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen vacíos.

#### **2.3.2.3.1.4.2 TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE LAS PARTICULAS**

En la práctica, lo que indica el Tamaño Máximo Nominal (TMN), es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado, y es el que está definido en la norma ASTM C125 y el Comité ACI 116, como: “El menor tamaño de malla, por el cual, debe pasar la mayor parte del agregado”.

La malla de Tamaño Máximo Nominal (TMN), puede retener de 5 al 15% del agregado dependiendo del número de tamaño de la granulometría (o tamaño de granulometría), establecidos en la norma ASTM C33. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 (Véase Tabla 2.4) tiene un tamaño máximo de 1 pulgada (25 mm) y un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de ¾ de pulgada (19 mm). Del 90 al 100% de este agregado, debe pasar la malla de ¾ de pulgada (19 mm) y todas sus partículas deberán pasar la malla de 1 pulgada (25 mm).

La mayor utilidad de este factor con respecto al tamaño máximo, estriba en que el Tamaño Máximo Nominal (TMN) define mejor el tamaño de las partículas más grandes de la masa de agregados en su fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo solo indica el

---

<sup>[21]</sup> ACI Committee 318-02: “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

tamaño de la partícula más grande que hay en la masa, la cual, en algunos casos puede ser única.

### 2.3.2.3.2 MATERIALES PERJUDICIALES (MATERIALES DELETEREOS)

Existen diversos materiales contaminantes que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto; entre los que podemos encontrar: las impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquistos, óxido de hierro (FeO), carbón mineral, lignito y algunas partículas suaves y ligeras, los cuales, son indeseables en los agregados, pues incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos.

En la Tabla 2.7, se enlistan los métodos de prueba de ASTM para detectar cuantitativamente y cualitativamente tales sustancias.

**Tabla 2.7:** Materiales perjudiciales en los agregados.

SUSTANCIAS	EFEECTO EN EL CONCRETO (NORMA)
Impurezas Orgánicas.	Afectan al fraguado y el endurecimiento, pueden causar deterioros. (ASTM C40 Y ASTM C87)
Material más fino que la malla N° 200.	Afecta a la adherencia, aumenta la cantidad de agua requerida. (ASTM C117)
Carbón, lignito u otros materiales de peso ligero.	Afectan a la durabilidad, pueden ser causa de manchas y erupciones. (ASTM C123)
Partículas suaves.	Afectan la durabilidad. (ASTM C142)
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables.	Afectan a la trabajabilidad y a la durabilidad, pueden provocar erupciones. (ASTM C142)
Horsteno de densidad relativa inferior a 2.40	Afecta a la durabilidad, puede provocar erupciones. (ASTM C123 y ASTM C295)
Agregados activos con los álcalis.	Expansión anormal, agrietamiento en forma de mapa, erupciones. (ASTM C227, ASTM C289, ASTM C295, ASTM C342, ASTM C586)

Fuente: Folletos de clase de la materia "Tecnología del Concreto". UES (2007).

La mayoría de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias en los agregados (Véase Tabla 2.8 y 2.9). La historia del comportamiento de un agregado debe ser un factor determinante al fijar los límites de los materiales perjudiciales.

**Tabla 2.8:** Límites de las sustancias deletéreas en las arenas.

CONCEPTO	CONTENIDO MAXIMO, % EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL
Partículas desmenuzables	1.0
Material más fino que la malla N° 200	
Concretos sujetos a la abrasión	3.0 <sup>A</sup>
Todos los otros concretos	5.0 <sup>A</sup>
Partículas ligeras (carbón y lignito)	
Donde la apariencia de la superficie de concreto es de importancia	0.5
Todos los otros concretos	1.0

<sup>A</sup> En el caso de material producto de trituración, estos límites se pueden incrementar hasta 5 y 7%, respectivamente.

Fuente: Norma ASTM C33.

**Tabla 2.9:** Límites de las sustancias deletéreas en las gravas <sup>[22]</sup>.

CONCEPTO	CONTENIDO MAXIMO, % EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL
Partículas desmenuzables	0.3
Partículas blandas <sup>A</sup>	5.0
Material más fino que la malla N° 200	1.0 <sup>B</sup>
Partículas ligeras (carbón y lignito)	
Donde la apariencia de la superficie de concreto es de importancia	0.5
Todos los otros concretos	1.0
Partículas intemperizadas <sup>C</sup> , que se desintegran a los 5 ciclos del ataque de los sulfatos o a los 50 ciclos de congelación y deshielo en agua <sup>D</sup> , o que tienen peso específico saturado y superficialmente seco (sss) inferior a 2.35:	
Exposición severa	1.0
Exposición benigna	5.0

<sup>A</sup> Aplicable para concretos expuestos a la abrasión (pisos, pavimentos, etc.)

<sup>B</sup> Si el material es producto de trituración se puede incrementar 1.5%.

<sup>C</sup> Esto se aplica cuando, en alguna variedad de cuarzo, aparece como impureza. No se aplica a concretos hechos con agregados, donde predomina este material. Su sanidad se deberá basar, en la experiencia de su aplicación.

<sup>D</sup> Esta desintegración, es un rompimiento visible, en las partículas.

Fuente: Norma ASTM C33.

<sup>[22]</sup> Coto, José Aguilar (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Pág. 48, Tesis UES.

### 2.3.2.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA (DENSIDAD O PESO ESPECIFICO)

El peso específico (densidad relativa) de un agregado, es: “La relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión), considerando que todos los vacíos permeables están llenos de agua pero sin agua superficial”. Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, particularmente aquellos para convertir el peso de las partículas irregulares en forma a volumen saturado superficie seca (SSS) o a volumen sólido. Generalmente, no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen pesos específicos entre 2.40 y 2.90.

Los métodos de prueba para determinar los pesos específicos de los agregados gruesos y finos, se describen en las normas ASTM C127<sup>[23]</sup> y ASTM C128<sup>[24]</sup>, respectivamente.

### 2.3.2.3.4 SANIDAD

Esta propiedad permite establecer la calidad física intrínseca de las rocas que constituyen los agregados, y define su aptitud para resistir y permanecer inalterables, bajo condiciones de servicio que generan acciones destructivas por cambios de volumen en el concreto, especialmente las que corresponden al intemperismo (humedad y secado, variaciones extremas de temperatura y congelación-deshielo). La prueba con que se mide la sanidad de los agregados está regulada por la norma ASTM C88<sup>[25]</sup>.

---

<sup>[23]</sup> ASTM Designation C127-01: “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Course Aggregate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[24]</sup> ASTM Designation C128-01: “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[25]</sup> ASTM Designation C88-99a: “Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

### **2.3.2.3.5 ABSORCION, CONTENIDO DE HUMEDAD Y POROSIDAD**

La absorción y humedad de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C70 <sup>[26]</sup>, ASTM C127, ASTM C128 y ASTM C566 <sup>[27]</sup>, de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

#### **2.3.2.3.5.1 ABSORCION**

La absorción (A%), se define como: “La capacidad del agregado para llenar de agua sus poros permeables”, así pues depende del tamaño, continuidad y cantidad total de los mismos.

La absorción de agua en los agregados se determina midiendo el aumento de peso de una muestra secada en horno y sumergida después en agua durante 24 horas, habiendo quitado el agua de la superficie. El agregado grueso tiene niveles de absorción hasta 4%, y para el agregado fino hasta 6%.

Cuando todos los poros del agregado están llenos de agua, se dice que el agregado está “SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO” (SSS). Si se deja que un agregado en esas condiciones quede expuesto al aire seco, por ejemplo en el laboratorio, parte del agua contenida en los poros se evaporará y el agregado ya no estará saturado, sino “SECADO AL AIRE”. Los agregados “SECADOS AL HORNO”, no contienen ninguna cantidad de agua libre o absorbida.

Los agregados gruesos provenientes de Ateos en el Departamento de La Libertad (cantera ubicada sobre la carretera a Sonsonate, 28.5 km al poniente de la ciudad capital, San Salvador); San Diego en el Departamento de La Libertad (cantera ubicada sobre la carretera del

---

<sup>[26]</sup> ASTM Designation C70-94 (2001): “Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[27]</sup> ASTM Designation C566-97 (2004): “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

Litoral, 34 km al sur de la ciudad capital, San Salvador) y Gravas del Pacifico (cantera ubicada al suroriente de la ciudad capital, San Salvador) presentan valores de absorción en porcentaje de 1.66, 1.98 y 2.01%, respectivamente. Mientras que los agregados finos provenientes de Horizontes del Norte en el Departamento de La Paz (cantera ubicada en Comalapa al oriente de la ciudad capital, San Salvador) y del río Las Cañas (que corre en el borde oriental de la ciudad capital, San Salvador), éstos presentan porcentajes de absorción de 3.61 y 5.43%, respectivamente <sup>[28]</sup>.

### 2.3.2.3.5.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

La estructura interna de una partícula de agregado, se constituye de materia sólida y de vacíos que pueden contener o no agua. El contenido de humedad (CH%), es la relación entre el peso del agua contenido en el agregado y el peso del agregado sólido seco, expresado en porcentaje.

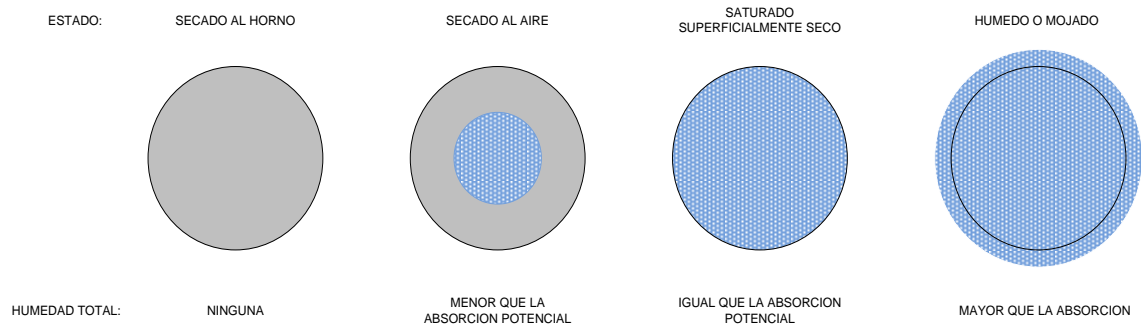
Las condiciones de humedad de los agregados, se muestran en la Figura 2.10 y son:

1. **SECADOS AL HORNO:** Son completamente absorbentes.
2. **SECADOS AL AIRE:** Están secos en la superficie de la partícula pero contienen cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
3. **SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SECOS (SSS):** No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
4. **HUMEDOS:** Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

---

[28] Cañas Lazo, Manuel Antonio y otros (1999): "Establecimiento de una relación entre el Módulo de Ruptura ( $f_r$ ) y la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) para mezclas de concreto hidráulico en El Salvador". Trabajo de Investigación UPES.

**Figura 2.10:** Condiciones de humedad en los agregados.



Los autores (2009).

Hay que diferenciar entre absorción (A%) y contenido de humedad (CH%), ya que la absorción es un valor constante del agregado y el contenido de humedad es variable en función de la exposición del agregado al intemperismo (sol, lluvia, viento, etc.).

Cualquier cantidad de agua que se encuentre en la superficie de los agregados, contribuirá a aumentar el agua de la mezcla y ocupará un volumen, además del de las partículas del agregado.

Cuando el agregado está expuesto a la lluvia, se acumula una cantidad considerable de humedad en la superficie de las partículas y a excepción de la parte superior del apilamiento de los agregados, esa humedad se conserva durante mucho tiempo. Esto ocurre especialmente cuando se trata del agregado fino.

Los contenidos de agua libre normalmente varían desde 0.5 hasta 2.0% para el agregado grueso, y desde 2.0 hasta 6.0% para el agregado fino.

El contenido de humedad del agregado cambia con el clima, y varía también de una pila a otra, por lo que es necesario determinar con frecuencia dicho valor. El agregado grueso retiene mucho menos agua que la arena, tiene un contenido de humedad menos variable y, por lo tanto, presenta menos dificultades.

### **2.3.2.3.5.3 POROSIDAD**

La porosidad de las partículas del agregado, es muy importante en el comportamiento de éstos dentro del concreto, porque una partícula porosa, es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo que afecta no solo las propiedades mecánicas, como son: la adherencia, la Resistencia a la Compresión y la Flexión, sino también, las propiedades de durabilidad, tales como: la resistencia al congelamiento y deshielo, la estabilidad química y la resistencia a la abrasión. La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua u otro líquido dentro de los agregados (según el tamaño de los poros), la permeabilidad y su volumen total.

### **2.3.2.3.6 FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS**

Son características que normalmente representan la calidad intrínseca de las rocas que constituyen los agregados, influyen más en las propiedades del concreto fresco, que en las propiedades del concreto endurecido.

#### **2.3.2.3.6.1 FORMA DE LAS PARTICULAS**

La forma, se refiere a las características geométricas del agregado, pudiendo clasificarse en: subredonda (bordes casi eliminados), redonda (sin caras ni bordes), angular (poca evidencia de desgaste en caras y bordes), subangular (evidencia de algo de desgaste en caras y bordes), alargada o en hojuelas y otras (Véase Figura 2.11).

Figura 2.11: Formas de las partículas de agregado grueso.



Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en agregados naturales como en los manufacturados se considera indeseable, ya que reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo, la compactación del concreto fresco y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido.

El Comité ACI 207 <sup>[29]</sup>, recomienda no exceder de 20% en la proporción de estas partículas de agregados, ya que la facilidad de compactación de la mezcla no sólo depende de la granulometría, sino del grado de acomodamiento de las partículas.

### 2.3.2.3.6.2 TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS

Otra propiedad que corresponde intrínsecamente al agregado, pero que se deriva indirectamente de las características de la roca madre (dureza, tamaño del grano y de la porosidad de la roca madre y de su subsecuente exposición a las fuerzas abrasivas), es la textura superficial, que incide notablemente en las propiedades del concreto, especialmente, en

---

[29] ACI Committee 207.5R-99: "Roller-Compacted Mass Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

la adherencia entre las partículas del agregado y la pasta de cemento fraguado, determinando las condiciones de fluidez del concreto, mientras la mezcla se encuentra en estado fresco.

La clasificación de la textura superficial del agregado, se basa en las características de la superficie de la partícula (pulida, mate, suave o áspera,) factor que está ligado a la dureza, tamaño, forma y estructura de la roca original. En términos generales, se puede decir que es lisa (agregados redondeados) o áspera (agregados triturados).

La adherencia entre la pasta de cemento y un agregado, generalmente aumenta y la trabajabilidad disminuye a medida que las partículas cambian de lisas a rugosas y de redondeadas a angulares. Además, la relación de huecos en el concreto disminuye al aumentar el contenido del agregado redondeado (Véase Figura 2.12). Hay evidencia de que al menos durante sus edades tempranas, la resistencia del concreto, principalmente, la Resistencia a la Flexión, puede ser afectada por la textura del agregado; una textura más áspera parece ayudar a la formación de una adherencia física más fuerte entre la pasta de cemento y el mismo.

Figura 2.12: Influencia de la forma y textura del agregado grueso, en las propiedades del concreto fresco.

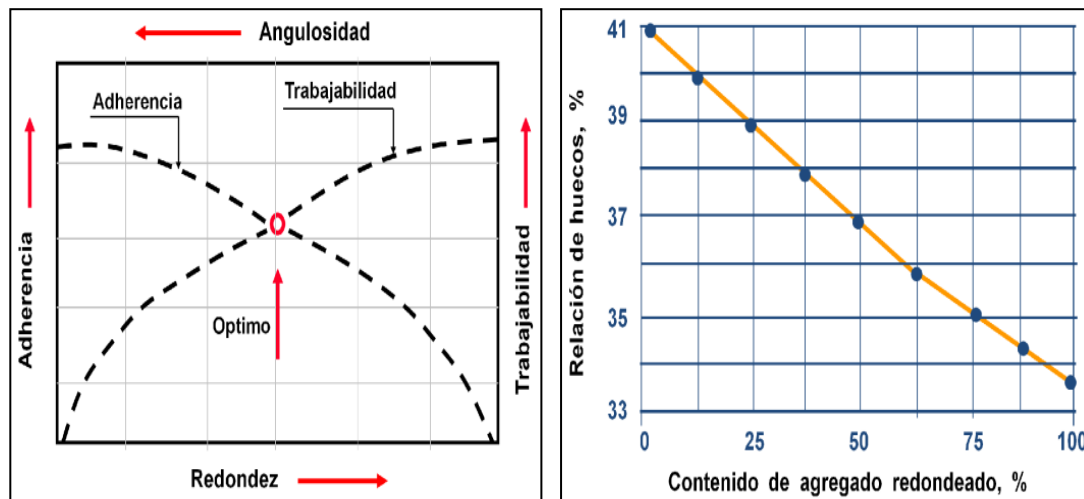


Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

### 2.3.2.3.7 RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en su capacidad de producir concretos durables en condiciones de servicio, donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo.

La resistencia al desgaste es esencial cuando el agregado se utiliza para producir concretos sujetos a abrasión, como ocurre en los pisos para servicio pesado o en pavimentos. La pérdida máxima permisible, para agregados utilizados en la elaboración de concreto para la construcción de carreteras es de 40%, mientras que para otro uso este es de 50%. Una resistencia baja al desgaste en el agregado puede incrementar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y consecuentemente, elevar la demanda de agua. La prueba más común para determinar la resistencia al desgaste de agregados es la prueba de la máquina de Los Ángeles (método del tambor giratorio), desarrollada de acuerdo a la norma ASTM C131 <sup>[30]</sup> (para agregados de tamaños hasta 1 ½ pulgadas) o ASTM C535 <sup>[31]</sup> (para agregados de tamaños mayores que ¾ de pulgada).

### 2.3.3 AGUA

El agua (Véase Figura 2.13), en relación con su empleo en el concreto, tiene dos diferentes aplicaciones, como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso, es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo, se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua.

---

<sup>[30]</sup> ASTM Designation C131-03: "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[31]</sup> ASTM Designation C535-03<sup>e1</sup>: "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

**Figura 2.13:** Agua para mezclado y curado del concreto.



Figura tomada de: [www.cement.org](http://www.cement.org)

Aunque en estas aplicaciones, las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos, para evitar que se subestime el curado utilizando agua con características inadecuadas.

Como corresponde en el concreto convencional, el agua suele representar entre el 10% y 25% del volumen de concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera <sup>[32]</sup>. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto, como: afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, causar eflorescencia, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica, manchas en la superficie y una menor durabilidad.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto, no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente, se refieren a sus características físico-químicas (sólidos en suspensión, color,

---

<sup>[32]</sup> Comisión Federal de Electricidad (1994): "Manual de tecnología del concreto", Instituto de Ingeniería UNAM, México. Sección 1.

olor, sabor, materia orgánica, sales inorgánicas, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) disuelto) y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Las características físico-químicas del agua, deben limitarse en cuanto al contenido de sustancias cuya presencia es relativamente frecuente y nociva para el concreto y/o refuerzo, tales como: sólidos en suspensión, sales inorgánicas, materia orgánica, etc. Sin embargo, no existe un consenso general en cuanto a la cantidad que debe imponerse como limitación; no así, con la presencia de sustancias dañinas, tales como: grasas, aceites, azúcares y ácidos, las cuales, son un síntoma de contaminación que requiere eliminarse para el agua de mezclado.

La norma ASTM C1602 <sup>[33]</sup> “Especificación estándar para agua de amasado usada en la producción de concreto de cemento hidráulico”, indica los requisitos que debe cumplir el agua a ser utilizada para la elaboración de concreto de cemento hidráulico. El agua de calidad dudosa, deberá enviarse a un laboratorio para que se efectúen ensayos o pruebas; o, si no se dispone de tiempo, comparar la resistencia y durabilidad de especímenes de concreto hechos con dicha agua, con las de especímenes de control hechos con agua que se sabe que es satisfactoria (Véase Tabla 2.10).

**Tabla 2.10:** Requerimientos del desarrollo del concreto para el agua de mezclado.

Ensayo de Laboratorio	Limites	Métodos de Prueba
Esfuerzo de compresión. Mín. % Control a los 7 días <sup>AB</sup>	90	ASTM C31 ASTM C39
Tiempo de fraguado, desviación de concreto de control (h:min) <sup>A</sup>	Desde 1:00 antes a 1:30 después	ASTM C403

<sup>A</sup> Las comparaciones están basadas en proporciones fijas para un diseño de mezcla de concreto representativo de un suministro de agua cuestionable y un concreto de control usando un 100% de agua potable o agua destilada.

<sup>B</sup> Los resultados del esfuerzo de compresión están basados en al menos dos especímenes de prueba estándar, hechos a partir de una muestra compuesta.

Fuente: ASTM C1602.

<sup>[33]</sup> ASTM Designation C1602/C1602M-06: “Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

La verificación de la calidad del agua para elaborar y curar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita, en las siguientes condiciones:

1. Cuando el agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor, aunque no posea antecedentes de uso en la fabricación del concreto. Cabe destacar, que no necesariamente el agua que es potable es apropiada para elaborar concreto, ya que en ocasiones, hay aguas potables aderezadas con citratos o con pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación del concreto.
2. Si el agua procede de cualquier otro suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación del concreto, con buenos resultados y no se aprecia color, olor ni sabor.

Cuando se presenten condiciones contrarias a las mencionadas, la verificación de la calidad del agua para su empleo en la fabricación del concreto debe ser un requisito ineludible.

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados, de manera que cubra los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la Resistencia a la Compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variarán de una batchada a otra.

#### **2.3.4 AIRE**

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que atrape aire dentro de la masa, el cual, es posteriormente liberado por los procesos de compactación a que es sometido una vez ha sido colocado.

Sin embargo, es imposible extraer todo el aire y siempre queda un porcentaje dentro de la masa endurecida. Por otra parte, en algunas ocasiones se incorporan pequeñísimas burbujas de aire, por medio de aditivos, con fines específicos de mejorar la durabilidad.

El contenido de aire en “concretos con aire incluido”, puede llegar hasta valores de 8% del volumen del concreto, mientras que en “los concretos sin aire incluido” puede llegar hasta 3%, dependiendo del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso.

Actualmente, se dispone de cuatro métodos para determinar el contenido de aire en el concreto fresco. Estos métodos se detallan a continuación:

- 1. METODO DE PRESION (ASTM C231, Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión)**, es aplicable para el ensayo en campo, de todos los concretos, exceptuando, a los hechos con agregados ligeros y sumamente porosos. Consiste en depositar una muestra de concreto fresco obtenida mediante el procedimiento de la norma ASTM C172 <sup>[34]</sup>, dentro del contenedor de un dispositivo medidor de presiones que funciona bajo el principio de la aplicación de la ley de Boyle (la cual dice que el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión a que está sometido); dicho dispositivo proporciona directamente la lectura del porcentaje de contenido de aire con base en el volumen ensayado mediante la inyección controlada de presión (Véase Figura 2.14).

**Figura 2.14:** Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el método de presión.



Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

---

<sup>[34]</sup> ASTM Designation C172-99: “Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

- METODO VOLUMETRICO (ASTM C173 <sup>[35]</sup>, Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método volumétrico),** aplicable para el ensayo en campo de todos los concretos, y especialmente útil, para los concretos hechos con agregados ligeros (Véase Figura 2.15).

**Figura 2.15:** Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el método volumétrico.



Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

- METODO GRAVIMETRICO (ASTM C138 <sup>[36]</sup>, Método estándar de prueba para determinar peso volumétrico, el rendimiento, y el contenido de aire gravimétrico del concreto),** requiere del conocimiento exacto de la densidad relativa y de los volúmenes absolutos de los ingredientes del concreto y su procedimiento es estrictamente teórico. No es práctico para campo, pero en el laboratorio se puede emplear satisfactoriamente.
- INDICADOR DE AIRE CHACE (AASHTO T199 <sup>[37]</sup>, Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por medio del indicador Chace),** es una manera muy simple y económica para verificar el contenido aproximado de aire en un concreto fresco. Se efectúa, por medio de un aparato de bolsillo que prueba una muestra de mortero del concreto. Sin embargo, esta prueba no sustituye a los métodos

---

<sup>[35]</sup> ASTM Designation C173/C173M-01<sup>e1</sup>: "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[36]</sup> ASTM Designation C138/C138-01a: "Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[37]</sup> AASHTO Designation T199-00: "Concrete Air Content - Chace Air Indicator Method", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

de mayor grado de exactitud, como lo son: el de presión, volumétrico, y gravimétrico (Véase Figura 2.16).

**Figura 2.16:** Equipo utilizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco, usando el indicador de aire Chace.

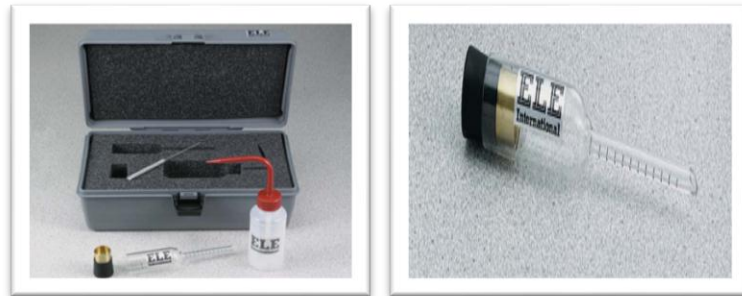


Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

### 2.3.5 ADITIVOS

Los aditivos (Véase Figura 2.17) por definición (ACI 116.R), son: “Materiales distintos del agua, de los agregados, del cemento hidráulico y de las fibras de refuerzo que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que sea más adecuada a las condiciones de trabajo, que hagan posible su adecuado transporte o comportamiento, durante y después de colocado o para reducir los costos de producción”.

**Figura 2.17:** Aditivos químicos para concreto.



Figura tomada de: [www.cement.org](http://www.cement.org)

Si bien es cierto, que la utilización de aditivos es muy interesante y aún a veces, indispensable para adaptar mejor al concreto a las condiciones de la obra y a las necesidades

del constructor, esta puede llegar a ser peligrosa, si no se toman las precauciones necesarias. El aditivo puede, en efecto, mejorar eficazmente una propiedad del concreto, pero modificar las otras características a veces de manera inaceptable.

Los aditivos no pueden corregir los defectos de un concreto mal dosificado o que ha sido objeto de un colado deficiente. Además, la eficacia de estos productos, es en general muy sensible, al tipo y cantidad del cemento, proporción de agua, forma del agregado, granulometría y proporciones, tiempo de mezclado, temperatura del concreto y del aire, así como también, a las condiciones de fabricación y empleo del concreto.

### **2.3.5.1 GENERALIDADES DE LOS ADITIVOS**

#### **2.3.5.1.1 TIPOS DE ADITIVOS SEGÚN ASTM C494**

Los aditivos químicos usados conforme a lo especificado en la norma ASTM C494, pueden ser del tipo A a la G, las características de reducción en el agua de mezclado y de fraguado inicial, para cada tipo de aditivo, se comparan con las de un concreto de control, que no contiene el aditivo y según su formulación, pueden ser usados para propósitos propios de cada caso, tal como se describen a continuación <sup>[38]</sup>:

- ⊕ **TIPO A: REDUCTOR DE AGUA.** Un mínimo de un 5% de reducción de agua. El fraguado inicial no debe ocurrir más de una hora antes ni más de 1.5 horas después que el del control.
  
- ⊕ **TIPO B: RETARDANTE.** No se requiere ninguna reducción del agua. El fraguado inicial debe ocurrir en no menos de una hora después pero no más de 3.5 horas después que el del control.

---

<sup>[38]</sup> ICPC (1992): "Boletín No. 56". Enero/Marzo.

- ⊕ **TIPO C: ACELERANTE.** No se requiere ninguna reducción del agua. El fraguado inicial debe ocurrir por lo menos una hora antes pero no más de 3.5 horas antes que el del control.
- ⊕ **TIPO D: REDUCTOR DE AGUA Y RETARDANTE.** Se requiere un mínimo de 5% de reducción de agua. El fraguado inicial debe ocurrir por lo menos una hora después, pero no más de 3.5 horas después que el del control.
- ⊕ **TIPO E: REDUCTOR DE AGUA Y ACELERANTE.** Se requiere un mínimo de 5% de reducción de agua. El fraguado inicial debe ocurrir por lo menos una hora antes, pero no más de 3.5 horas antes que el del control.
- ⊕ **TIPO F: REDUCTOR DE AGUA DE AMPLIO RANGO.** Se requiere un mínimo del 12% de reducción de agua. El fraguado inicial debe ocurrir no más de una hora antes y no más de 1.5 horas después que el del control.
- ⊕ **TIPO G: REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE.** Se requiere un mínimo del 12% de reducción de agua. El fraguado inicial debe ocurrir por lo menos una hora después pero no más que 3.5 horas después que el del control.

### 2.3.5.2 ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango, que se agregan a “los concretos de bajo revenimiento y baja relación agua/cemento (A/C)”, para producir “concretos fluidos de alto revenimiento” que pueden colocarse con poca o ninguna vibración o compactación y sin que se produzcan sangrados y exudaciones perjudiciales.

Estos aditivos producen un considerable aumento en la trabajabilidad de los morteros y concretos, sin modificar el contenido de agua. La duración del efecto generalmente es temporal y variable. Los morteros y concretos con trabajabilidad constante pueden lograrse con pequeñas cantidades de agua, ahorrando de un 12 a 30% de agua de mezclado.

### 2.3.5.3 UTILIZACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

La utilización de los aditivos superplastificantes en las técnicas de construcción de carreteras, tiene como papel aumentar la manejabilidad del concreto, frecuentemente, reduciendo la cantidad en el agua de mezclado y por lo tanto, mejorando su resistencia mecánica. Además, el efecto retardante de ciertos superplastificantes (Tipo G) puede ser ventajoso, en el caso, de que el tiempo de transporte del concreto sea grande.

La incorporación del aditivo superplastificantes en la mezcla de concreto asegura, por un tiempo limitado, una fluidez tal que el concreto se puede acomodar por sí mismo y asegurar su compactación por su propio peso, evitando así, la utilización de equipos de vibración y no exige sino, un trabajo de pulimiento superficial.

Con este tipo de aditivos, se puede obtener una reducción en el agua de mezclado del 12 al 30% y por consiguiente, bajar la relación agua/cemento (A/C). Esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua/cemento (A/C), permite producir concretos con las siguientes características <sup>[39]</sup>:

- ⊕ Resistencias ultimas a compresión arriba de 700 kg/cm<sup>2</sup>.
- ⊕ Mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana.
- ⊕ Menor penetración del ion cloruro.
- ⊕ Concretos menos porosos, menos permeables y más durables.
- ⊕ Así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relación agua/cemento (A/C) baja.

---

<sup>[39]</sup> IMCYC: "Diseño y control de mezclas de concreto". Pág. 41.

Por lo tanto, es posible producir mezclas de concreto altamente trabajables con relaciones agua/cemento (A/C) bajas, logrando así altas resistencias tempranas y tardías <sup>[40]</sup>.

#### **2.3.5.4 COMPATIBILIDAD ENTRE EL CEMENTO Y LOS SUPERPLASTIFICANTES**

Al igual que en el caso de los aditivos comunes, los aditivos superplastificantes se pueden comportar de manera diferente con distintos tipos de cementos. Con ciertas combinaciones, pueden ocurrir efectos indeseables que varían desde un efecto retardante excesivo, hasta un endurecimiento prematuro, dependiendo de las dosis y del tipo de componente químico del aditivo y de la composición química del mismo cemento <sup>[41]</sup>.

#### **2.3.5.5 INTERACCION DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN LA RELACION AGUA/CEMENTO (A/C)**

Siempre que se va a usar un aditivo, se debe consultar las especificaciones del producto para determinar la dosificación requerida en cada caso. Cuando los tipos A, B y D son usados por si solos, se usan en pequeñas dosis (60 a 210 mililitros/42.5 kg de cemento), así su contenido como parte del agua de mezcla, puede ser ignorado. Los tipos C, E, F y G se usan más frecuentemente en grandes cantidades (300 a 2670 mililitros/42.5 kg de cemento), de esta manera su contenido debe ser tomado en cuenta cuando se calcule el peso unitario total del agua y la relación agua/cemento (A/C). Cuando los tipos A, B y D son usados en tasas más altas de lo normal o en combinación con un acelerante (tipo C ó E), su contenido debe ser tomado en cuenta, a la hora de calcular el peso unitario total del agua de mezclado.

Si bien, los aditivos son de muchas formulaciones, sus efectos sobre la demanda de agua a una dosificación recomendada, son gobernados por los requerimientos de la norma ASTM C494. Las dosificaciones recomendadas son normalmente establecidas por el productor

---

<sup>[40]</sup> Coto, José Aguilar y otros (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Parte 1. Pág. 93, Tesis UES.

<sup>[41]</sup> IMCYC (1991): "Aditivos para concreto". Editorial Limusa.

del aditivo o por el usuario, después de extensivos ensayos. Cuando son usados a tasas normales, el tipo A (reductor de agua), el tipo D (reductor de agua y retardante) y el tipo E (reductor de agua y acelerante) ordinariamente reducen los requerimientos en el agua de mezclado entre el 5 al 8%, mientras que el tipo F (reductor de agua de alto rango) y el tipo G (reductor de agua de alto rango y retardante) reducen los requerimientos en el agua de mezclado entre el 12 al 15% o más. Los tipos F y G, son frecuentemente llamados “Superplastificantes”.

### 2.3.5.6 CLASIFICACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

Los superplastificantes se clasifican químicamente en cuatro categorías <sup>[42]</sup>:

- ⊕ **CATEGORIA A:** Condensados de “Formaldehido Melanina Sulfonatados”
- ⊕ **CATEGORIA B:** Condensados de “Formaldehido Naftalina Sulfonatados”
- ⊕ **CATEGORIA C:** “Lignosulfonatados Modificados”
- ⊕ **CATEGORIA D:** Otros.

Los superplastificantes condensados de Formaldehido Melanina Sulfonatados o de Formaldehido Naftalina Sulfonatados, prácticamente, están exentos de impurezas y permiten su uso en dosificaciones relativamente elevadas sin poseer, en general, efectos colaterales indeseables <sup>[43]</sup>. Estos aditivos, dan mayor cohesión a la pasta sin alterar su fluidez, pudiendo por lo tanto, producirse concretos de muy baja relación agua/cemento (A/C) y con gran plasticidad, dando lugar a una microestructura muy densa, poco porosa y poco permeable, que garantice un concreto durable.

Los aditivos de las categorías A y B, se distinguen de los demás, en que su sustancia química activa no origina una disminución significativa de la tensión superficial. Probablemente,

---

[42] IMCYC (1990): “Aditivos superfluidificantes para concreto”. Editorial Limusa. Primera edición. Pág. 17. México.

[43] Fernández Cánovas, Manuel (1992): “Composición y dosificación de los hormigones de alta resistencia”. Revista sección-hormigón. N° 79. Págs. 980-981.

es debido a esta razón que dichos aditivos pueden tolerarse en altos niveles de dosificación, sin que exista un volumen excesivo de aire atrapado <sup>[44]</sup>.

### **2.3.5.7 EFECTOS DE LOS SUPERPLASTIFICANTES SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO**

Los efectos específicos de los aditivos superplastificantes varían según los diferentes cementos, la relación agua/cemento (A/C), la dosificación del aditivo, la temperatura de mezclado, la temperatura ambiente y otras características que pueden darse en la obra.

Las razones por las cuales se usan en el concreto, son básicamente, para solucionar problemas de manejabilidad, resistencia y durabilidad.

#### **2.3.5.7.1 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO**

El concreto que se ha fluidificado por medio de la incorporación de un aditivo superplastificante, se caracteriza por su gran revenimiento y sus altos valores de fluidez.

Al utilizar un aditivo superplastificante, la trabajabilidad del concreto queda mejorada, ya que ésta aumenta sin incrementar el contenido de agua de la mezcla, o bien, se puede disminuir el contenido de agua en la mezcla y mantener la misma trabajabilidad, con lo que se facilita la colocación y compactación del concreto.

Cuando se usan para incrementar la fluidez, el concreto usualmente pierde su revenimiento adicional dentro de los 30 a 60 minutos siguientes a la introducción del aditivo en la mezcla, cuando el superplastificante utilizado es de primera generación. Los superplastificantes de segunda generación han sido formulados para lograr que el efecto de la reducción de agua dure más tiempo, mediante un fraguado retardado. Los superplastificantes de tercera generación mantienen las propiedades normales de fraguado y aún, producen una

---

[44] Coto, José Aguilar y otros (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Parte 2. Pág. 51, Tesis UES.

relación agua/cemento (A/C) baja, que mantienen un alto revenimiento por un tiempo considerable.

La reducción de agua varía dependiendo de la dosificación y del tipo de mezcla, y pueden llegar hasta 25 o más de 30% <sup>[45]</sup>. La reducción de agua tiene como objetivos: incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido de cemento y disminuir la porosidad de la pasta, haciendo más impermeable y durable el concreto.

Las consecuencias benéficas de esta reducción de agua en el concreto fresco, es que se reduce el contenido de agua sin modificar excesivamente el tiempo de fraguado, pero como desventaja, se presenta que en ocasiones el uso de estos aditivos incluyen aire al concreto, y/o retrasan demasiado la pérdida de revenimiento y/o la contracción por secado.

#### **2.3.5.7.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO**

La adición de un superplastificante en una mezcla de concreto puede mejorar las propiedades del concreto endurecido, tanto a corto como a largo plazo. Entre las más importantes, se pueden mencionar:

- ⊕ Alta resistencia.
- ⊕ Propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad.
- ⊕ Gran resistencia al impacto a la abrasión.
- ⊕ Gran estabilidad de volumen.
- ⊕ Gran durabilidad en condiciones y ambientes severos.

El efecto que tienen estos tipos de aditivos, es que neutralizan las cargas superficiales de las partículas de cemento causando una extrema dispersión, resultando en una eficiente y

---

<sup>[45]</sup> IMCYC (1990): "Aditivos superfluidificantes para concreto". Editorial Limusa. Primera edición. Pág. 61. México.

completa hidratación del cemento, lo cual, a su vez incrementa grandemente el desarrollo de la resistencia.

Generalmente, los aditivos superplastificantes y reductores de agua logran incrementos en la Resistencia a la Flexión del concreto (MR), pero no son proporcionalmente tan grandes como los incrementos en la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ).

Las resistencias más elevadas, son obtenidas generalmente con aditivos que contienen lignosulfonatos y, más especialmente, los adicionados con cloruros <sup>[46]</sup>.

La disminución del contenido de agua, tiene por consecuencia, una disminución de la absorción capilar con el consiguiente aumento de la durabilidad de los concretos (mejora de la resistencia a las aguas agresivas y a las heladas, especialmente, si hay cierta cantidad de aire incluido).

## **2.4 CONCRETO HIDRAULICO EN ESTADO FRESCO**

### **2.4.1 LIMITES DEL ESTADO FRESCO DEL CONCRETO**

El concreto convencional, recién elaborado, es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda uniforme hasta la de cuerpo rígido que toma la forma del molde en que se coloca, y después continúa evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas.

En relación con la delimitación del estado fresco del concreto, es conveniente precisar la diferencia que existe entre los lapsos que corresponden al concreto blando y moldeable, para aclarar sus respectivos significados y consecuencias en el aspecto constructivo.

El concreto blando abarca desde la elaboración de la mezcla de concreto, hasta que en ésta se presentan los primeros síntomas de rigidez, lo cual, es una señal de que termina la fase "durmiente" (concreto blando) e inicia la del fraguado. La duración de este lapso, en que el

---

<sup>[46]</sup> Venuat, Michael (1992): "Aditivos y tratamiento de morteros y hormigones". Pág. 98. Barcelona, España.

concreto se conserva blando, marca el tiempo más adecuado para transportarlo, colocarlo y compactarlo en su lugar definitivo dentro de la estructura en construcción. El lapso de concreto moldeable corresponde al mismo lapso anterior, pero ampliado hasta la finalización del fraguado inicial (Véase Figura 2.18).

**Figura 2.18:** Lapsos y actividades características, en los diferentes estados de un concreto convencional a temperatura normal.

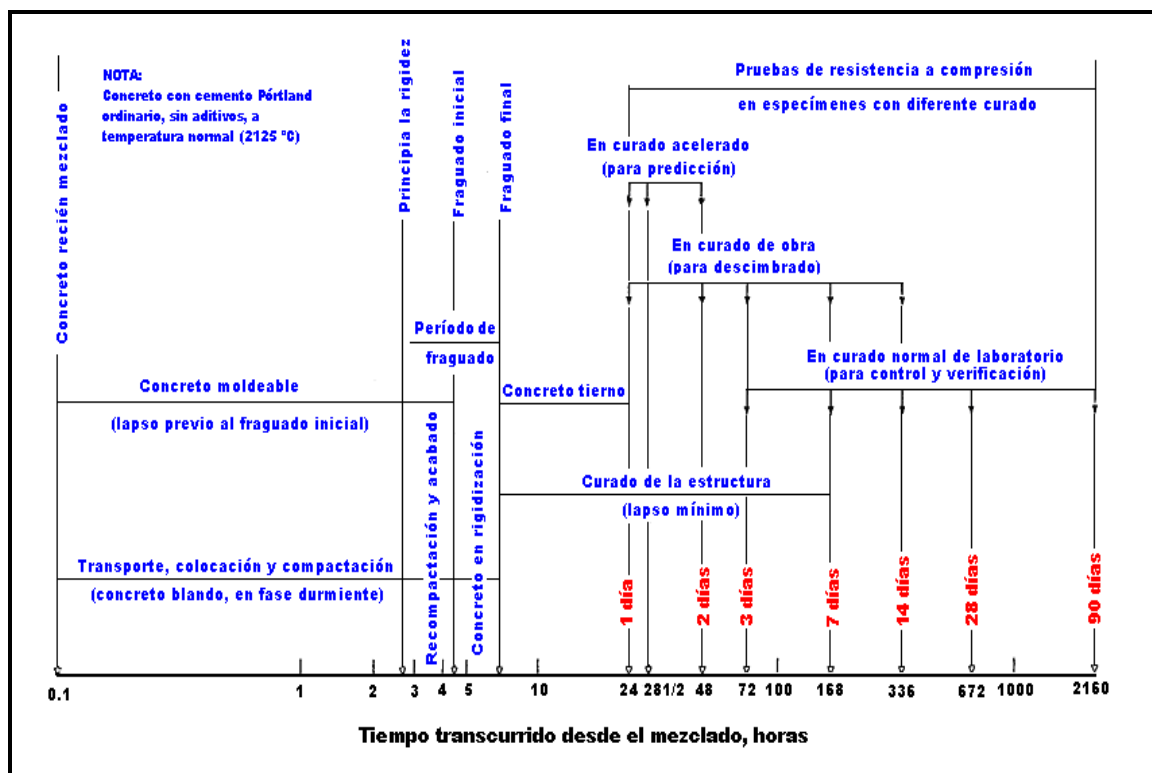


Figura tomada de: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Puede decirse que para fines prácticos, el concreto se considera en estado fresco, mientras permanece moldeable, es decir, mientras adquiera su fraguado inicial, aunque resulta más fácilmente moldeable en su fase "durmiente", o blanda. Por tal motivo, siempre se deben hacer los arreglos necesarios en obra, para que el concreto se termine de colocar y compactar antes que finalice la fase "durmiente", o blanda, dejando el lapso adicional dado por la ampliación hasta el fraguado inicial.

Conviene aclarar que la duración del lapso en que el concreto permanece en estado fresco, o blando, es una característica muy variable que depende de factores intrínsecos relacionados con su composición y factores extrínsecos representados principalmente, por la temperatura.

#### **2.4.2 ATRIBUTOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

El principal atributo del concreto en estado fresco, es el que se designa como "trabajabilidad" y es aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado<sup>[1]</sup>.

La trabajabilidad en el concreto fresco no es solamente una propiedad intrínseca del mismo, sino que también depende de factores extrínsecos relacionados con el uso a que se destina y la forma como se utiliza <sup>[47]</sup>.

Su evaluación es un tanto subjetiva, es por ello que ha sido necesario acudir a otras características del concreto fresco que sí puedan ser evaluadas con relativa facilidad y exactitud, para que en conjunto se complementen y permitan configurar el atributo de la trabajabilidad; como la prueba estándar de revenimiento (ASTM C143), el cual, es un ensayo prácticamente estático en el que la muestra de concreto se deforma exclusivamente por efecto de la reducida energía potencial de la propia muestra.

#### **2.4.3 ASPECTOS QUE DEFINEN LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

De acuerdo con el Comité ACI 309 <sup>[48]</sup>, hay tres principales características funcionales del concreto en estado fresco: 1) estabilidad, 2) compactabilidad y 3) movilidad (Véase Figura 2.19).

---

<sup>[47]</sup> POWERS, T.C. (1968): "The Properties of Fresh Concrete". John Wiley and Sons, INC. New York, N.Y.

**Figura 2.19:** Parámetros de la reología del concreto fresco.

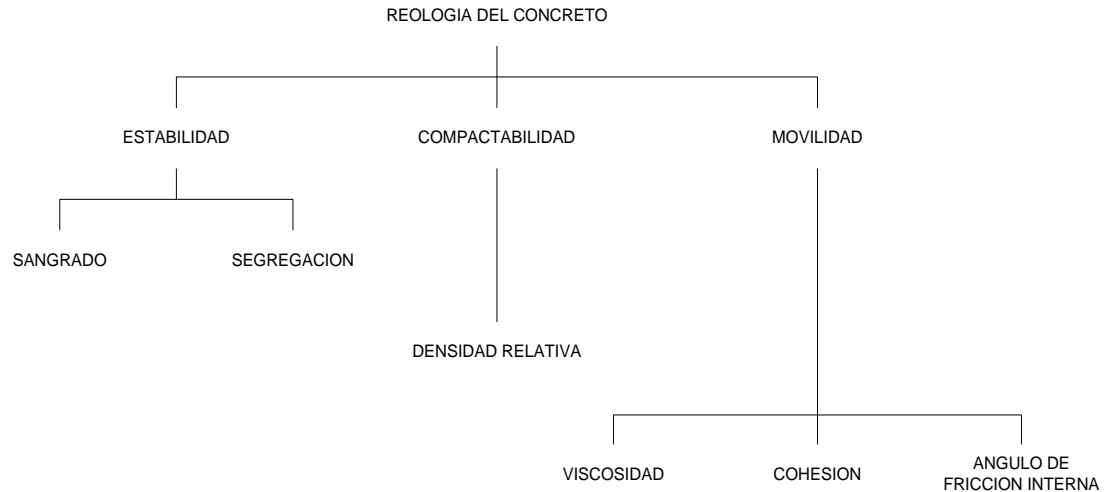


Figura tomada de: Comité ACI 309R, Capítulo 2.

### 2.4.3.1 ESTABILIDAD

Esta característica se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para segregarse, es decir, la separación parcial del agregado grueso del resto de masa de concreto, y exudar agua “sangrado”; en otras palabras, representa su disposición para conservarse homogénea.

### 2.4.3.2 COMPACTABILIDAD

Corresponde a la facilidad con que las mezclas de concreto permiten la remoción del aire atrapado durante el moldeo, a fin de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido.

### 2.4.3.3 MOVILIDAD

Representa la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir; cuya característica depende de: 1) la cohesión, 2) viscosidad y 3) ángulo de fricción interna del concreto fresco.

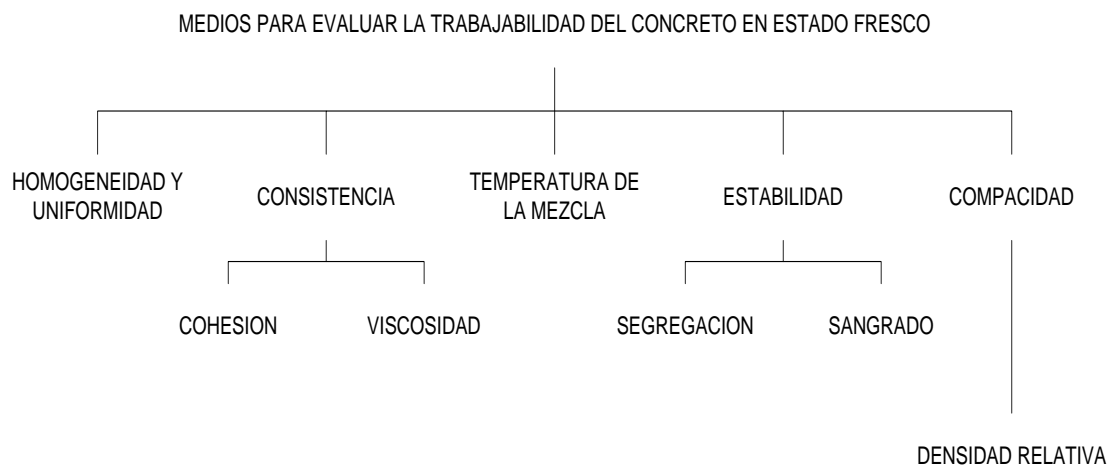
---

[48] ACI Committee 309 (1987): “Guide for Consolidation of Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

## 2.4.4 MEDIOS PARA EVALUAR LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Para evaluar mezclas satisfactorias de concreto, deben tomarse en cuenta las características del concreto en estado fresco, las cuales, son verificables por medios accesibles y en conjunto, se complementan para ofrecer una perspectiva global de su trabajabilidad. Dichas características son: 1) homogeneidad y uniformidad, 2) consistencia, 3) temperatura de la mezcla, 4) estabilidad y 5) compacidad (Véase Figura 2.20).

**Figura 2.20:** Medios para evaluar la trabajabilidad del concreto en estado fresco.



Los autores (2009).

### 2.4.4.1 HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD

La homogeneidad es una condición necesaria en el curso de todas las operaciones a que se someta la mezcla, para que esta sea trabajable. Es posible considerar la homogeneidad original del concreto fresco desde dos puntos de vista, por un lado, 1) la del mezclado, que corresponde a la homogeneidad "en el seno de la bachada", esta depende esencialmente, del acto de mezclado, que involucra la forma y la secuencia como se administran los ingredientes, y las características y condiciones del funcionamiento del equipo mezclador y el tiempo de revoltura, principalmente. Y por otro lado, 2) la producción, que se refiere a la uniformidad del

concreto de bachada a bachada, la cual, es más bien un reflejo de la eficacia del proceso de producción, incluyendo su calibración rutinaria, y el control de calidad.

Es importante que el concreto recién mezclado sea homogéneo, es decir, que las bachadas de concreto posean una distribución uniforme de todos sus componentes al salir de la mezcladora, de manera que las operaciones subsecuentes se realicen en forma tal que cada bachada conserve la homogeneidad original. Para evaluar la homogeneidad al término del mezclado, se toman dos muestras de concreto fresco en diferentes porciones de la bachada, ya sea después del 10%, o bien, antes del 90% de la descarga, según lo establecido en la norma ASTM C94<sup>[49]</sup> y haciendo uso del método de muestreo descrito en la norma ASTM C172.

La falta de homogeneidad en el seno de una mezcla, puede ser causado por algunos factores que la afectan adversamente, como: 1) el sistema de carga y el orden de rapidez con que se introducen los ingredientes a la mezcladora; 2) el tipo, la capacidad, condiciones mecánicas, el sistema de descarga de la mezcladora; 3) el tiempo de revoltura; 4) la consistencia del concreto y el tamaño máximo del agregado y/o el procedimiento de muestreo y prueba del concreto.

#### **2.4.4.2 CONSISTENCIA (COHESION Y VISCOSIDAD)**

La consistencia de las mezclas de concreto, es una característica que se relaciona principalmente con la movilidad, pero también, se considera que determina la facilidad con que una mezcla puede ser compactada<sup>[48]</sup>. La manera más usual para evaluarla es por medio de la prueba de revenimiento (ASTM C143). Este ensayo puede ser útil, para dar información acerca de su cohesividad y posible comportamiento durante su manipulación en obra (Véase Figura 2.21). Ahora bien, un concreto fluido mediante la incorporación de aditivos plastificantes da un

---

<sup>[49]</sup> ASTM Designation C94/C94M-03: "Standard Specifications for Ready Mixed Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

revenimiento mayor de 19.0 cm <sup>[50]</sup> (Véase Figura 2.22), el “concreto normal o convencional” proporciona revenimientos entre 2.5 y 17.5 cm <sup>[3]</sup>, el “concreto masivo” posee revenimientos entre 2.5 y 5.0 cm <sup>[3]</sup> y el “concreto muy duro”, es el que proporciona un revenimiento máximo de 2.5 cm <sup>[51]</sup> al cual, se le conoce como “concreto sin revenimiento”.

**Figura 2.21:** Representación esquemática de tres mezclas de concreto convencional con el mismo revenimiento, pero con diferente cohesividad.

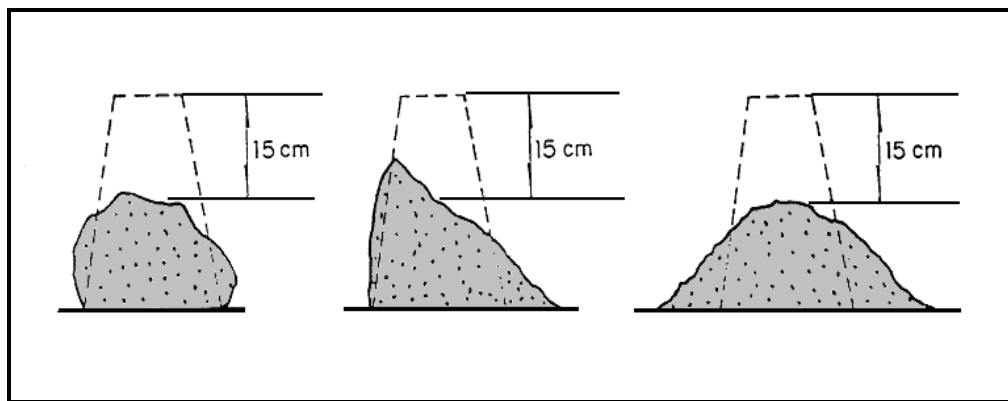


Figura tomada de: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

**Figura 2.22:** Representación esquemática de la prueba de revenimiento en mezclas de concreto fluido.

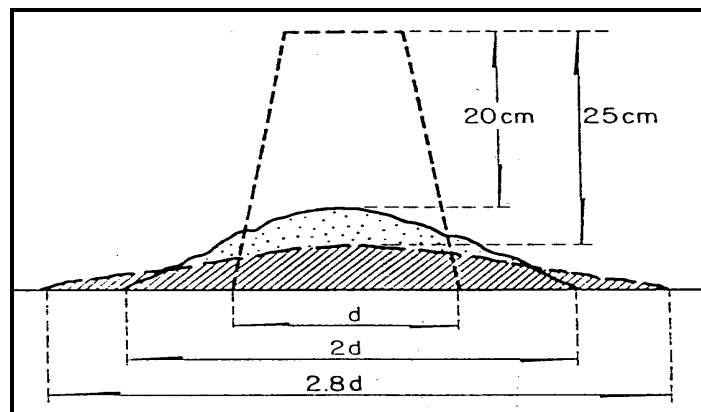


Figura tomada de: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

<sup>[50]</sup> ASTM Designation C1017 (1990): “Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[51]</sup> ACI Committee 211. Report 211.3 (1987): “Standard Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

La consistencia, es representativa de la resistencia que el concreto opone para deformarse y fluir, entonces, puede hablarse de “grados de consistencia” valorables en función de dicha resistencia a la deformación y flujo. Sin embargo, debido a que no hay un procedimiento de aceptación general para medir cuantitativamente esta resistencia, en la práctica se recurre normalmente a dos modelos para expresar los grados de consistencia de las mezclas de concreto, por una parte, 1) en términos descriptivos, basados en la apariencia del concreto y el comportamiento que exhibe al ser manipulada, y por otra parte, 2) en términos cuantitativos, con base en los resultados de alguna prueba específica.

En referencia a términos descriptivos, podemos mencionar en orden ascendente que una mezcla puede ser de consistencia fluida, plástica o dura, con sus respectivos calificativos intermedios o superlativos (Véase Tabla 2.11).

**Tabla 2.11:** Grados de consistencia de la mezcla de concreto.

CONSISTENCIA DE LA MEZCLA	RANGO DE REVENIMIENTO (cm)
Extremadamente duro	-----
Muy duro	-----
Duro	0 a 2.5
Semiplástico	2.5 a 7.5
Plástico	7.5 a 12.5
Semifluido	12.5 a 17.5
Fluido	>20

Fuente: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

En términos cuantitativos, existen numerosos métodos cuya aptitud depende del nivel o grado de consistencia que quiere medirse (Véase Figura 2.23).

**Figura 2.23:** Intervalos de consistencia para diferentes tipos de concreto fresco, en los cuales, son aplicables los procedimientos de medición de uso común.

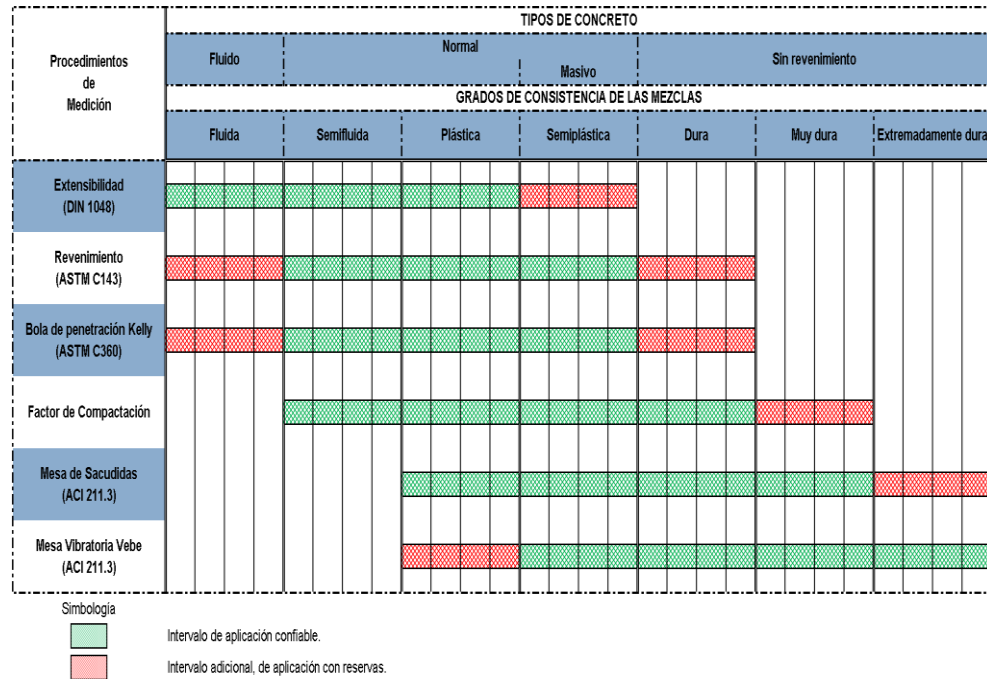


Figura tomada de: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

**Tabla 2.12:** Factores que influyen en la consistencia del concreto fresco.

Durante el proceso de elaboración.	Factores intrínsecos	Características de los componentes. Proporción de los componentes. Temperatura de la mezcla.
	Factores extrínsecos	Temperatura y humedad. Tiempo de mezclado. Procedimiento para medir consistencia.
Durante el lapso inmediato posterior a la elaboración.	Factores intrínsecos	Características de los componentes. Grado de consistencia inicial. Incompatibilidad de componentes. (Cemento y aditivos)
	Factores extrínsecos	Temperatura y humedad ambiental. Condiciones, exposición y manejo del concreto. Procedimiento para medir consistencia.

Fuente: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

#### **2.4.4.2.1 INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES**

Hay características del cemento y los agregados, cuyas variaciones modifican el requerimiento de agua en el concreto, y por lo tanto, influyen en los cambios de consistencia de las mezclas, de bachada a bachada, como por ejemplo, la característica del cemento Pórtland, que normalmente influye en el requerimiento de agua del concreto es la finura; sin embargo, esta es una característica que suele variar poco durante el suministro del cemento, si se mantiene constante el tipo y la procedencia de fabricación. De no ser así, es necesario determinar el requerimiento de agua del concreto con diferentes cementos de uso previsto, a fin de hacer los ajustes que procedan durante la producción del concreto.

#### **2.4.4.2.2 INFLUENCIA DE LA PROPORCION DE LOS COMPONENTES**

Después de verificar y tomar en cuenta las características que exhiben los componentes en el momento de elaborar el concreto, y de realizar los ajustes pertinentes, se obtiene como resultado, la cantidad de cada componente que debe dosificarse para obtener una mezcla con la consistencia requerida. La uniformidad con que se puede producir esta consistencia en la elaboración del concreto, de bachada a bachada, dependen significativamente en esta etapa, del grado de precisión con que se dosifican los componentes. Normalmente, es más notoria la influencia que ejercen las variaciones en el agua de mezclado y los aditivos, comparadas con las del cemento y los agregados.

#### **2.4.4.3 TEMPERATURA DE LA MEZCLA**

La variación de la temperatura del concreto al ser mezclado, puede ser una causa importante de cambios en la consistencia de las mezclas y un obstáculo para lograr una adecuada uniformidad en la calidad del concreto. La temperatura de una mezcla de concreto recién elaborada, depende básicamente de la temperatura de cada uno de sus componentes y

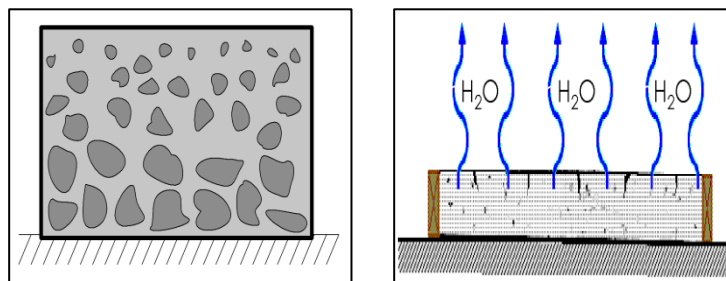
de las respectivas cantidades en que se emplean, de manera que puede ser calculada con razonable aproximación conociendo dichas temperaturas y cantidades <sup>[52]</sup>.

A igualdad de cantidades, la temperatura del agua es la que más influye en la temperatura del concreto recién mezclado, debido a que su calor específico (1 cal/g °C) es cerca de cinco veces mayor que el del cemento y los agregados (de 0.20 a 0.24 cal/g °C). Sin embargo, debido a que el agua se utiliza en menor proporción y porque en condiciones ordinarias su temperatura se mantiene razonablemente estable durante el suministro, son más bien, el cemento y los agregados los componentes cuyas variaciones de temperatura suelen reflejarse en las temperaturas resultantes en las mezclas de concreto.

#### 2.4.4.4 ESTABILIDAD (SEGREGACION Y SANGRADO)

Es posible considerar que una mezcla puede perder homogeneidad, por dos diferentes razones, la pérdida que obedece a factores de índole interna y la que se produce como consecuencia de acciones externas. En el primer caso, la reducción de la homogeneidad se manifiesta por los fenómenos simultáneos identificados como “asentamiento” y “sangrado”; en tanto que la manifestación más evidente del segundo es, la separación parcial del agregado grueso del resto de la masa, lo cual, se conoce como “segregación” (Véase Figura 2.24).

Figura 2.24: Segregación y sangrado del concreto.



Los autores (2009).

---

<sup>[52]</sup> U.S. Bureau of Reclamation (1975): “Temperature of Concrete”, Concrete Manual Designation 35, Octave Edition. Department of the Interior Washington, D.C.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores.

#### **2.4.4.5 COMPACIDAD (DENSIDAD RELATIVA)**

La maniobra de colocar el concreto consiste esencialmente en hacerlo llegar al lugar que le corresponde en la estructura, para lo cual, cada bachada debe ser depositada en el punto más cercano posible al de su disposición definitiva. Además, se pretende la densificación relativa de la masa por medio de fuerzas externas al ser vibrado, ya que si el concreto solamente se deposita, se deja fraguar y endurecer al ser depositado, puede convertirse en una masa rígida de estructura muy porosa, e incluso cavernosa, poco adaptable a la forma del espacio cimbrado, sin adherencia con el acero de refuerzo y sin la capacidad de adquirir sus propiedades potenciales como concreto endurecido. Al hecho de aplicar estas fuerzas se le denomina “compactar el concreto”, porque una de sus finalidades básicas, consiste en lograr que el concreto alcance la máxima compactación, que sea prácticamente posible en condiciones de obra y de acuerdo con las características de las mezclas que se utilicen.

### **2.5 ETAPAS DEL FRAGUADO DEL CONCRETO**

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica (flujo de calor de dentro hacia fuera de la reacción) que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.

Dentro del proceso general de endurecimiento, se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al “fraguado inicial”. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta

un nuevo estado, en el cual, la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina "fraguado final".

En este proceso evolutivo, se distinguen tres principales etapas que corresponden a otros tantos estados característicos del concreto:

1. **EL LAPSO ANTERIOR AL FRAGUADO**, durante el cual, el concreto se manifiesta como una mezcla relativamente blanda y moldeable, en función de la consistencia con que se elabora.
2. **EL LAPSO DE FRAGUADO**, en cuyo curso la mezcla aumenta progresivamente de consistencia, para convertirse en una masa rígida que ya no es moldeable, pero que aún no adquiere resistencia mecánica apreciable.
3. **EL LAPSO POSTERIOR AL FRAGUADO** que corresponde a la etapa del endurecimiento propiamente dicho.

Por razones de utilidad práctica, se considera que la primera etapa, es aquella en que el concreto puede ser moldeado o remodelado; en la segunda etapa, el concreto se halla en curso de rigidización y ya no puede ser moldeado o remodelado, sin riesgo de causarle daño permanente, pero admite la ejecución de ciertas operaciones superficiales relacionadas con la obtención del acabado requerido. En la tercera etapa, al concreto debe dársele el curado adecuado para asegurar con esto, que el concreto satisfaga los requisitos de resistencia y durabilidad exigidos por la obra (Véase Figura 2.18).

### **2.5.1 EVOLUCION DEL FRAGUADO**

Expresado en términos de su manifestación física, el fraguado, es la condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o de concreto, cuando ha perdido plasticidad, definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación. Además de esta manifestación, que se puede denominar normal, hay otras dos formas de fraguado que son anormales e indeseables como: "el falso

fraguado”, que se manifiesta por una rápida pérdida de plasticidad, prácticamente sin desarrollo de calor, que puede ser restituida con un remezclado sin añadir agua, y “el fraguado instantáneo”, que se caracteriza también por una súbita pérdida de plasticidad, pero con gran desarrollo de calor, y en cuyo caso, la plasticidad no puede ser restituida con un remezclado, a menos que se adicione agua.

Al seguir el proceso de rigidización del concreto en sus dos primeras etapas por el método de las agujas de penetración (ASTM C403) se obtiene una evolución como la que se presenta en la Figura 2.25.

Figura 2.25: Gráfico de las etapas de fraguado del concreto, utilizando las agujas Proctor.

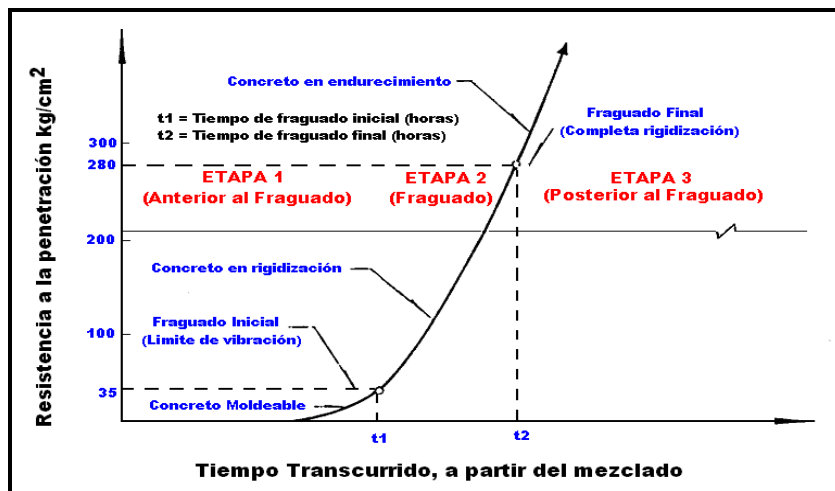


Figura tomada de: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

### 2.5.1.1 FRAGUADO DEL CEMENTO

Puede esperarse que la rigidización de la pasta de cemento evolucione gradualmente, y que el tiempo requerido por la mezcla de concreto, para pasar del estado plástico al rígido, resulte dentro de límites que en la práctica han resultado adecuados y suficientes, para llevar a cabo todas las operaciones constructivas en condiciones ordinarias.

Debido al efecto que la temperatura ejerce en la velocidad de hidratación del cemento, para reglamentar los límites del tiempo de fraguado, es necesario reglamentar también la temperatura a que evoluciona. Por consiguiente, lo usual es que la duración del fraguado como

requisito, solamente se exija para el cemento cuando se ensaya a una temperatura constante normalizada, que en los métodos de prueba ASTM deberá oscilar entre 20 y 25 °C <sup>[9]</sup>.

### **2.5.1.2 FRAGUADO DEL CONCRETO**

En lo que concierne al concreto convencional, el tiempo de fraguado no suele ser motivo de reglamentación en las especificaciones, salvo que se utilicen aditivos que lo modifiquen, en cuyo caso, lo que se acostumbra limitar es el efecto que produce el aditivo con relación a lo que tarda en fraguar el mismo concreto sin el aditivo (Véase Sección 2.3.5.1.1).

Para seguir la evolución del fraguado del concreto, existen diversos procedimientos que miden los cambios que sufre el concreto conforme se rigidiza, en cuanto a resistencia al paso de una corriente eléctrica, velocidad de propagación de ondas sónicas, generación de calor, deformabilidad, resistencia mecánica, etc., de los cuales, solamente se encuentra reglamentado por métodos ASTM, el que mide la resistencia a la penetración con agujas tipo Proctor, de la fracción mortero obtenida por cribado en húmedo del concreto mediante la malla N° 4 (4.75 mm).

## **2.6 ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO**

Al entrar el concreto a la tercera etapa, es cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento que endurece la pasta y que a su vez, la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.

La hidratación del cemento, es un proceso que en condiciones favorables de humedad y temperatura evoluciona sin pausas, de manera tal que sus manifestaciones sucesivas, fraguado y endurecimiento, se producen sin interrupción. También, por definición convencional, el fraguado del concreto concluye cuando alcanza una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm<sup>2</sup>, 4,000 psi o 27.6 MPa al ser ensayado por el método de prueba ASTM C403, y a partir de ahí, comienza su verdadero endurecimiento. Juzgado físicamente en ese momento, el

concreto recién fraguado es un material rígido pero frágil, con una incipiente resistencia mecánica que medida a compresión no suele exceder a  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 100 psi o 0.7 MPa.

## **2.7 CONCRETO HIDRAULICO EN ESTADO ENDURECIDO**

### **2.7.1 DEFINICION Y PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

En la tercera etapa, es cuando el concreto ya fraguado, inicia el proceso de verdadero endurecimiento, que lo conduce a la adquisición de propiedades mecánicas y de otra índole, cuyo desarrollo suele representarse mediante la evolución de la Resistencia a Compresión simple del concreto ( $f'_c$ ).

Al concreto endurecido, no solamente debe exigírsele capacidad mecánica para soportar esfuerzos, sino que además, debe proveérsele de una composición idónea, que lo haga apto para resistir con éxito los efectos de las acciones dañinas durante toda la vida útil de la estructura; y para ello, es necesario conocer anticipadamente las características de los materiales previstos para la elaboración del concreto y las condiciones de exposición en que deban prestar servicio las estructuras, a fin de poder adoptar las precauciones que en consecuencia procedan.

### **2.7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO**

#### **2.7.2.1 RESISTENCIA MECANICA**

La resistencia mecánica del concreto endurecido, ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual, se ha considerado atribuible a tres principales razones<sup>[53]</sup>: 1) la resistencia mecánica (a compresión o flexión) tiene influencia directa en la capacidad de carga de las estructuras, 2) es

---

<sup>[53]</sup> FREEDMAN, S. (1974): "Properties of materials for reinforced concrete", Hand book of concrete engineering, Chapter 6. Van Nostrand Reinhold Co. New York.

la propiedad más fácilmente determinable en el concreto endurecido, y 3) los resultados de su determinación pueden ser utilizados como datos índice de otras propiedades del concreto.

En términos generales, la resistencia mecánica que potencialmente puede desarrollar el concreto depende de la resistencia individual de los agregados, la pasta de cemento endurecida, y de la adherencia que se produce entre ambos materiales. En la práctica, habría que añadir a estos factores el grado de densificación logrado por la mezcla de concreto en la estructura, ya que, como ocurre con otros materiales, la proporción de vacíos en el concreto endurecido, tiene un efecto decisivo en su resistencia mecánica y finalmente, la resistencia del conjunto es dictada por la que resulte más débil de las tres.

Generalmente, la resistencia intrínseca de los agregados de calidad normal es superior a la que se requiere en el concreto convencional, de manera que el caso más común, es que la resistencia del concreto sea gobernada por la pasta de cemento y/o por el grado de adherencia en el contacto pasta-agregado <sup>[54]</sup>.

#### **2.7.2.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION**

La Resistencia a la Compresión, se puede definir como: "La máxima resistencia medida de un espécimen (cilindro) de concreto a carga axial". Generalmente, se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ), a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $f'_c$ . Esta es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de estructuras de concreto.

La determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, se efectúa mediante el ensayo hasta la ruptura de especímenes representativos, con tres finalidades: 1) comprobar si las previsiones que se hacen al diseñar una mezcla de concreto son adecuadas para cumplir

---

<sup>[54]</sup> BURGESS, A. J., RYELL, J. Y BUNTING, J. (1987): "High strength concrete for the willows bridge", ACI Journal Vol. 67. N° 8.

con la resistencia del proyecto, 2) controlar la uniformidad de las resistencias y ajustarlas al nivel requerido durante la producción del concreto, y 3) verificar la resistencia del concreto como se encuentra en la estructura.

En la Tabla 2.13, se incluyen las especificaciones, métodos de prueba y prácticas ASTM, relacionadas con la determinación de la Resistencia a Compresión del concreto en especímenes representativos.

**Tabla 2.13:** Condiciones y procedimientos normalizados, para la determinación de la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) del concreto en especímenes representativos.

<b>ESPECIFICACIONES, METODOS DE PRUEBA Y PRACTICAS USUALES.</b>	<b>NORMA</b>
<b>Para especímenes de laboratorio:</b>	
Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto de prueba. (Práctica)	ASTM C192
<b>Para especímenes en obra:</b>	
Elaboración y curado en el campo, de especímenes de concreto de prueba. (Práctica)	ASTM C31
<b>Para especímenes de laboratorio y de obra:</b>	
Elaboración, curado acelerado y ensayo de especímenes de concreto a compresión. (Método de prueba)	ASTM C684
<b>Para especímenes obtenidos en la estructura:</b>	
Resistencia a la compresión de concretos colados en el lugar, en moldes cilíndricos. (Método de prueba)	ASTM C873
Obtención y ensayo de núcleos taladrados y vigas aserradas de concreto. (Método de prueba)	ASTM C42
<b>Para uso común en todos los casos:</b>	
Moldes para colar verticalmente cilindros de concreto de prueba. (Especificación)	ASTM C470
Gabinets y cuartos húmedos, y tanques de almacenamiento de agua, para ensayos de cemento y concreto hidráulicos. (Especificación)	ASTM C511
Uso de tapas no adheridas.	ASTM C1231
Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto.	ASTM C617
Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (Método de prueba)	ASTM C39
Verificación de la carga en máquina de ensayo. (Práctica)	ASTM E4

Fuente: Manual de Tecnología del Concreto Tomo III. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Se debe mencionar además, que los especímenes representativos pueden ser elaborados durante la fabricación del concreto, mediante la obtención de muestras del concreto en estado fresco, o bien, pueden ser obtenidos del concreto ya endurecido en la estructura.

Para extraer los especímenes de la estructura existen dos procedimientos: 1) el método tradicional que consiste en extraer especímenes cilíndricos (núcleos) por barrenación o especímenes prismáticos (viguetas) mediante el corte con sierra, y 2) el método alternativo, que es menos usual (porque su empleo se restringe a elementos planos horizontales), en el que se dejan moldes cilíndricos especiales sujetos a la cimbra de fondo.

#### **2.7.2.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION**

La Resistencia a la Flexión del concreto, se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. El valor de la Resistencia a la Flexión del concreto (MR), es aproximadamente del 8 al 15% de su Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) y a menudo se estima como 2.1 a 2.4 veces la raíz cuadrada de la Resistencia a Compresión ( $\sqrt{f'_c}$ ).

La resistencia del concreto a flexión, depende de las resistencias a flexión propias de la pasta de cemento, agregados y de la adherencia que hay entre ambos. La influencia relativa de estos factores, puede variar en función de los procedimientos que se utilizan para determinar la resistencia del concreto a flexión, que son básicamente tres (Véase Figura 2.26):

- ⊕ **PRUEBA DE TENSION DIRECTA (ASTM C307 <sup>[55]</sup>)**, por medio del ensayo de especímenes cilíndricos, sometidos a una fuerza de tensión axial.
- ⊕ **PRUEBA DE TENSION INDIRECTA (ASTM C496 <sup>[56]</sup>)**, mediante el ensayo de especímenes cilíndricos, sujetos a la aplicación de una carga de compresión diametral (prueba brasileña).

---

<sup>[55]</sup> ASTM Designation C307-03 (2008): "Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistance Mortar, grout, and Monolithic Surfacing", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

⊕ **PRUEBA DE TENSION POR FLEXION, EN ESPECIMENES PRISMATICOS (VIGUETAS) (ASTM C293 <sup>[57]</sup> y ASTM C78)**, ensayados opcionalmente con una carga concentrada en el centro del claro, o con dos cargas concentradas iguales y aplicadas en los dos tercios medios del claro.

En los ensayos bajo carga de corta duración, el concreto endurecido se manifiesta como un material de tendencia frágil, en concordancia con esta limitación, al diseñar las estructuras, se procura que el concreto no trabaje a flexión directa; sin embargo, casi siempre es inevitable que el concreto en la estructura deba soportar ciertos esfuerzos a flexión, ya sea como consecuencia de determinadas condiciones de carga que involucran flexión y cortante, o como resultado de las contracciones que se producen en el concreto, por secado o por temperatura, en condiciones que las restringen.

En la Resistencia a Flexión de la pasta de cemento endurecida, influyen como factores básicos, su grado de porosidad, la presencia de microfisuras y otras discontinuidades originales, tal como sucede a compresión; por consiguiente, la relación agua/cemento (A/C), la compactación y el curado, continúan operando como medios prácticos para su regulación y desarrollo.

---

<sup>[56]</sup> ASTM Designation C496/C496M-02: "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[57]</sup> ASTM Designation C293-02: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

**Figura 2.26:** Representación esquemática de los procedimientos usuales, para determinar la Resistencia a Flexión del concreto <sup>[58]</sup>.

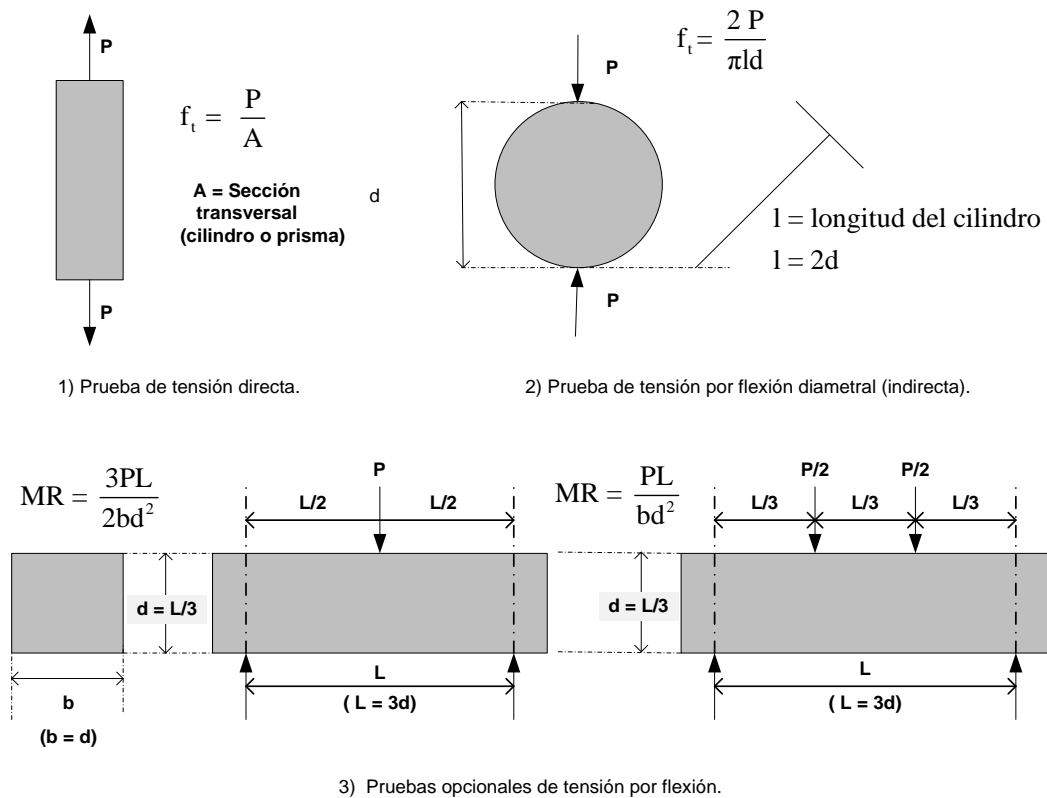


Figura tomada de: Manual de Tecnología del Concreto Tomo III. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

### 2.7.2.1.2.1 MODULO DE RUPTURA (MR)

El ensayo a flexión en vigas proporciona el Módulo de Ruptura (MR), se le llama “Módulo de Ruptura” al máximo esfuerzo teórico de flexión que se alcanza en la fibra inferior de la viga de prueba y es, por tanto, un indicador de la Resistencia a Flexión del concreto.

El valor del Módulo de Ruptura depende de las dimensiones de la viga y especialmente, de la distribución de la carga. El procedimiento que se sigue es el propuesto en la norma ASTM

<sup>[58]</sup> U.S. Bureau of Reclamation (1975): “Concrete Manual, Removal of forms and Finishing”. U.S. Department of the Interior, Chapter VI, section D. Washington, D.C.

C78, en el cuál, la distribución de la carga se ubica en los dos tercios medios del claro, está condición produce un momento flexionante constante y un cortante igual a cero ( $V=0$ ), en el tramo comprendido entre los dos puntos de carga, una parte de la superficie inferior de la viga (el tercio medio del claro, delimitado por la ubicación de las cargas), está sometida al esfuerzo máximo, y la grieta crítica puede generarse en cualquier sección que no sea lo suficiente resistente para soportar el esfuerzo (Véase Figura 5.5).

Generalmente, el concreto no se diseña para resistir éste tipo de esfuerzo, debido a sus propiedades, pero es muy importante, conocer la Resistencia a la Flexión para estimar la carga bajo la cual, se desarrolla el agrietamiento. La ausencia de agrietamiento, es importante porque garantiza la continuidad de una estructura, y también, en muchos casos evita la corrosión del acero de refuerzo. Por otro lado, conocer la Resistencia a la Flexión del concreto es fundamental, para poder comprender como se comporta el concreto reforzado. En el concreto, se puede utilizar la Resistencia a la Compresión,  $f'_c$ , como índice de la Resistencia a la Flexión, estableciendo una relación empírica entre ambas, el Comité ACI 330R <sup>[59]</sup>, propone la siguiente expresión:

$$MR = 2.3 f'_c{}^{\frac{2}{3}} \text{ (psi)}$$

$$MR = C \sqrt{f'_c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

En donde:

MR = Módulo de Ruptura.

C = Coeficiente con valores de 2.1 a 2.4

$f'_c$  = Resistencia a la Compresión.

---

<sup>[59]</sup> ACI Committee 330R-01: "Guide for Design and Construction of concrete Parking Lots", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

## **2.8 MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO**

### **2.8.1 GENERALIDADES**

La producción y entrega del concreto se lleva a cabo por medio de un proceso que se inicia con la dosificación, la cual, consiste en pesar y medir los ingredientes de la mezcla del concreto que luego son introducidos en el mezclador. El concreto debe mezclarse completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente.

Si el concreto ha sido mezclado adecuadamente, las muestras que se tomen de distintas porciones de la mezcla, tendrán los mismos pesos volumétricos, contenido de aire, revenimientos y contenido de agregado grueso.

Después de realizado el mezclado, el concreto debe ser transportado hacia el sitio de la obra, la amplitud y trascendencia de esta actividad puede ser muy variable, pues depende de la extensión y condiciones de distancia entre ambos sitios.

Una vez, el concreto se ha transportado hacia la obra, debe emplearse el método más adecuado para su colocación en el lugar de disposición final, esto puede realizarse de diversas formas entre las que se incluye, el empleo de una bomba mecánica o hidráulica, que ha sido la innovación más sencilla e importante en lo que se refiere a equipos para el manejo del concreto. Las bombas deberán ser de capacidad adecuada y transportar el concreto sin producir segregación, así como la pérdida de revenimiento desde la tolva hasta el final de la tubería debe ser mínimo <sup>[32]</sup>.

El mezclado, transporte y colocación del concreto, son cubiertos totalmente, en la publicación “Práctica recomendada para la medida, mezclado, transporte y vaciado del concreto” (ACI 304 <sup>[60]</sup>).

## **2.8.2 MEZCLADO**

El mezclado, es la actividad necesaria para producir un concreto uniforme, que contenga las proporciones requeridas de los materiales, de tal manera que sus características sean homogéneas y que cumplan con los requerimientos de un proyecto. Para producir un concreto de calidad uniforme, los ingredientes deben medirse con precisión en cada bachada. La mayor parte de las especificaciones estipulan que la dosificación se haga por peso y no por volumen, debido a la imprecisión que se experimenta al medir por volumen los materiales, especialmente la arena húmeda.

El mezclado se hace generalmente de las siguientes formas: 1) a mano, 2) con equipo portátil, 3) en plantas centrales y 4) en dos fases.

- 1. MEZCLADO A MANO:** Este tipo de mezclado es utilizado en obras pequeñas y de baja exigencia de producción (Véase Figura 2.27). En nuestro medio, es la forma más antigua de mezclar y se utiliza para producir mezclas con resistencias a compresión máximas de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

---

<sup>[60]</sup> ACI Committee 304-73: “Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

**Figura 2.27:** Mezclado del concreto a mano.



Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

- 2. MEZCLADO CON EQUIPO PORTÁTIL:** Esta clase de mezclado se realiza con mezcladores satisfactoriamente diseñados, que tienen un arreglo tal, que aseguran un intercambio de principio a fin de los materiales (Véase Figura 2.28).

**Figura 2.28:** Mezclado con equipo portátil y carga de materiales en un camión mezclador.



Figura tomada de: [www.unideco.com](http://www.unideco.com)

Los tipos más comunes de equipo portátil de mezclado son:

- ⊕ Mezclador con tambor inclinable.
- ⊕ Mezclador con tambor no inclinable
- ⊕ Mezclador de eje vertical.
- ⊕ Mezclador de paleta.
- ⊕ Camión mezclador.

- 3. MEZCLADO ESTACIONARIO O MEZCLADO EN PLANTA CENTRAL:** Este tipo de mezclado, se realiza completamente en un mezclador estacionario y luego, el concreto es

trasladado a otro equipo para ser transportado, ya sea un carro preparado que funcione mientras el mezclador opera o puede ser, la cama de un camión con o sin mezclador (Véase Figura 2.29).

**Figura 2.29:** Planta central de mezclado y transporte sin mezclado.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

Existen algunas recomendaciones que sugieren las especificaciones, cuando el mezclado es realizado en planta central y luego transportado al sitio, por ejemplo: el tiempo mínimo de mezclado es de un minuto y 20 segundos por metro cúbico ( $m^3$ ), aumentando 20 segundos por cada metro cúbico adicional o fracción. Las especificaciones para carreteras, usualmente, requieren un tiempo de mezclado más corto en este tipo de mezcladoras.

Ocasionalmente, cuando se presentan demoras en el proceso, es recomendable continuar el mezclado de la bachada durante varios minutos. Aunque se considera beneficioso el mezclado adicional, ya que añade uniformidad y resistencia, al ser este excesivo es perjudicial, ya que hay alguna acción de molienda durante la mezcla, particularmente, cuando se trabaja con agregados blandos.

Existen efectos del mezclado en el contenido de aire, ya que éste se incrementa 1% cuando el tiempo de mezclado se aumenta de 1 a 5 minutos, luego este permanece constante durante los siguientes 5 minutos, pero al cabo de 10 minutos, el aire se pierde gradualmente, si se continua con dicho proceso.

- 4. MEZCLADO EN DOS FASES:** Se le denomina así, al concreto que primero se mezcla parcialmente, en una mezcladora estacionaria y luego, termina su mezclado en un camión mezclador (Véase Figura 2.30).

**Figura 2.30:** Mezclado en dos fases.



Figura tomada de: [www.resansil.com/images/schwing/planta\\_concreto\\_dh90\\_5\\_big.jpg](http://www.resansil.com/images/schwing/planta_concreto_dh90_5_big.jpg)

Las especificaciones hacen notar que, cuando se usa un camión mezclador para completar el mezclado, se necesitan de 70 a 100 revoluciones del tambor o de las aspás, a la velocidad designada por el fabricante como “velocidad de la mezcla”, para producir la uniformidad especificada en el concreto. No deben usarse más de 100 revoluciones a la velocidad de mezclado. Todas las revoluciones después de 100, deberán hacerse a una velocidad de rotación, designada por el fabricante como “velocidad de agitación”. Esta velocidad es usualmente de 2 a 6 rpm. La velocidad de la mezcla es aproximadamente de 8 a 12 rpm, aunque algunas especificaciones permiten un mínimo de 4 rpm y una velocidad máxima periférica del tambor de 225 pies/min.

El concreto premezclado se deberá mezclar y entregar de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C94 “Especificación estándar para el concreto premezclado”, o la norma “Especificación para concreto hecho por dosificación volumétrica y mezclado continuo”, ASTM C685 <sup>[61]</sup>.

---

<sup>[61]</sup> ASTM Designation C685/C685M-01: “Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

### 2.8.3 TRANSPORTE

El concreto fresco debe transportarse mediante equipos y procedimientos que no afecten las características de las mezclas, en lo que se refiere a la homogeneidad, consistencia y temperatura, y deben ser protegidas de toda forma de contaminación (Véase Figura 2.31).

**Figura 2.31:** Transporte del concreto.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006) y [www.mixtolisto.com.sv](http://www.mixtolisto.com.sv)

Cada paso en el transporte del concreto necesita ser cuidadosamente controlado, a fin de mantener la uniformidad dentro de la mezcla, al igual que su volumen. Es esencial, evitar la segregación entre el agregado grueso y el mortero, o la del agua con los demás componentes.

Según el Comité ACI 304, se emplean muchos métodos para el transporte del concreto, entre los cuales, se puede mencionar: 1) las canaletas, 2) carretillas, 3) cucharones, 4) camiones, 5) bombas por tuberías y empujando neumáticamente.

1. **CANALETAS:** Deben ser de metal, de fondo redondeado, grandes, para evitar que derramen el concreto y que permitan que éste corra, lo suficientemente rápido, sin que los materiales se segreguen (Véase Figura 2.32).

**Figura 2.32:** Canaletas para transportar concreto.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

La mayor objeción que se hace a las canaletas, es que la segregación ocurre en la descarga. Se deben usar canales de metal o revestimiento metálico con dimensiones o pendientes de 6.10 m de largo y 1 vertical a 2 horizontal (1:2), respectivamente.

- 2. CUCHARONES:** Estos se usan generalmente en obras de gran masa y la mayor parte son circulares, el concreto es vaciado abriendo una compuerta que forma el fondo del cucharón (Véase Figura 2.33). En obras pequeñas, se prefieren los cucharones con compuertas que pueden regularse para controlar la salida del concreto y cerrarse después de haber vaciado parte del concreto.

**Figura 2.33:** Cucharones para transportar concreto.



**Figura tomada de:** [www.cement.org](http://www.cement.org)

- 3. TRANSPORTE EN BANDAS Y DUCTOS DE DESCARGA:** Estos se utilizan para acarrear concreto, si se toman ciertas precauciones para evitar segregación, pérdida perjudicial en revenimiento y pérdida de mortero en la banda de retorno (Véase Figura 2.34). La segregación ocurre, principalmente, en los puntos de transferencia y en los

extremos de los transportadores y puede evitarse, usando las tolvas adecuadas y canaletas de caída. La pérdida de revenimiento es originada, generalmente, por la evaporación o la elevación de temperatura y puede disminuirse al mínimo, protegiendo el transportador del sol y del viento. El mortero que se adhiere a la banda debe rasparse en el punto de descarga.

**Figura 2.34:** Bandas y ductos para transportar concreto.



**Figura tomada de:** [www.macoingenieria.com/images/montaje012.jpg](http://www.macoingenieria.com/images/montaje012.jpg)

En el clima cálido, seco o con mucho viento, se recomienda cubrir toda la banda para prevenir el secamiento del concreto y una pérdida excesiva de revenimiento.

- 4. CAMIONES MEZCLADORES O AGITADORES:** Es el método más común de transportar concreto. Actualmente, debido a los nuevos equipos de elaboración y colocación de concreto, es posible transportarlo en camiones de volteo y camiones con banda de descarga (Flow Boy) (Véase Figura 2.35).

**Figura 2.35:** Camiones para transportar concreto.



**Figura tomada de:** [www.resansil.com/images/schwing/planta\\_concreto\\_dh90\\_5\\_big.jpg](http://www.resansil.com/images/schwing/planta_concreto_dh90_5_big.jpg) y [www.concreterasalvadoreña.com.sv](http://www.concreterasalvadoreña.com.sv)

Cuando se usan camiones de volteo, se recomienda cubrir la volqueta con lona, ya que por su área de evaporación durante el transporte, el concreto puede perder agua por evaporación o por viento generado en el trayecto.

Cuando se use un camión mezclador como agitador, puede cargarse de un 30 a 35% más de su capacidad, que cuando se hace funcionar únicamente como mezclador.

- 5. BOMBAS:** El concreto bombeado puede definirse, como: “El que es transportado a presión, a través de tubos rígidos o mangueras flexibles y descargado directamente sobre el área deseada” (Véase Figura 2.36). Este método de transporte, es útil cuando el espacio resulta inadecuado para la operación de otro tipo de equipo de vaciado de concreto.

Existen ciertos requisitos de las mezclas cuando el concreto se transporta por bombeo, ya que es esencial hacer mucho énfasis en la variabilidad que estos presentan con respecto a otros métodos, con el objeto de producir una mezcla que sea exitosamente bombeable.

Se recomienda limitar el tamaño máximo de agregado grueso angular, a un tercio ( $\frac{1}{3}$ ) del diámetro interior mínimo del tubo o manguera, así como también, el tamaño máximo del agregado grueso bien redondeado al 40% del diámetro interior. El agregado grueso de peso normal y la arena, tienen que cumplir con ciertos requisitos de graduación según la norma ASTM C33, con los requisitos adicionales de que del 15 al 30% de las partículas de arena deben pasar la malla N° 50 y entre un 5 y 10% la malla N° 100. En general, son inadmisibles arenas con módulos de finura (MF) menores que 2.40 o mayores que 3.00.

Los agregados de peso liviano, absorben mayores cantidades de agua que los de peso normal y al estar sometidos a presiones de bombeo, pueden tender a absorber una cantidad de agua mayor. Esto puede resultar en pérdida en la línea del agua, para el concreto y por consiguiente perjudicar su facilidad de bombeo. El agregado liviano tiene

que preempaparse muy bien, antes de utilizarlo en concreto bombeado. El contenido mínimo de humedad después de empapado, deberá igualar o exceder a la absorción promedio del agregado en 24 horas. Es necesario, permitir drenaje durante 2 o 4 horas del agua libre de los agregados que se hubieran apilado preempapados, antes de utilizarlos en el concreto; esto con el fin de permitir el control del revenimiento uniforme.

El periodo posterior a la llegada del concreto a la obra, durante el cual, es posible trabajarlo adecuadamente, varía de 45 minutos o menos, en clima caliente a más de 2 horas, en clima frío.

A medida que transcurre el tiempo desde que el concreto ha sido mezclado, en él se presenta reacciones de hidratación del cemento, aumento de la temperatura, pérdida de consistencia, pérdida de la cantidad de aire incluido, etc. Por lo tanto, hay que procurar que este período intermedio entre el mezclado y la colocación del concreto, sea lo más corto posible. Para ello, será preciso coordinar y dimensionar adecuadamente, los sistemas de transporte, con el fin de evitar, retrasos o esperas innecesarias.

En grandes obras, habrá que habilitar vías de comunicación adecuadas, entre la planta de fabricación y el sitio de colocación, y en grandes áreas urbanas, organizar el transporte fuera de las horas con tráfico más intenso.

En aquellos casos en los que el concreto se coloque lentamente, será conveniente considerar la posibilidad de enviar menor cantidad de concreto en cada unidad de transporte, utilizar retardadores de fraguado en la mezcla, o bien, elaborar el concreto en el lugar de la obra y solo transportar los componentes del mismo.

**Figura 2.36:** Bombas para transportar concreto.



Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006) y [www.concreterasalvadoreña.com.sv](http://www.concreterasalvadoreña.com.sv)

#### **2.8.4 COLOCACION**

La preparación previa al colado del concreto, incluye diversas actividades, como por ejemplo, el montaje de las cimbras y la fijación del acero de refuerzo y demás accesorios que van a quedar insertos en la estructura. Las cimbras deberán estar limpias, firmes, fijadas de manera exacta, adecuadamente apuntaladas y/o construidas con materiales que brinden el acabado deseado al concreto endurecido. Las cimbras de madera, a menos que hayan sido aceitadas o tratadas con algún agente que permita su remoción, deberán humedecerse antes del colado del concreto, ya que de otra manera absorberían el agua del concreto; así mismo, el acero de refuerzo deberá estar limpio y libre de herrumbre o de costras de laminado, al colar el concreto.

Los métodos de colocación del concreto deberán mantenerlo uniforme y liberarlo de imperfecciones obvias. Esta fase del trabajo resulta ser a menudo, la clave de toda la operación de colocación. Los métodos apropiados de colocación no solo prevendrán la segregación y la aparición de áreas porosas, sino que también, evitarán el desplazamiento de las formaletas y el refuerzo, asegurarán adherencia firme entre las capas, minimizarán el agrietamiento por contracción de fraguado y producirán una estructura de buena apariencia (Véase Figura 2.37).

El concreto deberá depositarse cerca de su localización final y no se ha de permitir que fluya lateralmente, sino por corta distancia, a menos que sea bien evidente que toda la mezcla

este moviéndose sin segregación. Además, deberá colarse en capas horizontales de espesor uniforme y no en pilas corridas, para luego moverlo horizontalmente, lo cual, produce segregación; las capas deberán ser de 15 a 50 cm de espesor para elementos reforzados y de 38 a 50 cm para trabajos masivos; el espesor dependerá del ancho de las cimbras, de la cantidad de refuerzo y del equipo de vibración utilizado.

**Figura 2.37:** Colocación del concreto en la obra.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

Las consideraciones que deben tenerse al momento de realizar la colocación en clima húmedo son: 1) no colocar concreto mientras está lloviendo a menos que se proporcione la protección adecuada y 2) no se debe permitir que el agua lluvia incremente el agua de mezclado o que dañe la superficie del concreto. En caso contrario, si la colocación de concreto se realiza en clima cálido, debe considerarse que la temperatura del concreto al colarse no debe exceder de 32 °C (90 °F), también, no será aceptable, la pérdida de revenimiento, el fraguado instantáneo o la existencia de juntas frías, debido a la temperatura del concreto al colocarse.

#### **2.8.4.1 COMPACTACION**

El Comité ACI 116 define la compactación, como: "El proceso según el cual, un volumen de mortero o de concreto recién colocado se reduce al espacio mínimo practicable, por medio de vibración, centrifugación, apisonamiento, o una combinación de estas acciones, para moldearlo dentro de las cimbras, alrededor del acero de refuerzo y de otras partes embebidas, y para eliminar las burbujas del aire atrapado, pero no las del aire incluido intencionalmente". Esta

ultima diferenciación es importante, porque con la compactación del concreto se pretende eliminar al máximo el aire atrapado que es indeseable, pero sin reducir substancialmente el aire intencional, que eventualmente se incluye con objeto de inducir ciertas características y propiedades útiles en el concreto, tanto en su estado fresco como ya endurecido.

Para la compactación del concreto existen diferentes métodos de compactación que lo moldean dentro de la cimbra y alrededor de los elementos insertos y del refuerzo, con el fin de eliminar los depósitos de piedra, los apanalamientos y las cavidades de aire atrapado, entre éstos, el más utilizado, es el “método mecánico” que consiste en la utilización de vibradores, ya sea internos o externos (Véase Figura 2.38).

**Figura 2.38:** Regla vibratoria para la consolidación del concreto.



**Figura tomada de:** Curso “Fundamentos de Tecnología del Concreto”. ISCYC (2006) y [www.mixtolisto.com.sv](http://www.mixtolisto.com.sv)

La vibración, es el método de asentamiento más eficaz, proporciona características al concreto de resistencia, compacidad y buen acabado. El vibrado consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas, con frecuencia elevadas, que permitan una buena eliminación del aire atrapado y un mínimo de cavidades en la superficie. Es importante, darle uso adecuado a los vibradores para obtener los mejores resultados; los vibradores no deben utilizarse para mover horizontalmente al concreto, ya que esto provoca segregación y siempre que sea posible, el vibrador deberá introducirse verticalmente en el concreto a intervalos regulares.

El Capítulo 11 del Comité ACI 309, recomienda que los pavimentos se compacten mediante vibrado completo. El tipo de vibrado (interno o externo) lo determinan, el espesor de la losa, la velocidad de ejecución, la consistencia y otras características de la mezcla de concreto.

1. **VIBRADORES INTERNOS:** Los vibradores internos por lo general, pueden emplearse cuando el espesor del pavimento sea de 20 cm o más. Además de los vibradores internos normales, existen vibradores en forma de “L” para la construcción de pavimentos, estos están especialmente diseñados para compactar losas delgadas y operar por encima de las mallas en pavimentos reforzados.

Dichos vibradores están por lo general, montados en serie sobre un marco horizontal que debe de estar colocado justo delante de la primera regla o placa de aplanado.

El marco debe de ser ajustable hacia adelante o hacia atrás, para compensar las diferencias de consistencia del concreto de una obra a otra (Véase Figura 2.39). El marco debe de tener una capacidad para espaciar de 10 a 14 vibradores sobre un ancho de pavimentación de 7.3 m. Asimismo, debe de tener movimiento vertical para que los vibradores puedan retirarse por completo del concreto.

**Figura 2.39:** Vibradores de escoplo, montados en serie, para compactación de pavimentos de concreto.



Figura tomada de: Comité ACI 309R-96, Capítulo 11.

2. **VIBRADORES SUPERFICIALES:** En la construcción de pavimentos de concreto, se emplean tres tipos de vibradores de superficie: 1) el de artesa, 2) la regla vibratoria y 3) el vibrado de rodillos (Véase Figura 2.40). Estos vibradores superficiales, se emplean en pavimentos de espesor inferior de 20 cm.

La pavimentadora, es una unidad con doble propósito, ya que compacta el concreto y da acabado a la vez. Los extremos de la llana generalmente no cuentan con ruedas.

Otro tipo de vibrador de superficie, es el vibrador de rodillos, que lo mismo que el anterior enrasa y compacta a la vez. Su frecuencia debe de ser ajustable, el modelo que se utiliza con más frecuencia, es de 100 a 400 vibraciones por minuto.

**Figura 2.40:** Vibrador de superficie tipo artesa y niveladora antigua con camiones.



Figura tomada de: Comité ACI 309R-96, Capítulo 11.

- 3. VIBRADORES MANUALES:** Deben emplearse vibradores manuales de inmersión, en lugares donde, no sea posible otro método de vibración (Véase Figura 2.41). La cabeza del vibrador debe estar sumergida por completo y lo más vertical posible, para evitar la segregación del mortero. El espaciamiento de las vibraciones debe de ser en general de 50 a 75 cm, alrededor de 1 a  $\frac{1}{2}$  veces el radio efectivo de influencia.

Es preferible que haya poca distancia en las inmersiones, a que estén demasiado separadas. El vibrador debe de operar en un solo sitio hasta que el concreto este bien compactado; después, se debe de retirar despacio para asegurar que se cierre la cavidad que resulta de la inmersión.

El tiempo necesario para efectuar la consolidación completa, varía según la trabajabilidad del concreto y la fuerza centrífuga del vibrador. El tiempo de vibrado puede ser de 5 a 20 segundos, por punto de aplicación.

**Figura 2.41:** Vibradores manuales para concreto.



Figura tomada de: [www.americanimportlaflorida.com/upload/VIBRADORWAKER1.JPG](http://www.americanimportlaflorida.com/upload/VIBRADORWAKER1.JPG)

## 2.9 ACABADO SUPERFICIAL

El acabado, es la operación que le confiere a una superficie de concreto la textura, planicidad y durabilidad deseada. El acabado puede ser estrictamente funcional o decorativo.

El acabado hace al concreto atractivo y listo para ser puesto en servicio. La textura final, dureza y el patrón de juntas sobre las losas, pisos, aceras, patios y pavimentos, depende del uso final que se le dará al concreto. Las losas que conforman el pavimento, deben tener pendientes para desalojar el agua y deben estar provistas de textura para no ser resbalosas cuando se humedecen. El proceso constructivo para obtener los acabados superficiales mencionados, se encuentran publicados en la Sección 5 del Comité ACI 301 <sup>[62]</sup> y se detallan a continuación:

1. **ACABADO LISO:** Coloque, consolide, enrase y nivele el concreto, eliminando los puntos salientes y bajos. No continúe trabajando el concreto, hasta que esté listo para alisarse, empiece a alisar con una llana manual o mecánica, cuando el agua de sangrado haya desaparecido y la superficie este rígida, pero que permita esta operación (Véase Figura 2.42).

---

[62] ACI Committee 301-99: "Specification for Structural Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

**Figura 2.42:** Aplanadera de mango largo y aplanadera de mano.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

2. **ACABADO ASPERO:** Coloque, compacte, enrasc y nivele, eliminando los puntos salientes y bajos. Se puede proveer aspereza a la superficie con cepillos duros o rastrillos, antes del fraguado final.
3. **ACABADO CON LLANA:** Nivele la superficie de concreto, luego allane mecánicamente hasta que esté lista y libre de marcas de llana (Véase Figura 2.43).

**Figura 2.43:** Aplanadoras motorizadas.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

4. **ACABADO CON ESCOBA O BANDA:** Inmediatamente después de que el concreto haya recibido un acabado liso, hay que darle a la superficie del concreto, una textura estriada transversal gruesa, jalando una escoba o lienzo de yute, a través de la superficie (Véase Figura 2.44).

**Figura 2.44:** Acabado con escoba.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

## 2.10 CURADO

Cuando se mezcla cemento con agua, tiene lugar una reacción química, esta reacción llamada "hidratación", es la que hace que el cemento y por tanto, el concreto, se endurezca y con el tiempo desarrolle resistencia. Este desarrollo de resistencia se realiza, sólo sí, el concreto se mantiene húmedo y a temperatura favorable, especialmente, durante los primeros días.

El curado del concreto puede definirse, como: "El proceso de mantener la humedad y temperatura del concreto recién colado, durante algún periodo definido posterior a su colocación, para asegurar la hidratación satisfactoria de los materiales cementantes y el endurecimiento apropiado". El curado mejora grandemente la condición de la superficie y la calidad general del concreto.

La hidratación, es un proceso de maduración que solo puede ocurrir en los poros capilares llenos de agua, por lo que la desecación de los poros capilares debe evitarse. Una evaporación de agua en el concreto recién colado, puede retardar apreciablemente el proceso de hidratación del cemento a edad temprana. La pérdida de agua, también produce retracción de concreto, lo que genera esfuerzos de tensión; si se produce antes que el concreto haya alcanzado suficiente resistencia, pueden aparecer fisuras.

El periodo de curado, inicia cuando el concreto entra en su etapa de “concreto tierno”, es decir, al finalizar el periodo de fraguado (Véase Figura 2.25). El lapso mínimo de curado, abarca desde alrededor de las 7 horas hasta los 7 primeros días, posteriores a la elaboración del concreto. Aunque generalmente, el periodo de curado del concreto finaliza entre 3 días a 2 semanas, posteriores a la elaboración de la mezcla de concreto, lo que depende de condiciones como: la temperatura, tipo de cemento, proporciones usadas en la mezcla, etc.

En los Comités ACI 318 “Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentarios” y ACI 308 <sup>[63]</sup> “Curado del concreto”, se recomienda un curado no menor a 7 días, para el concreto utilizado en la construcción de carreteras.

### 2.10.1 METODOS DE CURADO

El concreto puede mantenerse húmedo y en algunos casos, a temperatura favorable, a través de varios métodos de curado que pueden clasificarse así:

1. **METODOS EN LOS QUE SE AUMENTA LA HUMEDAD DE LA SUPERFICIE DE CONCRETO, DURANTE EL PRINCIPIO DEL PERIODO DE ENDURECIMIENTO:**  
curado por inundación; por aspersión y cubiertas mojadas (Véase Figura 2.45).

**Figura 2.45:** Curado por inundación, por aspersión y cubiertas húmedas.



**Figura tomada de:** Curso “Fundamentos de Tecnología del Concreto”. ISCYC (2006).

---

<sup>[63]</sup> ACI Committee 308-71: “Standard Practice for Curing Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

- MÉTODOS EN LOS QUE SE IMPIDE LA PERDIDA DE HUMEDAD DEL CONCRETO, CUBRIENDO LA SUPERFICIE HERMÉTICAMENTE:** curado con papel impermeable; hojas de plástico; compuestos líquidos que forman membrana; dejando los moldes, en el lugar del curado durante algún tiempo (Véase Figura 2.46).

**Figura 2.46:** Curado con papel impermeable, hojas de plástico y compuestos líquidos que forman membrana.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

- MÉTODOS EN LOS QUE SE ACELERA EL ENDURECIMIENTO APLICANDO CALOR Y HUMEDAD AL CONCRETO:** curado con vapor a presión atmosférica, y curado con vapor a alta presión con autoclave (Véase Figura 2.47).

**Figura 2.47:** Curado con vapor.



**Figura tomada de:** [www.kraftenergy.com/espanol/images/aplicaciones/vapor-cure-beams.jpg](http://www.kraftenergy.com/espanol/images/aplicaciones/vapor-cure-beams.jpg)

En el caso de los pavimentos, el método más utilizado es el curado por retención de humedad, en específico, el curado con compuestos líquidos que forman membrana (Véase

Figura 2.48). Éstos se describen en el Capítulo 8 del Comité ACI 302 <sup>[64]</sup> “Construcción de losas y pisos de concreto”.

**Figura 2.48:** Aplicación del curado en pavimentos con equipo mecánico.



Figura tomada de: Curso “Fundamentos de Tecnología del Concreto”. ISCYC (2006).

Los compuestos líquidos para curado que forman membranas, retardan o impiden la evaporación del agua del concreto. Sirven, para curar no sólo el concreto fresco, sino también, para curar el concreto después de quitar los moldes o después del curado inicial con humedad.

Los compuestos para el curado, son de cinco tipos generales: 1) claros o translúcidos, 2) con pigmento blanco, 3) con pigmento gris claro, 4) negros y 5) con pigmentos rojos. Los compuestos claros o translúcidos pueden contener colores que se destiñen pronto, después de su aplicación. Esto sirve para asegurarse de que las superficies expuestas han quedado completamente cubiertas. Para los días calientes en que brilla el sol, los compuestos con pigmentos blancos son los más efectivos, porque reflejan los rayos del sol y por lo tanto, reducen la temperatura del concreto. Los compuestos que llevan pigmentos se deben mantener en agitación, para evitar que éstos se asienten.

La superficie del concreto deberá estar húmeda, cuando se aplique el recubrimiento. Normalmente, se aplica una sola mano pareja, pero puede ser necesario dar dos manos, para

---

<sup>[64]</sup> ACI Committee 302.1R-04: “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.

asegurarse que el recubrimiento es completo. Cuando se da una segunda mano, ésta se deberá aplicar en ángulo recto a la primera.

Los compuestos para curar, se aplican con equipo operado a mano o con equipo aspersor operado mecánicamente, inmediatamente después que haya desaparecido el brillo del agua y del acabado final del concreto (Véase Figura 2.49). El equipo mecánico de aspersión, que se recomienda para hacer aplicaciones uniformes en las grandes obras de pavimentación, deberá tener espreas y un parabrisas, para evitar la pérdida de material por las corrientes de aire.

**Figura 2.49:** Curado en pavimentos a mano o con equipo aspersor operado mecánicamente.



**Figura tomada de:** [www.romarointer.com/images/proyectos/thumbnails/texturizadora-ch.jpg](http://www.romarointer.com/images/proyectos/thumbnails/texturizadora-ch.jpg)

Los compuestos que se aplican por aspersión y que forman membranas para el curado, encierran herméticamente al pavimento de concreto, de manera tal, que el agua se retiene en la losa para la hidratación del cemento. De esta manera, el curado continúa hasta que el tráfico y la intemperie destruyan la membrana de recubrimiento.

Los compuestos para curado, pueden impedir la adherencia entre el concreto duro y el concreto fresco; en consecuencia, no deberán usarse, si la adherencia es necesaria. Por ejemplo, no se aplicará un compuesto para curado, a la losa de la base de un piso de dos capas, ya que puede impedir que se adhiera la capa superior. De manera semejante, algunos compuestos para el curado afectan la adherencia de la pintura o de los materiales resilientes para pisos o las losas de concreto de los mismos. Se debe consultar a los fabricantes de los

compuestos para curado, a fin de saber, si sus productos quedan comprendidos dentro de esa categoría.

Los compuestos para curado, se deben poner en proporción suficiente para cumplir con el requisito de retención de agua de la norma ASTM C309 “Especificación para compuestos líquidos que forman membrana para curado de concreto”, o con los requisitos de retención de agua más estrictos, según lo demande el proyecto. Los valores usuales para un buen cubrimiento, varían de 150 a 300 pies<sup>2</sup> por galón (3.5 a 7.5 m<sup>2</sup> por litro).

Además, se describe un método para determinar la eficacia de los compuestos para el curado, así como también, la del papel impermeable y de las hojas de plástico en la norma ASTM C156 <sup>[65]</sup>.

## **2.11 MANERA DE EVITAR EL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCION DEBIDA A LA PLASTICIDAD**

La contracción que algunas veces ocurre en la superficie del concreto fresco, poco después de haber sido colado y cuando todavía está en estado plástico, se llama “agrietamiento por contracción plástica”. Estas grietas aparecen generalmente, en superficies horizontales y pueden prácticamente eliminarse, si se toman las medidas adecuadas para disminuir sus causas al mínimo.

El agrietamiento por contracción debido a la plasticidad, se asocia usualmente, a los colados hechos en clima caluroso; sin embargo, puede ocurrir en cualquier tipo de clima, cuando las circunstancias producen una rápida evaporación de la humedad en la superficie del concreto. Estas grietas pueden aparecer cuando la evaporación excede a la rapidez del agua para subir a la superficie del concreto. Las siguientes condiciones, solas o combinadas,

---

<sup>[65]</sup> ASTM Designation C156-03: “Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

aumentan la evaporación de la humedad superficial e incrementan la posibilidad de la contracción por plasticidad:

- ⊕ La elevada temperatura del concreto.
- ⊕ La elevada temperatura del aire.
- ⊕ La baja humedad.
- ⊕ Vientos fuertes.

Por ejemplo, cuando la temperatura del concreto es de 21.1 °C (70.0 °F) y la temperatura del aire 4.44 °C (40.0 °F), la temperatura de una capa de aire situada inmediatamente arriba de la losa aumentará; por tanto, su humedad relativa se reducirá y con frecuencia aparecerán grietas por contracción.

El nomograma mostrado en la Figura 2.50, es útil, para conocer cuándo es necesario tomar precauciones. No existe manera de predecir con certeza cuándo ocurrirá una contracción.

El Comité ACI 305 <sup>[66]</sup> "Concreto en clima cálido", establece que cuando la evaporación es tan elevada como de 0.2 a 0.3 lb/pie<sup>2</sup>/hora (0.978 a 1.467 kg/m<sup>2</sup>/hora), es casi indispensable tomar precauciones. El agrietamiento es posible de presentarse, si la evaporación excede de 0.1 lb/pie<sup>2</sup>/hora (0.489 kg/m<sup>2</sup>/hora).

Las sencillas precauciones, cuya lista se da en seguida, pueden disminuir al mínimo la posibilidad de que se produzca agrietamiento por contracción debido a la plasticidad. Deberán tomarse en cuenta, cuando se esté planificando la construcción de una obra de concreto o cuando se esté tratando del problema, si ocurre después de haber comenzado la construcción. No se enumeran en orden de importancia, sino más bien, en el orden en que se pueden efectuar durante la construcción:

---

<sup>[66]</sup> ACI Committee 305-99: "Hot Weather Concreting", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

1. Humedecer la subrasante y los moldes.
2. Humedecer los agregados, si están secos y si son absorbentes.
3. Levantar rompevientos, para reducir la velocidad del viento sobre la superficie del concreto.
4. Levantar toldos, para reducir las temperaturas de la superficie del concreto.
5. Disminuir la temperatura del concreto fresco durante clima caliente, usando agregados y agua de mezcla fríos.
6. Evitar el excesivo calentamiento del concreto fresco, durante tiempo fríos.
7. Proteger el concreto con cubiertas mojadas temporales, cuando se produzcan retrasos apreciables entre el colado y el acabado.
8. Reducir el tiempo entre el colado y el principio del curado, mejorando los procedimientos de construcción.
9. Proteger el concreto durante las primeras horas después del colado y acabado, para disminuir la evaporación al mínimo. Esto es lo más importante, para evitar la contracción y el agrietamiento. La aplicación de humedad a la superficie, usando un aspersor de niebla, es un medio efectivo para evitar la evaporación en el concreto, que deberá usarse hasta que se emplee un material adecuado para el curado, ya sea arpillera mojada, o papel para curar. Sin embargo, el rociado durante las operaciones de acabado hará más daño que provecho, diluyendo y debilitando la pasta de cemento en la superficie.

**Figura 2.50:** Efecto de la humedad relativa, la velocidad del viento, las temperaturas del concreto y del aire en el grado de evaporación en la superficie del concreto.

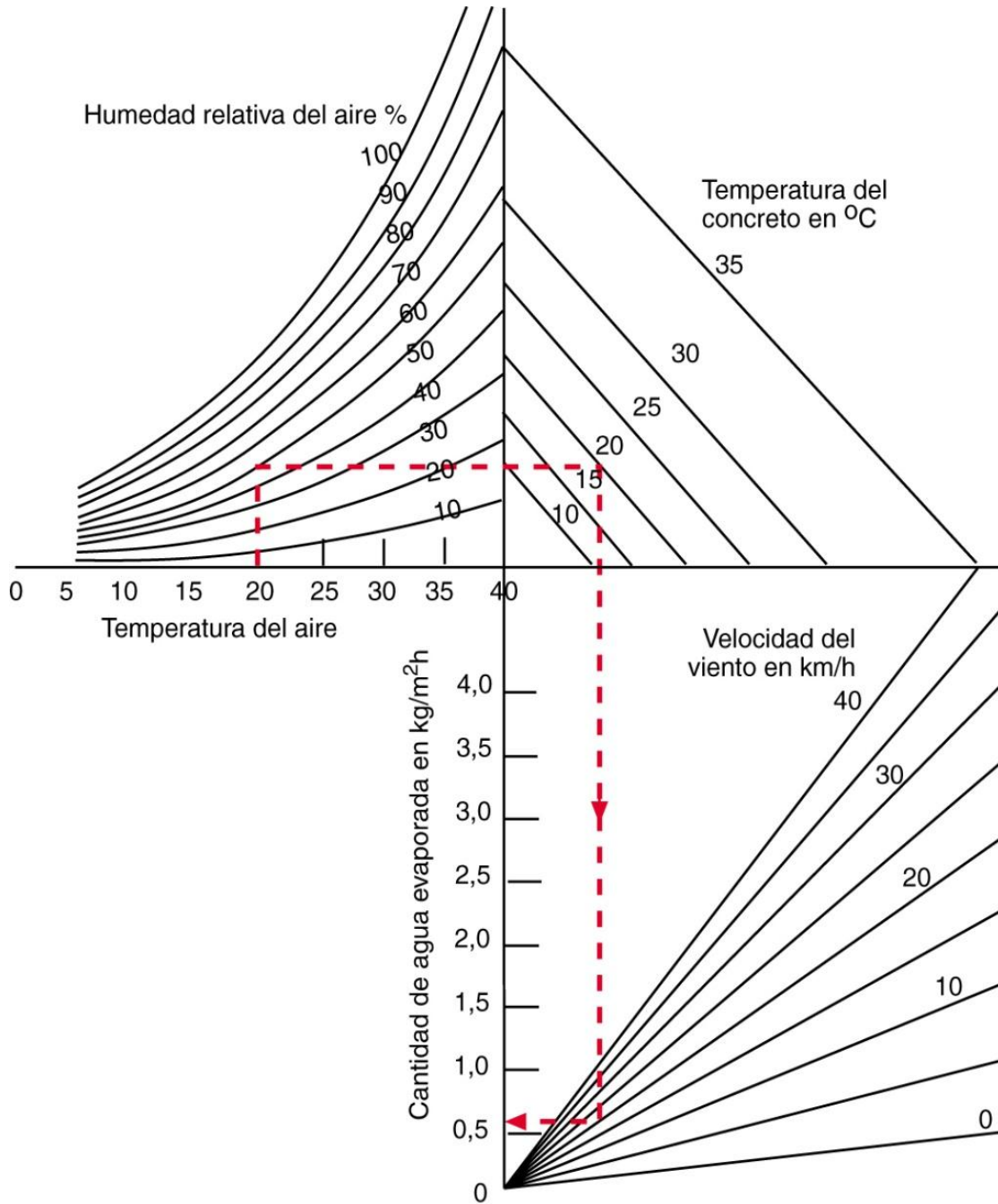


Figura tomada de: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).



## CAPITULO III

# TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR



Redondel Apopa-Nejapa. San Salvador, El Salvador.

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

### 3.1 INTRODUCCION

En años recientes, el uso del concreto para la construcción de pavimentos en zonas residenciales, calles urbanas y carreteras, se ha incrementado a pasos acelerados, debido principalmente, al mejoramiento y ampliación de la red vial en El Salvador.

Por esta razón, se realiza el trabajo de graduación denominado: **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRÁULICO UTILIZADO EN CARRETERAS”**, con el objeto de brindar un documento útil a contratistas, diseñadores y/o productores de concreto, sobre la utilización de este tipo de aditivos como componentes de la mezcla.

El trabajo experimental, constituye uno de los elementos claves en esta investigación, ya que es indispensable para verificar la influencia que tiene la variación de la dosificación de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, en las propiedades de consistencia y resistencia del concreto hidráulico utilizado en la construcción de carreteras, debido a que estas propiedades son fundamentales, tanto para la etapa de diseño como durante el proceso de mezclado, transporte y colocación del concreto.

Un buen trabajo de experimentación debe ser minuciosamente planeado; es necesario tomarse el tiempo suficiente para organizar los preparativos, a fin de obtener, con mayor eficiencia, resultados que tengan un valor congruente al procedimiento seguido. Por lo tanto, a continuación se presentan los pasos lógicos y las normas que se seguirán, para realizar el trabajo experimental.

Este capítulo lo constituyen: la descripción de la metodología a utilizar en el trabajo experimental, las pruebas seleccionadas y los requisitos que debe satisfacer tanto los componentes de la mezcla, así como el concreto mismo en su estado fresco y endurecido, además de la codificación de los especímenes.

### **3.2 GENERALIDADES**

Para la presente investigación cada una de las mezclas de concreto, estará constituida por un material aglutinante (cemento hidráulico), dos materiales de relleno (agregado grueso y fino), agua, aire y aditivo (reductor de agua de alto rango y retardante de última generación); combinación que por la calidad de las propiedades físicas de cada componente, se prevé sea capaz de producir mezclas, con el grado de trabajabilidad requerido en estado fresco y las características mecánicas y estéticas esperadas en estado endurecido.

Las características de los componentes de la mezcla de concreto deben ser determinadas previo a la realización de su diseño, ya que éstas, servirán como datos de entrada para los cálculos de las proporciones de los materiales, con las distintas resistencias, dosificaciones de aditivo y reducciones en el agua de mezclado, que se elaborarán según la metodología propuesta por el Comité ACI 211.1. Determinar las propiedades de los componentes del concreto, proporciona un indicador del comportamiento que en sí tendrá éste, ante los ensayos a realizarse en él.

Para el caso del concreto hidráulico utilizado en la construcción de pavimentos, sus componentes, deben ser sometidos al mismo control de calidad que para un concreto convencional. Los materiales elegidos poseen un antecedente de calidad y uso bastante extenso, por lo que en términos generales, el control de laboratorio de cada uno de ellos está regido por el proveedor.

La presente investigación parte de los resultados proporcionados por dichos estudios, verificando así, la calidad y consistencia de los mismos.

### **3.3 PARAMETROS FIJOS Y VARIABLES**

#### **3.3.1 PARAMETROS FIJOS**

Por la naturaleza del trabajo, debe definirse aquellos parámetros que inciden en el desarrollo de la investigación. Un parámetro fijo, es: “Aquella característica, propiedad o condición (de los materiales, procedimientos o actividades) que durante el proceso de la investigación se mantienen inalterables”. Caso contrario, un parámetro variable, es aquel que sufre alteraciones durante el desarrollo del proceso de investigación.

De acuerdo a la metodología del trabajo experimental a realizar, se tienen los siguientes parámetros fijos:

##### **3.3.1.1 CONDICIONES DE LABORATORIO**

La elaboración de las dieciocho mezclas y los ensayos al concreto en estado fresco se realizarán en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC).

Mientras que los ensayos al concreto en estado endurecido, se realizarán en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) y en el Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” de la Universidad de El Salvador (UES), las pruebas de laboratorio serán ejecutadas por los integrantes de esta investigación, exceptuando los casos especiales, como por ejemplo: el manejo de la máquina universal, para el caso de la prueba a compresión en cilindros y flexión en viguetas, etc.

El equipo de laboratorio (balanza, mezcladora, etc.) será el mismo, en lo que a la fabricación del concreto se refiere.

### **3.3.1.2 AGREGADOS PETREOS PARA EL CONCRETO**

Para el caso de los agregados a emplear en la elaboración de las dieciocho mezclas de concreto, las propiedades y características se presentan en el Capítulo IV “PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA”. La arena a utilizar en todos los ensayos, es natural y procede de una misma fuente. En el caso de las gravas, estas proceden de una cantera específica, siendo de dos tamaños distintos, llamados comercialmente “Grava N° 2” y “Grava N° 1”, con Tamaños Máximos Nominales (TMN) de 1 pulgada y  $\frac{3}{4}$  de pulgada, respectivamente.

### **3.3.1.3 COMBINACION OPTIMA DE AGREGADOS GRUESOS**

Previo a la elaboración de las mezclas, se determinará la combinación óptima de agregado grueso, con el fin de producir una mezcla económica y con las características deseadas. Éste se realizó como se indica en la Sección 4.2.1.2.3.1, del Capítulo IV “PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA”.

Dicho procedimiento se efectuó, debido a que en el diseño de mezclas de concreto para pavimentos, se requiere realizar una combinación de agregados gruesos de distintos tamaños, y a veces, agregados finos de diferentes procesos de producción, con el propósito de reducir los costos en grandes volúmenes de concreto y evitar que la mezcla segregue durante su transporte y colocación.

### **3.3.1.4 CEMENTO**

El cemento a utilizar para la fabricación del concreto, es de procedencia local, y suministrado por CESSA (Cemento de El Salvador S.A. de C.V.), denominado como “CESSA PAV”, regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE. Según la información brindada por la firma productora, este cemento alcanza resistencias a compresión mayores a los 4,200 psi a los 28 días de edad. Este tipo de cemento será el empleado en todas las mezclas de concreto.

### **3.3.1.5 AGUA**

La norma ASTM C1602 “Especificación estándar para agua de amasado usada en la producción de concreto de cemento hidráulico” indica los requisitos que debe satisfacer el agua para la elaboración de concreto de cemento hidráulico. Sin embargo, en esta investigación, el agua a emplear en la fabricación de las mezclas y en el curado de los especímenes, es proveniente de la red local de ANDA proporcionada al Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC).

### **3.3.1.6 ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE**

El aditivo Tipo G (Reductor de agua de alto rango y retardante) a utilizar para la fabricación de las dieciocho mezclas de concreto, pertenece a la familia química de los órganos sulfonatados y es un complejo polimérico, orgánico y sintético, soluble en agua que no contiene cloruro. Interacciona químicamente con las partículas de cemento en el concreto recién mezclado, resultando en una mejorada distribución de la mezcla. Además, éste contiene un componente llamado “Policarboxilato” que caracteriza a los aditivos de tercera generación y permite obtener mayores reducciones en el agua de mezclado.

Los policarboxilatos, se desarrollaron hace cinco años aproximadamente, las investigaciones confirman un comportamiento superior comparado con otros aditivos tradicionalmente utilizados. En El Salvador, este tipo de aditivos son de reciente importación, razón que también contribuye al hecho, que su uso carezca de antecedentes extensos.

Los policarboxilatos se basan químicamente en copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico, que poseen largas cadenas laterales a diferencia de los plastificantes tradicionales. La capacidad reductora de agua o poder plastificante, es incrementado drásticamente (hasta 40 % de reducción en el agua de mezclado).

Por otra parte, no son caracterizados como aditivos inclusores de aire en la mezcla, por lo que no afectan el sistema de vacíos de aire en la matriz del concreto.

### **3.3.1.7 CONDICION DE MATERIALES PETREOS PARA EL CONCRETO**

Para determinar las proporciones de agregados gruesos y agregado fino a utilizar en la elaboración de cada una de las mezclas de concreto, los materiales se emplearán en condición “secado al aire” (Véase Figura 2.10) y de esta misma forma, se utilizarán durante todo el proceso experimental.

### **3.3.1.8 METODO PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS**

Las proporciones de las dieciocho mezclas de concreto, se obtendrán utilizando la metodología propuesta por el Comité ACI 211.1, para “concretos de peso normal”.

### **3.3.1.9 REVENIMIENTO**

Se fijo el revenimiento para el diseño de las dieciocho mezclas de concreto, en el rango de valores de 2 a 3 pulgadas (5.0 a 7.5 centímetros).

## **3.3.2 PARAMETROS VARIABLES**

De acuerdo a la metodología del trabajo experimental a realizar, los parámetros variables a considerar son:

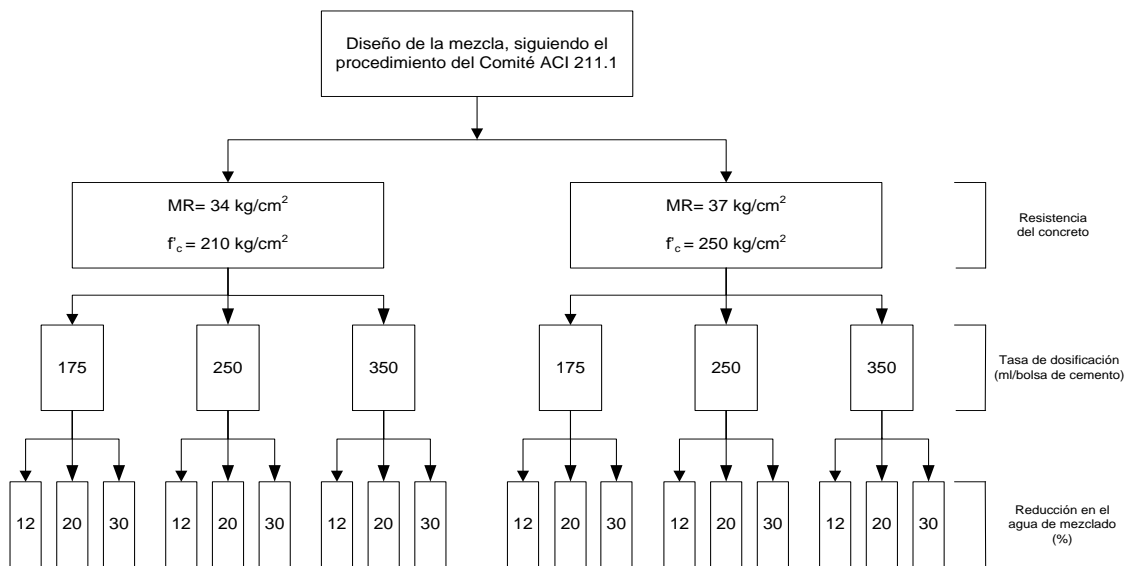
- ⊕ Contenido de humedad (CH%) de los agregados.
- ⊕ La tasa de dosificación del aditivo, así como también, el efecto generado en la reducción en el agua de mezclado, por el uso de este tipo de aditivo.
- ⊕ El peso volumétrico del concreto (P.V.).
- ⊕ La configuración de la disposición de los agregados, es decir, la estructura que conforma cada espécimen en cuanto a la distribución de cada partícula de agregado grueso y fino.
- ⊕ El concreto para la elaboración de los especímenes, será resultado de muchas revolturas (bachadas).

### 3.4 METODOLOGIA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental consistirá en diseñar y elaborar dieciocho mezclas de concreto, denominadas cada una por su número correlativo: mezcla 1 ( $M_1$ ), mezcla 2 ( $M_2$ ), etc. (Véase Tabla 3.11). Éstas serán diseñadas y elaboradas para resistencias a la flexión (MR) de 34 y 37  $\text{kg/cm}^2$  a los 28 días y su equivalente en resistencias a la compresión ( $f'_c$ ) de 210 y 250  $\text{kg/cm}^2$ , respectivamente a la misma edad, estos valores se encuentran en el rango de resistencias de “concreto normal” (250 a 420  $\text{kg/cm}^2$ ) y se obtendrán, a través de las cantidades de materiales indicadas en las hojas de proporcionamiento adjuntas a este documento (Anexo E).

Las dosificaciones del aditivo Tipo G a utilizar en la elaboración de las mezclas, serán de: 175, 250 y 350 mililitros por bolsa de cemento Pórtland, para cada una de las cuales, se tendrán tres reducciones en el agua de mezclado (12, 20 y 30%), respectivamente, teniendo nueve mezclas para cada una de las resistencias de diseño, haciendo dieciocho mezclas de concreto en total (Véase Figura 3.1). Para el revenimiento, el rango especificado será de 2 a 3 pulgadas (5.0 a 7.5 cm), ya que es lo recomendado para la colocación de pavimentos de concreto.

Figura 3.1: Flujo de mezclas a realizar en la investigación.



Fuente: Los autores (2009).

En cada mezcla, los componentes como: los agregados pétreos, el agua, el cemento y el aditivo, poseen las mismas propiedades físicas; es decir que las variables a tomar en cuenta en esta investigación, serán únicamente la variación de la tasa de dosificación del aditivo utilizado, así como las reducciones en el agua de mezclado.

El cemento a utilizar es regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE, por los motivos mencionados en la Sección 3.3.1.4. Los agregados que se utilizarán para el diseño y elaboración de las mezclas proceden de una fuente específica, la cual se define en la Sección 3.5.1.1. El aditivo a emplear es el que se indica en la Sección 3.3.1.6 y las propiedades de este compuesto son: densidad 1,110 g/l, punto de congelamiento 0 °C y punto crítico TCC 94 °C; estado líquido, claro y color 1.5 (ASTM D1500 <sup>[67]</sup>).

El procedimiento comenzará con el análisis de la calidad de los materiales pétreos, a partir de los resultados brindados por el proveedor, con el objeto de verificar su aplicabilidad en la elaboración de mezclas de concreto para pavimentos. A continuación, se determinará la combinación óptima de agregados gruesos, con la que se obtendrán, los porcentajes a emplear de cada una de las gravas, en el diseño de las dieciocho mezclas de concreto.

Previo a la elaboración de cada una de las mezclas, se realizará un muestreo de los agregados, para conocer su contenido de humedad (CH%) y hacer los ajustes correspondientes a cada diseño.

Luego, se procederá al cálculo de las proporciones de materiales para cada diseño, donde se obtiene una dosificación óptima para una determinada mezcla. Dicho proceso, posteriormente, deberá ser reproducido con las características propias de cada mezcla, para realizar los dieciocho diseños que se requieren para esta investigación.

---

<sup>[67]</sup> ASTM Designation D1500-02: "Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

En términos generales, la fórmula de trabajo del diseño de las mezclas (Véase Figura 3.1) obedece a la combinación de materiales más idónea, determinada a través del método de pesos volumétricos absolutos y no granulométricos del Comité ACI 211.1. Cabe mencionar, que en la realización de todos los diseños, no se considerará aire incluido, debido a que el aditivo utilizado no altera dicha característica, por lo que solo se tomará en cuenta, la cantidad de aire atrapado en el concreto.

La elaboración de las mezclas (ASTM C94) y el colado de los especímenes (ASTM C192), se realizarán en el invierno, durante los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre de 2008. A cada una de las dieciocho mezclas, se le medirá su Tiempo de fraguado (ASTM C403) y Temperatura (ASTM C1064). El control de la uniformidad del concreto se realizará a través de la determinación del Revenimiento (ASTM C143), el Peso Volumétrico y el Contenido de aire (ASTM C231); y para el concreto endurecido, se estudiará la Resistencia a la Compresión en cilindros (ASTM C39) y la Resistencia a la Flexión en viguetas (ASTM C78).

Los ensayos de revenimiento y temperatura serán realizados a cada una de las cinco bachadas ( $B_1$  a  $B_5$ ), de todas las mezclas a elaborar. Mientras que los ensayos de tiempo de fraguado, peso volumétrico y contenido de aire, se efectuarán únicamente a la primer bachada ( $B_1$ ) de cada mezcla.

Las mezclas se elaborarán mecánicamente en una máquina concretera de laboratorio, con capacidad de  $0.085 \text{ m}^3$  (85 litros), la cual trabaja al 50%. Para cada una de las mezclas, se fabricará concreto para seis cilindros y seis viguetas; dos cilindros y dos viguetas se ensayarán a 7 días de edad, dos cilindros y dos viguetas a 28 días de edad; y dos cilindros y dos viguetas a 56 días de edad. Así como también, se elaborará una cantidad adicional de concreto para los ensayos en estado fresco.

La Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ), será medida en cilindros estándares de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, a las edades de 7, 28 y 56 días (seis por mezcla); mientras que la

Resistencia a la Flexión, se medirá en viguetas de 15 cm x 15 cm de sección transversal y con una longitud de 60 cm, a las edades de 7, 28 y 56 días (seis por mezcla). Todos los especímenes serán curados por inmersión, hasta el día de su ensayo. Con la finalidad de obtener mayor información sobre la Resistencia a la Compresión y Flexión del concreto a diferentes edades, se interpolará con los datos obtenidos en nuestra investigación, para las edades de 3 y 14 días.

Debido a que se utilizará cemento regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE, para realizar todas las mezclas de esta investigación, la resistencia tanto a compresión como a flexión, se espera sea incrementada alrededor de un 20%, comparada con la resistencia inicial establecida en el diseño, ya que el método propuesto por el Comité ACI 211.1 fue concebido para diseñar mezclas de concreto elaborado con cemento Pórtland (ASTM C150 <sup>[68]</sup>) y cemento combinado (ASTM C595 <sup>[69]</sup>). No contempla en ninguna etapa de su metodología, el incremento en la resistencia generado al utilizar cemento puzolánico, regido por la norma ASTM C1157 u otro tipo de cemento.

### **3.5 IDENTIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACION**

Cinco elementos son los que configuran la investigación:

- I. Correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo”.**
- II. Correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo”.**
- III. Correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”.**
- IV. Correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”.**
- V. Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”.**

---

<sup>[68]</sup> ASTM Designation C150-02a<sup>1</sup>: “Standard Specification for Portland Cement”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

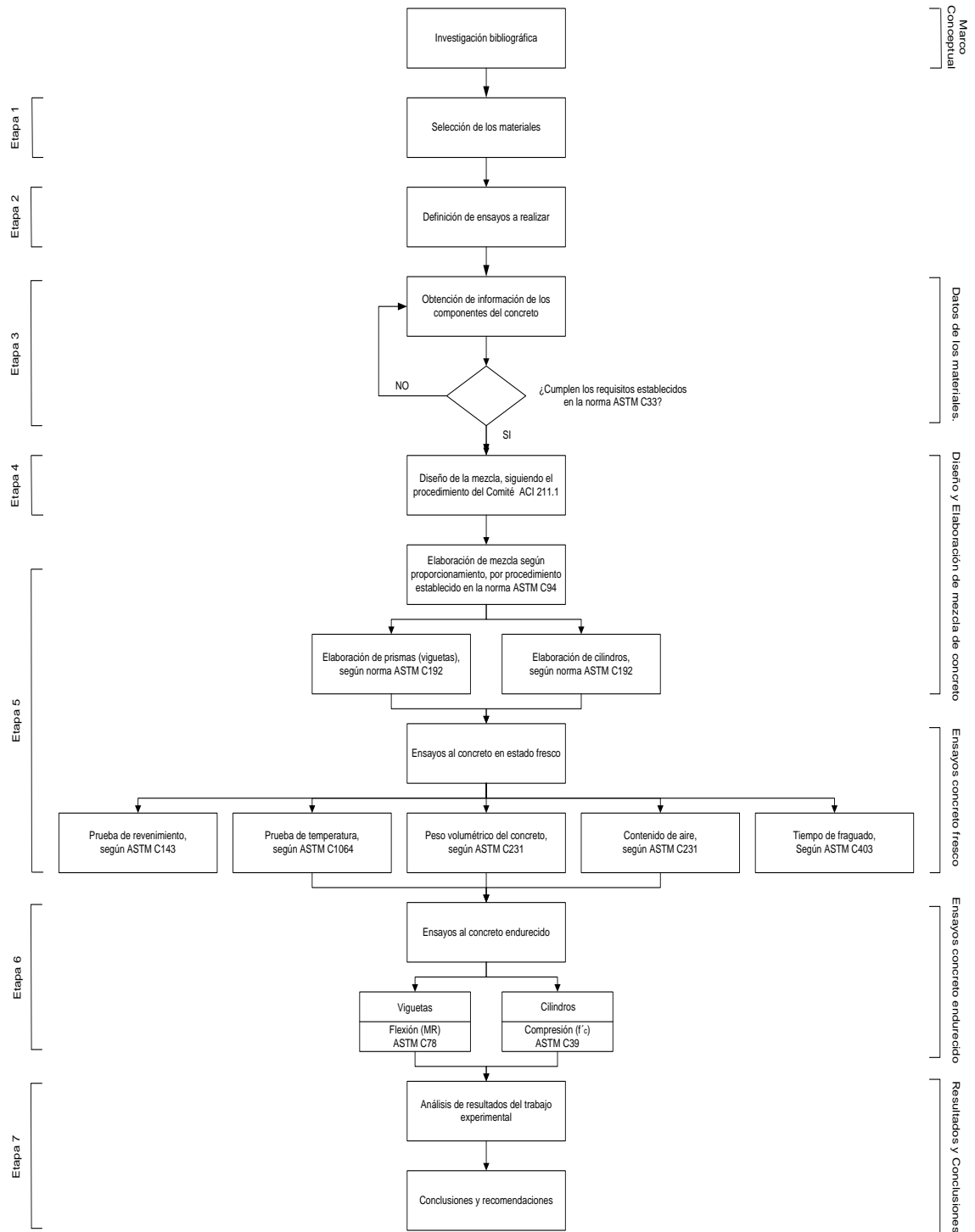
<sup>[69]</sup> ASTM Designation C595-07: “Standard Specification for Blended Hydraulic Cement”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

### 3.5.1 EJECUCION DE LA INVESTIGACION

La metodología, se describe para cada uno de los elementos de la investigación, considerando su estructura. Para la determinación de la correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo” (I), la correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo” (II) la correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo” (III), la correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo” (IV), así como también, la correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión” (V), la estructura, es como sigue (Véase Figura 3.2):

- I. **ETAPA 1**: Selección de los materiales.
- II. **ETAPA 2**: Definición de ensayos a realizar.
- III. **ETAPA 3**: Investigación de las propiedades de los materiales.
- IV. **ETAPA 4**: Diseño de mezclas (para resistencias especificadas).
- V. **ETAPA 5**: Hechura de mezcla, elaboración de espécimenes y ensayos al concreto fresco.
- VI. **ETAPA 6**: Ensayos al concreto endurecido.
- VII. **ETAPA 7**: Análisis de resultados.

Figura 3.2: Flujograma del proceso de investigación del trabajo de graduación.



Fuente: Los autores (2009).

### **3.5.1.1 ETAPA 1: SELECCION DE LOS MATERIALES**

Los materiales pétreos a utilizar para la elaboración de las mezclas de concreto, proceden de una fuente específica. El agregado grueso, será muestreado de las reservas que utiliza una de las plantas centrales de Concretera Salvadoreña S.A. de C.V., para la producción de concreto (Grava N° 1) y de los depósitos naturales del yacimiento La Cantera S.A. de C.V. (Grava N° 2), mientras que el agregado fino, procede del Banco del Río Tihuapa. Esto con el objeto de mantener constantes las propiedades de los materiales, durante el análisis de las mezclas de concreto y de igual manera, reducir las variables en el diseño.

El cemento a emplear es marca CESSA denominado “CESSA PAV”. La selección de este cemento para la realización del trabajo de investigación, está basado en que éste, es el utilizado en la construcción de pavimentos de concreto en nuestro país, debido principalmente, a su disponibilidad en el mercado local y a sus características de alta resistencia a edades tempranas. En el Anexo C, se presentan las cartas de calidad proporcionadas por el proveedor, que garantizan la calidad del cemento.

Se utilizará un solo tipo de aditivo, catalogado como aditivo superplastificante y clasificado como Tipo G (Reductor de agua de de alto rango y retardante) por la norma ASTM C494. En el Anexo D, se muestra la hoja técnica del proveedor, sobre este aditivo.

El agua a utilizar para esta investigación es potable, clasificada como satisfactoria para su uso como agua de mezclado y curado del concreto, procedente de la red local de ANDA.

Cabe destacar, que para el diseño y elaboración de las mezclas, así como para las pruebas al concreto en estado fresco y endurecido, se seguirán los procedimientos indicados en las normas americanas ASTM y en los Comités ACI.

### 3.5.1.2 ETAPA 2: DEFINICION DE ENSAYOS A REALIZAR

Los ensayos se dividen en dos grupos, un primer grupo, lo constituyen, los ensayos realizados al concreto en estado fresco (Prueba de Revenimiento, Temperatura, Peso Volumétrico, Contenido de aire y Tiempo de fraguado). El segundo grupo de ensayos, son los que corresponden a los espécimenes de concreto en estado endurecido (Resistencia a Compresión para cilindros y Resistencia a Flexión para viguetas). La Tabla 3.1, agrupa los ensayos y normas que se efectuarán al concreto en el desarrollo de esta investigación.

**Tabla 3.1:** Ensayos y normas respectivas del trabajo de graduación.

Ensayos de laboratorio	Norma
<b>Concreto</b>	
Elaboracion de mezcla de concreto.	ASTM C94
Elaboración de cilindros de concreto para ensayo de esfuerzo a compresión.	ASTM C192
Elaboración de viguetas de concreto para ensayo de esfuerzo a flexión.	
Curado y almacenamiento de espécimenes de concreto.	
<b>Ensayos en concreto fresco</b>	
Temperatura de concreto fresco de cemento hidráulico.	ASTM C1064
Revenimiento de concreto de cemento hidraulico.	ASTM C143
Determinación de la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimetrico) del concreto.	ASTM C231
Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método a presión.	
Tiempo de fraguado de mezclas de concreto, mediante resistencia a la penetración.	ASTM C403
<b>Ensayos en concreto endurecido</b>	
Determinación de esfuerzos a compresión en cilindros de concreto.	ASTM C39
Determinación de esfuerzos a flexión en viguetas de concreto.	ASTM C78

Fuente: Los autores (2009).

### 3.5.1.3 ETAPA 3: INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El estudio de las propiedades físicas del agregado es importante, debido a su influencia en el cálculo de las proporciones de la mezcla, como es el caso, de la gravedad específica ( $G_s$ ), absorción ( $A\%$ ), humedad total ( $CH\%$ ), peso volumétrico varillado ( $P.V.V_g$ ) y módulo de finura ( $MF$ ). La certificación de los resultados para los agregados gruesos y el agregado fino, el cemento y el aditivo utilizados en esta investigación, son presentados en los Anexos A, B, C y D, respectivamente.

Otros parámetros presentados en el documento, como: la resistencia al desgaste, índice de durabilidad, partículas planas y alargadas de las gravas, equivalente de arena, partículas ligeras y desmenuzables, impurezas orgánicas en arenas, son únicamente, ensayos de referencia para valorar la calidad, limpieza y sanidad del material, es decir, no están involucrados directamente en el cálculo de la proporción de las mezclas.

Las propiedades de los materiales pétreos serán analizadas en conformidad con las especificaciones sugeridas por la norma ASTM C33.

Con el propósito de someter el estudio, solamente a dos variables (tasa de dosificación del aditivo y reducción en el agua de mezclado), se determinó realizar un acopio total del material que se utilizaría durante la investigación, de esta manera, se obtuvo uniformidad en las características del agregado (Véase la Figura 3.3).

**Figura 3.3:** Acopio de gravas y arena utilizadas, en el desarrollo del trabajo experimental.



Fotografía tomada en: Res. Sta. Elena N° 1, senda N° 1 casa N° 11, Antiguo Cuscatlán, La Libertad.

La calidad del cemento está apoyada en las cartas de calidad proporcionada por Cemento de El Salvador S.A. de C.V. (CESSA), durante los meses de Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre de 2008, que comprende el periodo del trabajo experimental (Anexo C).

La calidad del aditivo, es determinada por las especificaciones dadas por el proveedor, a través de la hoja técnica, brindada por la casa distribuidora NOX-CRETE.

El agua a emplear para esta investigación es potable, clasificada como satisfactoria para ser utilizada como agua de mezclado y curado en la fabricación de concreto.

Los parámetros de los que parte el diseño de mezcla en cuanto al agregado, fueron proporcionados por Concretera Salvadoreña S.A. de C.V. y La Cantera S.A. de C.V., solicitándoles un registro de cinco muestreos, anteriores a la fecha de acopio del material, los cuales, fueron procesados y analizados, para efectos de definir el grado de confiabilidad de los ensayos (Véase Sección 4.2.1.2).

### **3.5.1.3.1 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS-MINERALOGICAS DEL YACIMIENTO**

#### **LA CANTERA S.A DE C.V. <sup>[70]</sup>**

##### **3.5.1.3.1.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA**

Este yacimiento está localizado en San Diego, a orillas de la carretera El Litoral, aproximadamente a 2 km de la carretera San Salvador-La Libertad y 34 km al sur de la ciudad capital, San Salvador, se le ubica en el cuadrante topográfico 1:50,000, denominado “La Libertad, hoja 2356 VI”, en jurisdicción de la ciudad de La Libertad, sus coordenadas son: latitud 263.0 a 263.5 hacia el norte y longitud 467.7 a 468.5 hacia el este.

Con coordenadas Lambert x. 468,720 y. 263,920 y, x. 468,440 y. 263,300. Es decir, a una distancia de unos 35 km de la ciudad capital, San Salvador. Es propiedad de Concretera

---

<sup>[70]</sup> Tomado de estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

Salvadoreña S.A. de C.V. Limita al norte con la hacienda Tepeagua, y al sur con la Carretera del Litoral, al este con la montaña El Zancudo y al oeste con el río El Jute.

La parte inferior se encuentra a 20 m.s.n.m. y la más alta a 100 m.s.n.m. y en su parte media es atravesada por el río San Antonio (Véase Figura 3.4).

**Figura 3.4:** Ubicación del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.



Figura tomada de: Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura y Google Earth.

### 3.5.1.3.1.2 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

Este yacimiento está constituido por los derrames de lavas de composición básica (basalto a andesita basáltica). La colada inferior contiene basaltos columnares, mientras que la superior es muy variable, desde vertical progresando a subhorizontal y a veces, hasta formando rosetas. En ambos casos, forman prismas hexagonales.

#### ⊕ **BASALTOS COLUMNARES**

La colada lávica basal, está compuesta por basaltos de color gris oscuro en fractura fresca, y café amarillento en la superficie. Poseen textura afanítica con fenocristales de plagioclasas. Dureza muy alta y densidad alta. Los hexágonos tienen lado mayor de 1.0 m hasta 1.25 m y contienen fisuras con manchas de óxidos de hierro (FeO), óxidos de manganeso (MnO) que sirven de planos de debilidad, por donde, se rompen los bloques (Véase Figura 3.5 y 3.6).

**Figura 3.5:** Columnas hexagonales con lado mayor de 1.0 a 1.25 metros.



**Figura tomada de:** Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

**Figura 3.6:** Discontinuidades rellenas con óxido.



**Figura tomada de:** Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

### ⊕ **COLADA SUPERIOR**

Está constituida por lavas basálticas a andesitas basálticas, de color gris muy oscuro en fractura fresca y café amarillenta en la superficie. Textura afanítica con matriz hialina y fenocristales de plagioclasas. Dureza y densidad altas. Debido a que en estas lavas más vítreas (matriz vítrea), los fragmentos se rompen dejando aristas muy agudas.

Estas lavas presentan discontinuidades semicirculares, convexas, hasta llegar a formar rosetas, (Véase Figura 3.7). Esta fuerte formación, ofrece una variación geométrica de las juntas y un fuerte impacto al observador.

**Figura 3.7:** Discontinuidades en forma de roseta.



**Figura tomada de:** Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

Estas lavas se depositaron en una superficie irregular de acumulación y por eso tienen un espesor desigual, consecuentemente dispusieron de condiciones de enfriamientos distintas, generando corrientes de convección durante el proceso de enfriamiento. Esta condición particular, genera formas de las juntas parcialmente verticales a subverticales progresando a horizontales y cóncavas, hasta dar forma de rosetas.

De las dos capas de lavas, la superior, por la presencia de las complejas discontinuidades y al tamaño de las secciones pequeñas de sus hexágonos, es la que más facilidad presenta para el proceso de explotación y de trituración. Estos factores hacen más económico el proceso de reducción del tamaño de las partículas para el mercado. Los bloques de basalto inferiores debido a que sus secciones son muy grandes (Véase Figura 3.8), deben ser sometidos a fragmentación usando pólvora y fulminante, para reducirlos a los tamaños adecuados para la trituración.

**Figura 3.8:** Grandes bloques de basalto en la parte inferior.



**Figura tomada de:** Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

### 3.5.1.3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS DEL YACIMIENTO LA CANTERA S.A. DE C.V.

Las características de los agregados procedentes del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., se describen a continuación en la Tabla 3.2:

**Tabla 3.2:** Características de los agregados del yacimiento la Cantera S.A. de C.V.

Ensayo	Norma	Requisito a cumplir	Resultado obtenido	Evaluación	Importancia
Petrografía	ASTM C295	Identificación de Sílice reactiva <sup>A</sup>	No	Satisfactoria según ACI 201, ref. 24	Reacción Alkali-Sílice.
Abrasión Los Ángeles	ASTM C131	Desgaste inferior al 50% <sup>B</sup>	19.05	Satisfactoria	Indicador de calidad.
Granulometría	ASTM C136	Quedar dentro de uno de los rangos de ASTM C33 <sup>B</sup>	3 de 3	Satisfactoria	Manejabilidad del concreto fresco, economía.
Sanidad (SO <sub>4</sub> Na)	ASTM C88	Pérdida inferior al 12% <sup>B</sup>	1.20	Satisfactoria	Indicador de calidad.
Gravedad específica y absorción	ASTM C127	2.4 ≤ G <sub>s</sub> ≤ 2.9 <sup>A</sup>	2.56	Satisfactoria	Control de calidad y diseño de mezcla de concreto.
		0.2 ≤ A% ≤ 4.0 <sup>A</sup>	0.92		
Peso Volumétrico (Peso Unitario)	ASTM C29	1260 kg/m <sup>3</sup> a 1760 kg/m <sup>3</sup>	1,432.50	Satisfactoria	Control de calidad y diseño de mezcla de concreto.
Partículas ligeras	ASTM C123	No aplica este requisito <sup>A</sup>	0.00	Satisfactoria	Indicador de calidad.
Partículas friables	ASTM C142	5% <sup>B</sup>	0.78	Satisfactoria	Indicador de calidad.
Partículas planas y alargadas	ASTM C4791	Σ PLANAS +	1.02	Satisfactoria	Manejabilidad.
		ALARGADAS = 15% <sup>C</sup>	0.17		

<sup>A</sup> Diseño y control de mezclas de concreto.

<sup>B</sup> Norma ASTM C33.

<sup>C</sup> Cuadro sinóptico Comité ACI 201 México capital.

### 3.5.1.3.1.4 ENSAYO PETROGRAFICO (ASTM C295 <sup>[71]</sup>)

La muestra se preparó a partir de los dos tamaños de agregados para concreto que produce el yacimiento, en un tamaño de muestra reducido mediante cuarteo.

Este ensaye, realizado tanto para éste como para el resto de yacimientos, fue realizado por personal calificado de la empresa antes denominada Geotérmica Salvadoreña (GESAL), hoy La Geo, que es una empresa gubernamental fundada por CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa), ahora con inversión extranjera.

⊕ **NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA BASALTICA**

El análisis petrográfico realizado con el empleo de lámina delgada, indico que la matriz está vitrificada, con microlitos de feldespatos en una dirección de flujo que constituyen el 79%, mientras que el contenido de minerales es el que se detalla a continuación, en la Tabla 3.3:

**Tabla 3.3:** Análisis petrográfico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.

<b>Composición mineralógica</b>
Plagioclasas (silicato de sodio y calcio)
Composición andesita a labrodorita 10%
Clinopiroxeno (silicato de hierro) 7%
Minerales opacos 3%
Olivino 1%
Matriz 79%

Fuente: Estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.

La roca del macizo rocoso está constituida por una andesita basáltica, es bien masiva y no contiene poros u oquedades ni vetillas. Los minerales de alteración se encuentran generalmente, en las fracturas de las plagioclasas y piroxenos en cantidad mínima. La matriz vítrica se encuentra con microlitos de feldespatos.

---

<sup>[71]</sup> ASTM Designation C295-03: "Standard Guide for Petrographic of Aggregate for Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

### 3.5.1.3.2 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS DEL RIO TIHUAPA

#### 3.5.1.3.2.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA

Este Rio, está localizado en San Diego, en jurisdicción de la ciudad de La Libertad, sus coordenadas son: latitud  $13^{\circ} 26'33$  N y longitud  $89^{\circ} 11'57$  W.

Los puntos de explotación del río para la obtención de arena, están ubicados a orillas de la carretera El Litoral, aproximadamente a 1,200 metros al norte del puente sobre el Km 15 de esta carretera, al este de La Libertad, y al sur del puente anteriormente mencionado, en la zona conocida como “El Playón”, entre otros. Este rio cuenta con reservas de cerca de 500,000 m<sup>3</sup> de agregado fino (Véase Figura 3.9).

**Figura 3.9:** Ubicación del Río Tihuapa.

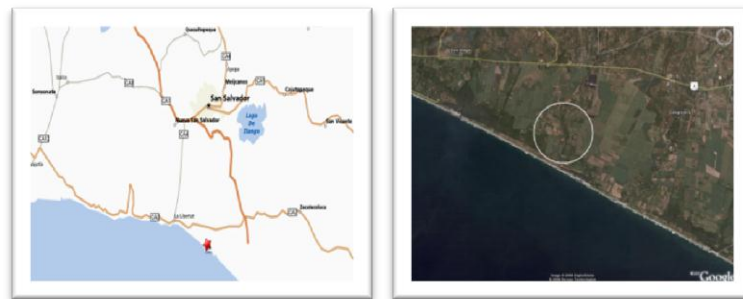


Figura tomada de: [www.traveljournals.net](http://www.traveljournals.net) y Google Earth.

#### 3.5.1.3.2.2 DESCRIPCION DE LOS AGREGADOS

Es una arena de banco natural de color gris con baja absorción, alta densidad y bajo contenido de pómez, material que por sus características físicas lo hacen ideal para la elaboración de mezclas de concreto.

#### 3.5.1.3.2.3 USOS

Se recomienda que este agregado se utilice en la elaboración de “concretos convencionales”, “estructurales”, “MR (tipo directo y tipo bomba)”, “concretos especiales (de resistencias a edades tempranas 18 a 24 horas”, “aligerados”, “lanzados”, “autonivelantes”, “autocompactables”).

### 3.5.1.3.2.4 INFORMACION TECNICA

El agregado fino proveniente del Río Tihuapa, satisface los requerimientos establecidos por la norma ASTM C33.

### 3.5.1.3.3 ENSAYOS PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

La Tabla 3.4, agrupa los ensayos y normas que se le han efectuado al agregado grueso y fino, por parte de los proveedores, para verificar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones respectivas del producto que ellos distribuyen.

**Tabla 3.4:** Ensayos y normas respectivas de los agregados para concreto.

Ensayos a los agregados	Norma
Muestreo de agregados.	ASTM D75
Reduccion a tamaño de prueba.	ASTM C702
Granulometría	ASTM C136
Impurezas orgánicas	ASTM C40
Gravedad específica ( $G_s$ ) y absorción (A%).	ASTM C127
	ASTM C128
Contenido de humedad (CH%).	ASTM C566
Peso volumétrico o peso unitario.	ASTM C29
Partículas planas y partículas alargadas.	ASTM D4791
Resistencia a la abrasión en máquina Los Ángeles.	ASTM C131
	ASTM C535

Fuente: Los autores (2009).

### 3.5.1.3.3.1 MUESTREO DE AGREGADOS

El muestreo de los agregados, es igualmente importante como el ensayo que se le realice a éstos, y el encargado de realizarlo tendrá mucho cuidado para obtener muestras que exhiban la naturaleza y condición de los materiales que representan.

La norma ASTM D75 <sup>[72]</sup> “Práctica estándar para muestreo de agregados” indica el procedimiento a seguir para realizar correctamente el muestreo de agregados finos y gruesos (Véase Figura 3.10).

**Figura 3.10:** Muestreo de agregado fino y grueso.



Figura tomada de: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007).

### 3.5.1.3.3.2 REDUCCION A TAMAÑO DE PRUEBA

La norma ASTM C702 <sup>[73]</sup> “Reducción de muestras de agregado a tamaño de ensayo”, proporciona los procedimientos para reducir la muestra total obtenida en campo o producida en el laboratorio, ya sea de agregado grueso o fino, a un tamaño conveniente, para realizar un número de ensayos que describan al material y midan su calidad, de tal manera que la porción más pequeña, sea representativa de la muestra total suministrada.

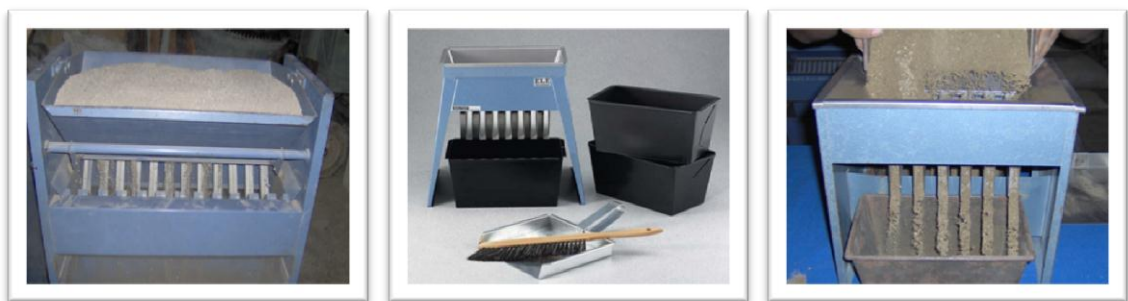
---

<sup>[72]</sup> ASTM Designation D75-03: “Standard Practice for Sampling Aggregates”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

<sup>[73]</sup> ASTM Designation C702-98: “Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

Esta práctica propone tres métodos para reducción a tamaño de prueba de agregado fino, los cuales son: 1) cuarteador mecánico, 2) cuarteo manual y 3) muestreo de un apilamiento miniatura (Véase Figura 3.11). El primero aplica para arena en condición saturada superficialmente seca (SSS) y los restantes, para arena con humedad libre en la superficie de las partículas (húmeda) (Véase Figura 2.10).

**Figura 3.11:** Equipo utilizado para reducción de material fino a tamaño de prueba.



**Figura tomada de:** Diseño Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007) y [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

En el caso de los agregados gruesos, esta norma propone dos métodos de reducción a tamaño de prueba, los cuales son: 1) cuarteador mecánico, 2) cuarteo manual (Véase Figura 3.12).

**Figura 3.12:** Cuarteador mecánico y reducción a tamaño de prueba de agregado grueso, mediante cuarteo manual.



**Figura tomada de:** Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007) y [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

### 3.5.1.3.3 GRANULOMETRIA

La norma ASTM C136 "Método estándar de ensayo para análisis por malla de agregado grueso y fino" muestra el procedimiento a seguir, para realizar correctamente el ensayo

granulométrico del agregado grueso y fino, utilizados en la fabricación de concreto. (Véase Figura 3.13).

**Figura 3.13:** Equipo utilizado para análisis granulométrico.



**Figura tomada de:** Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007) y [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

La finalidad del análisis granulométrico, es conocer la distribución en peso del material retenido en cada tamiz, para representarlos de manera gráfica mediante la curva de granulometría y corroborar, que dicha curva, queda dentro de uno de los rangos de la norma ASTM C33 (Véase Tabla 2.4).

Cabe mencionar, que cuando el tamizado de la masa total de la muestra, esté terminado, éste debe verificarse con la masa inicial de la muestra. Si la cantidad difiere por más de 0.3% de la masa original seca, el resultado debe rechazarse para propósitos de aceptación.

#### **3.5.1.3.3.4 IMPUREZAS ORGANICAS**

La norma ASTM C40 <sup>[74]</sup> “Método estándar de ensayo para impurezas orgánicas en agregados finos para concreto” indica el procedimiento a seguir, para investigar la cantidad de material orgánico en el agregado fino y determinar, si este material, puede emplearse para la elaboración de concreto (Véase Figura 3.14).

---

<sup>[74]</sup> ASTM Designation C40-99: “Standard Test Method for Organic Impurities in Fines Aggregates for Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

**Figura 3.14:** Equipo a utilizar, para la determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006) y www.soiltest.com

### 3.5.1.3.3.5 GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y CONTENIDO DE HUMEDAD

La gravedad específica, es un valor útil en los cálculos del diseño de mezclas, particularmente, para convertir el peso de las partículas irregulares en forma, a volumen saturado superficialmente seco (SSS) o a volumen sólido.

La norma ASTM C127 "Método estándar de ensayo para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso" indica el procedimiento a seguir, para obtener la gravedad específica de la grava mediante el método de la canastilla (Véase Figura 3.15).

**Figura 3.15:** Equipo a utilizar, para la determinación de la gravedad específica del agregado grueso.



**Figura tomada de:** Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006) y www.soiltest.com

La norma ASTM C128 "Método estándar de ensayo para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino" indica el procedimiento a seguir, para obtener la gravedad específica y absorción de la arena mediante el uso del picnómetro (Véase Figura 3.16).

**Figura 3.16:** Equipo a utilizar, para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino.



Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

La norma ASTM C566 “Método estándar de ensayo para contenido de humedad total del agregado por secado”, indica el procedimiento a seguir, para determinar el contenido de humedad presente en el agregado grueso y fino. La humedad se calcula con la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco al horno, entre el peso seco. Los valores de absorción y contenido de humedad se expresan en porcentaje.

La humedad total, es un parámetro únicamente de control y utilizado principalmente, en la determinación del contenido de agua de mezclado, que apoyada en el valor de absorción, determina la corrección por humedad, que para el caso de esta investigación fue realizada periódicamente, antes de la dosificación de cada mezcla de concreto.

#### **3.5.1.3.3.6 PESO VOLUMETRICO O PESO UNITARIO**

La norma ASTM C29 <sup>[75]</sup> “Método estándar de ensayo para densidad bruta (peso unitario) y vacíos en el agregado” indica el procedimiento a seguir, para realizar correctamente la obtención del peso volumétrico compactado del agregado grueso por varillado.

El peso volumétrico o peso unitario, es: “La relación del peso del material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kilogramos por metro cúbico”.

---

<sup>[75]</sup> ASTM Designation C29/C29M-97 (2003): “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

Son dos los valores de esta relación, dependiendo del sistema de acomodamiento que se le dé al material durante la prueba. La denominación que se les da es: Peso Volumétrico Suelto (PVS) y Peso Volumétrico Compactado (PVC).

Es importante mencionar que el valor de “Peso Volumétrico o Peso Unitario” en ambos casos, se deberá obtener con agregados secados a la intemperie (secados al aire) y el recipiente en que se realizará la prueba, está en función del tamaño máximo del agregado para que esta sea representativa (Véase Figura 3.17).

El peso volumétrico compactado, puede ser determinado por dos procedimientos, ya sea varillado (PVV), o sacudido (PVS). El procedimiento de varillado deberá ser utilizado para agregados que tienen un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1½ pulgada o menos y el procedimiento mediante sacudidas del molde, será para agregados que tienen Tamaño Máximo Nominal (TMN) mayor o igual que 1½ pulgada, pero menores de 5 pulgadas.

**Figura 3.17:** Equipo a utilizar, para la determinación del peso volumétrico varillado de la grava.



**Figura tomada de:** Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007) y [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

### **3.5.1.3.3.7 PARTICULAS PLANAS Y/O ALARGADAS**

Las partículas planas y/o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción, pueden interferir en la consolidación del concreto y provocar grandes dificultades para colocarlo.

La norma ASTM D4791 <sup>[76]</sup> “Método estándar de ensayo para partículas planas, partículas alargadas, o partículas planas y alargadas en agregado grueso” indica el procedimiento a seguir, para la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas, o partículas planas y alargadas en agregados gruesos (Véase Figura 3.18).

**Figura 3.18:** Equipo a utilizar, para la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas, o partículas planas y/o alargadas en agregado grueso.

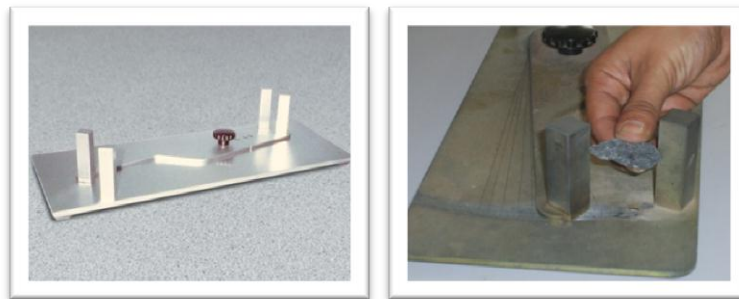


Figura tomada de: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. Tesis UES (2007) y www.soiltest.com

### 3.5.1.3.3.8 RESISTENCIA A LA ABRASION

La norma ASTM C131 “Método estándar de ensayo para resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles”, este método de ensayo indica el procedimiento a seguir, para ensayar agregado grueso de tamaño pequeño (agregados de tamaños hasta 37.5 mm (1½ pulgadas)), mientras que cuando el agregado grueso es de tamaño mayor que 19.0 mm (¾ de pulgada), se utiliza el procedimiento indicado en la norma ASTM C535 “Método estándar de ensayo para resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles” (Véase Figura 3.19). Dichos procedimientos, son el resultado de someter una muestra de agregado (seleccionado en función del tamiz con mayor peso retenido) al efecto generado por la combinación de acciones de abrasión, impacto y trituración, dentro de un tambor rotatorio de

---

<sup>[76]</sup> ASTM Designation D4791-99: “Standard Test Method for Flat Particles, Elongated particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

acero, el cual, contiene un número especificado de esferas (esto depende de la graduación del material analizado).

**Figura 3.19:** Equipo a utilizar, para la determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso.



Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

### 3.5.1.4 ETAPA 4: DISEÑO DE MEZCLAS

Se acordó elaborar dieciocho mezclas de concreto, para dos diferentes resistencias definidas al inicio del trabajo de investigación, variando únicamente, las tasas de dosificación del aditivo y las reducciones del agua de mezclado. Para el diseño de mezcla, se seguirá lo descrito por el Comité ACI 211.1. Todo el proceso de la ETAPA 4, se muestra detalladamente en el siguiente Capítulo, a partir de la Sección 4.2. La Tabla 3.5, agrupa las normas y los comités, que se utilizarán para la etapa de diseño y elaboración de mezclas de concreto en esta investigación.

**Tabla 3.5:** Normas a utilizar en el diseño de mezclas de concreto.

Diseño de mezclas de concreto de peso normal	Norma y Comités
Dosificación de mezclas de concreto de peso normal $f'_c$ (rango de 210 a 350 kg/cm <sup>2</sup> )	ACI 211.1 ACI 318
Elaboración de mezcla de prueba y ajuste de prueba	ACI 214 ASTM C94

Fuente: Los autores (2009).

### **3.5.1.5 ETAPA 5: HECHURA DE MEZCLA, ELABORACION DE ESPECIMENES Y ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO**

Las pruebas seleccionadas para el concreto en estado fresco, son las que se definieron en la Sección 3.5.1.2 y están encaminadas a evaluar la influencia que tiene la variación de la dosificación del aditivo Tipo G en estudio, así como las reducciones en el agua de mezclado en su diseño, sobre la consistencia y algunas propiedades del concreto en estado fresco.

#### **3.5.1.5.1 HECHURA DE MEZCLA DE CONCRETO EN LABORATORIO**

La norma ASTM C94 “Especificaciones estándar para el concreto premezclado” y ASTM C192 “Práctica estándar para la elaboración y curado en laboratorio de espécimen de concreto para ensayo” indican el procedimiento a seguir, para la hechura de mezclas de concreto.

#### **3.5.1.5.2 PRUEBA DE REVENIMIENTO**

El revenimiento como medida de la consistencia del concreto, es una propiedad fundamental para el desarrollo de esta investigación, los resultados de este ensayo sufrieron alteraciones de una batchada a otra, debido principalmente, a las variaciones en la dosificación del aditivo seleccionado y las reducciones en el agua de mezclado. Así como también, a los ajustes realizados para obtener el revenimiento especificado.

La norma ASTM C143 “Método estándar de ensayo para revenimiento del concreto de cemento hidráulico” indica el procedimiento para la determinación del revenimiento del concreto utilizando el cono de Abrams (Véase Figura 3.20), en laboratorio y en campo. El concreto que se usa para determinar el revenimiento debe desecharse después de realizada la prueba.

Figura 3.20: Cono de Abrams y varilla de compactación.



Figura tomada de: [www.soiltest.com](http://www.soiltest.com)

La cantidad de concreto necesaria para efectuar el ensayo, no deberá ser inferior a 8 litros, además este método se considera aplicable a concreto con grados de consistencia: semifluido, plástico y semiplástico (Véase Tabla 2.23) que contiene agregado grueso con tamaño hasta de 1½ pulgada. Si el agregado grueso es mayor a 1½ pulgada, el método será aplicable cuando se haga con la fracción de concreto que pasa por la malla de 1½ pulgada (37.5 mm), ya que así habrá sido removido el agregado de tamaño mayor (Véase ASTM C172).

Para la aceptación de los resultados, el ensayo completo desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, deberá hacerse sin interrupción y terminarse en un lapso de 2 minutos y 30 segundos. En la Figura 3.21 se ilustra el proceso.

Figura 3.21: Prueba de revenimiento.

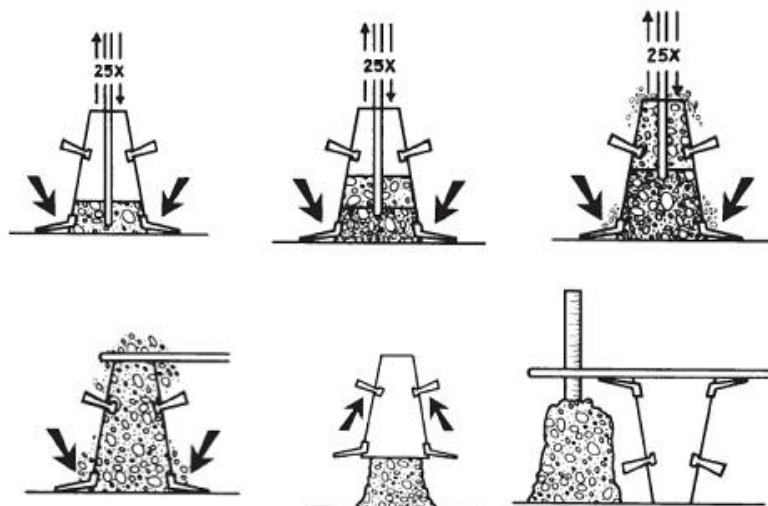


Figura tomada de: [www.basf-cc-la.com](http://www.basf-cc-la.com)

### 3.5.1.5.3 PESO VOLUMETRICO O PESO UNITARIO DEL CONCRETO

El peso volumétrico del concreto o peso unitario, es: “El peso del concreto, que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado”. El volumen al que se hace referencia, es el ocupado por el concreto y el aire contenido en éste (Véase Figura 3.22).

**Figura 3.22:** Peso volumétrico del concreto fresco.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

La norma ASTM C231 “Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión”, indica el procedimiento a seguir, para determinar el peso unitario del concreto. Este ensayo es de suma importancia para los diseñadores y/o productores de concreto que necesitan verificar la uniformidad del concreto elaborado.

### 3.5.1.5.4 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

En la construcción de pavimentos, las etapas de transporte, colocación y compactación del concreto requieren un periodo de tiempo considerable para su correcta ejecución, por dicha razón, es que a este material se le añaden aditivos retardadores de fraguado, que prolongan el lapso en el que el concreto permanece en su “fase durmiente”, o “blanda” (Véase Figura 2.15)

Según la normativa ASTM C403 “Método estándar de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas del concreto por resistencia a la penetración” el tiempo de fraguado inicial, es el definido por el tiempo transcurrido desde la interacción cemento-agua, hasta el desarrollo de una resistencia a la penetración por parte de la mezcla de  $35.7 \text{ kg/cm}^2$ , 500 psi ó

3.5 MPa. El tiempo de fraguado final será entonces, el definido por el tiempo transcurrido desde la interacción cemento-agua, hasta que la mezcla desarrolle una resistencia a la penetración de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , 4,000 psi ó 27.6 MPa (Véase Figura 3.23).

**Figura 3.23:** Procedimiento para determinar el tiempo de fraguado del concreto.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

### 3.5.1.5.5 ENSAYO DE TEMPERATURA

Un concreto con temperaturas superiores a  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $90 \text{ }^\circ\text{F}$ ), tiende a evaporar agua con mayor facilidad, generando en la superficie “agrietamiento por secado”, el cual, genera esfuerzos indeseables en la masa de concreto. Para evitar que el concreto presente dicho problema, la medición de la temperatura del concreto recién mezclado es de suma importancia.

La norma ASTM C1064 “Método estándar de ensayo para temperatura del concreto de cemento Pórtland recién mezclado”, determina el procedimiento para la toma de temperatura del concreto fresco (Véase Figura 3.24).

**Figura 3.24:** Ensayo de temperatura del concreto recién mezclado.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

### 3.5.1.5.6 CONTENIDO DE AIRE

Se define como: “El volumen de vacíos de aire en el concreto fresco, ya sea en el espacio de poros en los agregados como en la pasta de cemento o mortero”.

Una mezcla de concreto tendrá por lo general, cierto porcentaje de aire atrapado, ya sea, durante la revoltura, la reacción del cemento con el agua o simplemente, dentro de los poros de los agregados; pero también, es posible incluir intencionalmente cantidades controladas de aire.

Es de tener en cuenta, que la inclusión de aire en cantidades en exceso, podría tener efectos adversos en las propiedades del concreto, por lo que el control del contenido de aire es uno de los aspectos más importantes en la fabricación de este material hoy en día. Los contenidos de aire admisibles se encuentran plasmados en la Sección 2.3.4.

La norma ASTM C231 “Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión”, indica el procedimiento a seguir, para realizar el ensayo en campo y laboratorio, de todos los concretos (exceptuando a los hechos con agregados ligeros y sumamente porosos). En resumen, consiste en depositar una muestra de concreto fresco dentro del contenedor de un dispositivo medidor de presiones (Véase Figura 3.25); dicho dispositivo, proporciona directamente la lectura del porcentaje de contenido de aire con base en el volumen ensayado, mediante la inyección controlada de presión.

**Figura 3.25:** Equipo a utilizar, para la determinación del contenido de aire del concreto fresco.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

Para la realización de este ensayo, se cuenta en la actualidad con dos tipos de medidores, los cuales se conocen como: Tipo A y Tipo B. Pero en nuestro país, el ensayo de contenido de aire se realiza, en la mayoría de los casos, utilizando el medidor Tipo B, ya que es éste el equipo que posee la gran mayoría de laboratorios especializados en concreto.

### 3.5.1.5.7 FABRICACION, CURADO Y ALMACENAMIENTO DE ESPECIMENES DE CONCRETO ELABORADOS EN LABORATORIO

En el ensayo de compresión, los espécimenes son cilíndricos (15 cm de diámetro y 30 cm de alto) de conformidad con la norma ASTM C192 “Práctica estándar para elaboración y curado en laboratorio de espécimenes de concreto para ensayo”; y para el ensayo de flexión son en forma de vigas pequeñas (sección transversal de 15 cm x 15 cm con una longitud de 60 cm), cuando el agregado no es mayor de 5.0 cm (2 pulgadas) (Véase Figura 3.26). Esta práctica cubre el procedimiento para la preparación de materiales, mezclado, elaboración y curado de espécimenes de concreto en el laboratorio (bajo controles precisos de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que puede ser consolidado por varillado o vibrado).

**Figura 3.26:** Elaboración y curado de espécimenes de concreto en laboratorio.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

Al elaborar los espécimenes es necesario compactarlos, para eliminar el aire atrapado en ellos. El medio más antiguo de lograrlo es apisonando, varillando o picando la superficie del concreto para desalojar el aire y forzar a las partículas a colocarse más cerca unas de otras. El

sistema más moderno es el vibrado, por medio del cual, se separa momentáneamente las partículas y se reúnen después para formar una masa compacta (Véase Figura 3.27).

**Figura 3.27:** Espécimenes cilíndricos y viguetas de concreto.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

### **3.5.1.6 ETAPA 6: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO**

Las pruebas seleccionadas para el concreto en estado endurecido, son las que se definieron en la Sección 3.5.1.2 y están encaminadas, a evaluar la influencia que tiene la variación de la dosificación del aditivo Tipo G en estudio, así como las reducciones en el agua de mezclado, sobre la Resistencia a Compresión y Flexión de éste.

Los ensayos al concreto endurecido (compresión y flexión) serán tal y como la norma correspondiente a cada ensayo lo señala, para edades de ensayo a 7, 28 y 56 días.

#### **3.5.1.6.1 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION**

El esfuerzo de compresión, se define como: “La relación de la fuerza axial máxima de compresión obtenida durante el ensayo, entre el área de la sección transversal ( $P/A$ ) que se aplica a un espécimen, denotado con el símbolo  $f'_c$ ” (Véase Figura 2.26). Éste esfuerzo es la medida de intensidad de la fuerza a compresión por unidad de área y se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

La Figura 3.28, ilustra un espécimen cilíndrico de concreto, sometido a carga de compresión, para determinar  $f'_c$ .

**Figura 3.28:** Ilustración del ensayo de Resistencia a la Compresión, en cilindros de concreto.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán y Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, Universidad de El Salvador, San Salvador.

La norma ASTM C39 “Método estándar de ensayo para esfuerzo de compresión en espécimenes cilíndricos de concreto”, indica el procedimiento para la determinación de la Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) de espécimenes cilíndricos, tales como: cilindros moldeados y núcleos taladrados. En nuestra investigación, se emplearán únicamente, cilindros moldeados.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo, a una razón que está dentro del rango prescrito ( $35 \pm 7$  psi/segundo), antes de que la falla ocurra.

### **3.5.1.6.2 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXION**

El concreto se diseña, generalmente, para resistir esfuerzos de compresión, pero, es importante conocer su resistencia a esfuerzos de flexión, para estimar la carga bajo la cual, se producirá el agrietamiento. Además, permite comprender el comportamiento del concreto reforzado, así como la obtención del Módulo de Ruptura (MR), parámetro fundamental para el diseño de losas de pavimentos de concreto y pistas de aterrizaje en aeropuertos.

La norma ASTM C78 “Método estándar de ensayo para Resistencia a la Flexión del concreto (usando viga simple con carga en los tercios del claro)”, señala el procedimiento para la determinación de la Resistencia a la Flexión del concreto, mediante el uso de una viga simple con carga en los dos tercios medios del claro (Véase Figura 3.29).

**Figura 3.29:** Ilustración del ensayo de Resistencia a la Flexión, en viguetas de concreto.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán y Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", Universidad de El Salvador, San Salvador.

Este método de ensayo es usado para determinar la Resistencia a la Flexión, mediante la obtención del Módulo de Ruptura (MR) de especímenes preparados y curados de acuerdo con el método de ensayo ASTM C192.

### **3.5.1.7 ETAPA 7: ANALISIS DE RESULTADOS**

Una vez con la recopilación de todos los resultados de los ensayos, se procederá al análisis para obtener las correlaciones buscadas.

## **3.6 REQUISITOS DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES**

### **3.6.1 REQUISITOS DEL CEMENTO**

Los requisitos que debe satisfacer el cemento regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE, se señalan en la Sección 2.3.1.1.1, específicamente en la Tabla 2.3.

### **3.6.2 REQUISITOS DEL AGREGADO FINO**

Los requisitos que debe satisfacer el agregado fino (arena) se señalan en la Sección 2.3.2.3. Las especificaciones más usuales, de los agregados finos para ser utilizados en la elaboración de concreto hidráulico se muestran en la Tabla 3.6 a continuación:

**Tabla 3.6:** Calidad de los agregados finos (especificaciones).

Ensayos de laboratorio	Requisitos
Granulometría	Según especificación
Módulo de finura (MF)	$2.30 < MF < 3.10$
Peso Volumétrico (Peso unitario)	1400 - 1550 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica ( $G_s$ ) y absorción (A%) de arenas	$2.40 < G_s < 2.90$ A% < 6.0%
Contenido de finos	2.0% Máximo
Sanidad con Sulfato de Sodio (5 Ciclos)	10% Máximo
Equivalente de arena	75% Mínimo
Forma de la partícula	Natural, Trituración o combinación de ambas
Impurezas Orgánicas	Color estándar 3 Máximo
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	3.0% Máximo

Fuente: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

### 3.6.3 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO

Los requisitos que debe satisfacer el agregado grueso (grava) se señalan en la Sección 2.3.2.3. Las especificaciones más usuales, de los agregados gruesos para ser utilizados en la elaboración de concreto hidráulico se muestran en la Tabla 3.7 a continuación:

**Tabla 3.7:** Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).

Ensayos de laboratorio	Requisitos
Granulometría	Según especificación
Peso Volumétrico (Peso unitario)	1260 - 1750 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica ( $G_s$ ) y absorción (A%) de grava	$2.40 < G_s < 2.90$ A% < 4%
Contenido de finos	1.0% Máximo
Desgaste máquina de Los Ángeles	50% Máximo 40 % Máximo (Pavimentos)
Partículas planas y/o alargadas	20% Máximo
Sanidad con Sulfato de Sodio (5 Ciclos)	12% Máximo
Forma de la partícula	100% Triturada
Recubrimiento adherido	1.0% Máximo
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	3.0% Máximo

Fuente: Curso "Fundamentos de Tecnología del Concreto". ISCYC (2006).

### 3.6.4 REQUISITOS DEL AGUA

Debido a que el agua a emplear, procede de la red local de suministro para uso doméstico, proporcionada por ANDA y no se le aprecia color, olor, ni sabor. Además de contar, con antecedentes de uso en la fabricación del concreto con buenos resultados, no fue necesario realizar pruebas para verificar la calidad de ésta.

Los requisitos que debe satisfacer el concreto utilizando el agua disponible, se señalan en la Sección 2.3.3, específicamente, en la Tabla 2.10.

### 3.6.5 REQUISITOS DE LOS ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTES

Algunos requisitos que debe satisfacer el aditivo Tipo G utilizado en nuestra investigación, se señalan en la Sección 2.3.5.1.1 y la norma ASTM C494, los amplia estableciendo los requerimientos físicos para este tipo de aditivos en particular, los cuales, se presentan en la Tabla 3.8, a continuación:

**Tabla 3.8:** Requisitos físicos de los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes.

	Requisitos
Contenido de agua. Máx. % de control	88
Tiempo de fraguado inicial, desviación de concreto de control (h:min) <sup>A</sup>	Desde 1:00 después a 3:30 después
Tiempo de fraguado final, desviación de concreto de control (h:min) <sup>A</sup>	Hasta 3:30 después
Esfuerzo de compresión. Min. % de control: <sup>B</sup>	
1 día	125
3 días	125
7 días	115
28 días	110
6 meses	100
1 año	100
Esfuerzo de flexión. Min. % de control: <sup>B</sup>	
3 días	110
7 días	100
28 días	100

<sup>A</sup> Los valores en la tabla son los permitidos e incluyen una variación normal, según los resultados de prueba.

<sup>B</sup> El esfuerzo de compresión y flexión del concreto (conteniendo el aditivo de mezcla bajo prueba en su mezcla) a cualquier edad de prueba no deberá ser menor del 90% de la resistencia obtenida en pruebas previas a cualquier edad. El objetivo de este límite es el de requerir que el esfuerzo de compresión o flexión del concreto que contenga el aditivo bajo cualquier prueba no debe disminuir con la edad.

Fuente: Norma ASTM C494.

### 3.6.6 REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los requisitos que debe satisfacer el concreto en estado fresco se muestran en la Tabla 3.9 a continuación:

**Tabla 3.9:** Requisitos del concreto en estado fresco.

Ensayos de laboratorio	Requisitos
Hechura de mezcla	Según especificación
Temperatura del concreto	32° C Máximo
Revenimiento (Pavimentos)	De 1 a 3 Pulgadas (Según Comité ACI 211.1) De 2 a 3 Pulgadas (Trabajo de investigación)
Peso volumétrico del concreto <sup>^</sup>	2380 kg/m <sup>3</sup> (Sin aire incluido) 2290 kg/m <sup>3</sup> (Con aire incluido)
Contenido de aire	3% Máximo (Sin aire incluido) 8% Máximo (Con aire incluido)
Tiempo de fraguado	<u>FRAGUADO INICIAL:</u> Desde interacción agua-cemento, hasta que la mezcla presenta resistencia a la penetración de 35.7 kg/cm <sup>2</sup> , 500 psi o 3.5 Mpa
	<u>FRAGUADO FINAL:</u> Desde interacción agua-cemento, hasta que la mezcla presenta resistencia a la penetración de 280 kg/cm <sup>2</sup> , 4,000 psi o 27.6 Mpa

<sup>^</sup> Los valores en la tabla son los pesos tentativos del concreto dados por el Comité ACI 211.1, para Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado de 25 mm (1 pulgada).

Fuente: Los autores (2009).

### 3.7 CODIFICACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO

Codificar los espécimenes, induce orden al momento de procesar la información de los resultados que de éstos se deriven, a la vez que permite identificar posibles causas de un dato o resultado anómalo, esto en la medida en que se registren todas las condiciones o eventos que se suscitaron durante la prueba o elaboración de espécimenes.

El primer paso que se realizará antes de iniciar la codificación de los espécimenes de concreto, será identificar y nombrar cada una de las mezclas realizadas, según lo definido en la Sección 1.5.1, de la manera descrita en la Tabla 3.10:

**Tabla 3.10:** Listado de las mezclas de concreto a realizar en el trabajo de investigación.

<b>PROCESO DE CODIFICACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO</b>	
<b>1. De acuerdo al tipo de espécimen, puede ser:</b>	
C	Cilindro
V	Vigüeta
<b>2. De acuerdo a la mezcla de origen, en orden de elaboración:</b>	
M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> .....M <sub>n</sub>	
<b>3. De acuerdo a la resistencia teórica esperada, puede ser:</b>	
<b>Resistencia a la compresión (f'c):</b>	
210	210 kg/cm <sup>2</sup>
250	250 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la flexión (MR):</b>	
34	34 kg/cm <sup>2</sup>
37	37 kg/cm <sup>2</sup>
<b>4. Al final, la fecha de elaboración de los especímenes:</b>	
AAMMDD: Año, mes y día.	
<b>5. El número de espécimen, de acuerdo al orden de elaboración:</b>	
1, 2, 3.....n	

Fuente: Los autores (2009).

En el caso de la codificación de los especímenes (cilindros y vigüetas), para las pruebas realizadas en este trabajo de investigación, se ha seguido el procedimiento mostrado en Tabla 3.11 a continuación:

**Tabla 3.11:** Proceso de codificación de especímenes de concreto.

Tasa de dosificación del aditivo (ml/ bolsa de cemento)	Reducción en el agua de mezclado		
	12%	20%	30%
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm<sup>2</sup> RESISTENCIA A LA FLEXION DE 34 kg/cm<sup>2</sup></b>			
175	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
250	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>
350	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm<sup>2</sup> RESISTENCIA A LA FLEXION DE 37 kg/cm<sup>2</sup></b>			
175	M <sub>10</sub>	M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>
250	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>	M <sub>15</sub>
350	M <sub>16</sub>	M <sub>17</sub>	M <sub>18</sub>

Fuente: Los autores (2009).

Lo anterior aplica, para identificar los especímenes antes y durante la prueba respectiva, se simplifica a la hora de presentar los resultados, enumerándolos correlativamente, según la cantidad de especímenes.

En la Figura 3.30, se ilustra un ejemplo de codificación a utilizar en el desarrollo de este documento para cilindros de concreto y en la Figura 3.31, para viguetas de concreto:

**Figura 3.30:** Codificación de cilindros de concreto.

TIPO DE ESPECIMEN		NUMERO DE MEZCLA		RESISTENCIA A LA COMPRESION		AÑO	MES	DIA		NUMERO DE ESPECIMEN
C	-	M7	-	210	-	08	09	22	-	1

Fuente: Los autores (2009).

⊕ **EJEMPLO DE CODIFICACION DE CILINDROS DE CONCRETO:**

**C-M7-210-080922-1**, corresponde a un espécimen de concreto, al cilindro a compresión número 1 de la mezcla 7 (M<sub>7</sub>), para la resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, elaborada el 22 de Septiembre del 2008.

**Figura 3.31:** Codificación de viguetas de concreto.

TIPO DE ESPECIMEN		NUMERO DE MEZCLA		RESISTENCIA A LA FLEXION		AÑO	MES	DIA		NUMERO DE ESPECIMEN
V	-	M11	-	37	-	08	10	02	-	4

Fuente: Los autores (2009).

⊕ **EJEMPLO DE CODIFICACION DE VIGUETAS DE CONCRETO:**

**V-M11-37-081002-4**, corresponde a un espécimen de concreto, a la vigueta a flexión número 4 de la mezcla 11 (M<sub>11</sub>), para la resistencia de 37 kg/cm<sup>2</sup>, elaborada el 2 de Octubre del 2008.



## CAPITULO IV

# PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA



Carretera San Ignacio Río Chiquito. Chalatenango, El Salvador.

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## 4.1 INTRODUCCION

El objetivo de diseñar una mezcla de concreto, es determinar la combinación más práctica y económica de los materiales que lo constituyen, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento, bajo las condiciones particulares de uso. Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco, son: las de manejabilidad y economía, y para el concreto en estado endurecido, son: las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunos casos, el peso volumétrico.

Para el proporcionamiento de los ingredientes de una mezcla de concreto, se han sugerido muchos métodos dentro de los cuales, se cuentan: los analíticos, experimentales, semianalíticos y empíricos. Estos métodos han evolucionado desde los volumétricos arbitrarios (por ejemplo, mezclas 1:2:4) de comienzos del siglo pasado, al método de peso y volumen absoluto actual, propuesto por el Instituto Americano del Concreto (ACI).



El método americano propuesto por el Comité ACI 211.1, es el más conocido y ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua cemento (A/C) desarrollado por Duff Abrams y consiste en seguir en forma ordenada, una secuencia de pasos para determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1 metro cúbico ( $m^3$ ) o 1000 litros de concreto.

En el siguiente capítulo, se presenta una propuesta para el diseño de mezclas de concreto para la construcción de pavimentos, utilizando componentes disponibles en el mercado local; contemplando el uso de un aditivo en particular (reductor de agua de alto rango y retardante); y siguiendo el procedimiento sugerido por el Comité ACI 211.1 "Proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo". También, se proporciona la información de las propiedades físicas de los materiales utilizados y la realización del diseño de la primera mezcla ( $M_1$ ), como aplicación del método propuesto.

## 4.2 CONTROL DE LA CALIDAD Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA



La información sobre la procedencia y calidad de los materiales a utilizar, para la elaboración del concreto de esta investigación, se describen en las Tablas 4.1 y 4.2, a continuación:

**Tabla 4.1:** Cuadro resumen del origen, propiedades físicas y calidad de los materiales.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL 				
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS				
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			1 DE AGOSTO DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P A G. 1 / 2	
<b>INFORMACION DE LA PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS</b>				
Información del origen de los componentes a utilizar para elaborar el concreto				
	<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UM</b>	
1	Cemento	19.61	bolsas	CESSAPAV C1157 TIPO HE
2	Agua	293.60	litro	RED PUBLICA (ANDA)
3	Arena	0.86	m <sup>3</sup>	RIO TIHUAPA
4	Grava Nº 2 (T.M.N. 1 pulgada)	0.42	m <sup>3</sup>	LA CANTERA
5	Grava Nº 1 (T.M.N. ¾ de pulgada)	0.62	m <sup>3</sup>	LA CANTERA
6	Aditivo	4.90	litro	PLASTIFLOW - R
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MUESTREO PERIODICO DE LA GRAVA Nº 2</b>				
Análisis granulométrico del muestreo periódico de la grava Nº 2 (Véase Tabla 4.3)				
Tamaño máximo del agregado:		1 1/2		Pulgadas
		37.5		mm
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:		1		Pulgadas
		25		mm
Número del tamaño de granulometría del agregado:		4		37.5 hasta 19 mm 1½ Pulgada hasta ¾ de Pulgada
La grava Nº 2 no satisface los requisitos establecidos en la norma ASTM C33				
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MUESTREO PERIODICO DE LA GRAVA Nº 1</b>				
Análisis granulométrico del muestreo periódico de la grava Nº 1 (Véase Tabla 4.5)				
Tamaño máximo del agregado:		1		Pulgadas
		25.0		mm
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:		¾		Pulgadas
		19		mm
Número del tamaño de granulometría del agregado:		67		25 hasta 9.5 mm 1 Pulgada hasta ¾ de Pulgada
La grava Nº 1 satisface los requisitos establecidos en la norma ASTM C33				
Combinación de agregados gruesos (Véase Sección 4.2.1.2.3.1):				
Combinación:		Grava Nº 1: 60		%
		Grava Nº 2: 40		%
<b>OBSERVACIONES:</b>				

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.2:** Continuación de cuadro resumen del origen, propiedades físicas y calidad de los materiales.

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		1 DE AGOSTO DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P A G . 2 / 2
<b>ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
Analisis de las propiedades del muestreo periodico de la combinación de gravas (Véase Tabla 4.9)		
Gravedad especifica (G <sub>s</sub> ) del agregado:	2.61	
Absorción (A%) del agregado:	1.36	%
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>g</sub> ) del agregado:	1,464	kg / m <sup>3</sup>
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MUESTREO PERIODICO DE LA ARENA</b>		
Analisis granulometrico del muestreo periodico de la arena (Véase Tabla 4.10)		
La arena cumple las siguientes especificaciones:		
Cumple la especificación granulométrica de la norma ASTM C33, tal como puede verse, esta es una arena que se mantiene dentro de la franja granulometrica especificada.		
Cumple con la especificación de la norma ASTM C33, relativa al porcentaje pasante máximo permisible por la malla N° 200 = 3.0%.		
<b>ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA ARENA</b>		
Analisis de las propiedades del muestreo periodico de la arena (Véase Tabla 4.5)		
Gravedad especifica (G <sub>s</sub> ) del agregado:	2.51	
Módulo de finura (MF) de la arena:	2.58	
Absorción (A%) del agregado:	4.2	%
Sanidad del agregado:	8	%
Equivalente de arena del agregado:	80.7	%
Material fino contenido en el agregado:	5.7	%
Impurezas orgánicas en el agregado:	Color 1	
Porcentaje de partículas ligeras del agregado:	6.22	%
Porcentaje de partículas desmenuzables del agregado:	0.98	%
<b>OBSERVACIONES:</b>		

Fuente: Los autores (2009).

#### **4.2.1 COMPONENTES DE LA MEZCLA**

El volumen absoluto del concreto, se compone principalmente de agregados (61 a 76.5%), cemento Pórtland o cemento combinado (7 a 15%), agua (14 a 21%) y puede tener otros materiales cementantes y/o aditivos químicos. También, suele contener cierta cantidad de aire atrapado (0.5 a 3%) y algunas veces deliberadamente incluido (hasta 8%), que se obtiene mediante el empleo de un aditivo o un cemento inclusor de aire. Los parámetros a tomar en cuenta, para realizar el proporcionamiento de cada uno de los componentes del concreto, se muestran en esta sección.

##### **4.2.1.1 CEMENTO ASTM C1157 TIPO HE**

Las características físicas y químicas del cemento ASTM C1157 Tipo HE influyen en las propiedades del concreto endurecido. Sin embargo, la única propiedad del cemento que se emplea directamente en el cálculo de las proporciones de la mezcla, es la gravedad específica ( $G_s$ ).

Para el caso de este trabajo de investigación, el cemento utilizado fue regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE como se estableció en la Sección 3.3.1.4. La calidad del mismo, fue establecida por el proveedor, por lo que el parámetro a evaluar es únicamente, su comportamiento como componente de la mezcla de concreto. Este presenta un valor de gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.93, según lo reportado para Junio de 2008 (Véase Anexo C).

##### **4.2.1.2 AGREGADOS**

La absorción (A%), el peso específico ( $G_s$ ) y el contenido de humedad (CH%) de ambos agregados (gruesos y fino), así como también, el peso volumétrico varillado en seco del agregado grueso ( $P.V.V_g$ ), son propiedades físicas útiles para el cálculo de la mezcla.

La calidad del agregado ha sido analizada con base en los resultados proporcionados en cinco muestreos anteriores al acopio, valorando el análisis granulométrico del agregado y las propiedades físicas.

#### **4.2.1.2.1 ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO**

La granulometría del agregado, es un factor importante para determinar los requerimientos de agua; las proporciones de agregados gruesos y agregado fino; y el contenido de cemento para una trabajabilidad satisfactoria.

El promedio de los porcentajes pasantes de cada malla, permanecen dentro de los límites superiores e inferiores establecidos por la norma ASTM C33, para todos los agregados, exceptuando en el tamiz de 25 mm (1 pulgada) para la grava N° 2. Por lo que se considera que estos materiales poseen un balance proporcional con respecto al tamaño de las partículas y por lo tanto, se concluyó que los datos proporcionados son confiables. La curva granulométrica descrita es suave y por su distribución de tamaños, permite obtener una mezcla más estable (Véase Figuras 4.1, 4.2 y 4.3).

El material grueso, posee un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y 1 pulgada para la grava N° 1 y grava N° 2, respectivamente, factor que es favorable para la economía de la mezcla y para satisfacer los requisitos establecidos en la teoría de pavimentos de concreto consultada en esta investigación, la cual, ha sido plasmada en la Sección 2.2.2.

#### **4.2.1.2.2 PROPIEDADES FISICAS**

Para concreto utilizado en la construcción de carreteras, la finura de la arena es fundamental tanto desde el punto de vista de la economía, como para la trabajabilidad de la mezcla. En el caso de la arena utilizada en promedio, el módulo de finura (MF) fue de 2.58 (Véase Tabla 4.11), clasificándose, según la norma ASTM C125 (Véase Tabla 2.5) como una arena “medio fina”, es decir utilizable en mezclas de concreto.

La gravedad específica ( $G_s$ ) de la grava N° 2, grava N° 1 y la arena fue de 2.60, 2.61 y 2.51, respectivamente (Véase Tablas 4.4, 4.6 y 4.11), la analogía resulta satisfactoria para la suspensión homogénea de partículas, mejorando la fluidez de la mezcla y la resistencia a la segregación.

La gravedad específica de la mayoría de agregados de origen natural, oscila entre 2.40 y 2.90, según lo establecido en la Sección 2.3.2.3.3; los valores promedios obtenidos experimentalmente para el tipo de agregado seleccionado, corresponden al parámetro mencionado, lo que garantiza obtener una mezcla de “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400  $\text{kg/m}^3$ ), pues un valor por debajo de 2.40 pertenece a un agregado de peso liviano y su utilización debería ser objetable en esta investigación.

El grado de absorción (A%) de un agregado es difícil de cuantificar, ya que depende de otros parámetros como la distribución granulométrica, el contenido de finos y el tamaño máximo. Existen parámetros de control que especifican que el porcentaje de absorción no debe exceder del 4.0% y 6.0%, según lo establecido en la Sección 2.3.2.3.5.1; para el caso del agregado grueso y fino, respectivamente, partiendo de este argumento se observa que el material granular utilizado en este trabajo de investigación posee un porcentaje de absorción (A%) de 1.1% (Grava N° 2), 1.5% (Grava N° 1) y 4.2% (Arena); es decir, que la cantidad de poros oscila dentro de los parámetros normales y garantiza un buen desempeño mecánico en mezclas de concreto.

La humedad de acopio del agregado (CH%), fue un valor a considerar únicamente como parámetro inicial, pero debido a que el material fue almacenado y protegido de la intemperie bajo techo, se calculará el nuevo valor antes de diseñar cada mezcla.

Considerando que la mezcla de concreto a diseñar, pertenece a un “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400  $\text{kg/m}^3$ ), se estima que el peso volumétrico de los agregados utilizados como componentes de relleno de la misma, oscilen entre 1,260 y 1,760  $\text{kg/m}^3$  para la grava, con

la información brindada por el proveedor y la obtenida mediante el ensayo de peso volumétrico varillado, realizado a la grava N° 2, según el procedimiento descrito en la norma ASTM C29 (Véase Anexo A), se determinó que en promedio para la grava N° 2 y grava N° 1, el peso volumétrico varillado es de 1,440 y 1,480 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente; por lo que no existe objeción para utilizar este material en la realización de las mezclas de concreto.

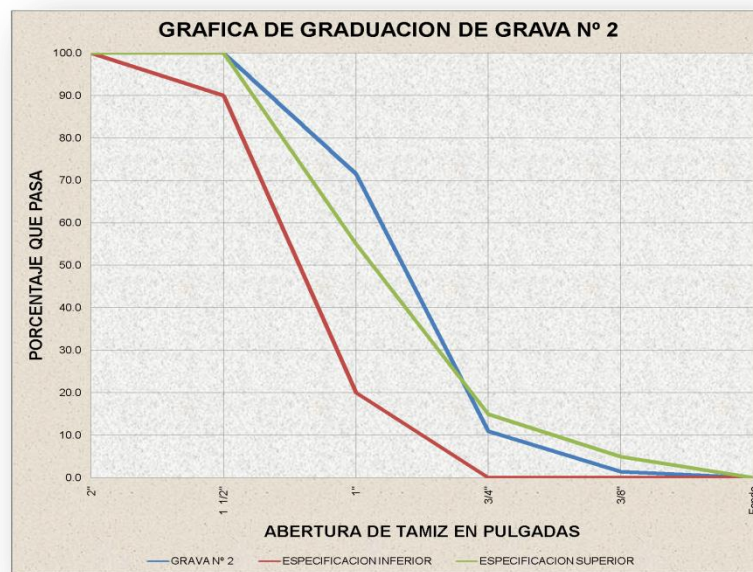
#### 4.2.1.2.3 AGREGADO GRUESO

Tabla 4.3: Análisis granulométrico del muestreo periódico de la grava N° 2.

Malla N° en mm (in)	Fecha Muestreo	21/12/2006		10/01/2007		30/02/07		10/04/2008		01/06/2008		Promedio	Desviación estándar						
		1		2		3		4		5									
		% Retenido Acumulado ASTM C33 (N° 4)	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa								
50 (2)	100	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00					
37.5 (1 1/2)	90 hasta 100	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00					
25 (1)	20 hasta 55	33.67	66.33	NO	24.91	75.09	NO	33.90	66.10	NO	25.40	74.80	NO	71.48	NO	4.81			
19 (3/4)	0 hasta 15	94.64	5.36	OK	80.79	19.21	NO	89.37	10.63	OK	99.73	0.27	OK	80.79	19.21	NO	10.94	OK	8.39
12.5 (1/2)	-	N/D	N/D	OK	N/D	N/D	OK	N/D	N/D	OK	99.73	0.27	OK	86.83	13.17	OK	6.72	OK	9.12
9.5 (3/8)	0 hasta 5	99.09	0.91	OK	97.40	2.60	OK	99.22	0.78	OK	99.73	0.27	OK	97.40	2.60	OK	1.43	OK	1.09
4.75 (N° 4)	-	N/D	N/D	OK	N/D	N/D	OK	N/D	N/D	OK	99.73	0.27	OK	98.40	1.60	OK	0.94	OK	0.94
Fondo	0	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	0.00	OK	0.00

Fuente: Los autores (2009).

Figura 4.1: Curva granulométrica del muestreo periódico de la grava N° 2.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.4:** Análisis de las propiedades físicas de la grava N° 2.

Propiedad Física	Norma	Requisitos	Fecha Muestreo	10/01/2006	21/12/2006	28/03/2007	21/08/2008	Promedio	Desviación estándar
				1	2	3	4		
Gravedad específica ( $G_s$ )	ASTM C127	2.40 a 2.90	%	2.61 OK	2.58 OK	2.61 OK	N/D -	2.60 OK	0.02
Absorción (A%)		4.0 MAX.	%	1.1 OK	1.1 OK	1.1 OK	N/D -	1.1 OK	0.0
Peso volumétrico varillado de la grava (P.V.V <sub>g</sub> )	ASTM C129	1260 A 1760	kg / m <sup>3</sup>	N/D -	N/D -	N/D -	1440 OK	1440 OK	0
Resistencia a la abrasión	ASTM C131	40 MAX.	%	18 OK	20 OK	18 OK	N/D -	19 OK	1

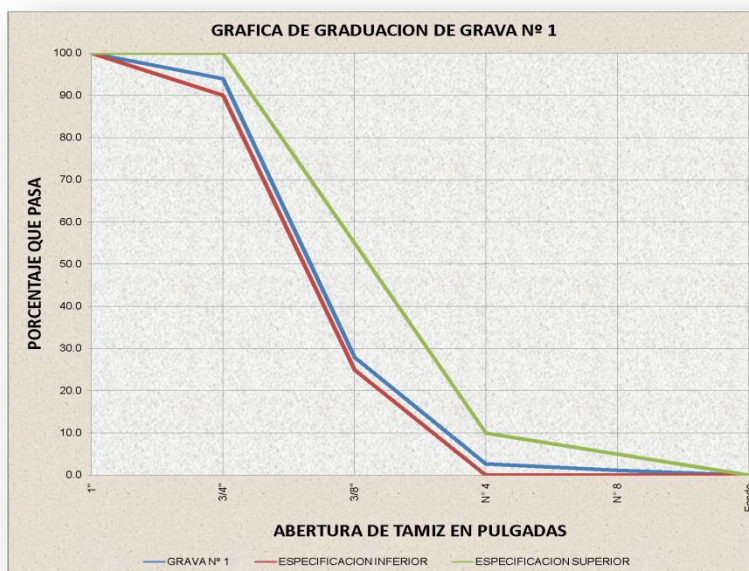
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.5:** Análisis granulométrico del muestreo periódico de la grava N° 1.

Malla N° en mm (in)	Fecha Muestreo	10/04/2008		01/06/2008		11/06/2008		14/06/2008		08/08/2008		Promedio	Desviación estándar
		1		2		3		4		5			
		ASTM C33 (N° 67)	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado		
25 (1)	100	0.00	100.00 OK	0.00	100.00 OK	0.00	100.00 OK	0.00	100.00 OK	0.00	100.00 OK	100.00 OK	0.00
19 (¾)	90 hasta 100	11.37	88.63 NO	6.70	93.30 OK	5.44	94.56 OK	6.70	93.30 OK	0.00	100.00 OK	93.96 OK	4.07
12.5 (½)	-	62.90	37.10 -	N/D	N/D -	N/D	N/D -	39.70	60.30 -	26.63	73.17 -	56.86 -	18.28
9.5 (¾)	20 hasta 55	65.42	14.58 NO	72.97	27.03 OK	72.42	27.58 OK	72.70	27.30 OK	56.33	43.67 OK	28.03 OK	10.33
4.75 (N° 4)	0 hasta 10	98.96	1.04 OK	97.05	2.95 OK	95.46	4.54 OK	96.60	3.40 OK	98.40	1.60 OK	2.71 OK	1.41
2.36 (N° 8)	0 hasta 5	99.00	1.00 OK	99.19	0.81 OK	98.26	1.74 OK	98.80	1.20 OK	N/D	N/D NO	1.19 OK	0.40
Fondo	0	100.00	0.00 OK	100.00	0.00 OK	100.00	0.00 OK	100.00	0.00 OK	100.00	0.00 OK	0.00 OK	0.00

Fuente: Los autores (2009).

**Figura 4.2:** Curva granulométrica del muestreo periódico de la grava N° 1.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.6:** Análisis de las propiedades físicas de la grava N° 1.

Propiedad Física	Norma	Requisitos	Fecha Muestreo	Fecha										Promedio	Desviación estándar	
				22/12/2006	10/01/2007	08/08/2007	01/06/2008	08/08/2008	1	2	3	4	5			
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	ASTM C127	2.40 a 2.90	%	2.59	OK	2.62	OK	2.619	OK	2.62	OK	N/D	NO	2.61	OK	0.01
Absorción (A%)		4.0 MAX.	%	1.5	OK	1.2	OK	2.2	OK	1.2	OK	N/D	NO	1.5	OK	0.4
Peso volumétrico varillado de la grava (P.V.V <sub>g</sub> )	ASTM C129	1260 A 1760	kg / m <sup>3</sup>	N/D	NO	N/D	NO	N/D	NO	N/D	NO	1480	OK	1480	OK	0
Sanidad (5 ciclos en Sulfato de Sodio)	ASTM C88	12 MAX.	%	N/D	NO	N/D	NO	4.30	OK	N/D	NO	N/D	NO	4.30	OK	0.00
Resistencia a la abrasión	ASTM C131	40 MAX.	%	25	OK	18	OK	15	OK	18	OK	N/D	NO	19	OK	4
Índice de durabilidad	ASTM D3744	-	%	N/D	-	N/D	-	98.90	-	N/D	-	N/D	-	98.90	-	0.00
Partículas planas y alargadas	ASTM D4791	20 MAX.	%	N/D	NO	N/D	NO	2.60	OK	N/D	NO	N/D	NO	2.60	OK	0.00
Partículas ligeras	ASTM C123	3 MAX.	%	N/D	NO	N/D	NO	0.00	OK	N/D	NO	N/D	NO	0.00	OK	0.00
Partículas desmenuzables	ASTM C142	2 MAX.	%	N/D	NO	N/D	NO	0.00	OK	N/D	NO	N/D	NO	0.00	OK	0.00

Fuente: Los autores (2009).

#### 4.2.1.2.3.1 COMBINACION DE AGREGADOS GRUESOS

La combinación de agregados tiene por objeto, lograr una mezcla cuya graduación se encuentre dentro de los límites especificados para un tamaño de granulometría, de la norma ASTM C33 (Véase Tabla 2.4). Para esto, se cuenta con procedimientos analíticos y gráficos; dentro de los primeros, “el método de prueba y error” o “método de tanteos”, es el más utilizado, ya que con la ayuda de programas de computación como Microsoft Excel, es muy fácil elaborar hojas de cálculos y establecer una combinación de varios agregados, por supuesto, se debe tener la granulometría de cada agregado a ser combinado (Véase Sección 4.2.1.2.3). El método utilizado en esta investigación, es el propuesto por el Instituto Americano del Asfalto (AI) y se describe a continuación, acompañado del cálculo de la combinación de los agregados gruesos a utilizar en el desarrollo de este trabajo de graduación.

##### 4.2.1.2.3.1.1 DOSIFICACION PARA DOS AGREGADOS

###### 4.2.1.2.3.1.1.1 METODO ANALITICO DE PRUEBA Y ERROR

La fórmula general básica del “método de prueba y error” o “método de tanteos”, para la combinación de agregados, sin importar el número de estos o el método utilizado para establecer las proporciones, es la siguiente:

$$P = A \times a + B \times b + C \times c \dots \text{etc.}$$

Donde:

P = Porcentaje de material que pasa un tamiz dado para la combinación de agregados A, B, C, etc.

A, B, C, etc. = Porcentaje de material que pasa un tamiz dado para los agregados A, B, C, etc.

a, b, c, etc. = Proporciones de agregados A, B, C, etc. usadas en la combinación y cuyo total es uno.

El proceso de dosificación resulta relativamente simple, cuando se trata de la mezcla de dos agregados; tal es el caso de dos materiales gruesos (Grava N° 2 y Grava N° 1), identificados como A y B, respectivamente. Una primera aproximación se obtiene al calcular el porcentaje que se requiere de la grava N° 1 (B), de tal forma que se cumpla con la media de la especificación, para el tamiz que presente la mayor variación en las granulometrías de los agregados que se quieren combinar (Véase Tabla 4.5).

Por lo tanto, la fórmula para dos agregados es:

$$P = A \times a + B \times b$$

Debido a que:

$$a + b = 1$$

Sustituyendo y despejando b, tenemos:

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

También, tenemos para a:

$$a = \frac{P - B}{A - B}$$

**Tabla 4.7:** Especificaciones y granulometrías de los dos agregados gruesos a ser combinados.

Tamiz	2 in	1 ½ in	¾ in	⅜ in	Nº 4
	50.0 mm	37.5 mm	19.0 mm	9.5 mm	4.75 mm
Especificacion ASTM C33 (Nº 467)	% que pasa por la malla				
	100	95 hasta 100	35 hasta 70	10 hasta 30	0 hasta 5
Media de la especificación	100	97.5	52.5	20	2.5
<b>GRANULOMETRIAS NATURALES DE LOS AGREGADOS GRUESOS</b>					
Grava Nº 2 (A)	100.00	100.00	10.94	1.43	0.94
Grava Nº 1 (B)	100.00	100.00	93.96	28.03	2.71

Fuente: Los autores (2009).

Si:

a = Cantidad de material A requerido en la mezcla.

b = Cantidad de material B requerido en la mezcla.

Despejando, se obtiene:

$$a = 1 - b$$

Si:

P = Media de la especificación para el tamiz designado.

A = Porcentaje que pasa el tamiz designado de la grava Nº 1.

B = Porcentaje que pasa el tamiz designado de la grava Nº 2.

Se debe cumplir que:

$$A \times a + B \times b = P$$

Tomando el tamiz ¾ de pulgada, obtenemos los siguientes valores:

$$P = 52.50$$

$$A = 10.94$$

$$B = 93.96$$

Por lo tanto, tenemos:

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

$$b = \frac{52.50 - 10.94}{93.96 - 10.94}$$

$$b = 0.5006 \approx 0.50$$

Por lo tanto, con el valor calculado de b obtenemos a de la siguiente manera:

$$a = 1 - b$$

$$a = 1 - 0.50$$

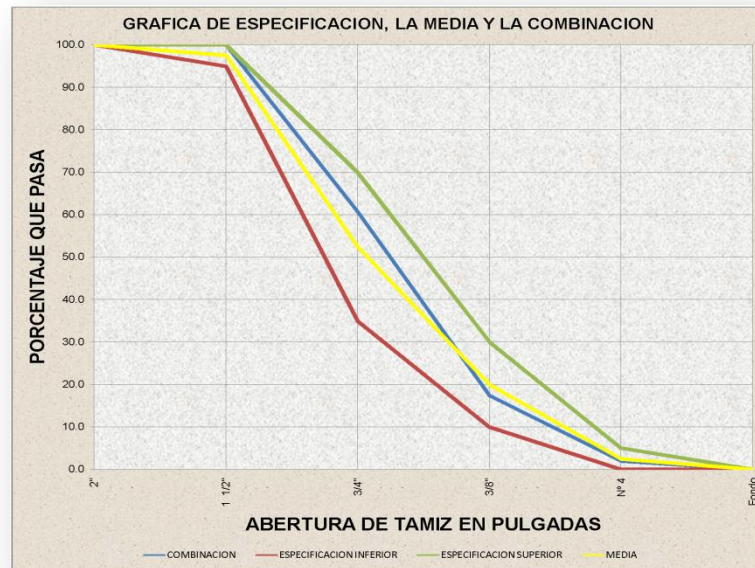
$$a = 0.50$$

En la Tabla 4.8, se presentan los resultados de los tanteos realizados para obtener la combinación óptima de agregados gruesos a utilizar:

**Tabla 4.8:** Combinación de agregados gruesos, por el “método de prueba y error” o “método de tanteos”.

Tamiz	2 in	1 ½ in	¾ in	¾ in	Nº 4
	50 mm	37.5 mm	19 mm	9.5 mm	4.75 mm
Especificación ASTM C33 (Nº 467)	% que pasa por la malla				
	100	95 hasta 100	35 hasta 70	10 hasta 30	0 hasta 5
Media de la especificación	100	97.5	52.5	20	2.5
<b>PRIMER TANTEO (50% GRAVA Nº 1 Y 50% GRAVA Nº 2)</b>					
Grava Nº 2 (A) 50%	50.00	50.00	5.47	0.72	0.47
Grava Nº 1 (B) 50%	50.00	50.00	46.98	14.02	1.35
Mezcla	100.00	100.00	52.45	14.73	1.82
Observación	OK	OK	OK	OK	OK
<b>SEGUNDO TANTEO (60% GRAVA Nº 1 Y 40% GRAVA Nº 2)</b>					
Grava Nº 2 (A) 60%	60.00	60.00	6.56	0.86	0.56
Grava Nº 1 (B) 40%	40.00	40.00	37.58	11.21	1.08
Mezcla	100.00	100.00	44.14	12.07	1.64
Observación	OK	OK	OK	OK	OK
<b>TERCER TANTEO (45% GRAVA Nº 1 Y 55% GRAVA Nº 2)</b>					
Grava Nº 2 (A) 45%	45.00	45.00	4.92	0.64	0.42
Grava Nº 1 (B) 55%	55.00	55.00	51.68	15.42	1.49
Mezcla	100.00	100.00	56.60	16.06	1.91
Observación	OK	OK	OK	OK	OK
<b>CUARTO TANTEO (40% GRAVA Nº 1 Y 60% GRAVA Nº 2)</b>					
Grava Nº 2 (A) 40%	40.00	40.00	4.37	0.57	0.37
Grava Nº 1 (B) 60%	60.00	60.00	56.37	16.82	1.62
Mezcla	100.00	100.00	60.75	17.39	2.00
Observación	OK	OK	OK	OK	OK
<b>QUINTO TANTEO (30% GRAVA Nº 1 Y 70% GRAVA Nº 2)</b>					
Grava Nº 2 (A) 30%	30.00	30.00	3.28	0.43	0.28
Grava Nº 1 (B) 70%	70.00	70.00	65.77	19.62	1.89
Mezcla	100.00	100.00	69.05	20.05	2.17
Observación	OK	OK	OK	OK	OK

Figura 4.3: Curva granulométrica de la combinación de agregados gruesos.



Fuente: Los autores (2009).

#### 4.2.1.2.3.1.1.2 METODO GRAFICO

Las proporciones que mejor se ajusten de dos agregados (gruesos, finos o combinados), para producir una combinación que satisfaga una determinada especificación, se puede determinar de forma más sencilla, utilizando un método gráfico (Véase Figura 4.4).

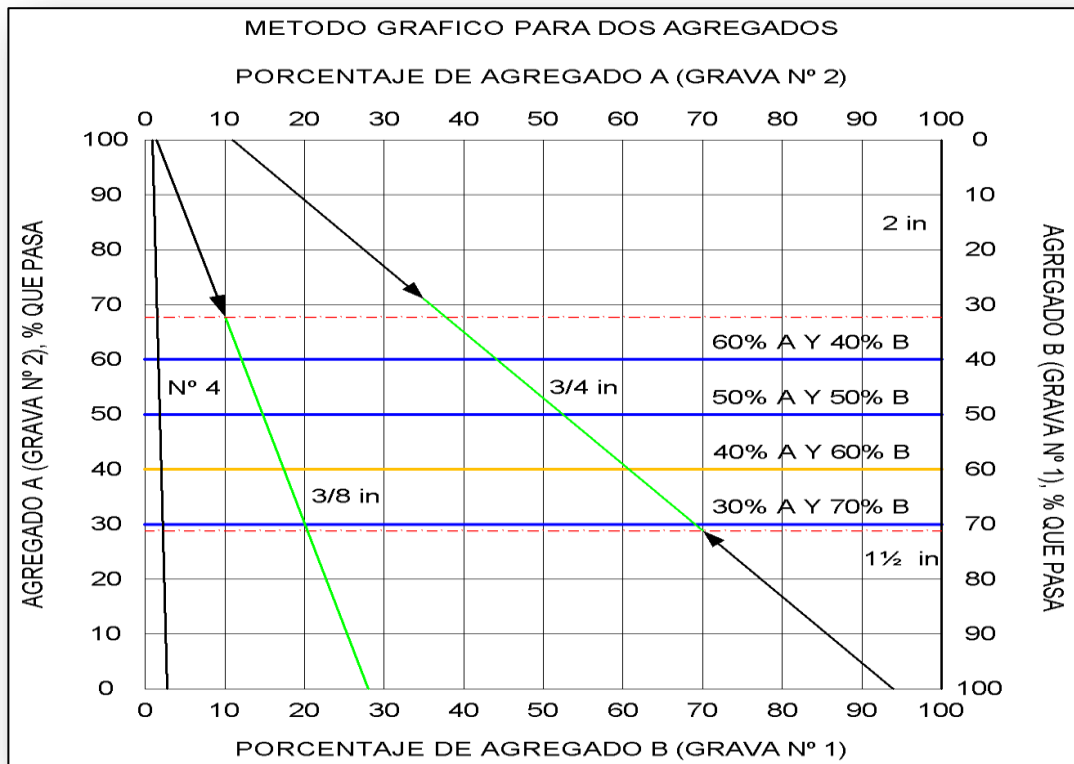
El procedimiento general que debe seguirse, es descrito a continuación:

- ⊕ Para el agregado A (Grava N° 2), graficar en la escala horizontal de la parte superior, los porcentajes que pasan.
- ⊕ Para el agregado B (Grava N° 1), graficar en la escala horizontal de la parte inferior, los porcentajes que pasan.
- ⊕ Conectar los puntos comunes al mismo tamaño de las partículas del agregado grueso (tamiz), con líneas rectas e identificarlas.
- ⊕ Para un tamaño de granulometría específico (ASTM C33), en nuestro caso N° 467, marcar los límites (mínimo y máximo) de la especificación por cada tamiz. Obsérvese,

que para el tamaño de 3/4 de pulgada (19.00 mm) hay dos puntos marcados sobre la línea que corresponden al 35 y 70 de la especificación.

- # Escoger el punto medio de la porción de la escala horizontal, para combinar los agregados. Tenemos entonces, 40% del agregado A (Grava N° 2) y 60% del agregado B (Grava N° 1).
- # Analizando, las líneas verticales (limite tamiz 3/4 de pulgada (19.00 mm) y 3/8 de pulgada (9.60 mm)), podemos concluir que en el agregado A (Grava N° 2), los limites son 67.78 y 28.86% y en el agregado B (Grava N° 1), los limites son 71.14 y 32.22%; cumplirán con la especificación una vez que se combinen. Con lo cual, se verifica los porcentajes obtenidos mediante el “método de prueba y error” o “métodos de tanteos”.

Figura 4.4: Combinación de agregados gruesos, mediante el “método gráfico”.



#### 4.2.1.2.3.2 PROPIEDADES FISICAS DE LA COMBINACION DE AGREGADOS GRUESOS

Debido a que la combinación seleccionada es 40% de la grava N° 2 y 60% de la grava N° 1, la cual, se obtuvo mediante el método analítico y gráfico, como se mostró, en la sección anterior. Las propiedades físicas de la combinación de estos materiales son las que se muestran en la Tabla 4.7, a continuación:

**Tabla 4.9:** Análisis de las propiedades físicas de la combinación de agregados gruesos.

Propiedad Física	Norma	Requisitos	Unidades	Promedio		Promedio		Combinación	
				Grava N° 2 (A)	OK	Grava N° 1 (B)	OK	0.4 A +0.6 B	OK
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	ASTM C127	2.40 a 2.90	%	2.60	OK	2.61	OK	2.61	OK
Absorción (A%)		4.0 MAX.	%	1.08	OK	1.54	OK	1.36	OK
Peso volumétrico varillado de la grava (P.V.V <sub>g</sub> )	ASTM C29	1260 A 1760	kg / m <sup>3</sup>	1440	OK	1480	OK	1464	OK
Resistencia a la abrasión	ASTM C131	40 MAX.	%	19	OK	19	OK	19	OK

Fuente: Los autores (2009).

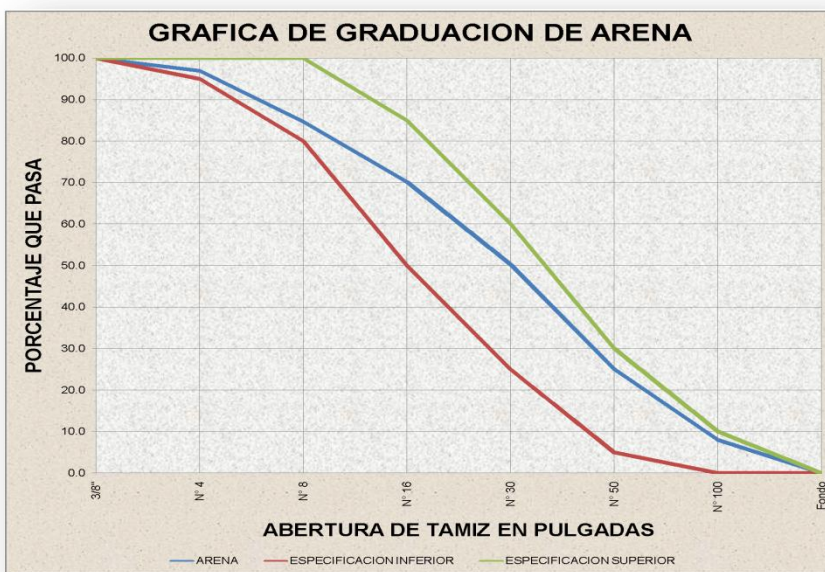
#### 4.2.1.2.4 AGREGADO FINO

**Tabla 4.10:** Análisis granulométrico del muestreo periódico del agregado fino.

Malla N° en mm (in)	Fecha	29/02/07		08/08/2007		10/03/2008		01/06/2008		14/06/2008		Promedio	Desviación estándar						
	Muestreo	1		2		3		4		5									
	ASTM C33	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa								
9.5 (%)	100	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00	100.00	OK	0.00					
4.75 (N° 4)	95 a 100	3.94	96.06	OK	3.76	96.24	OK	1.61	98.39	OK	2.97	97.03	OK	3.00	97.00	OK	96.94	OK	0.92
2.36 (N° 8)	80 a 100	14.76	85.24	OK	15.20	84.80	OK	14.52	85.48	OK	16.03	83.97	OK	16.00	84.00	OK	84.70	OK	0.70
1.18 (N° 16)	50 a 85	29.30	70.70	OK	27.39	72.61	OK	31.61	68.39	OK	30.43	69.57	OK	30.40	69.60	OK	70.17	OK	1.59
0.60 (N° 30)	25 a 60	49.79	50.21	OK	44.73	55.27	OK	59.68	40.32	OK	47.24	52.76	OK	47.20	52.80	OK	50.27	OK	5.84
0.30 (N° 60)	5 a 30	75.66	24.34	OK	68.23	31.77	NO	87.74	12.26	OK	71.53	28.47	OK	71.50	28.50	OK	25.07	OK	7.63
0.15 (N° 100)	0 a 10	92.21	7.79	OK	88.73	11.27	NO	97.74	2.26	OK	90.63	9.37	OK	90.60	9.40	OK	8.02	OK	3.45
Fondo	0	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	100.00	0.00	OK	0.00	OK	0.00

Fuente: Los autores (2009).

Figura 4.5: Curva granulométrica del muestreo periódico del agregado fino.



Fuente: Los autores (2009).

Tabla 4.11: Análisis de las propiedades físicas del agregado fino.

Propiedad Física	Norma	Requisitos	Fecha	29/02/2007	08/08/2007	22/12/2007	01/06/2008	14/06/2008	Promedio	Desviación estándar
			Muestreo	1	2	3	4	5		
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	ASTM C128	2.40 a 2.90	%	N/D	- 2.55 OK	2.42 OK	2.57 OK	N/D	2.51	OK 0.08
Absorción (A%)		6.0 MAX.	%	N/D	- 1.6 OK	5.1 OK	6.0 NO	N/D	4.2	OK 2.32
Módulo de finura (MF)	ASTM C125	2.30 a 3.10	-	2.70 OK	2.40 OK	2.60 OK	2.60 OK	2.59 OK	2.58	OK 0.11
Sanidad (5 ciclos en Sulfato de Sodio)	ASTM C88	10 MAX.	%	N/D	- 8.20 OK	N/D	- 8.20 OK	N/D	8.20	OK 0.00
Equivalente de arena	ASTM D2419	75 MIN.	%	N/D	- 88.00 OK	66.00 NO	88.00 OK	N/D	80.67	OK 12.70
Material fino	ASTM C117	2 MAX.	%	N/D	- 7.87 NO	N/D	- 3.60 NO	N/D	5.74	NO 3.02
Impurezas orgánicas	ASTM C40	Color 3 MAX.	-	N/D	- Color 1 OK	N/D	- Color 1 OK	N/D	Color 1	OK -
Partículas ligeras	ASTM C123	0.5 MAX.	%	N/D	- 6.22 NO	N/D	- 6.22 NO	N/D	6.22	NO 0.00
Partículas desmenuzables	ASTM C142	3 MAX.	%	N/D	- 0.98 OK	N/D	- 0.98 OK	N/D	0.98	OK 0.00

Fuente: Los autores (2009).

### 4.2.1.3 AGUA

Para el caso de este trabajo de investigación, el agua empleada es potable, como se estableció en la Sección 3.3.1.5. Esta presenta, un valor de densidad ( $\rho_{AGUA}$ ) de 1,000 kg/m<sup>3</sup> y gravedad específica (G<sub>s</sub>) de 1.00.

#### 4.2.1.4 ADITIVO

El tipo de aditivo empleado en esta investigación, está disponible en el mercado local y fue sometido a un control de calidad por parte del proveedor, lo que garantizó su buen desempeño en la elaboración de las mezclas de concreto (Véase Anexo D).

Este aditivo interactúa químicamente con las partículas de cemento en el concreto recién mezclado, lo cual, resulta en una mejor distribución del cemento en la mezcla. Esta reacción transforma las características de trabajabilidad (baja caída o bajo revenimiento) de las formulaciones de la mezcla con relaciones agua/cemento (A/C) bajas, en mezclas altamente trabajables (alto revenimiento), sin que se requieran cambiar las relaciones agua/cemento (A/C) previstas originalmente. Este material presenta un valor de densidad a granel de 1,100 g/l y debe emplearse a temperaturas ambientales por encima de los 21 °C.

Para realizar el diseño de la mezcla, la propiedad física necesaria del aditivo Tipo G, es su gravedad específica ( $G_s$ ), la cual fue obtenida, como se indica a continuación:

$$G_s = \frac{\rho_{\text{ADITIVO}}}{\rho_{\text{AGUA}}}$$

Si se sabe que la densidad del agua ( $\rho_{\text{AGUA}}$ ) es de 1,000 kg/m<sup>3</sup> y la densidad del aditivo ( $\rho_{\text{ADITIVO}}$ ) es en unidades métricas de 1,100 kg/m<sup>3</sup>.

$$G_s = \frac{1,100}{1,000} = 1.1$$

EL valor de la gravedad específica del aditivo Tipo G, empleado en el diseño de todas las mezclas de concreto fue de 1.10.

### 4.3 CALCULO EXPERIMENTAL DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO

El proporcionamiento y la elaboración de las mezclas de concreto, fue realizado en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), utilizando una mezcladora de motor eléctrico, con capacidad de media bolsa de cemento; los materiales fueron pesados en una balanza con precisión de 0.1 kg, el agua y el aditivo, fueron dosificados utilizando probetas con diferentes capacidades, según el volumen necesario (Véase Figura 4.6).

**Figura 4.6:** Proceso de proporcionamiento, mezclado en concretera y ensayo de revenimiento del concreto.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

Cada una de las dieciocho mezclas, fue el resultado de la elaboración de cinco bachadas, las cuales, proporcionaron la cantidad de material necesario para desarrollar determinadas pruebas o elaborar cierto tipo y número de espécimenes de concreto (cilindros y viguetas). La primer bachada ( $B_1$ ), tuvo un volumen de 19.0 litros y brindó, la cantidad necesaria de concreto para realizar los ensayos de Tiempo de fraguado, Peso Volumétrico y Contenido de aire; la segunda bachada ( $B_2$ ), tuvo un volumen de 35.5 litros y proporcionó, el concreto suficiente para elaborar seis cilindros y las últimas tres bachadas ( $B_3$ ,  $B_4$  y  $B_5$ ), cada una de 31.5 litros de volumen, generó el material suficiente, para realizar dos viguetas con cada bachada y, así, completar en total, las seis viguetas que se requieren para el desarrollo de esta investigación. Cabe destacar que tanto los cilindros como las viguetas, fueron consolidados

siguiendo el procedimiento de varillado propuesto por la norma ASTM C192, para concretos con revenimientos iguales o mayores que una pulgada (2.50 cm).

En lo que respecta a la dosificación de los componentes del concreto, resultó efectiva la sucesión de la colocación de los mismos en la concreteira (grava, arena, cemento y aditivo) según lo que se indica en la Sección 3.5.1.5.1, y los respectivos tiempos de mezclado (tres minutos de mezclado, seguidos de dos minutos de reposo y tres minutos de mezclado final para el concreto; y de 5 a 7 minutos de mezclado adicional para la inyección del aditivo en la mezcla), tal y como fue determinado en el diseño, ya que en todas las mezclas se obtuvieron concretos homogéneos, los cuales, presentaron características adecuadas tanto para el concreto en estado fresco como endurecido. Aunque en ciertos casos, fue necesario hacer ajustes en el agua de mezclado, para que el concreto obtuviese el revenimiento especificado.

#### **4.3.1 GENERALIDADES SOBRE LA PROPORCION DE LA MEZCLA. MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO SUGERIDO POR EL COMITE ACI 211.1**

El método proporcionado por el Comité ACI 211.1, ha sido utilizado para el diseño de mezclas de “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>) en general, alcanzando su máxima optimización con el uso de la relación agua/cemento (A/C). Se puede apreciar que para el diseño de mezclas se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencias previas, y que con la ayuda de tablas, gráficas y ábacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de materiales.

La capacidad para ajustar las propiedades del concreto a las necesidades de la obra, refleja un desarrollo tecnológico que no tuvo lugar sino a partir de los primeros años del pasado siglo. El empleo de la relación agua/cemento (A/C) como herramienta para estimar la resistencia, fue reconocido alrededor del año 1918. Las notables mejoras en la durabilidad, resultantes de la inclusión de aire, fueron reconocidas a principios de los años cuarenta. Estos dos importantes adelantos en la tecnología del concreto, se han visto aumentados por las

extensas investigaciones y el desarrollo de muchas áreas afines, incluido el empleo de aditivos para contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales o economizar.

Por lo común, las propiedades del concreto fresco, se rigen por el tipo de estructura a colar (vigas, muros, zapatas, pavimentos, etc.) y por las técnicas de colocación y transporte (bomba, banda transportadora, carretilla, etc.); así mismo, las propiedades del concreto en estado endurecido quedan especificadas por el ingeniero calculista, ya que él proporciona los datos, tales como: la resistencia a los esfuerzos (compresión y flexión), durabilidad y otros, para que respondan a las condiciones de los proyectos o de los reglamentos. Con estos dos grupos de requisitos y teniendo en cuenta además, el grado de control que se ejerce sobre la obra, se puede determinar las proporciones de la mezcla.

Frecuentemente, los proporcionamientos existentes que no contienen aditivos y/o otros materiales diferentes al cemento hidráulico, son llevados a cabo para incluirles dichos materiales. El funcionamiento de los reproporcionamientos del concreto debe verificarse a través de mezclas de prueba en laboratorio o en el campo.

La estimación de los pesos requeridos de los componentes de las mezclas de concreto, implica una secuencia de pasos lógicos y directos que de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo. Las especificaciones de la obra, pueden dictar todas o algunas de las siguientes recomendaciones:

- ⊕ Máxima relación agua/cemento (A/C).
- ⊕ Mínimo contenido de cemento (C).
- ⊕ Contenido de aire.
- ⊕ Revenimiento.
- ⊕ Tamaño máximo del agregado.
- ⊕ Resistencia a la Compresión especificada,  $f'_c$ .

- ⊕ Otros requerimientos relacionados con aspectos tales como sobre-diseño de resistencia, aditivos y tipos especiales de cemento o agregado.

Para extender posibilidades, la selección de las proporciones del concreto debe basarse sobre datos de ensayos o sobre la experiencia con los materiales a usar.

#### **4.3.2 PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO**

Esta sección describe el método para la dosificación de concreto de cemento hidráulico con aditivo Tipo G, empleado en esta investigación.

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expone, es aplicable al “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>), aunque pueden emplearse los mismos datos y procedimientos básicos para seleccionar las proporciones de “concretos pesados y masivos”.

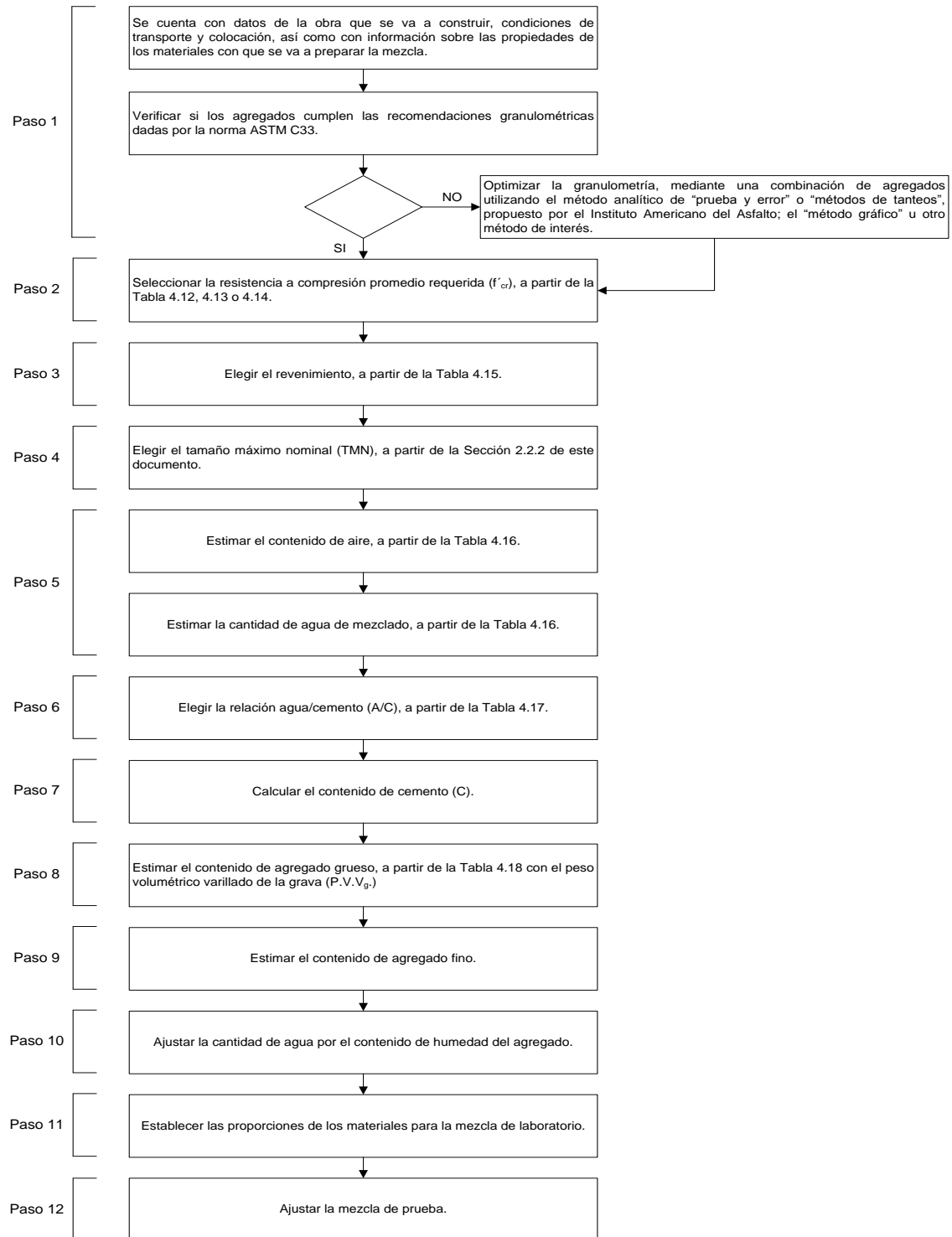
Las resistencias a la compresión ( $f'_c$ ) que se estudiaron en esta investigación, son de 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup> o su equivalente en resistencias a la flexión (MR) de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, por estar ambos valores dentro del rango utilizado para “concreto de resistencia normal” (250 a 420 kg/cm<sup>2</sup>), éstos son calculados siguiendo el procedimiento sugerido por el Comité ACI 211.1. El concreto está compuesto por agregados de peso normal, adecuado para ser utilizado en la construcción de carreteras. El cemento hidráulico al que hace referencia la metodología del Comité ACI 211.1, es Pórtland (ASTM C150) y cemento combinado (ASTM C595).

El concreto para pavimentos, es una mezcla donde la consistencia se define, como “semiplástica” y se comporta, como una masa rígida con baja trabajabilidad, principalmente, debido a que la relación agua/cemento (A/C) es baja, pero al incorporar el aditivo, éste la hará fluir.

Independientemente de que las características del concreto estén prescritas en las especificaciones o de que se deje la dosificación a criterio de la persona que la va a hacer, la determinación de los pesos de los componentes de las mezclas por metro cúbico de concreto se lleva a cabo más satisfactoriamente, de acuerdo con la siguiente secuencia (Véase Figura 4.7):

- I. **PASO 1:** Información para el diseño de la mezcla.
- II. **PASO 2:** Elección de la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ).
- III. **PASO 3:** Elección del revenimiento.
- IV. **PASO 4:** Elección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso.
- V. **PASO 5:** Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.
- VI. **PASO 6:** Selección de la relación agua/cemento (A/C).
- VII. **PASO 7:** Cálculo del contenido de cemento.
- VIII. **PASO 8:** Estimación del contenido de agregado grueso.
- IX. **PASO 9:** Estimación del contenido de agregado fino.
- X. **PASO 10:** Ajuste por humedad del agregado.
- XI. **PASO 11:** Estimación de la mezcla de laboratorio total.
- XII. **PASO 12:** Ajuste de la mezcla de prueba.

Figura 4.7: Flujograma para la selección de las proporciones de las mezclas de concreto.



Fuente: Los autores (2009).

#### **4.3.2.1 PASO I: INFORMACION PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA**

Antes de dosificar una mezcla de concreto, además de conocer los datos de la obra o estructura que se va a construir y de las condiciones de transporte y colocación, también se deben conocer, las propiedades de los materiales con que se va a preparar la mezcla.

Para realizar el proporcionamiento de la mezcla, es necesario tener los datos siguientes:

##### **4.3.2.1.1 DATOS DE LA OBRA**

Los datos que se deben conocer de la obra son:

- ⊕ Tipo de estructura para la cual, se hará el diseño.
- ⊕ Máxima relación agua/cemento (A/C).
- ⊕ Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado.
- ⊕ Revenimiento (consistencia) especificado.
- ⊕ Mínimo contenido de cemento (C).
- ⊕ Dimensión mínima del elemento a construir.
- ⊕ Espaciamiento del acero de refuerzo.
- ⊕ Condiciones a la que estará expuesta la estructura.
- ⊕ Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) mínima necesaria para consideraciones estructurales, en el caso de pavimentos de concreto se debe conocer el Módulo de Ruptura (MR) mínimo permisible.

Generalmente, la totalidad de estos datos se obtienen de los planos y especificaciones de la obra.

#### 4.3.2.1.2 DATOS DE LOS MATERIALES

Un buen concreto fresco y endurecido depende en gran medida de la granulometría de los agregados. Por este motivo, antes de dosificar las cantidades de arena y grava, es necesario verificar que su distribución de tamaños, éste comprendida, dentro de un rango preestablecido, para no obtener proporciones de agregado grueso y fino, no convenientes. La verificación se lleva a cabo, bien sea elaborando una curva granulométrica de los agregados con que se dispone y comparándola, con algún tamaño de granulometría, establecido en la norma ASTM C33 (Véase Tabla 2.4 y 2.5), o bien tabulando. Dependiendo de sí están o no dentro del rango granulométrico estipulado (Véase Tablas 4.3, 4.4, 4.6 y 4.8).

De las propiedades de los materiales que se van a utilizar, se deben conocer:

- ⊕ Análisis granulométrico de gravas y arenas.
- ⊕ Límites de las gravas y arenas.
- ⊕ Módulo de finura de la arena (MF).
- ⊕ Tamaño máximo de la grava.
- ⊕ Gravedad específica ( $G_s$ ) de los agregados.
- ⊕ Pesos volumétricos varillados de las gravas.
- ⊕ Absorción (A%) de grava y arena.
- ⊕ Humedad (CH%) de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas.
- ⊕ Tipo de cemento.
- ⊕ Gravedad específica ( $G_s$ ) del cemento.
- ⊕ Combinación óptima de agregados gruesos

#### 4.3.2.2 PASO II: ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO ( $f'_{cr}$ )

Existen cuatro métodos para la elección de la resistencia de diseño ( $f'_c$ ), los cuales, se describen a continuación:

- I. Cuando las instalaciones de producción de concreto, no llevan registros de pruebas de Resistencia a la Compresión en el campo, pero cuentan con un registro basado en al menos de 15 a 29 pruebas consecutivas. Se establecerá una desviación estándar (S), afectada por un factor de modificación (Véase Tabla 4.12).

**Tabla 4.12:** Factor de modificación, para desviación estándar (S).

Número de pruebas	Factor de modificación
< 15	Usar Tabla 4.14
15	1.16
20	1.08
25	1.03
≥ 30	1.00

Fuente: Comité ACI 214.

- II. Cuando las instalaciones de producción de concreto, llevan registros de pruebas de Resistencia a la Compresión en el campo, con el que se pueda establecer una desviación estándar (S). La Resistencia a la Compresión requerida ( $f'_{cr}$ ), se obtiene mediante las ecuaciones de Tabla 4.13, seleccionando el mayor resultado.

**Tabla 4.13:** Resistencia a la Compresión promedio requerida ( $f'_c$ ), cuando existe información para establecer una desviación estándar (S).

Resistencia a la compresión especificada, $f'_c$ , (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión promedio requerida, $f'_{cr}$ , (Kg/cm <sup>2</sup> )
Menor o igual que 350	$f'_{cr} = f'_c + 1.34 \times S$
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33 \times S - 35$
Mayor que 350	$f'_{cr} = f'_c + 1.34 \times S$
	$f'_{cr} = 0.9f'_c + 2.33 \times S$

Fuente: Comité ACI 214.

- III. Cuando las instalaciones de producción de concreto, no llevan registros de pruebas de Resistencia a la Compresión en el campo, para el cálculo de la desviación estándar (S) y no hay tiempo disponible. La resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), debe determinarse según lo indicado en la Tabla 4.14.

**Tabla 4.14:** Resistencia a la Compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar (S).

Resistencia a la compresión especificada, $f'_c$ , (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión promedio requerida, $f'_{cr}$ , (Kg/cm <sup>2</sup> )
Menos que 210	$f'_{cr} = f'_c + 70$
210 a 350	$f'_{cr} = f'_c + 85$
Mayor que 350	$f'_{cr} = f'_c + 100$

Fuente: Comité ACI 214.

- IV. Cuando no se dispone de un registro aceptable de pruebas de Resistencia a la Compresión en el campo y hay tiempo disponible, las proporciones de la mezcla de concreto se puede establecer con base en mezclas de prueba, empleando al menos tres relaciones agua/cemento (A/C) diferentes, que produzcan una gama de resistencias que incluyan la Resistencia a la Compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), elaborando con éstas, al menos tres cilindros de prueba para cada edad. Posteriormente, hay que graficar los resultados a la edad de 28 días, para generar curvas que muestren la correspondencia entre la relación agua/cemento (A/C), o el contenido de cemento y la Resistencia a la Compresión. La relación agua/cemento (A/C) máxima o el contenido mínimo de cemento (C), para el concreto que vaya a emplearse en la obra propuesta, debe ser el que indique la curva para producir la Resistencia a la Compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), a no ser que se indique una relación agua/cemento (A/C) inferior o una resistencia mayor.

Para nuestra investigación, se encontrará la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ) mediante el empleo de la Tabla 4.13, la cual, depende de la resistencia especificada ( $f'_c$ ) y asumiendo un valor de desviación estándar (S) de 25.0 kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.3.2.3 PASO III: ELECCION DEL REVENIMIENTO

Cuando no se especifica el revenimiento, se puede seleccionar un valor apropiado para el tipo de estructura a colar, de los que propone el Comité ACI 211.1 en la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15:** Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcciones.

Tipo de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas.	7.5	2.5
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10.0	2.5
Columnas para edificios.	10.0	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo.	7.5	2.5

\* = El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se debe tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tiene una relación agua/cemento (A/C) o agua/materiales cementantes igual o menor, sin que potencialmente tenga segregación o sangrado excesivo.

Se puede incrementar en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

Fuente: Comité ACI 211.1.

### 4.3.2.4 PASO IV: ELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) DEL AGREGADO GRUESO

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) está limitado por las dimensiones de la estructura, teniéndose presente lo establecido en la Sección 2.3.2.3.1.4.1 y 2.3.2.3.1.4.2.

En algunas ocasiones, la elección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) puede no estar limitada por la dimensión mínima del elemento a construir, sino por otros factores, como: 1) el equipo disponible para mezclar o 2) el método de colocación del concreto que se requiera.

#### **4.3.2.5 PASO V: CALCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE**

##### **4.3.2.5.1 ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO**

Con el objeto de tener un mejor criterio acerca de la cantidad de aire dentro de la mezcla del concreto, en la parte superior de la Tabla 4.16, se indica la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en “concretos sin aire incluido” y en la parte inferior, el promedio de contenido de aire recomendado para “concretos con inclusión de aire”.

Para el caso de que sea necesario o deseable incluir aire, en la Tabla 4.16 se señalan los valores recomendados de aire incluido para varios tamaños de agregado, utilizando tres grados de exposición del concreto (ligera, moderada y severa). Estos dependen del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de la exposición, si la inclusión está en función de la durabilidad.

Es importante notar que cuando se prevé que la estructura no estará expuesta a ambientes severos, se pueden lograr efectos benéficos con la incorporación de aire a la mezcla, mejorando su manejabilidad y cohesión, con la mitad de los valores de contenido de aire que se recomienda para “concretos con aire incluido”.

##### **4.3.2.5.2 ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO**

El procedimiento del Comité ACI 211.1, permite estimar la cantidad de agua de mezclado y el contenido de cemento, a partir de tablas, cuando estos parámetros no están disponibles. Como se verá, las proporciones pueden estimarse sin tener conocimiento de la gravedad específica ( $G_s$ ) y la Absorción (A%) de los agregados.

En la Tabla 4.16, se pueden obtener estimativos de la cantidad de agua de mezclado. Los valores ahí indicados están en función del revenimiento; Tamaño Máximo Nominal (TMN) de los agregados; de la forma de la partícula; la granulometría de los agregados y del contenido de aire en la mezcla. No le afecta significativamente el contenido de cemento.

**Tabla 4.16:** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire, para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales (TMN) de agregado grueso.

Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los Tamaños Máximos Nominales de agregados indicados.								
Revenimiento, cm	9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19.0 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
de 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
de 7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
de 15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
de 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
de 7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	134	119
de 15.0 a 17.5	216	205	197	160	174	166	154	-
Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo al nivel de exposición:								
Exposición baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Comité ACI 211.1.

#### 4.3.2.5.2.1 USO DE ADITIVOS QUIMICOS

Cuando son utilizados aditivos químicos con la finalidad de modificar las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido, el criterio a seguir para tomar en cuenta u obviar, su contenido como parte de la cantidad de agua de mezclado, es el que ha sido establecido en la Sección 2.3.5.5.

Los revenimientos mostrados en las Tablas 4.15, pueden incrementarse cuando se usa aditivos químicos, con tal que la mezcla mantenga una igual o más baja relación agua/cemento (A/C) y no exhiba segregación potencial o excesivo sangrado. Cuando el aditivo se usa solo para incrementar el revenimiento, el aditivo no debe modificar alguna otra propiedad del concreto.

Cuando se usa aditivos reductores de agua (Tipo A), reductores de agua de alto rango (Tipo F) y reductores de agua de alto rango y retardantes (Tipo G), conforme a lo indicado en ASTM C494, ya sea usado en forma individual o combinados con otros aditivos, se reducirá

significativamente la cantidad de agua por unidad de volumen del concreto, como se indica en la Sección 2.3.5.1.1.

#### 4.3.2.6 **PASO VI: SELECCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO (A/C)**

La relación agua/cemento (A/C), medida en peso, es uno de los factores más importantes en el diseño de mezclas de concreto y por lo tanto, se le debe prestar mucha atención a su elección. La relación agua/cemento (A/C) requerida se determina básicamente, por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado.

Puesto que diferentes agregados y cementos producen, generalmente, distintas resistencias empleando la misma relación agua/cemento (A/C), es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación agua/cemento (A/C), para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, se pueden usar los de la Tabla 4.17, que aunque aproximados, son relativamente seguros.

Esta se determina por los requisitos de resistencia, así como por las condiciones a las que estará expuesta la estructura, esta se obtendrá de la Tabla 4.17.

**Tabla 4.17:** Correspondencia entre la relación agua/cemento y la Resistencia a la Compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días, Mpa*	Relacion agua/cemento y la resistencia a la compresion requerida.	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.6
15	0.79	0.7

**NOTAS:**

\* = Los valores son estimados como promedio de la resistencia del concreto conteniendo no más de 2% de aire para concreto sin aire incluido y 6% para concreto con aire incluido. Para una relación aguas/cemento (A/C) constante, la resistencia del concreto es reducida en la misma medida en que se incrementa el contenido de aire.

1. La resistencia esta basada en cilindros estándar 150 x 300 mm, curados por 28 días de acuerdo con la sección sobre curado inicial y curado de cilindros, para verificar la exactitud de los proporcionamientos de mezclas de laboratorio, elaboradas para chequeo de la resistencia a la compresión o como base para aceptación o para control de calidad del método ASTM C31 para hechura y curado de especimenes de concreto en el campo. Estos son cilindros curados en cuarto húmedo a una temperatura controlada de 23 ±1.7 °C, previo el ensayo.

La relaciones de esta tabla, asumen un Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado entre 19 a 25 mm. Para una fuente dada, la resistencia producida para una relación de cemento, se incrementará en la medida que decrece el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Fuente: Comité ACI 211.1.

#### **4.3.2.7 PASO VII: DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE CEMENTO**

El cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto es muy sencillo. Simplemente, como ya se tiene la relación agua/cemento (A/C) y el contenido de agua, calculados en los dos pasos inmediatamente anteriores, se despeja el contenido de cemento (C). O sea, el cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (Paso V) dividida entre la relación agua/cemento (A/C) (Paso VI).

$$C = \frac{\text{Agua}}{A / C} \Rightarrow \text{Cemento mínimo por metro cúbico (m}^3\text{) de concreto}$$

A pesar que la especificación sobre pavimentos de concreto, incluye un límite mínimo independiente para la cantidad de cemento (Véase Sección 2.2.2), en adición a los requerimientos de resistencia y durabilidad; la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

#### **4.3.2.8 PASO VIII: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO**

El método del Comité ACI 211.1, consiste en hallar el volumen del agregado grueso por metro cúbico de concreto. Se basa en el volumen de agregado grueso, seco y apisonado por volumen unitario de concreto (m<sup>3</sup>), expresado por la relación b/b<sub>0</sub>, en donde b es el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de concreto y b<sub>0</sub> es el volumen de las partículas del agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso.

Del Comité ACI 211.1, se han extraído los valores b/b<sub>0</sub>, en función del Tamaño Máximo Nominal (TMN) y del módulo de finura de la arena (MF), los cuales, se muestran en la Tabla 4.18.

**Tabla 4.18:** Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado en mm. (pul)	Volumen de agregado grueso varillado en seco (*) por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura (i) de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

(\*) = Los volúmenes son basados en la condición varillada en seco de agregados, tal como se describe en ASTM C29.

Estos volúmenes son seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones reforzadas usuales. Para concretos menos trabajables, tales como los requeridos en la construcción de pavimentos, los volúmenes pueden incrementarse hasta un 10%. Para concretos más trabajables, tal como se requiere algunas veces cuando la colocación será por bombeo, los volúmenes se pueden reducir en un 10%.

(i) = Ver ASTM método C136 para cálculo del módulo de finura (MF).

Fuente: Comité ACI 211.1.

La cantidad de agregado grueso seco por metro cúbico de concreto se puede calcular multiplicado el valor sugerido de  $b/b_0$  (FACTOR), obtenido de la Tabla 4.18, por el valor del peso volumétrico varillado de la grava ( $P.V.V_g$ ). De tal manera que:

$$\text{GRAVA} = \text{FACTOR} \times P.V.V_g$$

Para obtener un concreto más manejable, como el que se requiere en algunas ocasiones cuando se usa una bomba para la colocación o cuando se coloca el concreto en zonas muy congestionadas con acero de refuerzo o en estructuras de difícil compactación, se recomienda reducir hasta en un 10%, el contenido estimado de agregado grueso que se había determinado anteriormente. Sin embargo, se debe tener cuidado de que el revenimiento resultante, la relación agua/cemento (A/C) y las propiedades de resistencia del concreto sean compatibles con las recomendaciones proporcionadas anteriormente y que satisfagan, los requerimientos aplicables en las especificaciones del proyecto.

#### 4.3.2.9 PASO IX: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

La arena requerida puede determinarse con cualquiera de los dos procedimientos siguientes:

- ⊕ Método de Peso del concreto por unidad de volumen.
- ⊕ Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.

##### 4.3.2.9.1 METODO DE PESO DE CONCRETO POR UNIDAD DE VOLUMEN

Si el peso del concreto por volumen unitario (1 m<sup>3</sup>) se supone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido del agregado fino es, simplemente, la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes. A menudo se conoce con bastante precisión el peso unitario del concreto, por experiencia previa con los materiales. En ausencia de dicha información, puede emplearse la Tabla 4.19. Para hacer un cálculo tentativo, se estima el peso de un metro cúbico de “concreto fresco sin aire incluido”, utilizando para ello, el tamaño máximo de agregado y considerando además, si el concreto tiene o no aire incluido. Aun, si el cálculo del peso del concreto por metro cúbico es aproximado, las proporciones de la mezcla serán suficientemente precisas, para permitir un ajuste fácil con base en mezclas de prueba.

**Tabla 4.19:** Calculo tentativo del peso del concreto fresco.

Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado en mm. (pul)	Calculo tentativo del peso del concreto, Kg/m <sup>3</sup>	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 (3/8")	2,280	2,200
12.5 (1/2")	2,310	2,230
19 (3/4")	2,345	2,275
25 (1")	2,380	2,290
37.5 (1 1/2")	2,410	2,350
50 (2")	2,445	2,345
75 (3")	2,490	2,405
150 (6")	2,530	2,435

Fuente: Comité ACI 211.1.

#### 4.3.2.9.2 METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO OCUPADO POR LOS INGREDIENTES DEL CONCRETO

Una vez calculado el contenido de grava, se han estimado todos los ingredientes del concreto con excepción de la arena. Tal vez, el método más exacto para calcular esta cantidad, se basa en el uso de los volúmenes de los materiales; en cuyo caso, el volumen total de los ingredientes conocidos (agua, aire, aditivo, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario del concreto (un metro cúbico o mil litros), para obtener el volumen requerido de arena. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto, es igual a su peso dividido por la densidad de este material (siendo ésta, el producto de la gravedad específica del agua por el peso específico del material), como se muestra a continuación:

$$\text{Volumen de agua} = \frac{W_{\text{Agua de mezclado}}}{\text{Densidad del agua}} = \frac{W_{\text{Agua de mezclado}}}{1,000} = m^3$$

$$\text{Volumen sólido de cemento} = \frac{W_{\text{Cemento}}}{\text{Densidad del cemento}} = \frac{W_{\text{Cemento}}}{2.93 \times 1,000} = m^3$$

Siendo la densidad del cemento ASTM C1157 Tipo HE, igual al peso unitario (densidad) del agua (1,000 kg/m<sup>3</sup>) multiplicado por la gravedad específica (G<sub>s</sub>) del cemento (2.93).

$$\text{Volumen sólido de agregado grueso} = \frac{W_{\text{Agregado grueso}}}{\text{Peso específico} \times 1,000} = m^3$$

$$\text{Volumen de aire incluido} = \frac{\text{Porcentaje de aire}}{100} \times 1 = m^3$$

$$\text{Volumen de aditivo} = \text{Bolsas de cemento} \times \text{Dosificación de aditivo (m}^3 / \text{bolsa)}$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - (\text{Vol. cemento} + \text{Vol. grava} + \text{Vol. agua} + \text{Vol. de aire} + \text{Vol. de aditivo}) = m^3$$

Debido a que no se contó (para el desarrollo de esta investigación) con información acerca de experiencias en la elaboración de concreto, utilizando los agregados seleccionados,

es que se optó por calcular el peso necesario de arena para cada una de las dieciocho mezclas de concreto utilizando el método del volumen absoluto, descrito en esta sección.

#### **4.3.2.10 PASO X: AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO**

Las cantidades de agregado que realmente deben pesarse para el concreto, deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos, deben incrementarse con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial que estos contienen. Por lo tanto, el agua de mezclado será corregida dependiendo de los valores de humedad y absorción que tengan los agregados, así:

- ⊕ Si  $A\% > CH\%$ , el agregado absorberá agua del agua de mezclado obtenido de la Tabla 4.16, por lo tanto, hay necesidad de agregar una cantidad de agua equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados, a fin de evitar que este consumo adicional de agua se refleje en mezclas poco manejables.
- ⊕ Si  $A\% < CH\%$ , el agregado aportará agua al agua de mezclado por lo tanto, hay necesidad de disminuir el agua de mezclado, en una cantidad equivalente a la diferencia entre la humedad y la absorción, a fin de evitar que la mezcla a elaborar sobrepase el revenimiento previsto.

#### **4.3.2.11 PASO XI: ESTIMACION DE LA MEZCLA DE LABORATORIO TOTAL**

Para la mezcla de laboratorio, se considera conveniente reducir los pesos para producir nada más los cilindros y viguetas de prueba, así como el revenimiento y las demás pruebas para el concreto en estado fresco, considerando que cada cilindro y vigueta ocupa un volumen de 5.56 y 13.50 litros, respectivamente. Además, se consideró que el ensayo de revenimiento ocupa 7.00 litros. Se harán un total de seis cilindros y seis viguetas más el ensayo de revenimiento para cada mezcla diseñada, así como una cantidad adicional de 19.00 litros para los ensayos de Peso Volumétrico, Contenido de aire y Tiempo de fraguado del concreto fresco.

#### **4.3.2.12 PASO XII: AJUSTES DE LA MEZCLA DE PRUEBA**

La optimización de las proporciones de la mezcla de concreto, que cumpla con las características deseadas utilizando los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de ajuste y reajuste. Dicho sistema consiste en preparar la primera mezcla de prueba, con unas proporciones iniciales calculadas por el método que se explica a continuación. A la mezcla de prueba, se le efectúa el ensayo de revenimiento y si su valor es diferente del especificado se reajustan las cantidades. Cuando se logra el revenimiento especificado con las proporciones reajustadas, se elaboran cilindros de prueba, a los que se le determina su Resistencia a la Compresión; se compara con la resistencia especificada y si son diferentes, se vuelven a reajustar las cantidades. Una vez reajustadas las cantidades, se elabora otra mezcla que debe cumplir con el revenimiento y la resistencia especificados; si por algún motivo no se cumple alguno de los requerimientos, debido a peculiaridades que no se detectan con los ensayos corrientes que se efectúan a los materiales, se puede hacer ajustes similares a los indicados hasta lograr los resultados deseados.

Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es correcto, increméntese o redúzcase nuevamente la cantidad estimada de agua en 2 kg por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.

Si no se obtiene el contenido de aire deseado (para “concreto con aire incluido”), se debe estimar de nuevo el contenido requerido de aditivo, para lograr el contenido apropiado de aire, y reducir o incrementar la cantidad de agua de mezclado en 3 kg, por cada 1% en que se debe reducir o incrementar el contenido de aire respecto a la mezcla de prueba previa.

### **4.4 APLICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO DEL COMITÉ ACI 211.1**

#### **⊕ DISEÑO DE LA PRIMER MEZCLA ( $M_1$ )**

Para ilustrar la dosificación se resolverá, el diseño de la primer mezcla a realizar ( $M_1$ ). Se suponen las siguientes condiciones:

- ⊕ Se empleará cemento regido por la norma ASTM C1157 (Tipo HE) y con un valor de gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.93.
- ⊕ Se empleará un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante de fraguado (Tipo G) que satisface los requerimientos de la norma ASTM C494 y su gravedad específica ( $G_s$ ) es de 1.10.
- ⊕ Se empleará el aditivo con una tasa de dosificación de 175 ml/bolsa de cemento Pórtland y una reducción en el agua de mezclado del 12%.
- ⊕ Se emplearán dos agregados gruesos, grava N° 2 y grava N° 1 con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada y  $\frac{3}{4}$  de pulgada, respectivamente. Ambos provenientes del yacimiento La Cantera S.A. de C.V.
- ⊕ La grava N° 1 tiene una gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.60 y una absorción (A%) de 1.1%.
- ⊕ La grava N° 2 tiene una gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.61 y una absorción (A%) de 1.5%.
- ⊕ Se empleará agregado fino procedente del banco natural del río Tihuapa.
- ⊕ El agregado fino tiene una gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.51, una absorción (A%) de 4.2% y un módulo de finura (MF) de 2.58.
- ⊕ En cada caso, los agregados gruesos y finos, son de calidad satisfactoria y su granulometría está dentro de los límites de las especificaciones generalmente aceptadas (Véase ASTM C33), exceptuando, en la grava de Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada (Grava N° 2), para el tamiz de 25 mm (1 pulgada).
- ⊕ Se empleará una combinación de gravas, que satisfaga los requerimientos de la especificación ASTM C33.
- ⊕ La combinación óptima de gravas, obtenida mediante el método de tanteos propuesto por el Instituto Americano del Asfalto, arrojó una mezcla con proporciones de 40% para la

grava con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada (Grava N° 2) y 60% para la grava de Tamaño Máximo Nominal (TMN) de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (Grava N° 1).

- ⊕ La combinación de gravas tiene una gravedad específica ( $G_s$ ) de 2.61 y una absorción (A%) de 1.4%.

Se requiere concreto para una sección de una estructura de un pavimento, en una ubicación en la que no se expondrá a condiciones ambientales severas ni al ataque de sulfatos. Las consideraciones estructurales exigen que tenga un Módulo de Ruptura (MR) a los 28 días de  $34 \text{ kg/cm}^2$  o una resistencia promedio a la compresión ( $f'_c$ ) a los 28 días de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

Con base en la información de la Tabla 4.15, así como con la obtenida por experiencia previa, se determina que las condiciones en que se hará el colado, implica un revenimiento de 2 a 3 pulgadas (5.0 a 7.5 cm) y que el rango de agregado disponible es de la malla No.4 (4.75 mm) a la de 2 pulgadas (50.00 mm). Se estima que el peso volumétrico varillado seco de la combinación de agregado grueso (P.V.V<sub>g</sub>) es de  $1,464 \text{ kg/m}^3$ . Utilizando la secuencia descrita en la Sección 4.3.2, las cantidades de los componentes por metro cúbico de concreto se calculan de la siguiente manera (Véase Tabla 4.20 a 4.33):

**Tabla 4.20:** Procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b></p>							
<p>BR. JOSE EDUARDO GARCIA                  BR. WALTER IVAN GUERRERO</p>				<p>2 DE SEPTIEMBRE DE 2008                  PAG. 1 / 14</p>			
<p><b>MEMORIA DE CALCULO</b></p>							
<p><b>PRIMER PASO: INFORMACION PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA</b></p>							
<p>Para realizar el proporcionamiento de la mezcla, es necesario tener los datos siguientes: tipo de estructura para la cual se hará el diseño, resistencia a la compresión especificada, tipo de cemento, gravedad específica de los agregados, peso volumétrico varillado de grava, tamaño máximo del agregado, módulo de finura de la arena, absorción de grava y arena, contenido de humedad de agregados y revenimiento (el que deberá proporcionar el solicitante del diseño).</p>							
<p>Tabla No. 1: Información general de los materiales a utilizar en el diseño de la mezcla.</p>							
Material	Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )	Absorción (%)	Humedad Natural (%)	Agua Libre (%)	P.V.V. (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Finura	Materia Orgánica
Arena	2.51	4.2	8.5	4.2	-	2.58	No Contiene
Grava	2.61	1.4	7.1	5.7	1464	-	No Contiene
Cemento	2.93	-	-	-	-	-	No Contiene
Agua	1.00	-	-	-	-	-	No Contiene
<p>Tipo de elemento: Pavimentos</p> <p>Tamaño máximo del agregado: 1 1/2 Pulgadas</p> <p>Tamaño máximo nominal del agregado: 1 Pulgada</p> <p style="margin-left: 150px;">25.0 Milímetros</p> <p>Tipo de cemento: Portland CESSA PAV</p> <p>Inclusión de aire: No</p> <p>Resistencia especificada: MR = 34 kg/cm<sup>2</sup></p> <p style="margin-left: 150px;">f<sub>c</sub> = 210 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>Diseño de la mezcla para: 1 m<sup>3</sup></p> <p>Mezcla de laboratorio para: 6 Cilindros</p> <p style="margin-left: 150px;">3 Ensayos de Revenimiento</p> <p style="margin-left: 150px;">6 Viguetas</p> <p>Abundamiento por desperdicio: 10 %</p>							

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.21:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>			
BR. JOSE EDUARDO GARCIA		2 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
BR. WALTER IVAN GUERRERO		PAG. 2 / 14	
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>			
INFORMACION DEL ADITIVO A UTILIZAR PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA			
Se utilizará un aditivo:	Si		
Tipo de Aditivo:	G	Reductor de agua de alto rango y retardante	
Efecto del aditivo sobre la mezcla:	12 al 30	Reducción en el agua de mezclado (%)	
Nombre del Aditivo:	PLASTIFLOW-R		
Dosificación sugerida:	175 a 350	ml/bolsa de cemento	
Dosificación a utilizar:	175	ml/bolsa de cemento	
Gravedad específica:	1.1		
Efecto en la mezcla:	12.0	Reducción en el agua de mezclado (%)	
<b>SEGUNDO PASO: ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO (<math>f'_{cr}</math>)</b>			
Se encontrará la resistencia a la compresion requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ): se obtendrá de la Tabla 4.13, la cual depende de la resistencia a la compresión especificada ( $f'_c$ ).			
Desviacion estándar (S):	<b>S = 25.0 kg / cm<sup>2</sup></b>		
Resistencia a la compresión requerida de diseño:	<b><math>f'_{cr}</math> = 243.5 kg / cm<sup>2</sup></b>		
Utilizando la secuencia descrita en la sección 6 de "la práctica estándar para la selección del proporcionamiento de mezclas para concreto normal" (ACI 211.1), las cantidades de los componentes por metro cúbico de concreto se calculan de la siguiente manera:			

**Tabla 4.22:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
BR. JOSE EDUARDO GARCIA BR. WALTER IVAN GUERRERO		2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 PAG. 3 / 14
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>		
<b>TERCER PASO: ELECCION DEL REVENIMIENTO</b>		
<p>Cuando no se especifica el revenimiento, se puede seleccionar un valor apropiado, dependiendo del tipo de construcción (Véase Tabla 4.15). Los rangos de revenimiento que se muestran, son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto. Se deben emplear mezclas con consistencia más densa, que puedan colarse eficientemente.</p> <p>Con base en la información de la Tabla 4.15, se determina el revenimiento recomendado, para el tipo de construcción a realizar:</p>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	Centímetros
<b>Revenimiento especificado:</b>	<b>5.0 a 7.5</b>	<b>Centímetros</b>
	<b>2 a 3</b>	<b>Pulgadas</b>
<b>CUARTO PASO: ELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO</b>		
<p>Por regla general, el tamaño máximo nominal de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y compatible con las dimensiones de la estructura.</p>		
<b>Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado:</b>		
	<b>1</b>	<b>Pulgada</b>
	<b>25</b>	<b>Milímetros</b>
<b>QUINTO PASO: CALCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE</b>		
<p>Para calcular el agua de mezclado y el contenido de aire, se necesita conocer el revenimiento, el tamaño máximo del agregado y conocer, si el concreto tendrá o no aire incluido.</p> <p>En la Tabla 4.16, aparecen los valores estimados del agua de mezclado, que se requieren para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregado, con aire y sin aire incluido. En la parte superior de la Tabla 4.16, se indica la cantidad aproximada de aire atrapado, que se puede esperar en "concretos sin inclusión de aire", y en la parte inferior, el promedio de contenido de aire, que se recomienda para "concretos con inclusión de aire".</p>		

**Tabla 4.23:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BR. JOSE EDUARDO GARCIA 2 DE SEPTIEMBRE DE 2008  
BR. WALTER IVAN GUERRERO PAG. 4 / 14

**MEMORIA DE CALCULO**

La cantidad aproximada de agua de mezclado, necesaria para producir el revenimiento especificado en "concreto sin aire incluido", con el Tamaño Máximo Nominal (TMN) a utilizar establecido anteriormente, se obtiene con el uso de la Tabla 4.16, y dichos valores son:

**Agua de Mezclado = 186.0 kg / m<sup>3</sup> de concreto**  
**Contenido de Aire = 1.5 % / m<sup>3</sup> de concreto**

**SEXTO PASO: SELECCION DE LA RELACION AGUA / CEMENTO**

Esta relación, se determina por los requisitos de resistencia, así como por las condiciones a la que estará expuesta la estructura, está se obtendrá de la Tabla 4.17.

**f<sub>cr</sub> = 243.5 kg / cm<sup>2</sup>**  
**23.9 MPa**

Gráfico No. 1: Relación agua/cemento (A/C) para diversas resistencias a la compresión a los 28 días.

Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Relación agua/cemento (A/C) - Concreto sin aire incluido	Relación agua/cemento (A/C) - Concreto con aire incluido
15	0.79	0.7
20	0.69	0.6
25	0.61	0.52
30	0.54	0.45
35	0.47	0.39
40	0.42	-

Fuente: Los autores (2009).



**Tabla 4.25:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA B.R. WALTER IVAN GUERRERO	2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 PAG. 6 / 14	
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>		
<b>NOVENO PASO: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO</b>		
Una vez establecidas las cantidades de agua, aditivo, cemento y agregado grueso, el material restante que completa un metro cúbico (mil litros) de concreto, debe consistir en arena y aire que pueda quedar incluido. La arena requerida, puede determinarse ya sea con base en el peso o el volumen absoluto.		
<b>A) ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO</b>		
<b>Basándonos en el peso:</b> en la Tabla 4.19, se estima el peso de un metro cúbico de concreto fresco sin aire incluido, utilizando para ello, el Tamaño Máximo Nominal del agregado (TMN) y considerando además, si el concreto tiene o no aire incluido. Con este valor y restando de éste, el peso de cada componente podemos encontrar el peso de la arena.		
Por medio de la Tabla 4.19, se estima que el peso de un metro cúbico de concreto es:		
<b>Peso tentativo =</b>	<b>2,380</b>	<b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>
Si el peso del concreto por volumen unitario, se supone o se puede estimar por experiencia, el peso requerido del agregado fino es, simplemente, la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes.		
Agua (mezclado neto): Cemento: Aire: Agregado grueso (seco): Aditivo: <b>Total:</b>	186 296.3 0 1,013.1 1.34 <b>1,497</b>	kg / m <sup>3</sup> de concreto kg / m <sup>3</sup> de concreto kg / m <sup>3</sup> de concreto kg / m <sup>3</sup> de concreto kg / m <sup>3</sup> de concreto <b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>
Por lo tanto, el peso de la arena se puede estimar, como se indica a continuación:		
2,380	-	1,497 = <b>883 kg / m<sup>3</sup> de concreto (seco)</b>
Debido a que no se posee experiencia previa con los materiales utilizados, la estimacion del contenido de agregado fino, se hará por el método del volumen absoluto.		

**Tabla 4.26:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BR. JOSE EDUARDO GARCIA 2 DE SEPTIEMBRE DE 2008  
BR. WALTER IVAN GUERRERO PAG. 7 / 14

**MEMORIA DE CALCULO**

**NOVENO PASO: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO**

**B) CON BASE EN EL VOLUMEN ABSOLUTO**

Una vez establecidas las cantidades de cemento, agua, aditivo y agregado grueso, y tomando de la Tabla 4.16, el contenido aproximado de aire atrapado (en oposición al de aire deliberadamente incluido), el contenido de arena puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de agua} = \frac{W_{\text{agua de mezclado}}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Densidad del agua} = 1,000 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{W_{\text{agua de mezclado}}}{1,000} = \text{m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{186}{1,000}$$

**Volumen de agua = 0.186 m<sup>3</sup>**

$$\text{Volumen sólido de cualquier material} = \frac{W_{\text{material}}}{\text{Densidad del material}}$$

Siendo la densidad del material = peso específico del material por el peso unitario del agua.

$$\text{Volumen sólido de cemento} = \frac{W_{\text{cemento}}}{G_s(\text{cemento}) \times 1,000} = \text{m}^3$$

$$\text{Volumen sólido de cemento} = \frac{296.3}{2.93 \times 1,000}$$

**Volumen sólido de cemento = 0.101 m<sup>3</sup>**

$$\text{Volumen sólido de agregado grueso} = \frac{W_{\text{agregado grueso}}}{G_s(\text{grava}) \times 1,000} = \text{m}^3$$

$$\text{Volumen sólido de agregado grueso} = \frac{1,013}{2.61 \times 1,000}$$

**Volumen sólido de agregado grueso = 0.388 m<sup>3</sup>**

$$\text{Volumen de aire incluido} = \frac{\% \text{ de aire}}{100} \times 1.0 = \text{m}^3$$

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.27:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b></p>			
<p>BR. JOSE EDUARDO GARCIA</p>		<p>2 DE SEPTIEMBRE DE 2008</p>	
<p>BR. WALTER IVAN GUERRERO</p>		<p>PAG. 8 / 14</p>	
<p><b>MEMORIA DE CALCULO</b></p>			
<p>Volumen de aire incluido = <math>\frac{1.5}{100} \times 1.0</math></p>			
<p><b>Volumen de aire incluido = 0.015 m<sup>3</sup></b></p>			
<p>Volumen de aditivo = <math>\frac{\text{Bolsas de Cemento}}{\text{Dosificación de aditivo (m}^3/\text{bolsa)}}</math></p>			
<p>Bolsas de cemento = 7.0</p>			
<p>Dosificación del aditivo = 175 ml / bolsa de cemento</p>			
<p>Considerando las conversiones de unidades: 1 litro = 1000 ml y 1 m<sup>3</sup> = 1000 litros.</p>			
<p>Dosificación del aditivo = 0.0002 m<sup>3</sup> / bolsa de cemento</p>			
<p>Volumen de aditivo = <math>6.97 \times 0.0002</math></p>			
<p><b>Volumen de aditivo = 0.001 m<sup>3</sup></b></p>			
<p>Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena = 0.691 m<sup>3</sup></p>			
<p>Volumen sólido requerido de arena = 1 - (Vol. Cemento+Vol. Grava+Vol. agua+Vol. aditivo+Vol. de aire)</p>			
<p>Volumen sólido requerido de arena = 1 - 0.691</p>			
<p><b>Volumen sólido requerido de arena = 0.309 m<sup>3</sup></b></p>			
<p>Peso requerido de arena seca = <math>\frac{\text{Volumen de arena seca}}{\text{G}_s(\text{arena})} \times 1,000</math></p>			
<p>Peso requerido de arena seca = <math>0.309 \times 2.51 \times 1,000</math></p>			
<p><b>Peso requerido de arena seca = 774.4 kg / m<sup>3</sup> de concreto</b></p>			
<p><b>DECIMO PASO: AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO</b></p>			
<p>Las pruebas señalaron un contenido de humedad total de los agregados de:</p>			
<p>Agregado Grueso = 7.1 %</p>			
<p>Agregado Fino = 8.5 %</p>			

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 4.28:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

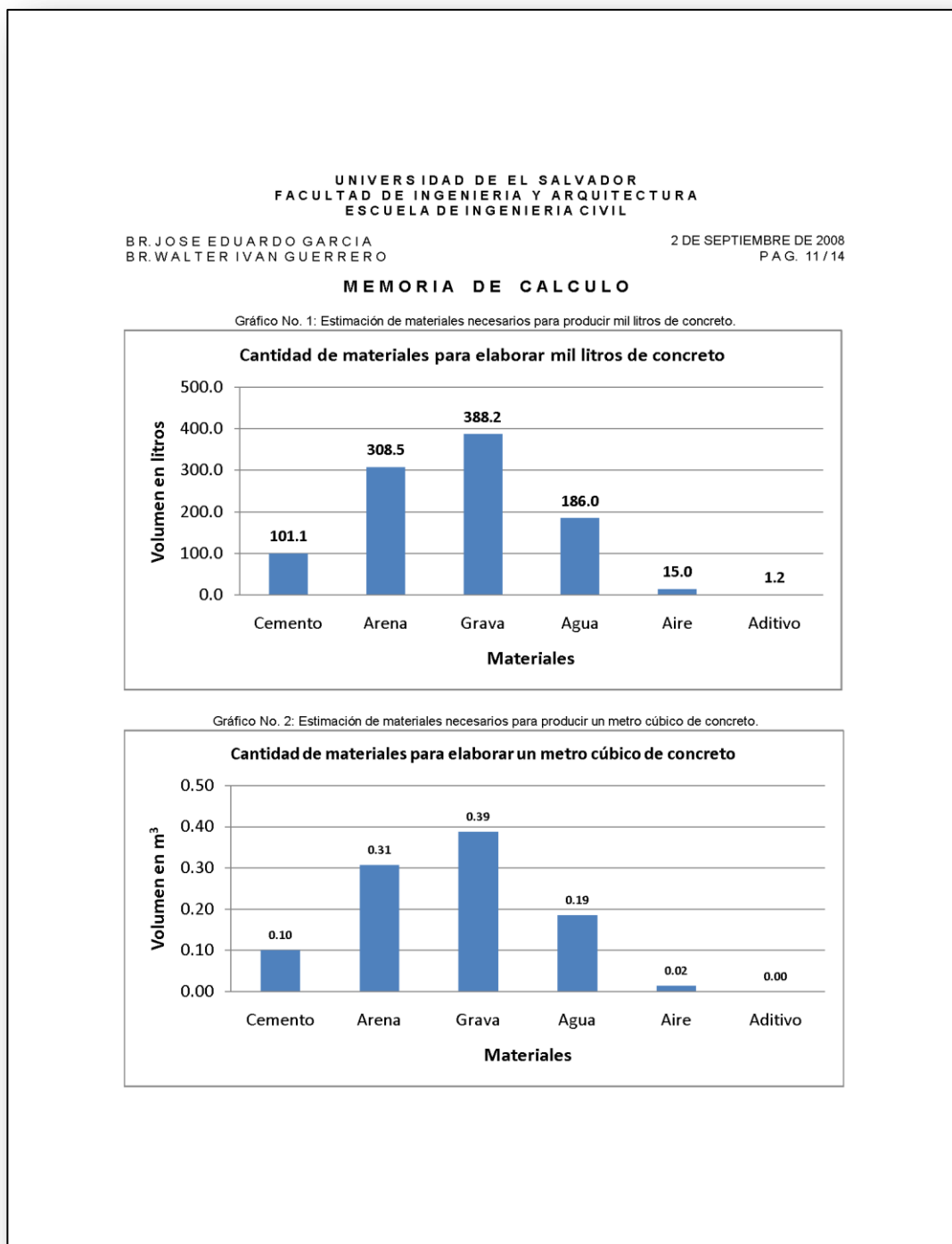
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA B.R. WALTER IVAN GUERRERO	2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 PAG. 9/14	
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>		
Las pruebas señalaron una absorción de los agregados de:		
Agregado grueso =	1.4	%
Agregado fino =	4.2	%
Por lo tanto, la corrección que debe hacerse por humedad (CH - ABS) al agregado grueso y agregado fino, son:		
Agregado grueso =	7.09	- 1.36
Agregado grueso =	5.7	%
Agregado fino =	8.45	- 4.24
Agregado fino =	4.2	%
Si se emplean, las proporciones de la mezcla de prueba, basadas en el volumen absoluto de los componentes, los pesos ajustados del agregado serán:		
Agregado grueso, corregido =	1,013.1	x 1.0573
<b>Agregado grueso, corregido =</b>	<b>1,071.1</b>	<b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>
Agregado fino, corregido =	774.4	x 1.0421
<b>Agregado fino, corregido =</b>	<b>807.0</b>	<b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>
El agua de absorción, no forma parte de la de mezclado y debe quedar excluida del ajuste de agua adicional.		
Así, el agua superficial proporcionada por el agregado grueso y fino será:		
Agregado grueso =	1,013.1	x 0.057
<b>Agregado grueso =</b>	<b>58.0</b>	<b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>
Agregado fino =	774.4	x 0.042
<b>Agregado fino =</b>	<b>32.6</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> de concreto</b>
Por lo tanto, el requerimiento estimado de adición de agua será:		
Agua por añadir =	$W_{\text{agua de mezclado}}$	- $W_{\text{agua añadida por grava}}$ - $W_{\text{agua añadida por arena}}$
Agua por añadir =	186	- 58.05 - 32.60
<b>Agua por añadir =</b>	<b>95.3</b>	<b>kg / m<sup>3</sup> de concreto</b>

**Tabla 4.29:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b></p>							
<p>BR. JOSE EDUARDO GARCIA                  BR. WALTER IVAN GUERRERO</p>				<p>2 DE SEPTIEMBRE DE 2008                  P. A. G. 10 / 14</p>			
<p><b>MEMORIA DE CALCULO</b></p>							
<p>Los pesos estimados de materiales para mil litros y un metro cúbico son:</p>							
<p>Tabla No. 2: Pesos estimados de materiales para mil litros y un metro cúbico de concreto.</p>							
Material	Peso (kg)	Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	Volumen (l)	Volumen (m <sup>3</sup> )	CH - ABS	Corrección (kg)	Peso Corregido (kg)
Cemento	296.3	2.9	101.1	0.10			296.3
Arena	774.4	2.5	308.5	0.31	0.04	32.6	807.0
Grava	1,013.1	2.6	388.2	0.39	0.06	58.0	1,071.1
Agua	186.0	1.0	186.0	0.19	-0.10	-90.7	95.3
Aire	-	-	15.0	0.02			-
Aditivo	1.3	1.1	1.2	0.00			1.3
Σ	2,271.1		1,000.0	1.00			2,271.1
<p>Tabla No. 3: Información obtenida para mil litros o un metro cúbico de concreto.</p>							
<b>Verificación relacion A/C sin corrección</b>							
0.63							
<b>Verificación relacion A/C con corrección ( Agua de mezcla + Agua añadida por agregados)</b>							
0.63							
<b>Número de bolsas de cemento</b>							
7.0							
<b>Proporcionamiento volumen de campo</b>							
1.0		2.6		3.4			

Fuente: Los autores (2009).

Tabla 4.30: Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).



Fuente: Los autores (2009).

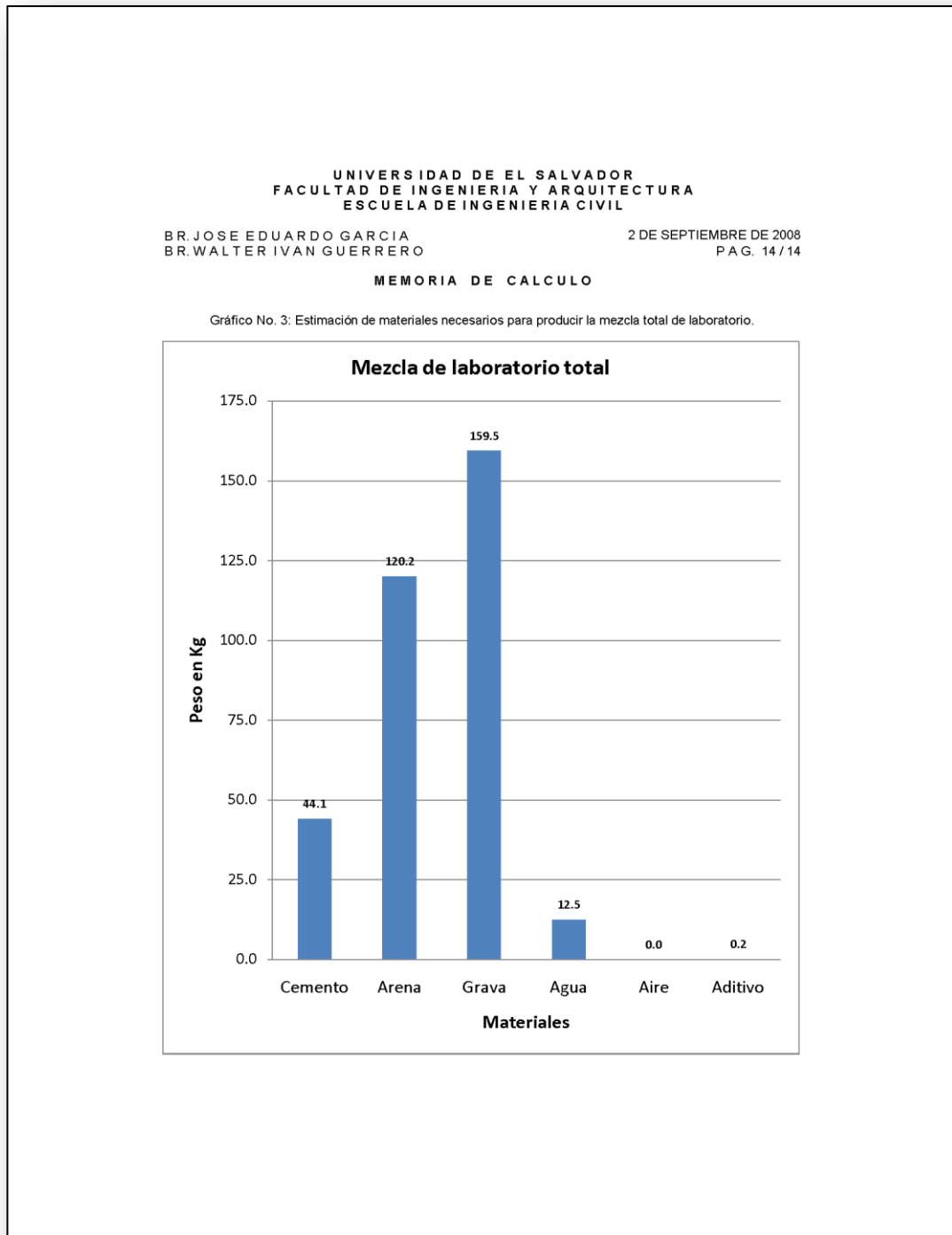
**Tabla 4.31:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
BR. JOSE EDUARDO GARCIA BR. WALTER IVAN GUERRERO	2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 PAG. 12/14	
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>		
<b>DECIMO PRIMER PASO: ESTIMACION DE LA MEZCLA DE LABORATORIO TOTAL</b>		
Para la mezcla de laboratorio total, se considera conveniente reducir los pesos, para producir unicamente el volumen con el que se realizarán: los revenimientos, los cilindros y las viguetas de prueba detallados a continuación:		
Cantidad de cilindros:	6	unidades
Cantidad de ensayos de revenimiento:	3	unidades
Cantidad de viguetas:	6	unidades
Volumen de un cilindro:	5,560	cm <sup>3</sup>
Volumen de una vigueta:	13,500	cm <sup>3</sup>
Volumen total:	135,360	cm <sup>3</sup>
Abundamiento por desperdicio:	10	%
<b>Volumen final:</b>	<b>148,896</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
	<b>0.15</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Una vez establecidas las cantidades de cemento, agua, aire, aditivo, agregado grueso y agregado fino, para un metro cúbico (mil litros) de concreto, y tomando de la Tabla No. 2 dichos valores, la cantidad de materiales para el volumen final de la mezcla de laboratorio, se puede calcular de la siguiente manera:		
Agua para mezcla total =	95.3	x 0.149
<b>Agua para mezcla total =</b>	<b>14.2</b>	<b>kg</b>
Cemento para mezcla total =	296.3	x 0.149
<b>Cemento para mezcla total =</b>	<b>44.1</b>	<b>kg</b>
Grava para mezcla total =	1071.1	x 0.149
<b>Grava para mezcla total =</b>	<b>159.5</b>	<b>kg</b>
Aditivo para mezcla total =	1.3	x 0.149
<b>Aditivo para mezcla total =</b>	<b>0.2</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Arena para mezcla total =	807.0	x 0.149
<b>Arena para mezcla total =</b>	<b>120.2</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
El agua requerida para la mezcla se ve reducida debido al uso del aditivo.		
Efecto del aditivo en la mezcla:	12.0	Reducción en el agua de mezclado (%)
<b>Agua para mezcla total corregida =</b>	<b>12.5</b>	<b>kg</b>

**Tabla 4.32:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL				
BR. JOSE EDUARDO GARCIA BR. WALTER IVAN GUERRERO		2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 P.A.G. 13 / 14		
<b>MEMORIA DE CALCULO</b>				
Cantidad de cilindros:	6			unidades
Cantidad de ensayos de revenimiento:	3			unidades
Cantidad de viguetas:	6			unidades
Volumen de un cilindro:	5,560			cm <sup>3</sup>
Volumen de una vigueta:	13,500			cm <sup>3</sup>
Volumen total:	135,360			cm <sup>3</sup>
Abundamiento por desperdicio:	10			%
Volumen final:	148,896			cm <sup>3</sup>
	0.15			m <sup>3</sup>
Tabla No. 4: Pesos estimados de materiales para la mezcla de laboratorio.				
Material	Mezcla de Laboratorio (kg)	Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )	Volumen (l)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	44.1	2.9	15.1	0.02
Arena	120.2	2.5	48.6	0.05
Grava	159.5	2.7	60.2	0.06
Agua	12.5	1.0	12.5	0.01
Aire	-	-	12.3	0.01
Aditivo	0.2	1.10	0.2	0.0002
Σ			148.9	0.149
Tabla No. 5: Información obtenida para la mezcla total de laboratorio.				
<b>Verificación relacion A/C sin corrección por uso de aditivo</b>				
0.63				
<b>Verificación relacion A/C con corrección por uso de aditivo</b>				
0.55				
<b>Número de bolsas de cemento</b>				
1.04				
<b>Proporcionamiento volumen de campo</b>				
1.0	2.7			3.6

**Tabla 4.33:** Continuación del procedimiento de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).



Fuente: Los autores (2009).



# CAPITULO V

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Carretera San Miguel–Siramá-La Unión. El Salvador.

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## 5.1 INTRODUCCION

El análisis de los resultados, es de particular interés para nuestra investigación, ya que es en este apartado, donde se resume, la información obtenida en las pruebas de laboratorio realizadas al concreto (en estado fresco y endurecido) y cuyos resultados, ayudarán al momento de diseñar y ejecutar un futuro proyecto carretero.

Además, el correcto análisis e interpretación de los resultados, juega un papel muy importante dentro del desarrollo de este trabajo de graduación, denominado: **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS”**, así en este capítulo, se presenta la información que servirá para la obtención de las correlaciones entre los resultados, así como también, para establecer conclusiones y recomendaciones válidas, sobre los mismos.

La aplicación de las normas ASTM y los Comités ACI (respecto a las pruebas a los materiales y al concreto) validan la metodología utilizada durante la etapa experimental. Los resultados, son exclusivos de las condiciones en que se desarrolló la investigación. Es decir, aplican con el tipo de materiales utilizados, para el concreto elaborado y bajo las condiciones de laboratorio y operarios, a las que estuvo sometido este estudio.

Este capítulo, está conformado por las siguientes secciones: el ajuste en el agua de mezclado, el análisis de los resultados de las pruebas al concreto en estado fresco (Revenimiento, Temperatura, Tiempo de fraguado, Peso Volumétrico y Contenido de aire) y endurecido (Resistencia a la Compresión en cilindros de concreto y Resistencia a la Flexión en viguetas de concreto), así como también, su validación estadística. Además, de las correlaciones (Esfuerzo a Compresión en cilindros con Tasa de aditivo; Esfuerzo a Flexión en viguetas con Tasa de aditivo; Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo; Tiempo de

Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo y Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión).

## **5.2 AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO**



En la etapa de fabricación del concreto, se realizaron ajustes en el agua de mezclado, con la finalidad de alcanzar el revenimiento especificado, para esta investigación (2 a 3 pulgadas), tal como se señala en la Sección 3.3.1.9.

El ajuste del agua para cada bachada, se debió principalmente, a los siguientes factores: el contenido de humedad (CH%) y la absorción (A%) de los agregados (principalmente, el del agregado fino). Así como también, la compensación del agua que fue reducida debido al efecto plastificante del aditivo.

De la Tabla 5.1 a 5.6, se muestran las cantidades de agua que se adicionó o redujo a cada bachada. Además, se presenta, la relación "A/C INICIAL" que se obtuvo con la proporción de materiales (agua y cemento) establecidas en el diseño de mezcla, considerando, la corrección por humedad de los agregados y la reducción en el agua de mezclado, debido al uso del aditivo. La relación "A/C FINAL", corresponde a la relación agua/cemento (A/C) real de cada bachada y ésta fue obtenida, considerando los ajustes en el agua de mezclado. La relación "A/C PROMEDIO FINAL", es el promedio de las relaciones "A/C FINAL" de las cinco bachadas, correspondiente a una mezcla de concreto.

Se debe aclarar, que tanto para el cálculo de las relaciones "A/C INICIAL" y "A/C FINAL" se tomo en cuenta, el volumen de líquido adicionado por el aditivo como parte del volumen del agua de mezclado.

**Tabla 5.1:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC INSTITUTO SALVADOREÑO DE CONTROL DE CALIDAD						
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: BR. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS BR. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PÁG. 1/6						
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)								
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 1	BACHADA 1	175	12	1.2	0.55	0.76	0.76	
	BACHADA 2			2.8		0.81		
	BACHADA 3			2.0		0.75		
	BACHADA 4			2.0		0.75		
	BACHADA 5			1.7		0.72		
MEZCLA 2	BACHADA 1		20	20	0.3	0.50	0.55	0.54
	BACHADA 2				0.3		0.53	
	BACHADA 3				0.3		0.53	
	BACHADA 4				0.0		0.50	
	BACHADA 5				0.7		0.57	
MEZCLA 3	BACHADA 1		30	30	1.3	0.44	0.67	0.68
	BACHADA 2				2.7		0.69	
	BACHADA 3				2.2		0.68	
	BACHADA 4				2.5		0.71	
	BACHADA 5				1.9		0.64	
OBSERVACIONES:								



**Tabla 5.2:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL								
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 2/6				
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)								
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 4	BACHADA 1	250	12	0.3	0.55	0.60	0.57	
	BACHADA 2			0.2		0.57		
	BACHADA 3			0.0		0.55		
	BACHADA 4			0.0		0.55		
	BACHADA 5			0.3		0.58		
MEZCLA 5	BACHADA 1		20	20	0.4	0.50	0.57	0.54
	BACHADA 2				0.7		0.57	
	BACHADA 3				0.5		0.55	
	BACHADA 4				0.0		0.50	
	BACHADA 5				0.0		0.50	
MEZCLA 6	BACHADA 1		30	30	0.9	0.44	0.60	0.53
	BACHADA 2				0.5		0.49	
	BACHADA 3				0.5		0.50	
	BACHADA 4				0.7		0.52	
	BACHADA 5				0.9		0.54	
OBSERVACIONES:								

**Tabla 5.3:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC							
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 3/6					
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)									
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL		
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>									
MEZCLA 7	BACHADA 1	350	12	0.0	0.55	0.55	0.51		
	BACHADA 2			0.0		0.55			
	BACHADA 3			-0.7		0.48			
	BACHADA 4			-0.9		0.45			
	BACHADA 5			-0.5		0.50			
MEZCLA 8	BACHADA 1		350	20	0.2	0.50	0.53	0.50	
	BACHADA 2				-0.5		0.45		
	BACHADA 3				-0.2		0.47		
	BACHADA 4				0.0		0.49		
	BACHADA 5				0.5		0.55		
MEZCLA 9	BACHADA 1			350	30	0.4	0.44	0.52	0.47
	BACHADA 2					0.4		0.48	
	BACHADA 3					0.3		0.47	
	BACHADA 4					0.3		0.47	
	BACHADA 5					-0.2		0.42	
OBSERVACIONES:									



**Tabla 5.4:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC					
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS							
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 4 / 6			
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)							
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>							
MEZCLA 10	BACHADA 1	175	12	-0.2	0.50	0.46	0.51
	BACHADA 2			0.3		0.52	
	BACHADA 3			0.0		0.50	
	BACHADA 4			0.5		0.55	
	BACHADA 5			0.3		0.53	
MEZCLA 11	BACHADA 1		20	0.0	0.46	0.46	0.50
	BACHADA 2			0.7		0.52	
	BACHADA 3			0.5		0.51	
	BACHADA 4			0.5		0.51	
	BACHADA 5			0.4		0.50	
MEZCLA 12	BACHADA 1		30	0.5	0.40	0.48	0.47
	BACHADA 2			0.5		0.44	
	BACHADA 3			0.7		0.47	
	BACHADA 4			0.9		0.49	
	BACHADA 5			0.9		0.49	
OBSERVACIONES:							

**Tabla 5.5:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 5/6				
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)								
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 13	BACHADA 1	250	12	0.4	0.50	0.56	0.53	
	BACHADA 2			0.0		0.50		
	BACHADA 3			0.3		0.53		
	BACHADA 4			0.4		0.54		
	BACHADA 5			0.3		0.53		
MEZCLA 14	BACHADA 1		20	20	0.5	0.46	0.55	0.52
	BACHADA 2				0.4		0.50	
	BACHADA 3				0.4		0.50	
	BACHADA 4				0.7		0.53	
	BACHADA 5				0.4		0.50	
MEZCLA 15	BACHADA 1		30	30	0.7	0.40	0.51	0.54
	BACHADA 2				1.8		0.56	
	BACHADA 3				1.5		0.55	
	BACHADA 4				1.5		0.55	
	BACHADA 5				1.5		0.55	
OBSERVACIONES:								

**Tabla 5.6:** Ajustes en el agua de mezclado realizado a cada bachada de concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 6/6					
AJUSTE EN EL AGUA DE MEZCLADO Y RELACIONES AGUA/ CEMENTO (A/C)								
MEZCLA DE CONCRETO	BACHADA DE CONCRETO	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AGUA ANADIDA EN LITROS	A/C INICIAL	A/C FINAL	A/C PROMEDIO FINAL	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 16	BACHADA 1	350	12	0.4	0.50	0.56	0.54	
	BACHADA 2			0.8		0.57		
	BACHADA 3			0.3		0.53		
	BACHADA 4			0.0		0.50		
	BACHADA 5			0.2		0.52		
MEZCLA 17	BACHADA 1		20	0.46	0.6	0.55	0.56	0.55
	BACHADA 2				1.0		0.55	
	BACHADA 3				0.9		0.55	
	BACHADA 4				0.9		0.55	
	BACHADA 5				1.0		0.56	
MEZCLA 18	BACHADA 1		30	0.40	0.7	0.51	0.52	0.51
	BACHADA 2				1.0		0.49	
	BACHADA 3				0.8		0.48	
	BACHADA 4				1.0		0.50	
	BACHADA 5				1.4		0.54	
OBSERVACIONES:								

### **5.3 PRUEBAS AL CONCRETO**

Previo al análisis de los resultados para el concreto en estado fresco y endurecido, se realizó el estudio de sus materiales constituyentes y se verificó, que éstos satisfacen los requisitos establecidos en las especificaciones correspondientes, los cuales, han sido plasmados en el Capítulo IV “PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA”.

En lo concerniente al proceso de elaboración del concreto, a cada mezcla, se le realizaron los ensayos definidos en la Sección 3.5.1.2, cuyos resultados, son presentados a lo largo del desarrollo de este apartado.

#### **5.3.1 CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Para determinar el comportamiento de las mezclas de concreto en estado fresco, se consideró el análisis de la consistencia y uniformidad de éstas, realizando únicamente, un ensayo de laboratorio para evaluar cada propiedad, calificando como los más adaptables en nuestro medio, los ensayos de: Revenimiento (ASTM C143), Temperatura (ASTM C1064), Tiempo de fraguado inicial y final (ASTM C403), Peso Volumétrico y Contenido de aire (ASTM C231).

Los ensayos de Revenimiento y Temperatura, fueron realizados a cada una de las cinco bachadas ( $B_1$  a  $B_5$ ) de todas las mezclas elaboradas ( $M_1$  a  $M_{18}$ ), mientras que los ensayos de Tiempo de Fraguado, Peso Volumétrico y Contenido de Aire, se efectuaron únicamente, a la primer bachada ( $B_1$ ) de cada mezcla.

##### **5.3.1.1 CONSISTENCIA DEL CONCRETO**

El método más ampliamente utilizado para medir la consistencia y verificar la trabajabilidad del concreto, es el ensayo de revenimiento (empleando el cono de Abrams), el cual, es descrito en la norma ASTM C143. Dicho procedimiento, es aplicable en nuestra investigación, debido a que el concreto a elaborar, posee un agregado grueso con Tamaño

Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada y se espera que tenga, un valor de revenimiento dentro del rango especificado (2 a 3 pulgadas) y por consecuencia, una consistencia “semiplástica” (Véase Tabla 2.11), para lo cual, los resultados obtenidos mediante este ensayo, son confiables (Véase Figura 2.20).

Los valores promedio del revenimiento para las dieciocho mezclas de concreto, satisfacen el requerimiento establecido al inicio de esta investigación (2 a 3 pulgadas), así como también, éstos se encuentran dentro del rango de valores que propone el Comité 211.1, para pavimentos de concreto (1 a 3 pulgadas) (Véase Tabla 4.15).

Las tolerancias establecidas en la norma ASTM C94, para los resultados de este ensayo, varían de acuerdo al nivel de revenimiento especificado y se muestran a continuación en la Tabla 5.7.

**Tabla 5.7:** Tolerancias en la prueba de revenimiento, usando el cono de Abrams.

REVENIMIENTO ESPECIFICADO	TOLERANCIA
<b>ESPECIFICACION REVENIMIENTO MAXIMO</b>	
< 3 Pulgadas (76 mm)	0 a -1½ Pulgadas (38 mm)
> 3 Pulgadas (76 mm)	0 a -2½ Pulgadas (63 mm)
<b>ESPECIFICACION REVENIMIENTO MINIMO</b>	
< 2 Pulgadas (51 mm)	± ½ Pulgada (13 mm)
2 a 4 Pulgadas (51 a 102 mm)	± 1 Pulgada (25 mm)
> 4 Pulgadas (102 mm)	± 1½ Pulgadas (38 mm)

Fuente: Norma ASTM C94.

Los resultados obtenidos de la prueba de revenimiento, se muestran de la Tabla 5.8 a 5.10 y se comparan con el rango especificado, el cual, fue establecido en la Sección 3.3.1.9.

**Tabla 5.8:** Revenimiento del concreto de cemento hidráulico.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS											
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS						SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 1/3					
<b>ENSAYO:</b>			REVENIMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRAULICO								
<b>NORMA:</b>			ASTM C143/ C143M-00								
<b>REQUISITOS:</b>			2 A 3 PULGADAS (5.0 A 7.5 CENTIMETROS)								
DATOS DEL REVENIMIENTO EN PULGADAS											
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO		
				1	2	3	4	5			
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>											
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	2.25	3.00	2.75	3.25	3.00	2.85	OK	
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	3.25	2.25	2.00	2.50	2.00	2.40	OK	
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	2.50	2.25	2.25	2.75	3.00	2.55	OK	
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	3.00	2.00	2.50	3.00	2.00	2.50	OK	
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	3.00	2.00	2.00	2.25	2.25	2.30	OK	
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	2.00	2.50	3.00	2.00	2.00	2.30	OK	
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	2.00	4.00	3.00	2.25	2.00	2.65	OK	
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	2.25	2.25	1.50	2.00	4.00	2.40	OK	
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	1.25	2.00	3.00	3.50	3.75	2.70	OK	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>											
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	3.50	2.25	2.25	2.00	1.75	2.35	OK	
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	1.75	2.25	2.00	2.50	2.25	2.15	OK	
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	2.00	2.25	2.00	1.25	2.50	2.00	OK	
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	2.25	2.00	1.75	2.25	2.75	2.20	OK	
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	1.75	2.00	2.00	2.00	2.25	2.00	OK	
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	1.75	2.50	1.75	4.00	2.00	2.40	OK	
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	2.25	3.00	2.25	2.00	2.25	2.35	OK	
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	1.75	2.00	2.25	2.75	2.00	2.15	OK	
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	1.50	2.00	2.00	2.00	2.50	2.00	OK	
OBSERVACIONES:											
REV. MIN. =			1.25 "				REV. MAX. =				4.00 "
REV. PROM. MIN. =			2.00 "				REV. PROM. MAX. =				2.85 "

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.9:** Revenimiento del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL				
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR:					SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008				
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS					TRABAJO DE GRADUACION				
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS					P.A.G. 2 / 3				
DATOS DEL REVENIMIENTO EN PULGADAS									
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO
				1	2	3	4	5	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>									
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	2.25	3.00	2.75	3.25	3.00	2.85
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	3.25	2.25	2.00	2.50	2.00	2.40
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	2.50	2.25	2.25	2.75	3.75	2.70
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	3.00	2.00	2.50	3.00	2.00	2.50
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	3.00	2.00	2.00	2.25	2.25	2.30
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	2.00	2.50	3.00	2.00	2.00	2.30
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	2.00	4.00	3.00	2.25	2.25	2.70
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	2.25	2.25	1.50	2.00	2.00	2.00
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	1.25	2.00	3.00	3.50	3.50	2.65

**Gráfico Revenimiento para cada Mezcla de Concreto**

Número de Mezcla de Concreto	Revenimiento (Pulgadas)
M1	2.85
M2	2.40
M3	2.55
M4	2.50
M5	2.30
M6	2.30
M7	2.65
M8	2.40
M9	2.70

OBSERVACIONES:			
REV. MIN. =	1.25 "	REV. MAX. =	4.00 "
REV. PROM. MIN. =	2.00 "	REV. PROM. MAX. =	2.85 "

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.10:** Revenimiento del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC			
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008					
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION					
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 3 / 3					
DATOS DEL REVENIMIENTO EN PULGADAS									
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO
				1	2	3	4	5	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>									
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	3.50	2.25	2.25	2.00	1.75	2.35
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	1.75	2.25	2.00	2.50	2.25	2.15
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	2.00	2.25	2.00	1.25	2.50	2.00
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	2.25	2.00	1.75	2.25	2.75	2.20
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	1.75	2.00	2.00	2.00	2.25	2.00
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	1.75	2.50	1.75	4.00	2.00	2.40
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	2.25	3.00	2.25	2.00	2.25	2.35
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	1.75	2.00	2.25	2.75	2.00	2.15
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	1.50	2.00	2.00	2.00	2.50	2.00

**Gráfico Revenimiento para cada Mezcla de Concreto**

Número de Mezcla de Concreto	Revenimiento (Pulgadas)
M10	2.35
M11	2.15
M12	2.00
M13	2.20
M14	2.00
M15	2.40
M17	2.15
M18	2.00

—▲— MR=37

<b>OBSERVACIONES:</b>			
REV. MIN. =	1.25 "	REV. MAX. =	4.00 "
REV. PROM. MIN. =	2.00 "	REV. PROM. MAX. =	2.40 "

Fuente: Los autores (2009).

Se observó que durante la elaboración de las mezclas, no se pudo alcanzar el rango de revenimiento especificado en todas las bachadas, aún, cuando a cada una de éstas, se le agregó o redujo cierto volumen de agua de mezclado, para ajustar dicha propiedad, por ejemplo, la primer bachada ( $B_1$ ) de la mezcla 9 ( $M_9$ ), presentó un revenimiento de 1.25 pulgadas, quedando por debajo del límite inferior del rango especificado (2 pulgadas). Aunque en otros casos, este parámetro fue excedido, debido a los mismos ajustes en el agua de mezclado o al efecto plastificante del aditivo, utilizado en altas dosificaciones, como fue el caso, de la segunda bachada ( $B_2$ ) de la mezcla 7 ( $M_7$ ); la quinta bachada ( $B_5$ ) de la mezcla 8 ( $M_8$ ) y la cuarta bachada ( $B_4$ ) de la mezcla 15 ( $M_{15}$ ), las cuales, presentaron resultados de revenimiento de 4.00 pulgadas. Con respecto a la tolerancia de los resultados, se determinó que ninguno de éstos, rebaso el rango permisible (Véase Tabla 5.7).

Se debe destacar, el comportamiento de las mezclas 1, 3 y 15 ( $M_1$ ,  $M_3$  y  $M_{15}$ ), ya que a pesar de haber contemplado en su elaboración, las correcciones por humedad de los agregados, fue necesario agregar cantidades considerables de agua en todas sus bachadas, para obtener la consistencia especificada ("Plástica" y "Semiplástica") (Véase Tablas 5.1 y 5.5).

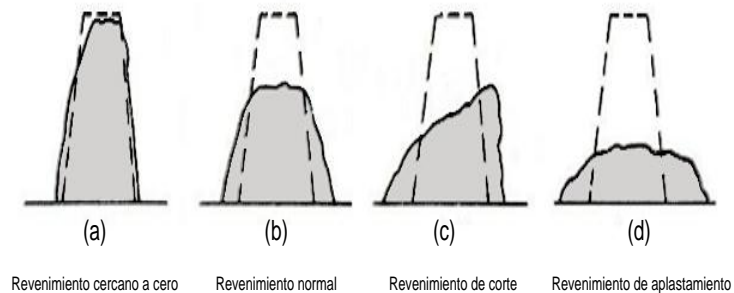
Un factor importante, que influyó directamente en el ensayo de revenimiento, fue el ajuste en el agua de mezclado, el cual, dependió en gran parte, de la precisión con que se midió el contenido de humedad (CH%) presente en los agregados, al momento de realizar las mezclas. Además, las condiciones climáticas y la temperatura del concreto fresco, tienen cierto grado de influencia en la pérdida de revenimiento, debido principalmente, a la evaporación del agua de mezclado. Caso contrario, la consistencia del concreto no depende de la cantidad de cemento contenido en la mezcla. Por lo tanto, la Resistencia a Compresión y Flexión que se espera que alcance el concreto (a la edad de 28 días), no tiene mayor relevancia en el revenimiento obtenido.

Cabe destacar, que las mezclas con relaciones agua/cemento (A/C) bajas, presentaron revenimientos bajos y en el caso de esta investigación, al considerar tres reducciones en el

agua de mezclado (12, 20 y 30%), se observó que al aumentar dicho porcentaje, la relación agua/cemento (A/C) disminuyó y por lo tanto, el revenimiento bajó.

Es de hacer notar, que los revenimientos obtenidos en cada bachada fueron en la mayoría de los casos del Tipo (a) “Revenimiento cercano a cero”, en el cual, el cono se reviene mínimamente y el concreto depositado en él, únicamente se acomoda al ser retirado éste, demostrando así, la presencia de un concreto plástico con un alto grado de cohesividad en su matriz, el cual, es ideal para ser utilizado en la construcción de pavimentos (Véase Figura 5.1).

**Figura 5.1:** Tipos de revenimiento.



**Figura tomada de:** Manual de construcción, Sección 5.5, 3<sup>ra</sup> Edición.



### 5.3.1.2 PESO VOLUMETRICO (PESO UNITARIO) DEL CONCRETO

El valor del peso volumétrico, se considera importante para identificar la correlación entre el volumen de mezcla diseñado teóricamente y la producción de concreto, que se verifica en estado fresco. El peso volumétrico del concreto fresco, depende directamente del peso de sus materiales constituyentes: cemento, arena, grava, agua y aditivo.

Para obtener el peso volumétrico del concreto, se siguió el procedimiento sugerido por la norma ASTM C231 y, así, utilizar el mismo material para realizar el ensayo de contenido de aire. Adicionalmente, podemos observar que el peso volumétrico del concreto fresco es similar al peso volumétrico del concreto endurecido (Véase Tablas 5.11, 5.25 y 5.29)

De Tabla 5.11 a 5.14, se muestran los valores de peso volumétrico obtenidos para cada una de las dieciocho mezclas elaboradas.

Tabla 5.11: Peso volumétrico del concreto fresco.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 1 / 5				
ENSAYO: PESO VOLUMETRIC DEL CONCRETO FRESCO								
NORMA: ASTM C231-97 <sup>e1</sup>								
TABLA DE MEDICIONES DE PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO FRESCO								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	VOLUMEN RECIPIENTE	PESO RECIPIENTE	PESO RECIPIENTE MAS CONCRETO	PESO CONCRETO	P.V.
				(cm <sup>3</sup> )	(g)	(g)	(g)	(kg/m <sup>3</sup> )
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	7,076.0	2,422.0	18,725.0	16,303.0	2,304.0
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	7,076.0	2,422.0	18,593.0	16,171.0	2,285.3
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	7,076.0	2,422.0	18,670.0	16,248.0	2,296.2
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	7,076.0	2,422.0	18,515.0	16,093.0	2,274.3
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	7,076.0	2,422.0	18,450.0	16,028.0	2,265.1
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	7,076.0	2,422.0	18,425.0	16,003.0	2,261.6
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	7,076.0	2,422.0	18,278.0	15,856.0	2,240.8
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	7,076.0	2,422.0	18,350.0	15,928.0	2,251.0
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	7,076.0	2,422.0	18,455.0	16,033.0	2,265.8
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	7,076.0	2,422.0	18,675.0	16,253.0	2,296.9
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	7,076.0	2,422.0	18,560.0	16,138.0	2,280.7
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	7,076.0	2,422.0	18,665.0	16,243.0	2,295.5
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	7,076.0	2,422.0	18,325.0	15,903.0	2,247.5
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	7,076.0	2,422.0	18,400.0	15,978.0	2,258.1
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	7,076.0	2,422.0	18,405.0	15,983.0	2,258.8
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	7,076.0	2,422.0	17,930.0	15,508.0	2,191.6
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	7,076.0	2,422.0	18,295.0	15,873.0	2,243.2
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	7,076.0	2,422.0	18,290.0	15,868.0	2,242.5
PROMEDIO								2,264.4
OBSERVACIONES:								
P.V. = PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO								

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.12:** Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008				
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION				
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				P.A.G. 2 / 5				
REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 12%								
TABLA DE MEDICIONES DE PESO VOLUMETRIC DEL CONCRETO FRESCO								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIPIENTE (g)	PESO RECIPIENTE MAS CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.V. (kg/m <sup>3</sup> )
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	7,076.0	2,422.0	18,725.0	16,303.0	2,304.0
MEZCLA 4	11-Sep-08	250		7,076.0	2,422.0	18,515.0	16,093.0	2,274.3
MEZCLA 7	22-Sep-08	350		7,076.0	2,422.0	18,278.0	15,856.0	2,240.8
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	7,076.0	2,422.0	18,675.0	16,253.0	2,296.9
MEZCLA 13	21-Oct-08	250		7,076.0	2,422.0	18,325.0	15,903.0	2,247.5
MEZCLA 16	31-Oct-08	350		7,076.0	2,422.0	17,930.0	15,508.0	2,191.6

**Gráfico Peso Volumétrico del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa de cemento)	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=34	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=37
175	2,304.0	2,296.9
250	2,274.3	2,247.5
350	2,240.8	2,191.6

**OBSERVACIONES:**

P.V. = PESO VOLUMETRIC DEL CONCRETO

Tabla 5.13: Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20% .

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008				
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION				
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 3 / 5				
REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 20%								
TABLA DE MEDICIONES DE PESO VOLUMETRIC DEL CONCRETO FRESCO								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIPIENTE (g)	PESO RECIPIENTE MAS CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.V. (kg/m <sup>3</sup> )
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 2	05-Sep-08	175	20	7,076.0	2,422.0	18,593.0	16,171.0	2285.3
MEZCLA 5	16-Sep-08	250		7,076.0	2,422.0	18,450.0	16,028.0	2265.1
MEZCLA 8	24-Sep-08	350		7,076.0	2,422.0	18,350.0	15,928.0	2251.0
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 11	02-Oct-08	175	20	7,076.0	2,422.0	18,560.0	16,138.0	2280.7
MEZCLA 14	24-Oct-08	250		7,076.0	2,422.0	18,400.0	15,978.0	2258.1
MEZCLA 17	04-Nov-08	350		7,076.0	2,422.0	18,295.0	15,873.0	2243.2

**Gráfico Peso Volumétrico del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa de cemento)	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=34	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=37
175	2,285.3	2,280.7
250	2,265.1	2,258.1
350	2,251.0	2,243.2

OBSERVACIONES:

P.V. = PESO VOLUMETRIC DEL CONCRETO

Tabla 5.14: Peso volumétrico del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30% .

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008				
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION				
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 4 / 5				
REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 30%								
TABLA DE MEDICIONES DE PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO FRESCO								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIPIENTE (g)	PESO RECIPIENTE MAS CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.V. (kg/m <sup>3</sup> )
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 3	09-Sep-08	175	30	7,076.0	2,422.0	18,670.0	16,248.0	2296.2
MEZCLA 6	18-Sep-08	250		7,076.0	2,422.0	18,425.0	16,003.0	2261.6
MEZCLA 9	29-Sep-08	350		7,076.0	2,422.0	18,455.0	16,033.0	2265.8
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 12	16-Oct-08	175	30	7,076.0	2,422.0	18,665.0	16,243.0	2295.5
MEZCLA 15	28-Oct-08	250		7,076.0	2,422.0	18,405.0	15,983.0	2258.8
MEZCLA 18	07-Nov-08	350		7,076.0	2,422.0	18,290.0	15,868.0	2242.5

**Gráfico Peso Volumétrico del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa de cemento)	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=34	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) - MR=37
175	2,296.2	2,295.5
250	2,261.6	2,258.8
350	2,265.8	2,242.5

**OBSERVACIONES:**

P.V. = PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.15:** Peso volumétrico del concreto fresco con Contenido de Aire.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS					
REALIZADO POR:			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008		
BR. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS			TRABAJO DE GRADUACION		
BR. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			PAG. 5 / 5		
DATOS DE PESO VOLUMETRICO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO					
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	PESO VOLUMETRICO (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE AIRE (%)
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>					
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	2,304.0	1.4%
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	2,285.3	1.4%
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	2,296.2	1.7%
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	2,274.3	1.8%
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	2,265.1	1.9%
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	2,261.6	1.9%
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	2,240.8	2.9%
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	2,251.0	2.5%
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	2,265.8	2.2%
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>					
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	2,296.9	1.9%
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	2,280.7	2.1%
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	2,295.5	2.2%
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	2,247.5	1.8%
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	2,258.1	2.0%
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	2,258.8	2.1%
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	2,191.6	2.9%
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	2,243.2	2.6%
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	2,242.5	2.4%
<b>OBSERVACIONES:</b>					
LOS VALORES EN COLOR ROJO HAN SIDO DESCARTADOS EN EL CALCULO DE LA ECUACION, DEBIDO A QUE ESTOS SON DISTANTES DE LA TENDENCIA DE LOS RESULTADOS.					
P.V. = PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO FRESCO Y C.A.% = PORCENTAJE DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO.					

Fuente: Los autores (2009).

Los resultados del ensayo de peso volumétrico, oscilaron en el rango de 2,191.6 kg/m<sup>3</sup> para la mezcla 16 (M<sub>16</sub>) y 2,304.0 kg/m<sup>3</sup> para la mezcla 10 (M<sub>10</sub>); el promedio de los valores obtenidos para las dieciocho mezclas, fue de 2,264.4 kg/m<sup>3</sup> (Véase Tabla 5.11). Esta cifra, es cercana al valor de 2,380.0 kg/m<sup>3</sup>, establecido en el Comité ACI 211.1, para concreto fresco con agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada, clasificándose según ACI, como “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>).

La diferencia que existe entre cada una de las mezclas, fue definida por: 1) las dos resistencias en estudio, 2) la reducción en el agua de mezclado y 3) la variación en la tasa de dosificación del aditivo. Es por esto que a continuación, se analizó la influencia de cada uno de estos factores, sobre el peso volumétrico del concreto fresco.

Las mezclas que contienen mayor cantidad de cemento (M<sub>10</sub>, M<sub>11</sub>, M<sub>12</sub>, M<sub>13</sub>, M<sub>14</sub>, M<sub>15</sub>, M<sub>16</sub>, M<sub>17</sub> y M<sub>18</sub>) tendrán cantidades superiores de aditivo, ya que este componente es dosificado en función de las bolsas de cemento a utilizar, por lo tanto, las mezclas diseñadas para Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup>, presentaron mayor peso volumétrico, que las diseñadas para 37 kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual se pudo observar, mediante el comportamiento presentado por las curvas “Peso Volumétrico con Tasa de aditivo” para el Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup>, ya que en todos los casos, éstas se encontraron por encima de las curvas generadas con la otra resistencia en estudio (Véase Tablas 5.12, 5.13 y 5.14).

Además, se observó que el peso volumétrico del concreto fresco disminuye, cuando el contenido de aire aumenta. Esto se debió principalmente, al incremento de vacíos en su matriz (Véase Tabla 5.15).

Las reducciones en el agua de mezclado, no generaron cambios en el peso volumétrico del concreto fresco, debido a que esta reducción, se realizó en el PASO XI “ESTIMACION DE LA MEZCLA DE LABORATORIO TOTAL” y no a la cantidad de agua de mezclado, por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de concreto, en el PASO V “CALCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO

DE AIRE” del diseño de las mezclas. Caso contrario, la proporción de cada uno de los materiales constituyentes no hubiera sido la misma, obteniendo un resultado distinto para este ensayo.

Al utilizar una tasa mayor del aditivo se disminuye la cantidad de arena, debido a que el método para el proporcionamiento de las mezclas utilizado, es por volumen, según lo recomendado por el Comité ACI 211.1 (Véase Sección 4.3.2.9.1). Además, por ser el peso de esta variación poco significativo con respecto al peso total de la arena, se puede considerar dicha variación despreciable.

### **5.3.1.3 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO**

El ensayo de contenido de aire, utilizando el medidor tipo B, se describe en la norma ASTM C231, siendo éste, el de uso más generalizado en nuestro país y el más adecuado, para “concretos de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>)

El contenido de aire, es un parámetro importante; ya que conforme éste se incrementa en más de un 5%, habrá una reducción correspondiente en la Resistencia a Compresión y Flexión del concreto. Esta reducción de resistencia, será del orden del 3 al 5%, por cada 1% de contenido de aire arriba del valor de diseño. Para el ensayo del contenido de aire del concreto, la tolerancia especificada en la norma ASTM C94, es de  $\pm 1.5\%$  del valor especificado.

Se identificó con base en los resultados, que el contenido de aire crece de forma directamente proporcional con el aumento de la dosificación del aditivo.

Con respecto a la cantidad de cemento, se observó que los contenidos de aire para concretos con Módulo de Ruptura (MR) de 37 kg/cm<sup>2</sup>, son superiores que los obtenidos para las mezclas diseñadas con 34 kg/cm<sup>2</sup>, debido, al incremento en la cantidad del aditivo presente en cada una de éstas. Además, otro factor relevante en este ensayo, fue el Tamaño Máximo Nominal (TMN) de las partículas de agregado grueso, el cual, influyó en los resultados.

**Tabla 5.16:** Contenido de aire del concreto fresco.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS						
REALIZADO POR:			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008			
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS			TRABAJO DE GRADUACION			
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			PAG. 1 / 4			
<b>ENSAYO:</b>		CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO				
<b>NORMA:</b>		ASTM C231-97 <sup>61</sup>				
DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO						
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AIRE EN MEZCLA (%)	FACTOR CORRECCION POR AGREGADOS (%)	CONTENIDO DE AIRE (%)
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>						
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	1.6%	0.2%	1.4%
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	1.6%	0.2%	1.4%
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	1.9%	0.2%	1.7%
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	2.0%	0.2%	1.8%
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	3.1%	0.2%	2.9%
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	2.7%	0.2%	2.5%
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	2.4%	0.2%	2.2%
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>						
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	2.3%	0.2%	2.1%
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	2.4%	0.2%	2.2%
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	2.0%	0.2%	1.8%
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	2.2%	0.2%	2.0%
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	2.3%	0.2%	2.1%
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	3.1%	0.2%	2.9%
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	2.8%	0.2%	2.6%
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	2.6%	0.2%	2.4%
<b>OBSERVACIONES:</b>						
EL FACTOR DE CORRECCION POR AGREGADOS DESDE LA MEZCLAS 1 HASTA LA MEZCLA 18, SE OBTUVO LUEGO DE REALIZAR LA DIFERENCIA ENTRE EL CONTENIDO DE AIRE DE LOS AGREGADOS Y AGUA (1.4%) Y EL RESULTADO DEL CONTENIDO DE AIRE DE LA CALIBRACION DEL EQUIPO CON AGUA (1.2%), LA CUAL, RESULTO DE 0.2%.						

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.17:** Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS						
REALIZADO POR:			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008			
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS			TRABAJO DE GRADUACION			
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			PAG. 2 / 4			
<b>REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 12%</b>						
DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO						
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AIRE EN MEZCLA (%)	FACTOR CORRECCION POR AGREGADOS (%)	CONTENIDO DE AIRE (%)
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm<sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm<sup>2</sup></b>						
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	1.6%	0.2%	1.4%
MEZCLA 4	11-Sep-08	250		2.0%	0.2%	1.8%
MEZCLA 7	22-Sep-08	350		3.1%	0.2%	2.9%
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm<sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm<sup>2</sup></b>						
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 13	21-Oct-08	250		2.0%	0.2%	1.8%
MEZCLA 16	31-Oct-08	350		3.1%	0.2%	2.9%



  

**Gráfico Contenido de Aire del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa)	Contenido de Aire (%) - MR=34	Contenido de Aire (%) - MR=37
175	1.4	1.9
250	1.8	1.8
350	2.9	2.9

OBSERVACIONES:

**Tabla 5.18:** Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
						
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>						
REALIZADO POR:			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008			
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS			TRABAJO DE GRADUACION			
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			PAG. 3 / 4			
<b>REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 20%</b>						
DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO						
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AIRE EN MEZCLA (%)	FACTOR CORRECCION POR AGREGADOS (%)	CONTENIDO DE AIRE (%)
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm<sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm<sup>2</sup></b>						
MEZCLA 2	02-Oct-08	175	20	1.6%	0.2%	1.4%
MEZCLA 5	24-Oct-08	250		2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 8	04-Nov-08	350		2.7%	0.2%	2.5%
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm<sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm<sup>2</sup></b>						
MEZCLA 11	30-Sep-08	175	20	2.3%	0.2%	2.1%
MEZCLA 14	21-Oct-08	250		2.2%	0.2%	2.0%
MEZCLA 17	31-Oct-08	350		2.8%	0.2%	2.6%

**Gráfico Contenido de Aire del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa)	Contenido de Aire (%) - MR=34	Contenido de Aire (%) - MR=37
175	1.4	2.1
250	1.9	2.0
350	2.5	2.6

OBSERVACIONES:

Tabla 5.19: Contenido de aire del concreto fresco, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS						
REALIZADO POR:			SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008			
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS			TRABAJO DE GRADUACION			
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			PAG. 4 / 4			
REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL 30%						
DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO						
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	AIRE EN MEZCLA (%)	FACTOR CORRECCION POR AGREGADOS (%)	CONTENIDO DE AIRE (%)
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>						
MEZCLA 3	09-Sep-08	175	30	1.9%	0.2%	1.7%
MEZCLA 6	18-Sep-08	250		2.1%	0.2%	1.9%
MEZCLA 9	29-Sep-08	350		2.4%	0.2%	2.2%
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>						
MEZCLA 12	16-Oct-08	175	30	2.4%	0.2%	2.2%
MEZCLA 15	28-Oct-08	250		2.3%	0.2%	2.1%
MEZCLA 18	07-Nov-08	350		2.6%	0.2%	2.4%

**Gráfico Contenido de Aire del Concreto Fresco con Tasa de aditivo**

Tasa de aditivo (ml/ bolsa de cemento)	Contenido de Aire (%) - MR=34	Contenido de Aire (%) - MR=37
175	1.7	2.2
250	1.9	2.1
350	2.2	2.4

OBSERVACIONES:

Fuente: Los autores (2009).

De Tabla 5.16 a 5.19, se muestra que todos los valores de contenido de aire, se mantuvieron por debajo del valor máximo permisible, para “concretos sin aire incluido” (3%) (Véase Tabla 3.9). Mientras que respecto al contenido de aire contemplado en el diseño (1.5%) (Véase Tabla 4.16), las mezclas 1 y 2 ( $M_1$  y  $M_2$ ) estuvieron, por debajo de éste en 0.1%.

Los porcentajes de aire contenidos en las dieciocho mezclas, no fueron suficientes para provocar una disminución en la Resistencia a Compresión y Flexión del concreto, ya que la máxima variación con respecto al valor de diseño (1.5%) fue de 1.4%, para las mezclas 7 y 16 ( $M_7$  y  $M_{16}$ ) (Véase Tabla 5.16).

Con respecto a la tolerancia de los resultados, se determinó que éstos son aceptables, porque ningún resultado individual, se salió del rango permitido de  $1.5 \pm 1.5\%$  (0 a 3%).

#### **5.3.1.4 TEMPERATURA DEL CONCRETO**

La temperatura, es uno de los factores más importantes que influye, tanto en la calidad del concreto como en sus propiedades (en estado fresco y endurecido), tales como: Revenimiento, Tiempos de fraguado, Resistencia a la Compresión y Flexión, y en especial, la Contracción por Secado. Es por ello, que dicho factor debe tenerse presente al momento de diseñar, transportar, manejar y colocar el concreto, sobre todo en clima cálido, como el predominante en nuestro país.

El requisito establecido en la Sección 3.4.4 de la “Norma Técnica para el Control de Calidad de los Materiales Estructurales”<sup>[77]</sup> y en la Sección 11.8 de la norma ASTM C94 “Especificación estándar para el concreto premezclado”, para la temperatura del concreto fresco colado en clima cálido, es que éste, se mantenga a una temperatura inferior a los 32 °C (90 °F).

---

<sup>[77]</sup> MOP (1997): “Norma Técnica para el Control de la Calidad de los Materiales Estructurales”. Pág. 9, Sección 3.4.4 literal 2. San Salvador, El Salvador.

En cuanto al proceso de elaboración de las mezclas de concreto, las temperaturas se mantuvieron en general constantes, entre las bachadas de una misma mezcla ( $B_1$  a  $B_5$ ) y por debajo del requisito anteriormente mencionado; por ejemplo, la temperatura de la mezcla 16 ( $M_{16}$ ), tomada a todas sus bachadas, resultó en un promedio de 23.4 °C y para la mezcla 1 ( $M_1$ ), éste fue de 27.9 °C (Véase Tabla 5.20), considerando que la mezcla 16 ( $M_{16}$ ), se fabricó bajo “condiciones climáticas moderadas” (alrededor de 25 °C), y la mezcla 1 ( $M_1$ ) en un “día caluroso” (alrededor de 30 °C).

La temperaturas máximas obtenidas en las bachadas, se registraron en la bachada 5 ( $B_5$ ) de la mezcla 4 ( $M_4$ ) y de la mezcla 9 ( $M_9$ ), siendo este valor de 29.0 °C, para ambas, en un día con “clima normal” (alrededor de 25 °C) y en horas del mediodía. La temperatura más baja se registró, en la primer bachada ( $B_1$ ) de la mezcla 16 ( $M_{16}$ ), siendo este valor de 21.0 °C en un día con “clima fresco” (alrededor de 15 °C) y a primeras horas de la mañana. Las temperaturas obtenidas para cada una de las dieciocho mezclas de concreto, se indican de Tabla 5.20 a 5.22.

Debe aclararse que para esta prueba, se registraron las lecturas de la temperatura del concreto fresco por bachada y las condiciones climáticas predominantes en el día de su elaboración, pero no se realizaron mediciones de temperatura ambiental, humedad relativa o velocidad del viento; sin embargo, los resultados evidencian, que uno o la suma de estos factores, afectaron de forma directa e inequívoca las propiedades del concreto.

Además, en todos los casos, se explica la temperatura baja de algunas mezclas, ya que los agregados utilizados en la fabricación del concreto estaban dispuestos bajo techo, es decir, en la sombra, evitando con ello, el calentamiento de éstos, debido a la influencia directa de los rayos del sol.

**Tabla 5.20:** Temperatura del concreto de cemento hidráulico, recién mezclado.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS											
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS						SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1/3					
<b>ENSAYO:</b> TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRAULICO <b>NORMA:</b> ASTM C1064/C1064M-01 <b>REQUISITOS:</b> MENOR DE 32 °C											
DATOS DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (°C)											
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO	CONDICIONES CLIMATICAS	
				1	2	3	4	5			
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>											
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	27.0	28.5	28.0	28.0	28.0	27.9	OK	NORMAL
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	28.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.6	OK	LLUVIA
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	25.0	26.0	26.0	26.0	26.0	25.8	OK	SOLEADO
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	26.0	25.0	26.0	26.0	29.0	26.4	OK	NORMAL
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	26.0	26.0	27.0	27.0	27.0	26.6	OK	NORMAL
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	25.0	25.0	26.0	26.0	25.0	25.4	OK	LLUVIA
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	25.0	25.0	25.0	26.0	26.0	25.4	OK	NUBLADO
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	24.0	24.0	25.0	25.0	25.0	24.6	OK	NUBLADO
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	27.0	OK	NORMAL
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>											
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	OK	NORMAL
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	23.0	26.0	25.0	25.0	25.0	24.8	OK	NUBLADO
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	OK	LLUVIA
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	OK	NUBLADO
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	25.0	24.0	25.0	25.0	25.0	24.8	OK	NORMAL
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	24.0	24.0	24.0	23.0	23.0	23.6	OK	FRESCO
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	21.0	24.0	23.0	24.0	25.0	23.4	OK	FRESCO
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	22.0	24.0	23.0	23.0	25.0	23.4	OK	FRESCO
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	23.0	24.0	25.0	25.0	24.0	24.2	OK	NORMAL
OBSERVACIONES:											
TEMP. MIN. = 21.0 °C				TEMP. MAX. = 29.0 °C							
TEMP. PROM. MIN. = 23.4 °C				TEMP. PROM. MAX. = 27.9 °C							

Fuente: Los autores (2009).

Tabla 5.21: Temperatura del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC				
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS										
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008						
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION						
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 2 / 3						
DATOS DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (°C)										
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO	CONDICIONES CLIMATICAS
				1	2	3	4	5		
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>										
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	27.0	28.5	28.0	28.0	28.0	27.9	NORMAL
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	28.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.6	LLUVIA
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	25.0	26.0	26.0	26.0	26.0	25.8	SOLEADO
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	26.0	25.0	26.0	26.0	29.0	26.4	NORMAL
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	26.0	26.0	27.0	27.0	27.0	26.6	NORMAL
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	25.0	25.0	26.0	26.0	25.0	25.4	LLUVIA
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	25.0	25.0	25.0	26.0	26.0	25.4	NUBLADO
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	24.0	24.0	25.0	25.0	25.0	24.6	NUBLADO
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	27.0	NORMAL

**Gráfico de Temperatura de mezclas diseñadas para MR = 34 kg/cm<sup>2</sup>**

Número de mezcla	Temperatura (°C)
M1	27.9
M2	25.6
M3	25.8
M4	26.4
M5	26.6
M6	25.4
M7	25.4
M8	24.6
M9	27.0

<b>OBSERVACIONES:</b>			
TEMP. MIN. =	24.0 °C	TEMP. MAX. =	29.0 °C
TEMP. PROM. MIN. =	24.6 °C	TEMP. PROM. MAX. =	27.9 °C

Fuente: Los autores (2009).

Tabla 5.22: Temperatura del concreto de cemento hidráulico, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC					
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS											
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008							
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION							
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 3 / 3							
DATOS DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (°C)											
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	BACHADA N°					PROMEDIO	CONDICIONES CLIMATICAS	
				1	2	3	4	5			
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>											
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	NORMAL
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	23.0	26.0	25.0	25.0	25.0	24.8	NUBLADO	
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	LLUVIA	
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	NUBLADO
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	25.0	24.0	25.0	25.0	25.0	24.8	NORMAL	
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	24.0	24.0	24.0	23.0	23.0	23.6	FRESCO	
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	21.0	24.0	23.0	24.0	25.0	23.4	FRESCO	
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	22.0	24.0	23.0	23.0	25.0	23.4	FRESCO	
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	23.0	24.0	25.0	25.0	24.0	24.2	NORMAL	

**Gráfico de Temperatura de mezclas diseñadas para MR = 37 kg/cm<sup>2</sup>**

Número de mezcla	Temperatura (°C)
M10	25.0
M11	24.8
M12	25.0
M13	25.0
M14	24.8
M15	23.6
M16	23.4
M17	23.4
M18	24.2

<b>OBSERVACIONES:</b>			
TEMP. MIN. =	21.0 °C	TEMP. MAX. =	26.0 °C
TEMP. PROM. MIN. =	23.4 °C	TEMP. PROM. MAX. =	25.0 °C

Fuente: Los autores (2009).

Los resultados obtenidos, muestran que no hay una diferencia significativa de temperatura promedio entre las distintas mezclas. La máxima variación registrada entre las bachadas, fue de 4.0 °C, con lo que se corroboró, que se tomaron las medidas adecuadas para evitar, la presencia de “agrietamiento por contracción plástica”, debido al secado superficial del concreto.

Debido a lo mencionado anteriormente, se puede decir que la temperatura y su variación, no representaron ningún problema en las propiedades del concreto en estado fresco y posteriormente, endurecido.

### 5.3.1.5 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Para investigar el efecto retardante del aditivo, se efectuaron ensayos de fraguado a cada una de las mezclas, con el propósito de determinar el tiempo de endurecimiento del concreto, de acuerdo a la norma ASTM C403. El ensayo consistió, en medir la resistencia a la penetración de las agujas Proctor sobre mortero, que fue obtenido del tamizado de la mezcla de concreto, a través de la malla N° 4 (4.75 mm), como se indica en la Sección 3.5.1.5.4.

La curva del aumento de resistencia a la penetración (Véase Figura 5.2), fue trazada en función del tiempo, obteniendo para ello; un número adecuado de penetraciones (no menos de seis), sin considerar, los puntos que quedaron fuera de la mejor tendencia.

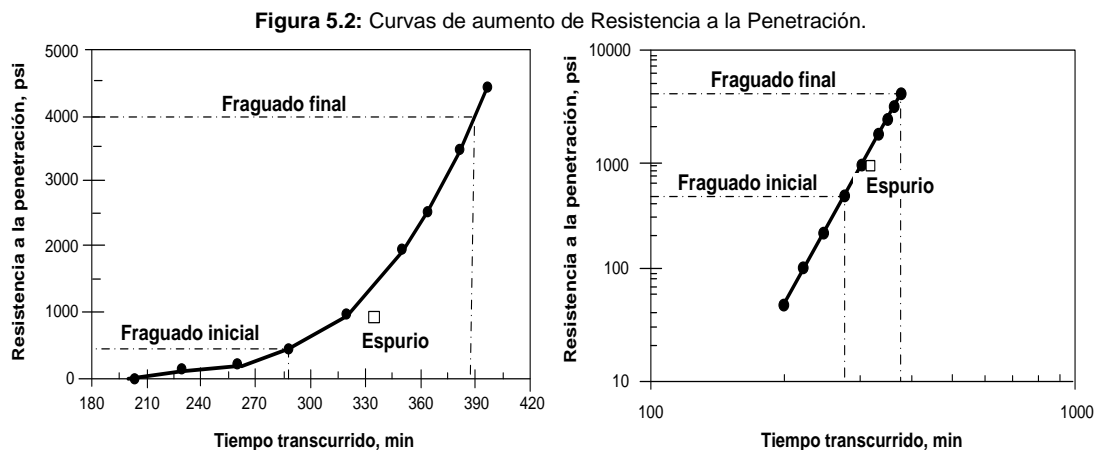


Figura tomada de: Norma ASTM C403.

Para determinar el tiempo de fraguado (inicial y final) del concreto, se obtuvo la ecuación de tendencia, por medio de las curvas de aumento de resistencia a la penetración (Véase Figura 5.2), para posteriormente, evaluar dicha ecuación, con resistencias a la penetración de 500 y 4,000 psi, y así obtener, el tiempo de fraguado inicial y final, respectivamente (Véase Anexo F).

Este procedimiento de ensayo, puede ser utilizado para determinar los efectos en el tiempo de fraguado del concreto, causados por factores como: 1) la temperatura del concreto, 2) las condiciones climáticas, 3) la cantidad de agua de mezclado, 4) la relación agua/cemento (A/C), y 5) el tipo y las cantidades de materiales cementantes y/o aditivos. También, este método puede ser empleado, para verificar el cumplimiento de requisitos especificados del tiempo de fraguado.

El ensayo se realizó a temperatura ambiente (alrededor de 15 a 30 °C), por lo que puede considerarse que es representativo, en relación al comportamiento que puede presentar el concreto en campo, bajo diferentes condiciones climáticas.

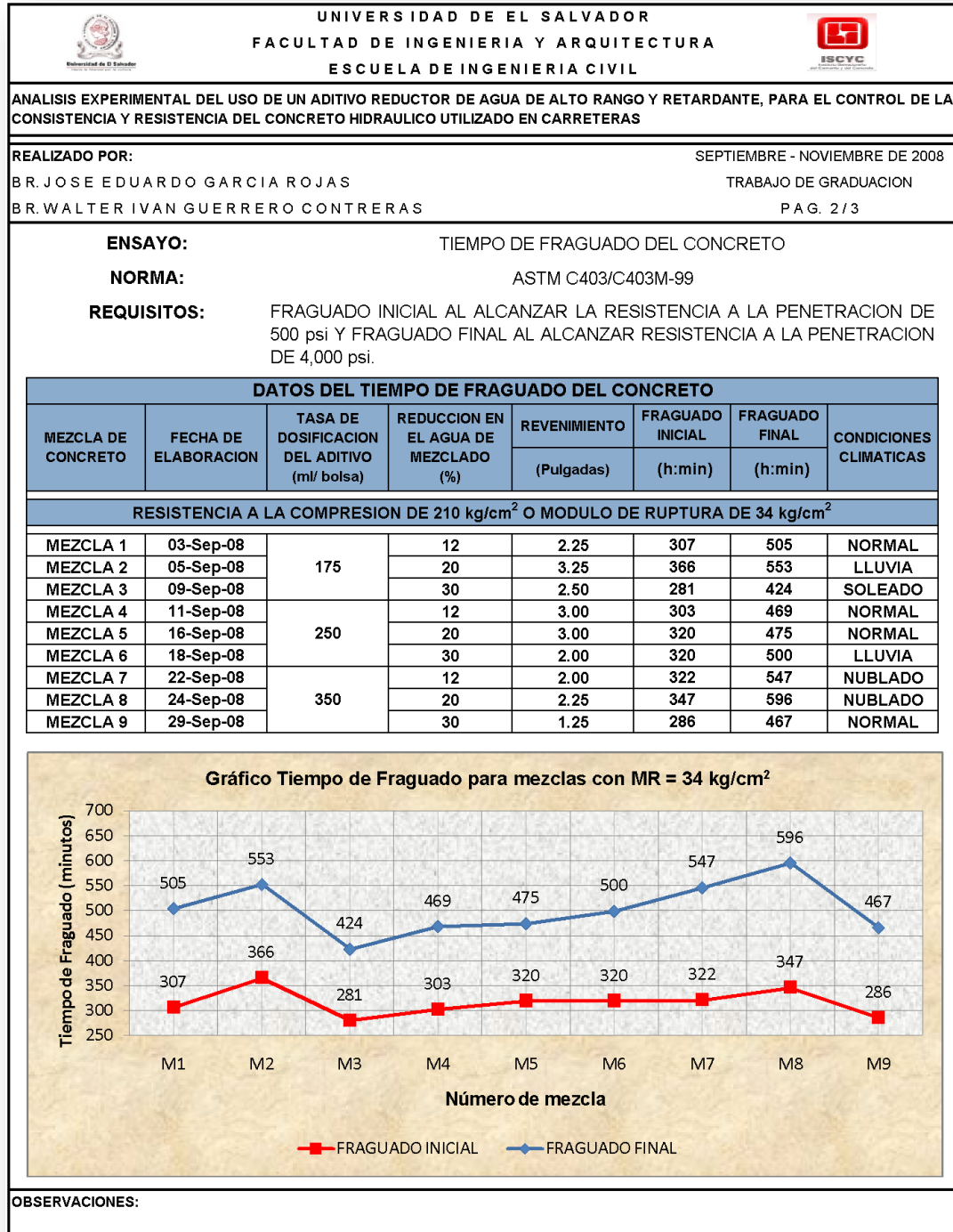
Los resultados de los tiempos de fraguado (inicial y final) para las dieciocho mezclas de concreto, se detallan a continuación de Tabla 5.23 a 5.25.

Tabla 5.23: Tiempo de fraguado del concreto

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS							
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE DE 2008			
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION			
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				PAG. 1 / 3			
<b>ENSAYO:</b>		TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO					
<b>NORMA:</b>		ASTM C403/C403M-99					
<b>REQUISITOS:</b>		FRAGUADO INICIAL AL ALCANZAR LA RESISTENCIA A LA PENETRACION DE 500 psi Y FRAGUADO FINAL AL ALCANZAR RESISTENCIA A LA PENETRACION DE 4,000 psi.					
DATOS DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO							
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	REVENIMIENTO	FRAGUADO INICIAL	FRAGUADO FINAL	CONDICIONES CLIMATICAS
				(Pulgadas)	(h:min)	(h:min)	
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>							
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	2.25	5h:07min	8h:25min	NORMAL
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	3.25	6h:06min	9h:13min	LLUVIA
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	2.50	4h:44min	7h:04min	SOLEADO
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	3.00	5h:03min	7h:49min	NORMAL
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	3.00	5h:20min	7h:55min	NORMAL
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	2.00	5h:20min	8h:20min	LLUVIA
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	2.00	5h:22min	9h:07min	NUBLADO
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	2.25	5h:47min	9h:56min	NUBLADO
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	1.25	4h:46min	7h:47min	NORMAL
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm <sup>2</sup> O MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm <sup>2</sup>							
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	3.50	5h:34min	7h:32min	NORMAL
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	1.75	5h:35min	7h:42min	NUBLADO
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	2.00	4h:47min	7h:50min	LLUVIA
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	2.25	4h:42min	6h:59min	NUBLADO
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	1.75	4h:57min	7h:17min	NORMAL
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	1.75	4h:59min	7h:50min	FRESCO
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	2.25	6h:01min	9h:09min	FRESCO
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	1.75	5h:36min	8h:47min	FRESCO
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	1.50	4h:37min	6h:50min	NORMAL
OBSERVACIONES:							

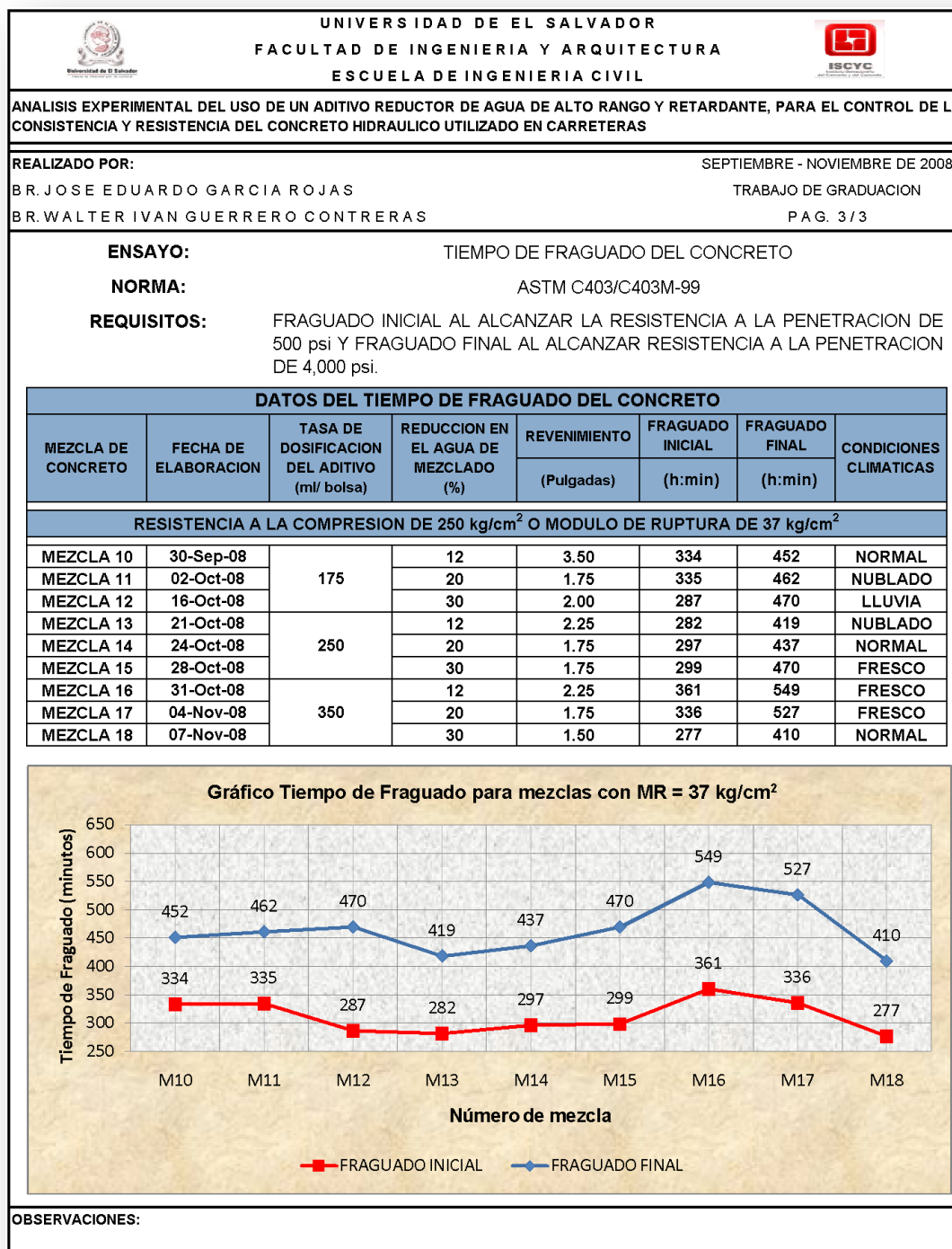
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.24:** Tiempo de fraguado del concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup>.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.25:** Tiempo de fraguado del concreto, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup>.



Se observó que el tiempo de fraguado inicial y final del concreto, se prolongaron al aumentar la cantidad del aditivo, esto sucedió en las mezclas con la mayor tasa de dosificación (350 ml/bolsa de cemento) ( $M_7$ ,  $M_8$ ,  $M_9$ ,  $M_{16}$ ,  $M_{17}$ ,  $M_{18}$ ), es decir, las que tienen mayor cantidad de cemento (Mezclas diseñadas para Módulo de Ruptura (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$ ), elaboradas con 7.7 bolsas de cemento. Además, un efecto similar ocurre, cuando la temperatura ambiental es baja (entre  $15$  y  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y el clima es “fresco” (alrededor de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), “nublado” o “lluvioso” (alrededor de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), debido a que la evaporación del agua es mínima, provocando que la hidratación y endurecimiento del concreto, sea lento. Caso contrario sucede, al aumentar el contenido de cemento y fabricar el concreto a temperaturas altas (entre  $30$  y  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ), en días “calurosos” (alrededor de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ), obteniendo con esto, una mayor evaporación del agua de mezclado y por consiguiente, un tiempo de fraguado menor. Como se observa al comparar las mezclas con Módulo de Ruptura (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$  (elaboradas con 7.7 bolsas de cemento) con respecto a las mezclas de  $34 \text{ kg/cm}^2$  (elaboradas con 7.0 bolsas de cemento).

Al reducir la cantidad de agua de mezclado y por consecuencia, disminuir la relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de concreto, los tiempos de fraguado (inicial y final) resultaron más cortos.

Los tiempos de fraguado, resultaron mayores a los esperados para un “concreto convencional” (elaborado con cemento Pórtland), esto debido principalmente, al uso del aditivo Tipo G y el cemento ASTM C1157 Tipo HE en el desarrollo de esta investigación. Este tipo de cemento, posee entre sus materiales constituyentes, un regulador de fraguado añadido en su proceso de fabricación.

Cabe mencionar, que el análisis de las variables que influyeron en el comportamiento del tiempo de fraguado, se detallan en la Sección 5.4.4 “CORRELACION TIEMPO DE FRAGUADO DE LA MEZCLA CON TASA DE ADITIVO”, en donde, se describen cada uno de los factores, que dieron como resultado, un comportamiento acelerado o retardado en la rigidización de las mezclas de concreto.

### **5.3.2 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO EN ESTADO ENDURECIDO**

Al concreto en estado endurecido, se le efectuó un análisis de la Resistencia a Compresión simple en cilindros (ASTM C39) y Flexión en los dos tercios medios del claro en viguetas (ASTM C78), debido a que éstos son los ensayos más utilizados para definir su comportamiento mecánico del concreto. En ambos procedimientos, se siguió la metodología establecida en la norma ASTM C192, para la elaboración de los espécimenes de prueba.

#### **5.3.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION OBTENIDA A DIFERENTES EDADES**

Los resultados obtenidos del ensayo de Resistencia a la Compresión, en los diferentes espécimenes de prueba (cilindros) a edades de 7, 28 y 56 días, se muestran a continuación en las Tablas 5.26 y 5.30. Las resistencias especificadas, para verificar las influencia del aditivo fueron de 210 kg/cm<sup>2</sup> para las primeras nueve mezclas y 250 kg/cm<sup>2</sup> para las nueve restantes.

En las tablas anteriormente mencionadas, se muestran las variaciones, tanto en la cantidad del aditivo como en el agua de mezclado, para cada mezcla de concreto. Además, es importante mencionar que se elaboraron seis cilindros por mezcla, ensayando dos cilindros para cada una de las edades de ruptura, previamente definidas. En dichas tablas, también se presenta el tipo de falla, observado en cada espécimen después de ser ensayado. Así como también, los valores de la prueba de revenimiento obtenidos, para la segunda bachada ( $B_2$ ) (la cual, corresponde a la utilizada para elaborar los cilindros de todas las mezclas), esto con la finalidad de reflejar, a través de esta característica, la cantidad de agua presente en la mezcla y el posible motivo de resultados anómalos. Además, se realizó el cálculo del promedio de los resultados a compresión de los espécimenes ( $\bar{X}$ ), la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV). Asimismo, se agrupó los resultados para las cinco edades y las dos resistencias a la compresión en estudio, con el objeto de conocer el porcentaje de resistencia real, alcanzado a cada edad (Véase Tablas 5.34 y 5.35).

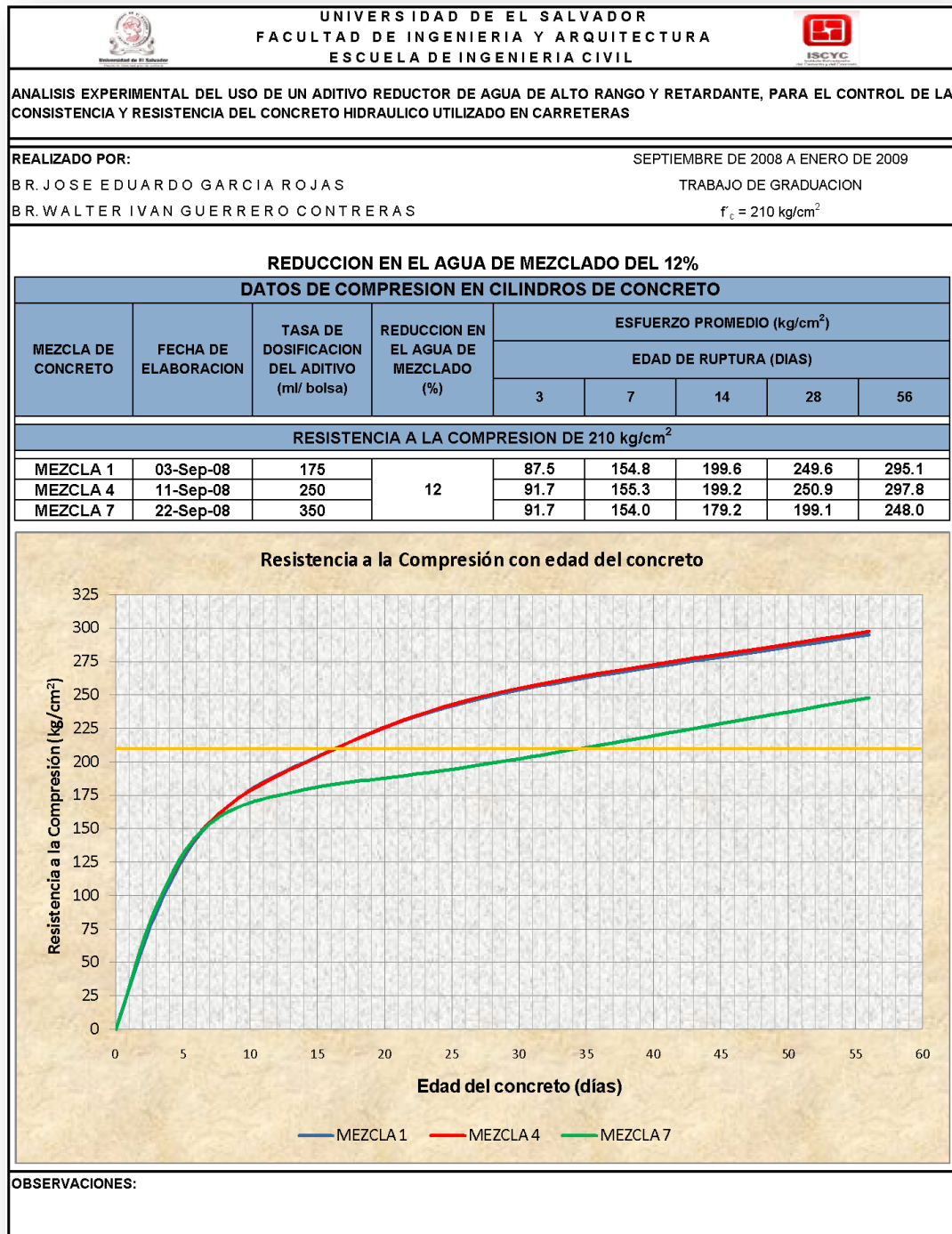
**Tabla 5.26:** Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en cilindros de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS																
COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO SEGUN LA NORMA ASTM C39/C39M-01																
DATOS DEL CONCRETO:																
F <sub>c</sub> (diseño):		210 (kg/cm <sup>2</sup> )		Realizó: José Eduardo García y Walter Iván Guerrero					Fecha: Septiembre de 2008 a Enero de 2009							
Cilindro	Reducción de agua	Tasa de Dosificación	Edad	Relación Agua/Cemento	Revenimiento	Peso	Diámetro	Area	Altura	Volumen	P.V.	Carga	Tipo de Falla	Esfuerzo	Esf. Prom.	% de f'c
N°	(%)	(ml/bolsa)	(Días)	(A/C)	(Pulgadas)	(g)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(kgm <sup>3</sup> )	(Kg)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	
C-M1-210-080903-1			7	0.81	3.0	12,635	15.2	181.46	30.6	5552.6	2275	28,200	6	155.4	154.8	73.7
C-M1-210-080903-2			7	0.81	3.0	12,730	15.2	181.46	30.6	5552.6	2293	27,980	5	154.2		
C-M1-210-080903-3			28	0.81	3.0	12,619	15.2	181.46	30.5	5534.5	2280	47,435	5	261.4	249.6	118.9
C-M1-210-080903-4			28	0.81	3.0	12,825	15.1	179.08	30.6	5479.8	2340	42,600	3	237.9		
C-M1-210-080903-5			56	0.81	3.0	12,769	15.2	181.46	30.7	5570.8	2292	53,380	3	294.2	295.1	140.5
C-M1-210-080903-6			56	0.81	3.0	12,616	15.2	181.46	30.6	5552.6	2272	53,720	5	296.0		
C-M2-210-080905-1			7	0.53	2.3	12,610	15.1	179.08	30.6	5479.8	2301	28,420	6	158.7	151.6	72.2
C-M2-210-080905-2			7	0.53	2.3	12,600	15.2	181.46	30.6	5552.6	2269	26,220	6	144.5		
C-M2-210-080905-3			28	0.53	2.3	12,655	15.1	179.08	30.5	5461.9	2317	43,500	3	242.9	252.3	120.2
C-M2-210-080905-4			28	0.53	2.3	12,715	15.2	181.46	30.5	5534.5	2297	47,500	4	261.8		
C-M2-210-080905-5			56	0.53	2.3	12,709	15.2	181.46	30.7	5570.8	2281	55,500	6	305.9	296.4	141.1
C-M2-210-080905-6			56	0.53	2.3	12,677	15.2	181.46	30.7	5570.8	2276	52,070	6	287.0		
C-M3-210-080909-1			7	0.69	2.3	12,655	15.2	181.46	30.5	5534.5	2287	29,010	5	159.9	159.4	75.9
C-M3-210-080909-2			7	0.69	2.3	12,620	15.2	181.46	30.6	5552.6	2273	28,840	5	158.9		
C-M3-210-080909-3			28	0.69	2.3	12,655	15.2	181.46	30.4	5516.3	2294	48,250	4	265.9	263.8	125.6
C-M3-210-080909-4			28	0.69	2.3	12,715	15.2	181.46	30.5	5534.5	2297	47,500	3	261.8		
C-M3-210-080909-5			56	0.69	2.3	12,597	15.2	181.46	30.6	5552.6	2269	56,130	5	309.3	306.5	146.0
C-M3-210-080909-6			56	0.69	2.3	12,684	15.2	181.46	30.6	5552.6	2284	55,110	5	303.7		
C-M4-210-080911-1			7	0.57	2.0	12,685	15.3	183.85	30.5	5607.5	2262	29,020	5	157.8	155.3	74.0
C-M4-210-080911-2			7	0.57	2.0	12,698	15.3	183.85	30.6	5625.9	2257	28,090	5	152.8		
C-M4-210-080911-3			28	0.57	2.0	12,690	15.1	179.08	30.5	5461.9	2323	43,000	3	240.1	250.9	119.5
C-M4-210-080911-4			28	0.57	2.0	12,565	15.2	181.46	30.5	5534.5	2270	47,500	4	261.8		
C-M4-210-080911-5			56	0.57	2.0	12,604	15.2	181.46	30.5	5534.5	2277	53,500	5	294.8	297.8	141.8
C-M4-210-080911-6			56	0.57	2.0	12,660	15.2	181.46	30.5	5534.5	2269	54,570	5	300.7		
C-M5-210-080916-1			7	0.57	2.0	12,647	15.3	183.85	30.6	5625.9	2248	29,960	5	163.0	158.2	75.3
C-M5-210-080916-2			7	0.57	2.0	12,650	15.3	183.85	30.6	5625.9	2249	28,210	5	153.4		
C-M5-210-080916-3			28	0.57	2.0	12,676	15.4	186.27	30.4	5662.5	2239	45,500	5	244.3	253.0	120.5
C-M5-210-080916-4			28	0.57	2.0	12,670	15.2	181.46	30.6	5552.6	2282	47,500	5	261.8		
C-M5-210-080916-5			56	0.57	2.0	12,630	15.2	181.46	30.5	5534.5	2282	54,200	5	298.7	299.5	142.6
C-M5-210-080916-6			56	0.57	2.0	12,670	15.2	181.46	30.6	5552.6	2282	54,500	6	300.3		
C-M6-210-080918-1			7	0.49	2.5	12,801	15.1	179.08	30.5	5461.9	2344	33,680	5	188.1	183.4	87.3
C-M6-210-080918-2			7	0.49	2.5	12,703	15.1	179.08	30.5	5461.9	2326	31,990	6	178.6		
C-M6-210-080918-3			28	0.49	2.5	12,774	15.2	181.46	30.5	5534.5	2308	52,700	3	290.4	282.3	134.4
C-M6-210-080918-4			28	0.49	2.5	12,785	15.3	183.85	30.6	5625.9	2273	50,410	5	274.2		
C-M6-210-080918-5			56	0.49	2.5	12,748	15.2	181.46	30.6	5552.6	2296	56,500	6	311.4	316.2	150.6
C-M6-210-080918-6			56	0.49	2.5	12,819	15.1	179.08	30.5	5461.9	2347	57,500	6	321.1		
C-M7-210-080922-1			7	0.55	4.0	12,530	15.3	183.85	30.7	5644.3	2220	27,420	5	149.1	154.0	73.4
C-M7-210-080922-2			7	0.55	4.0	12,530	15.3	183.85	30.7	5644.3	2220	29,220	5	158.9		
C-M7-210-080922-3			28	0.55	4.0	12,565	15.2	181.46	30.4	5516.3	2278	36,550	5	201.4	199.1	94.8
C-M7-210-080922-4			28	0.55	4.0	12,502	15.2	181.46	30.7	5570.8	2244	35,720	5	196.8		
C-M7-210-080922-5			56	0.55	4.0	12,564	15.2	181.46	30.6	5552.6	2263	45,000	4	248.0	248.0	118.1
C-M7-210-080922-6			56	0.55	4.0	12,548	15.2	181.46	30.6	5552.6	2260	45,000	3	248.0		
C-M8-210-080924-1			7	0.45	2.3	12,574	15.2	181.46	30.5	5534.5	2272	30,300	6	167.0	164.6	78.4
C-M8-210-080924-2			7	0.45	2.3	12,553	15.2	181.46	30.6	5552.6	2261	29,430	6	162.2		
C-M8-210-080924-3			28	0.45	2.3	12,595	15.0	176.71	30.3	5354.5	2352	44,260	5	250.5	257.4	122.6
C-M8-210-080924-4			28	0.45	2.3	12,655	15.0	176.71	3.4	600.8	2163	46,710	5	264.3		
C-M8-210-080924-5			56	0.45	2.3	12,589	15.2	181.46	30.6	5552.6	2267	54,500	5	300.3	300.3	143.0
C-M8-210-080924-6			56	0.45	2.3	12,500	15.2	181.46	30.6	5552.6	2251	54,500	5	300.3		
C-M9-210-080926-1			7	0.48	2.0	12,787	15.3	183.85	30.5	5607.5	2280	36,850	6	200.4	201.2	95.8
C-M9-210-080926-2			7	0.48	2.0	12,759	15.3	183.85	30.7	5644.3	2261	37,120	6	201.9		
C-M9-210-080926-3			28	0.48	2.0	12,765	15.3	183.85	30.7	5644.3	2262	53,680	4	292.0	293.4	139.7
C-M9-210-080926-4			28	0.48	2.0	12,805	15.4	186.27	30.1	5606.6	2284	54,900	5	294.7		
C-M9-210-080926-5			56	0.48	2.0	12,855	15.3	183.85	30.1	5534.0	2323	59,200	3	322.0	326.9	155.7
C-M9-210-080926-6			56	0.48	2.0	12,830	15.3	183.85	30.3	5570.8	2303	61,000	4	331.8		

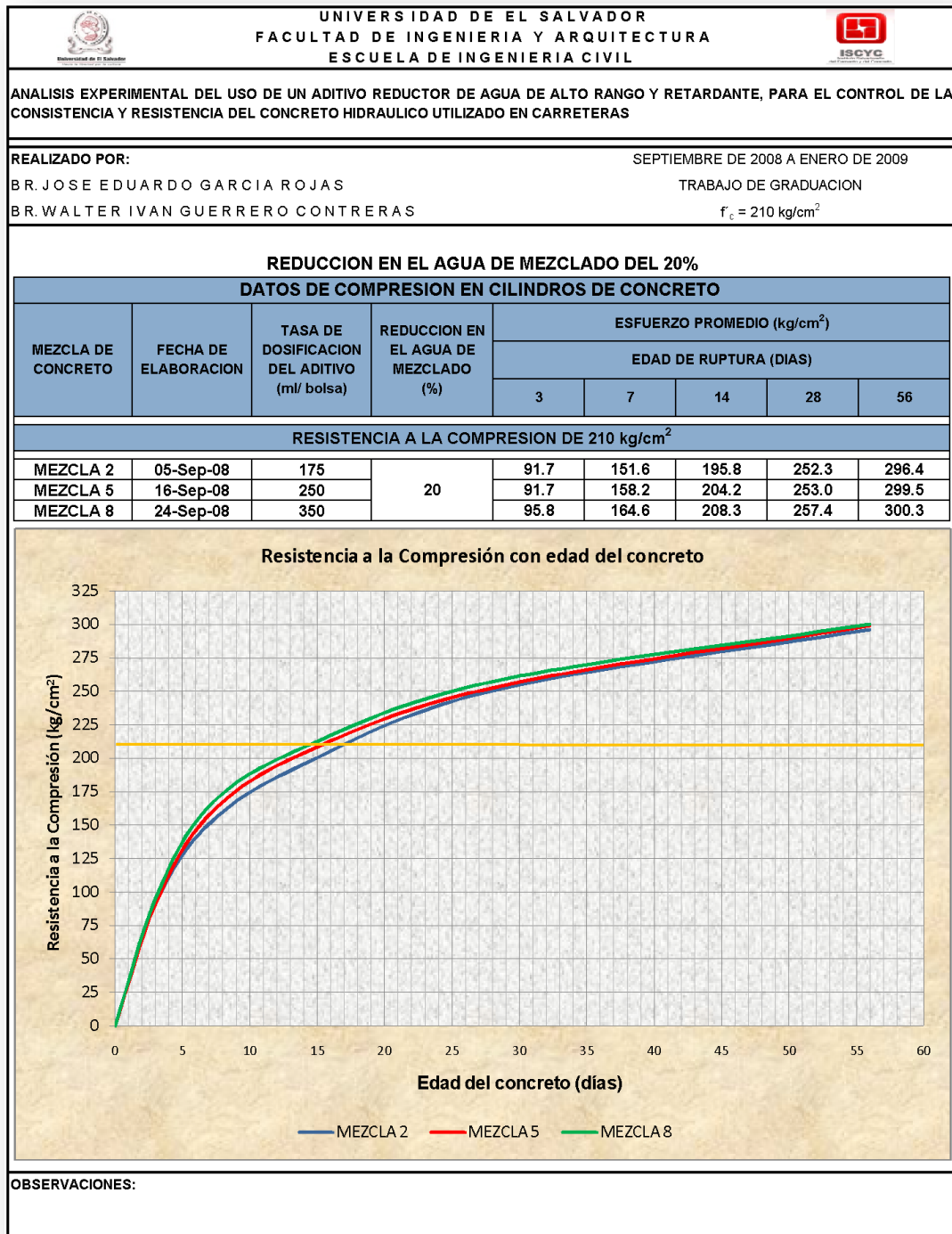
OBSERVACIONES:

Fuente: Los autores (2009).

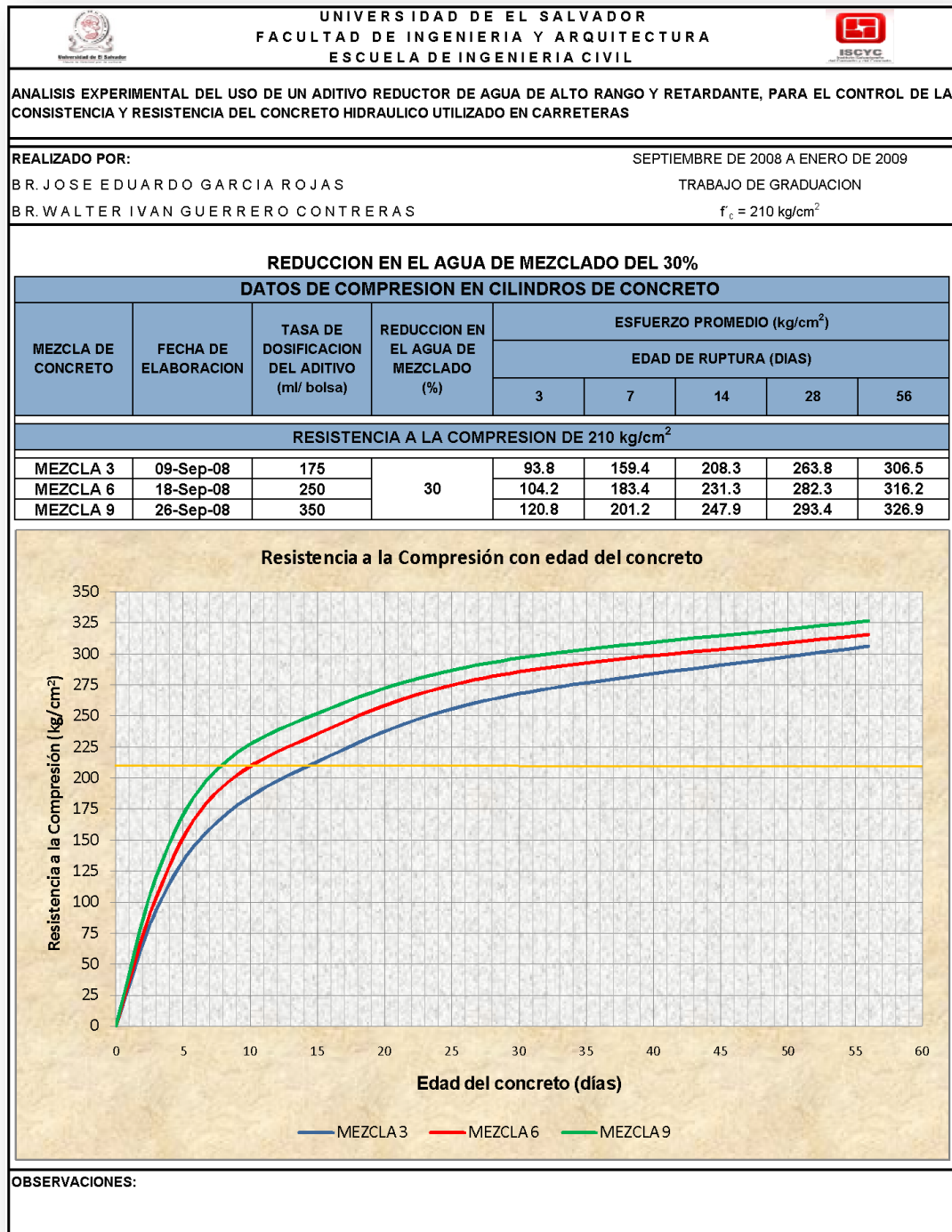
**Tabla 5.27:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.



**Tabla 5.28:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.



**Tabla 5.29:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.



De Tabla 5.27 a 5.29, se ilustra el comportamiento de las curvas “Resistencia a la Compresión contra edad del concreto”, de los especímenes ensayados a las edades de 7, 28 y 56 días. Las cuales, presentan una tendencia de tipo potencial, en aumento. Cabe destacar, que los resultados se agruparon en familias de tres curvas, correspondientes a una misma reducción en el agua de mezclado y las tres tasas de dosificación del aditivo. Cada punto de las curvas, representa el promedio de los resultados de dos cilindros de concreto, ensayados a la compresión, para las edades previamente establecidas. Se observó que las mezclas que obtuvieron mayor resistencia, fueron las que contenían las reducciones en el agua de mezclado más altas (30%).

Al comparar las nueve mezclas elaboradas, para Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) de  $210 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Tablas 5.27, 5.28 y 5.29), se puede observar que éstas, sobrepasaron el valor de resistencia especificada para la edad de 28 días ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ), exceptuando la mezcla 7 (M<sub>7</sub>), cuya resistencia, fue de  $199.1 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que no cumplió con lo especificado, sino hasta la edad de 56 días ( $248.0 \text{ kg/cm}^2$ ). Es de aclarar, que para dicha mezcla, se obtuvo un revenimiento de 4.00 pulgadas, debido al efecto plastificante del aditivo, utilizado en altas dosis (350 ml/bolsa de cemento).

Los resultados elevados de Resistencia a la Compresión a edades tempranas, se debieron principalmente, al tipo de cemento utilizado (ASTM C1157 Tipo HE), el cual, posee características de alta resistencia inicial.

De Tabla 5.31 a 5.33, se muestra el comportamiento de las curvas “Resistencia a Compresión contra edad del concreto”, para  $250 \text{ kg/cm}^2$  a las edades de 7, 28 y 56 días.

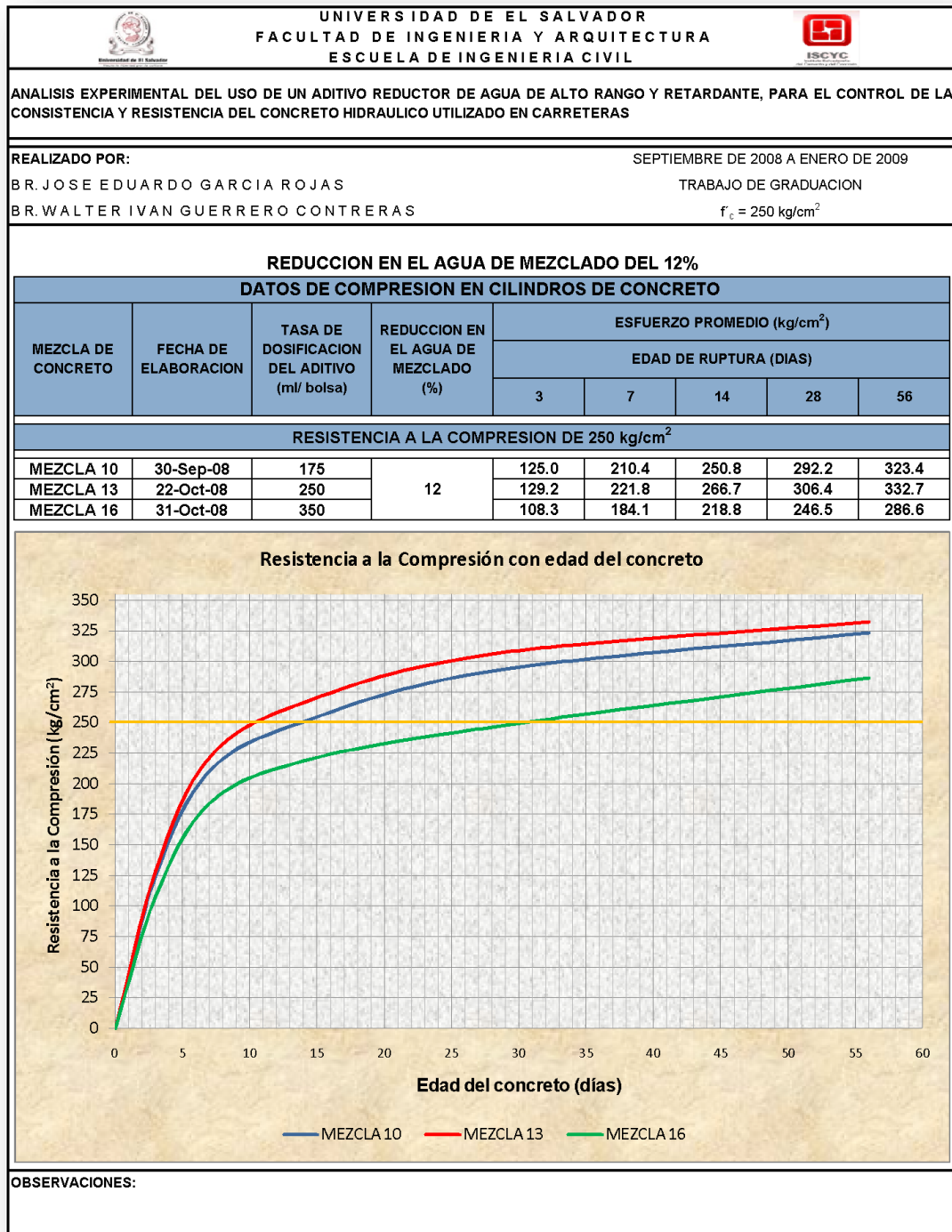
**Tabla 5.30:** Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, en cilindros de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS														
COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO SEGUN LA NORMA ASTM C39/C39M-01																
DATOS DEL CONCRETO:																
F <sub>c</sub> (diseño):		250 (kg/cm <sup>2</sup> )		Realizó: José Eduardo García y Walter Iván Guerrero				Fecha: Septiembre de 2008 a Enero de 2009								
Cilindro	Reducción de agua (%)	Tasa de Dosificación (ml/bolsa)	Edad (Días)	Relación Agua/Cemento (A/C)	Revenimiento (Pulgadas)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	P.V. (kgm <sup>3</sup> )	Carga (Kg)	Tipo de Falla	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c
C-M10-250-080930-1			7	0.52	2.3	12,637	15.1	179.08	30.5	5461.9	2314	37,770	6	210.9	210.4	84.1
C-M10-250-080930-2			7	0.52	2.3	12,672	15.1	179.08	30.5	5461.9	2320	37,570	5	209.8		
C-M10-250-080930-3			28	0.52	2.3	12,660	15.1	179.08	30.3	5426.1	2333	50,730	5	283.3	292.2	116.9
C-M10-250-080930-4			28	0.52	2.3	12,690	15.2	181.46	30.6	5552.6	2285	54,630	5	301.1		
C-M10-250-080930-5			56	0.52	2.3	12,649	15.2	181.46	30.5	5534.5	2285	58,250	5	321.0	323.4	129.3
C-M10-250-080930-6			56	0.52	2.3	12,646	15.2	181.46	30.5	5534.5	2285	59,100	5	325.7		
C-M11-250-081002-1			7	0.52	2.3	12,622	15.2	181.46	30.5	5534.5	2281	38,110	6	210.0	211.5	84.6
C-M11-250-081002-2			7	0.52	2.3	12,648	15.1	179.08	30.5	5461.9	2316	38,130	6	212.9		
C-M11-250-081002-3			28	0.52	2.3	12,677	15.1	179.08	30.6	5479.8	2313	54,940	5	306.8	305.4	122.2
C-M11-250-081002-4			28	0.52	2.3	12,715	15.1	179.08	30.6	5479.8	2320	54,440	5	304.0		
C-M11-250-081002-5			56	0.52	2.3	12,684	15.2	181.46	30.6	5552.6	2284	59,340	4	327.0	324.3	129.7
C-M11-250-081002-6			56	0.52	2.3	12,716	15.2	181.46	30.6	5552.6	2290	58,350	4	321.6		
C-M12-250-081016-1			7	0.44	2.3	12,815	15.2	181.46	30.7	5570.8	2300	46,610	5	256.9	254.6	101.8
C-M12-250-081016-2			7	0.44	2.3	12,790	15.2	181.46	30.7	5570.8	2296	45,780	5	252.3		
C-M12-250-081016-3			28	0.44	2.3	12,835	15.2	181.46	30.8	5588.9	2297	58,770	5	323.9	323.7	129.5
C-M12-250-081016-4			28	0.44	2.3	12,725	15.2	181.46	30.7	5570.8	2284	58,720	5	323.6		
C-M12-250-081016-5			56	0.44	2.3	12,767	15.1	179.08	30.5	5461.9	2337	68,130	5	380.4	382.6	153.0
C-M12-250-081016-6			56	0.44	2.3	12,708	15.1	179.08	30.5	5461.9	2327	68,890	3	384.7		
C-M13-250-081022-1			7	0.50	2.0	12,542	15.2	181.46	30.6	5552.6	2259	41,070	5	226.3	221.8	88.7
C-M13-250-081022-2			7	0.50	2.0	12,542	15.3	183.85	30.6	5625.9	2229	39,960	5	217.3		
C-M13-250-081022-3			28	0.50	2.0	12,556	15.2	181.46	30.5	5534.5	2269	55,760	4	307.3	306.4	122.6
C-M13-250-081022-4			28	0.50	2.0	12,593	15.2	181.46	30.6	5552.6	2268	55,450	4	305.6		
C-M13-250-081022-5			56	0.50	2.0	12,590	15.2	181.46	30.5	5534.5	2275	59,820	5	329.7	332.7	133.1
C-M13-250-081022-6			56	0.50	2.0	12,570	15.2	181.46	30.5	5534.5	2271	60,930	5	335.8		
C-M14-250-081024-1			7	0.50	2.0	12,465	15.1	179.08	30.6	5479.8	2275	39,970	5	223.2	214.2	85.7
C-M14-250-081024-2			7	0.50	2.0	12,520	15.2	181.46	30.6	5552.6	2255	37,230	5	205.2		
C-M14-250-081024-3			28	0.50	2.0	12,520	15.2	181.46	30.5	5534.5	2262	55,730	5	307.1	306.1	122.4
C-M14-250-081024-4			28	0.50	2.0	12,477	15.2	181.46	30.5	5534.5	2254	55,360	5	305.1		
C-M14-250-081024-5			56	0.50	2.0	12,492	15.2	181.46	30.5	5534.5	2257	59,910	5	330.2	326.0	130.4
C-M14-250-081024-6			56	0.50	2.0	12,472	15.2	181.46	30.5	5534.5	2254	58,390	5	321.8		
C-M15-250-081028-1			7	0.56	2.5	12,439	15.2	181.46	30.4	5516.3	2255	39,020	5	215.0	215.9	86.4
C-M15-250-081028-2			7	0.56	2.5	12,560	15.2	181.46	30.5	5534.5	2269	39,340	5	216.8		
C-M15-250-081028-3			28	0.56	2.5	12,536	15.2	181.46	30.6	5552.6	2258	54,100	4	298.1	301.7	120.7
C-M15-250-081028-4			28	0.56	2.5	12,642	15.2	181.46	30.6	5552.6	2277	55,400	5	305.3		
C-M15-250-081028-5			56	0.56	2.5	12,484	15.1	179.08	30.5	5461.9	2286	60,900	5	340.1	331.6	132.6
C-M15-250-081028-6			56	0.56	2.5	12,604	15.1	179.08	30.5	5461.9	2308	57,850	5	323.0		
C-M16-250-081031-1			7	0.57	3.0	12,418	15.2	181.46	30.5	5534.5	2244	32,910	5	181.4	184.1	73.7
C-M16-250-081031-2			7	0.57	3.0	12,497	15.2	181.46	30.7	5570.8	2243	33,920	5	186.9		
C-M16-250-081031-3			28	0.57	3.0	12,553	15.2	181.46	30.6	5552.6	2261	44,970	4	247.8	246.5	98.6
C-M16-250-081031-4			28	0.57	3.0	12,493	15.2	181.46	30.7	5570.8	2243	44,490	3	245.2		
C-M16-250-081031-5			56	0.57	3.0	12,455	15.1	179.08	30.4	5444.0	2288	49,960	4	279.0	286.6	114.6
C-M16-250-081031-6			56	0.57	3.0	12,490	15.0	176.71	30.5	5389.8	2317	52,000	3	294.3		
C-M17-250-081104-1			7	0.55	2.0	12,490	15.2	181.46	30.5	5534.5	2257	39,360	6	216.9	216.5	86.6
C-M17-250-081104-2			7	0.55	2.0	12,446	15.2	181.46	30.5	5534.5	2249	39,200	6	216.0		
C-M17-250-081104-3			28	0.55	2.0	12,455	15.2	181.46	30.5	5534.5	2250	55,820	5	307.6	306.2	122.5
C-M17-250-081104-4			28	0.55	2.0	12,510	15.2	181.46	30.6	5552.6	2253	55,310	5	304.8		
C-M17-250-081104-5			56	0.55	2.0	12,506	15.2	181.46	30.5	5534.5	2260	62,250	5	343.1	338.2	135.3
C-M17-250-081104-6			56	0.55	2.0	12,435	15.2	181.46	30.5	5534.5	2247	60,500	5	333.4		
C-M18-250-081107-1			7	0.49	2.0	12,523	15.2	181.46	30.5	5534.5	2263	40,630	5	223.9	216.6	86.6
C-M18-250-081107-2			7	0.49	2.0	12,532	15.2	181.46	30.7	5570.8	2250	37,980	5	209.3		
C-M18-250-081107-3			28	0.49	2.0	12,595	15.2	181.46	30.5	5534.5	2276	56,820	5	313.1	304.5	121.8
C-M18-250-081107-4			28	0.49	2.0	12,630	15.1	179.08	30.6	5479.8	2305	52,980	5	295.8		
C-M18-250-081107-5			56	0.49	2.0	12,585	15.5	188.69	30.5	5755.1	2187	63,040	5	334.1	340.2	136.1
C-M18-250-081107-6			56	0.49	2.0	12,640	15.3	183.85	30.6	5625.9	2247	63,670	5	346.3		

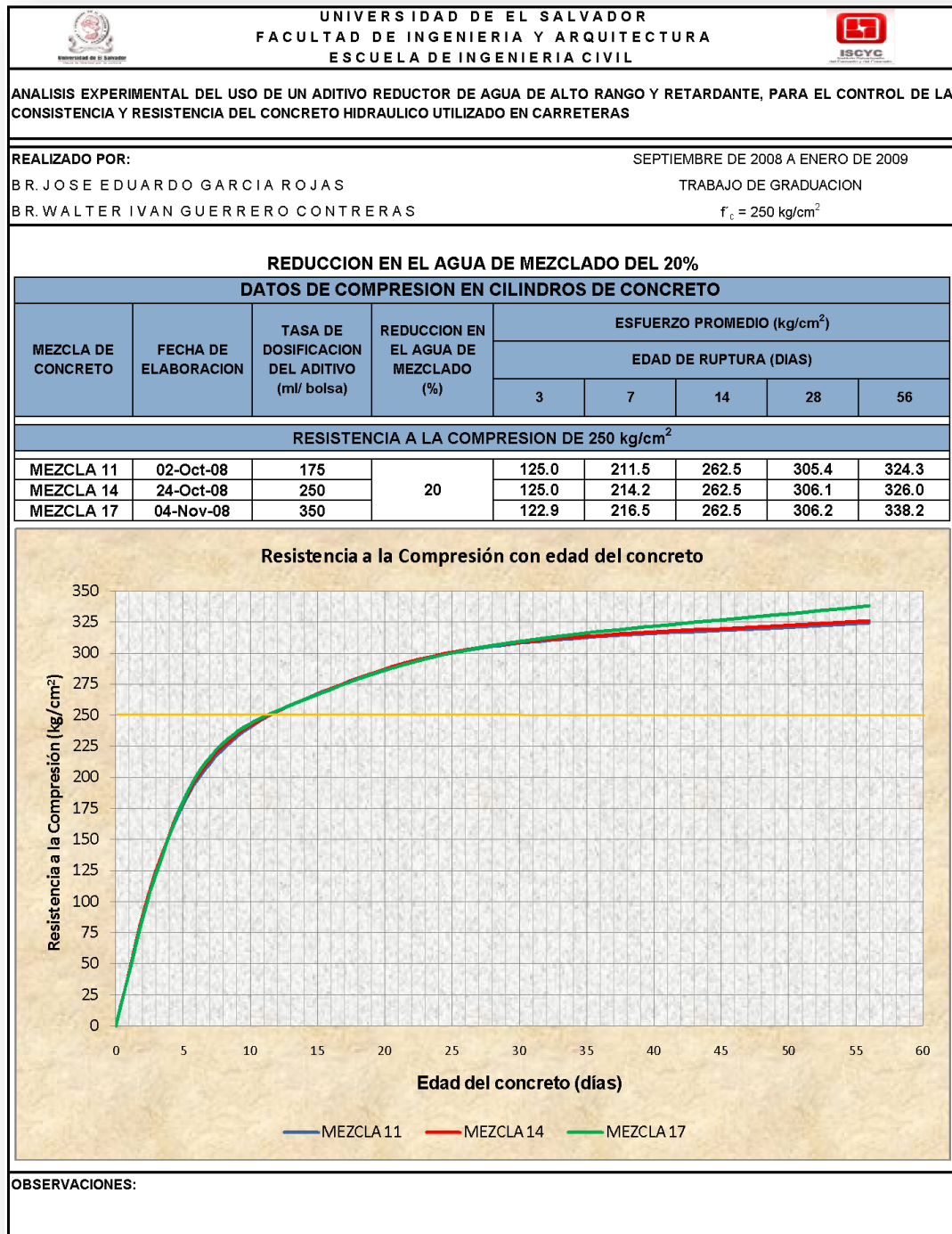
OBSERVACIONES:

Fuente: Los autores (2009).

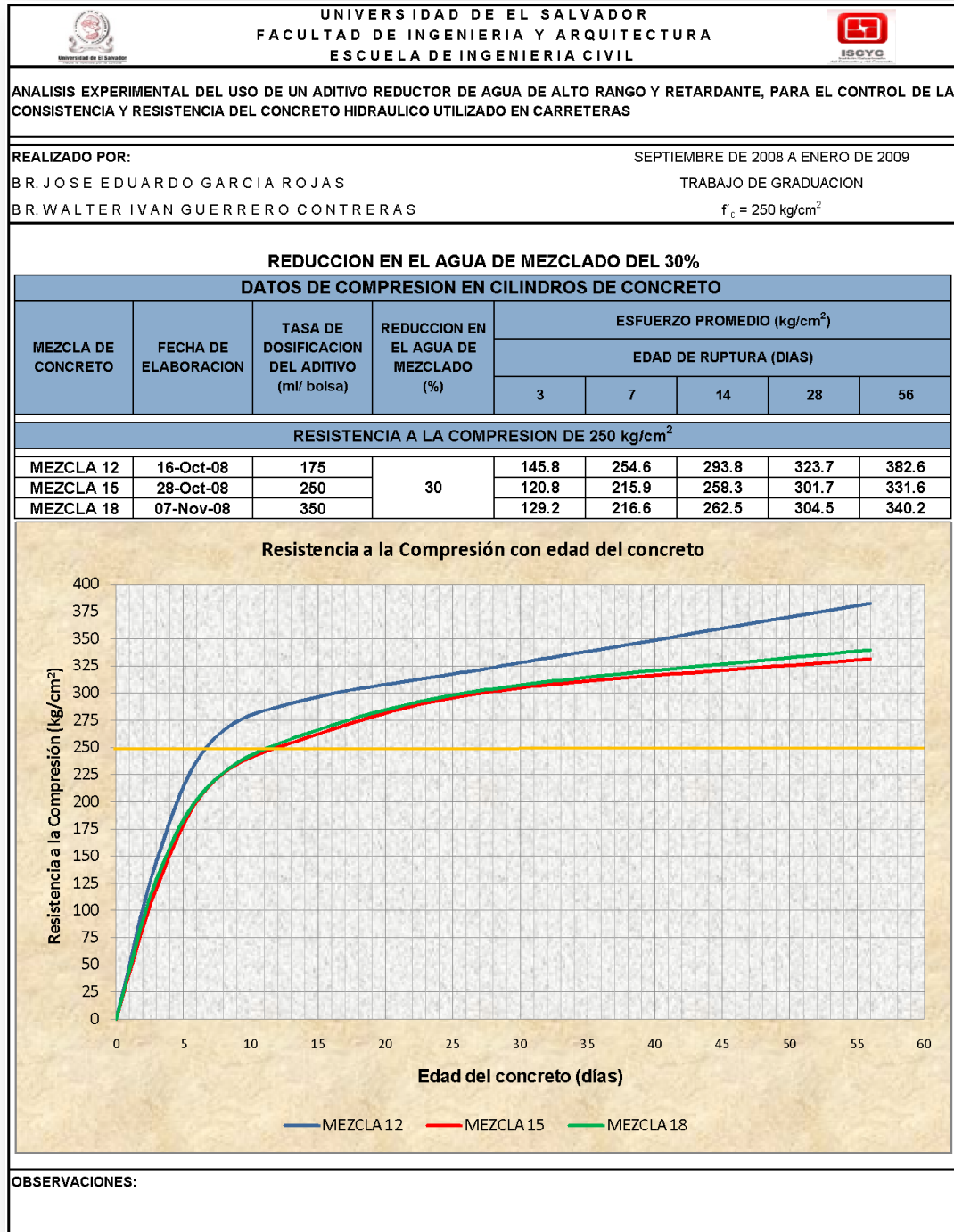
**Tabla 5.31:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.



**Tabla 5.32:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.



**Tabla 5.33:** Gráfico de Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.



En la Tabla 5.31, se muestra la tendencia de las curvas correspondientes a las mezclas 10, 13 y 16, las tres agrupadas para una reducción en el agua de mezclado del 12% y las tres dosificaciones del aditivo estudiadas (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento), en donde, resaltó el comportamiento de la mezcla 16 ( $M_{16}$ ), cuyo resultado de Resistencia a la Compresion para 28 días de edad, fue el más bajo, con un valor de  $246.5 \text{ kg/cm}^2$ , sobrepasando la resistencia especificada ( $250 \text{ kg/cm}^2$ ), a la edad de 56 días ( $286.6 \text{ kg/cm}^2$ ). Esta mezcla, por sus características, debió haber presentado resultados mayores que las mezclas 10 y 13 ( $M_{10}$  y  $M_{13}$ ), con resistencias a compresión a los 28 días de  $292.9$  y  $306.4 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. Las variables que ocasionaron dicho comportamiento, fueron: la adición de 800 ml de agua, la relación agua/cemento (A/C) de 0.57 y el revenimiento de 3.00 pulgadas.

En la Tabla 5.32, se puede observar la tendencia de las curvas generadas por los resultados de las mezclas 11, 14 y 17, las cuales, han sido agrupadas para una reducción en el agua de mezclado del 20% y las tres tasas de dosificación del aditivo estudiadas (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento). Es de mencionar, que éstas no presentaron una variación significativa (una con respecto a otra) en su comportamiento, obteniendo resultados de resistencia a compresion a 28 días de  $305.4$ ,  $306.1$  y  $306.2 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. Las variables de dichas mezclas se mantuvieron relativamente constantes, presentando relaciones agua/cemento (A/C) de 0.52, 0.50 y 0.55, y valores de revenimientos de 2.25, 2.00 y 2.00 pulgadas, respectivamente.

En la Tabla 5.33, se muestra el comportamiento de las curvas generadas por las mezclas 12, 15 y 18, las tres con una reducción en el agua de mezclado del 30% y con las tres dosificaciones del aditivo en estudio (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento). Las variables que influenciaron el elevado comportamiento de la Resistencia a Compresión a 28 días de la mezcla 12 ( $M_{12}$ ) ( $323.7 \text{ kg/cm}^2$ ), en comparación con la mezcla 15 ( $M_{15}$ ) ( $301.7 \text{ kg/cm}^2$ ) y la mezcla 18 ( $M_{18}$ ) ( $304.5 \text{ kg/cm}^2$ ), fueron: el revenimiento de 2.25 pulgadas, la relación agua/cemento (A/C) de 0.44 (la más baja para la elaboración de cilindros).

**Tabla 5.34:** Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Compresión (210 kg/cm<sup>2</sup>), en cilindros de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>								
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 1 / 2					
<b>ENSAYO:</b>			COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO					
<b>NORMA:</b>			ASTM C39/C39M-01					
DATOS DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO EN kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DE RUPTURA (DIAS)				
				3	7	14	28	56
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm <sup>2</sup>								
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	87.5	154.8	199.6	249.6	295.1
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	91.7	151.6	195.8	252.3	296.4
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	93.8	159.4	208.3	263.8	306.5
<b>PROMEDIO (M<sub>1</sub> a M<sub>3</sub>)</b>				<b>91.0</b>	<b>155.3</b>	<b>201.2</b>	<b>255.2</b>	<b>299.3</b>
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	91.7	155.3	199.2	250.9	297.8
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	91.7	158.2	204.2	253.0	299.5
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	104.2	183.4	231.3	282.3	316.2
<b>PROMEDIO (M<sub>4</sub> a M<sub>6</sub>)</b>				<b>95.9</b>	<b>165.6</b>	<b>211.6</b>	<b>262.1</b>	<b>304.5</b>
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	91.7	154.0	179.2	199.1	248.0
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	95.8	164.6	208.3	257.4	300.3
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	120.8	201.2	247.9	293.4	326.9
<b>PROMEDIO (M<sub>7</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>102.8</b>	<b>173.3</b>	<b>211.8</b>	<b>250.0</b>	<b>291.7</b>
<b>NUMERO DE DATOS (n) (M<sub>1</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>
<b>PROMEDIO ( <math>\bar{x}</math> ) (M<sub>1</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>96.0</b>	<b>163.9</b>	<b>207.9</b>	<b>256.3</b>	<b>299.1</b>
<b>DESVIACION ESTANDAR (S) (M<sub>1</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>9.3</b>	<b>15.2</b>	<b>18.3</b>	<b>23.5</b>	<b>19.5</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACION (CV) (M<sub>1</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>9.7%</b>	<b>9.3%</b>	<b>8.8%</b>	<b>9.2%</b>	<b>6.5%</b>
<b>% DE RESISTENCIA (f'<sub>c</sub>) (M<sub>1</sub> a M<sub>9</sub>)</b>				<b>45.7%</b>	<b>78.1%</b>	<b>99.0%</b>	<b>122.0%</b>	<b>142.4%</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>								

**Tabla 5.35:** Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Compresión ( $250 \text{ kg/cm}^2$ ), en cilindros de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 2 / 2				
<b>ENSAYO:</b>				COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO				
<b>NORMA:</b>				ASTM C39/C39M-01				
DATOS DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO EN $\text{kg/cm}^2$								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DE RUPTURA (DIAS)				
				3	7	14	28	56
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE $250 \text{ kg/cm}^2$								
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	125.0	210.4	250.8	292.2	323.4
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	125.0	211.5	262.5	305.4	324.3
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	145.8	254.6	293.8	323.7	382.6
<b>PROMEDIO (<math>M_{10}</math> a <math>M_{12}</math>)</b>				<b>131.9</b>	<b>225.5</b>	<b>269.0</b>	<b>307.1</b>	<b>343.4</b>
MEZCLA 13	22-Oct-08	250	12	129.2	221.8	266.7	306.4	332.7
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	125.0	214.2	262.5	306.1	326.0
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	120.8	215.9	258.3	301.7	331.6
<b>PROMEDIO (<math>M_{13}</math> a <math>M_{16}</math>)</b>				<b>125.0</b>	<b>217.3</b>	<b>262.5</b>	<b>304.7</b>	<b>330.1</b>
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	108.3	184.1	218.8	246.5	286.6
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	122.9	216.5	262.5	306.2	338.2
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	129.2	216.6	262.5	304.5	340.2
<b>PROMEDIO (<math>M_{16}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>120.1</b>	<b>205.7</b>	<b>247.9</b>	<b>285.7</b>	<b>321.7</b>
<b>NUMERO DE DATOS (n) (<math>M_{10}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>
<b>PROMEDIO (<math>\bar{x}</math>) (<math>M_{10}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>126.2</b>	<b>217.1</b>	<b>260.9</b>	<b>300.4</b>	<b>332.6</b>
<b>DESVIACION ESTANDAR (S) (<math>M_{10}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>9.0</b>	<b>16.4</b>	<b>17.5</b>	<b>19.3</b>	<b>22.4</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACION (CV) (<math>M_{10}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>7.1%</b>	<b>7.5%</b>	<b>6.7%</b>	<b>6.4%</b>	<b>6.7%</b>
<b>% DE RESISTENCIA (<math>f'_c</math>) (<math>M_{10}</math> a <math>M_{18}</math>)</b>				<b>50.5%</b>	<b>86.9%</b>	<b>104.4%</b>	<b>120.2%</b>	<b>133.1%</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>								

Debido a que los valores de Resistencia a la Compresión obtenidos, cuando se ensayan un número considerable de especímenes, son variables y muestran una dispersión cercana con respecto a la resistencia promedio ( $\bar{X}$ ), se hace necesario, realizar un análisis estadístico. La variabilidad en los resultados depende de algunos factores, entre los cuales, se destacan: 1) las variaciones en los materiales empleados, 2) los procedimientos de muestreo, 3) el proporcionamiento de los materiales, 4) la tasa de dosificación del aditivo, 5) la reducción en el agua de mezclado, 6) la forma de elaboración de los especímenes y 7) las alteraciones en el ensayo de compresión.

La información recopilada del ensayo a compresión, fue utilizada en el cálculo del promedio de los resultados ( $\bar{X}$ ), la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV), con el objetivo de analizar los datos y reconocer, los posibles valores anómalos. Así como también, este análisis tuvo la finalidad de obtener, el valor real de desviación estándar (S) y compararlo, con el dato que se utilizó en el PASO II “ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO” de la etapa de diseño de las mezclas.

Al realizar el análisis estadístico de la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>, la desviación estándar (S) a los 28 y 56 días, resultó ser de 26.2 y 21.7 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tabla 5.33), mientras que para las nueve mezclas diseñadas para 250 kg/cm<sup>2</sup>, estos valores fueron de 21.4 y 24.7 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tabla 5.34). Lo cual indica, que la calidad de los resultados es aceptable, ya que en la etapa de diseño, se asumió un valor de desviación estándar (S) de 25 kg/cm<sup>2</sup> y al comparar éste con respecto a los obtenidos mediante el ensayo, la diferencia fue mínima. El hecho de tener resultados de desviación estándar (S) altos, puede justificarse en parte, por solo haber analizado, dos cilindros de concreto a cada edad, para cada mezcla elaborada.

Las resistencias a la compresión de los especímenes cilíndricos, mostraron una tendencia ascendente en todas sus edades, ya que sus resultados (Véase Tabla 5.29) cumplieron con el criterio de aceptación establecido en el Capítulo 5 del Comité ACI 318, En

donde se establece que ningún resultado individual del ensayo, realizado con dos cilindros, debe ser inferior al resultado de la resistencia especificada a la compresión de diseño ( $f'_c$ ), en más de  $35 \text{ kg/cm}^2$ . Lo cual, puede establecer que el control, en cuanto a las propiedades del concreto, los métodos de elaboración y el ensayo de los espécimenes de prueba (cilindros), tuvieron poca variabilidad, a tal punto que influyeran en los resultados de resistencia.

Los porcentajes de Resistencia a la Compresión (reales) obtenidos, considerando  $210 \text{ kg/cm}^2$  como el 100% a la edad de 28 días, para las primeras nueve mezclas y  $250 \text{ kg/cm}^2$ , para las nueve restantes, se presentan a continuación, en la Tabla 5.36:

**Tabla 5.36:** Porcentaje de Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) obtenido a cada edad.

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
	210 $\text{kg/cm}^2$	250 $\text{kg/cm}^2$
3 DIAS	46.0%	50.3%
7 DIAS	78.4%	86.5%
14 DIAS	99.1%	103.9%
28 DIAS	121.8%	119.7%
56 DIAS	142.2%	132.7%

Fuente: Los autores (2009).

Hubo casos en los que algunos resultados mostraron comportamientos anómalos, como los correspondientes a las edades de 28 días de la mezcla 7 y 12 ( $M_7$  y  $M_{12}$ ), los cuales, se alejaron del promedio de Resistencia a la Compresión ( $\bar{X}$ ), en  $56.5$  y  $24.5 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente (Véase Tablas 5.34 y 5.35), debiéndose probablemente, a las deficiencias que contrajeron al momento de su elaboración.

Finalmente, el tipo de falla que los cilindros de concreto presentaron, luego de su ruptura, fueron en la mayoría de los casos del TIPO 5 (Véase Figura 5.3), la cual, presenta fracturas laterales en la parte superior o en el fondo y ocurre comúnmente, cuando se usan tapas no adheridas de neopreno, como fue el caso en esta investigación. Aunque en algunos

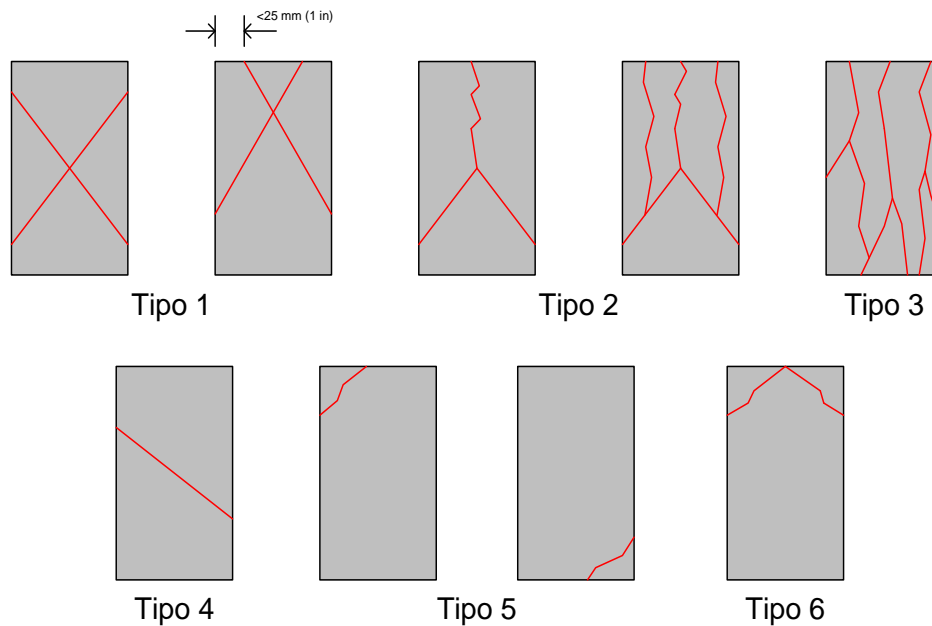
casos, los especímenes presentaron fallas de TIPO 3, TIPO 4 o TIPO 6 (Véase Figuras 5.3 y 5.4).

**Figura 5.3:** Fallas observadas en los especímenes de prueba a compresión.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

**Figura 5.4:** Tipos de fallas en especímenes cilíndricos de concreto.



**Figura tomada de:** Norma ASTM C39.

### 5.3.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXION OBTENIDA A DIFERENTES EDADES

Para el ensayo de flexión en viguetas, se estableció utilizar el método de aplicación de carga en los dos tercios medios del claro (L), descrito por la norma ASTM C78, debido a que en esta condición de carga, todo el tercio central del espécimen queda sometido al momento máximo de flexión ( $M_{m\acute{a}x}$ ) y a su correspondiente esfuerzo máximo, creando un estado constante de esfuerzo que da oportunidad, para que la falla ocurra dentro de este tramo central (Véase Figura 5.5).

**Figura 5.5:** Diagramas de Cuerpo Libre, Fuerza Cortante y Momento Flector de la vigueta, con sus respectivas fórmulas, para el cálculo del Módulo de Ruptura (MR).

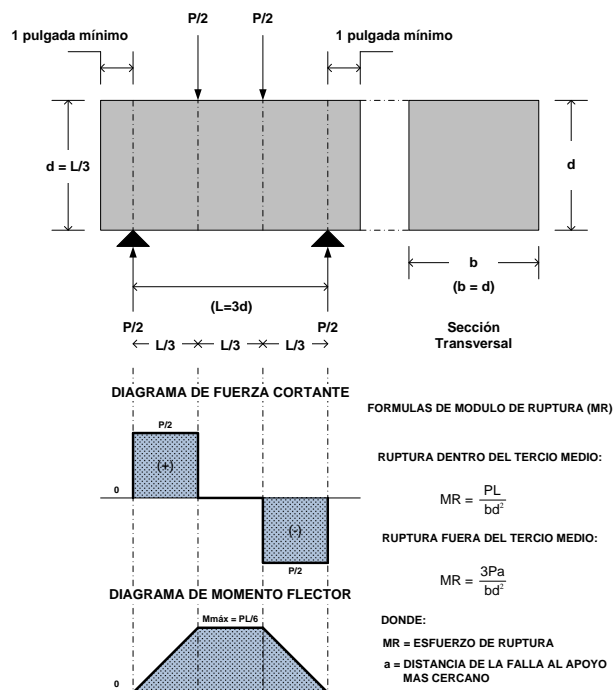


Figura tomada de: Folletos de clase de la materia "Tecnología del Concreto". UES (2007).

En tal sentido, las fallas observadas en las viguetas de prueba para todas las mezclas, ocurrieron en los tramos centrales de las mismas (Véase Figura 5.6), satisfaciendo con ello, el requisito para la "zona de aceptación", en función de la parte central en donde ocurre la fractura. La zona de aceptación, corresponde al tercio medio del claro ( $L/3$ ) más el cinco por ciento del

valor de la longitud del claro ( $0.05 L$ ), medido desde cada uno de los puntos de aplicación de la mitad de la carga ( $P/2$ ) (Véase Figura 5.7).

Figura 5.6: Fallas observadas en los espécimenes de prueba a flexión.



Fotografía tomada en: Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

Figura 5.7: Condición de carga de la vigueta y zonas de rechazo de prueba.

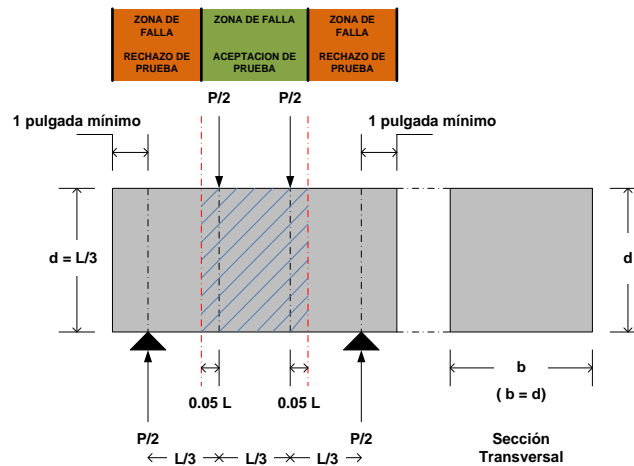


Figura tomada de: Folletos de clase de la materia "Tecnología del Concreto". UES (2007).

Los módulos de ruptura (MR) que se estudiaron, para verificar las influencia del aditivo Tipo G, fueron de  $34 \text{ kg/cm}^2$ , para las primeras nueve mezclas y de  $37 \text{ kg/cm}^2$ , para las nueve restantes. Además, se elaboraron seis viguetas de concreto por cada mezcla; ensayando dos viguetas para cada edad en estudio. Los resultados obtenidos del ensayo a la flexión en los diferentes espécimenes de prueba (viguetas), a edades de 7, 28 y 56 días, se muestran a continuación, en las Tablas 5.37 y 5.40.

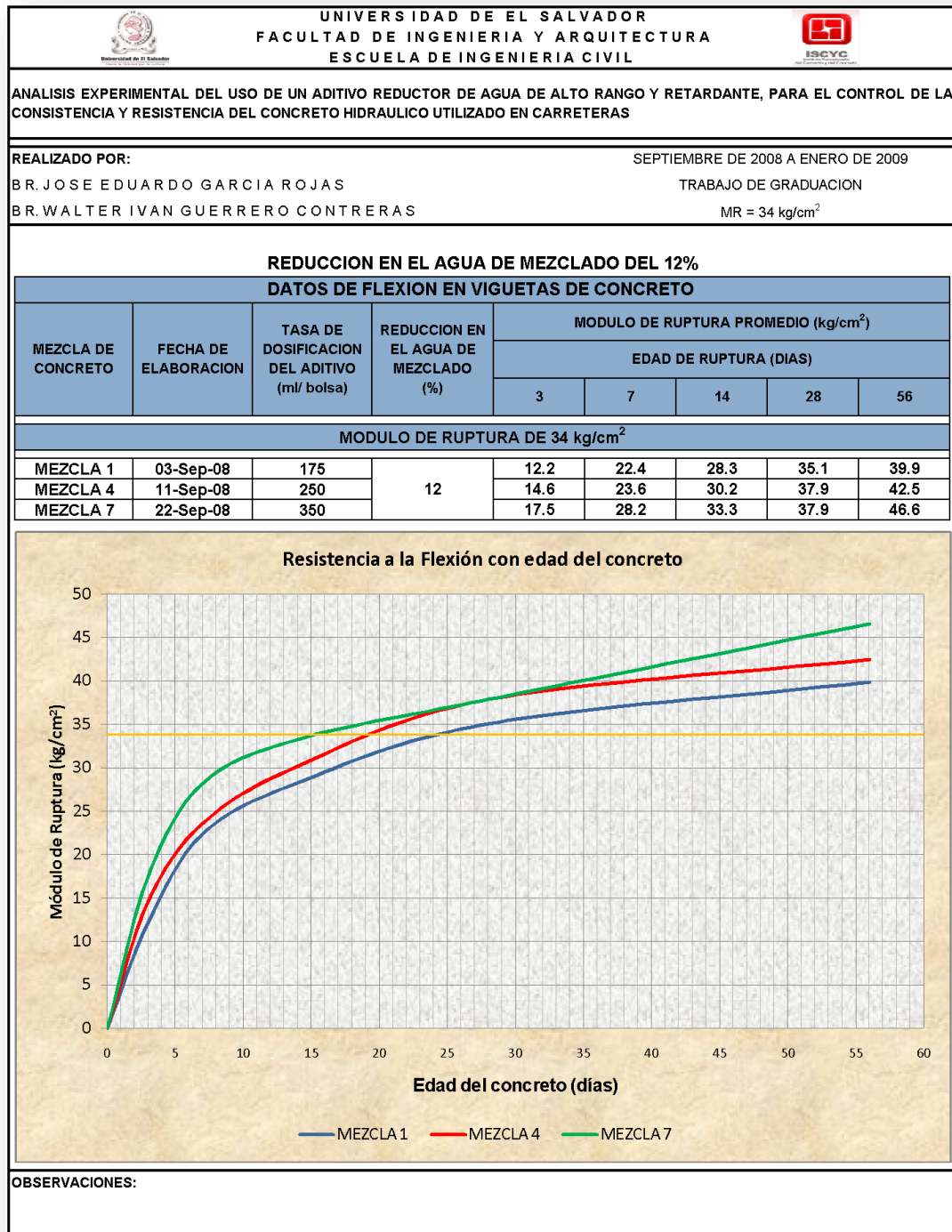
Tabla 5.37: Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm<sup>2</sup>, en viguetas de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL												
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS												
FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO SEGUN LA NORMA ASTM C78-02												
DATOS DEL CONCRETO:												
MR (diseño): 34 (kg/cm <sup>2</sup> )			Realizó: José Eduardo García y Walter Iván Guerrero				Fecha: Septiembre de 2008 a Enero de 2009					
Vigüeta	Reducción de agua (%)	Tasa de Dosisificación (ml/bolsa)	Edad (Días)	Relación Agua/Cemento (A/C)	Revenimiento (Pulgadas)	Claro (L) (cm)	Ancho (b) (cm)	Profundidad (d) (cm)	Carga (Kg)	MR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MR Prom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de MR
V-M1-34-080903-1	12	175	7	0.75	2.8	45.7	15.4	15.3	1,820	23.1	22.4	65.9
V-M1-34-080903-2			7	0.75	2.8	45.7	15.3	15.3	1,700	21.7		
V-M1-34-080903-3			28	0.75	3.3	45.7	15.5	15.5	3,050	37.4	35.1	103.2
V-M1-34-080903-4			28	0.75	3.3	45.7	15.4	15.5	2,650	32.7		
V-M1-34-080903-5			56	0.72	3.0	45.7	15.4	15.5	2,940	36.3	39.9	117.3
V-M1-34-080903-6			56	0.72	3.0	45.7	15.3	15.3	3,400	43.4		
V-M2-34-080905-1	20	175	7	0.53	2.0	45.7	15.3	15.5	1,980	24.6	24.5	72.0
V-M2-34-080905-2			7	0.53	2.0	45.7	15.4	15.5	1,970	24.3		
V-M2-34-080905-3			28	0.50	2.5	45.7	15.5	15.3	3,100	39.1	35.4	104.1
V-M2-34-080905-4			28	0.50	2.5	45.7	15.3	15.5	2,550	31.7		
V-M2-34-080905-5			56	0.57	2.0	45.7	15.3	15.3	3,530	45.1	42.7	125.6
V-M2-34-080905-6			56	0.57	2.0	45.7	15.4	15.1	3,100	40.4		
V-M3-34-080909-1	30	175	7	0.68	2.3	45.7	15.3	15.4	1,990	25.1	25.2	74.2
V-M3-34-080909-2			7	0.68	2.3	45.7	15.4	15.4	2,030	25.4		
V-M3-34-080909-3			28	0.71	2.8	45.7	15.5	15.4	2,600	32.3	34.9	102.7
V-M3-34-080909-4			28	0.71	2.8	45.7	15.5	15.1	2,900	37.5		
V-M3-34-080909-5			56	0.64	3.0	45.7	15.5	15.2	3,760	48.0	42.7	125.6
V-M3-34-080909-6			56	0.64	3.0	45.7	15.5	15.2	2,930	37.4		
V-M4-34-080911-1	12	250	7	0.55	2.5	45.7	15.3	15.2	1,710	22.1	23.6	69.5
V-M4-34-080911-2			7	0.55	2.5	45.7	15.4	15.3	1,980	25.1		
V-M4-34-080911-3			28	0.55	3.0	45.7	15.6	15.4	3,000	37.1	37.9	111.4
V-M4-34-080911-4			28	0.55	3.0	45.7	15.5	15.5	3,150	38.7		
V-M4-34-080911-5			56	0.58	2.0	45.7	15.4	15.1	3,190	41.5	42.5	125.0
V-M4-34-080911-6			56	0.58	2.0	45.7	15.3	15.2	3,360	43.5		
V-M5-34-080916-1	20	250	7	0.55	2.0	45.7	15.4	15.3	2,100	26.6	25.6	75.2
V-M5-34-080916-2			7	0.55	2.0	45.7	15.4	15.4	1,960	24.5		
V-M5-34-080916-3			28	0.50	2.3	45.7	15.3	15.3	2,800	35.7	35.5	104.5
V-M5-34-080916-4			28	0.50	2.3	45.7	15.2	15.3	2,750	35.3		
V-M5-34-080916-5			56	0.50	2.3	45.7	15.6	15.5	3,550	43.3	45.0	132.3
V-M5-34-080916-6			56	0.50	2.3	45.7	15.5	15.4	3,750	46.6		
V-M6-34-080918-1	30	250	7	0.50	3.0	45.7	15.5	15.3	2,110	26.6	27.3	80.2
V-M6-34-080918-2			7	0.50	3.0	45.7	15.3	15.4	2,220	28.0		
V-M6-34-080918-3			28	0.52	2.0	45.7	15.3	15.3	3,170	40.5	37.7	110.8
V-M6-34-080918-4			28	0.52	2.0	45.7	15.3	15.3	2,730	34.8		
V-M6-34-080918-5			56	0.54	2.0	45.7	15.2	15.7	3,650	44.5	45.6	134.1
V-M6-34-080918-6			56	0.54	2.0	45.7	15.3	15.5	3,750	46.6		
V-M7-34-080922-1	12	350	7	0.48	3.0	45.7	15.3	15.5	2,200	27.4	28.2	82.9
V-M7-34-080922-2			7	0.48	3.0	45.7	15.3	15.5	2,330	29.0		
V-M7-34-080922-3			28	0.45	2.3	45.7	15.3	15.3	3,010	38.4	37.9	111.5
V-M7-34-080922-4			28	0.45	2.3	45.7	15.4	15.3	2,950	37.4		
V-M7-34-080922-5			56	0.50	2.0	45.7	15.5	15.0	3,550	46.5	46.6	136.9
V-M7-34-080922-6			56	0.50	2.0	45.7	15.5	15.1	3,600	46.6		
V-M8-34-080924-1	20	350	7	0.47	1.5	45.7	15.4	15.3	1,910	24.2	24.8	72.9
V-M8-34-080924-2			7	0.47	1.5	45.7	15.4	15.3	2,000	25.4		
V-M8-34-080924-3			28	0.49	2.0	45.7	15.3	15.4	3,480	43.8	42.0	123.5
V-M8-34-080924-4			28	0.49	2.0	45.7	15.3	15.1	3,060	40.1		
V-M8-34-080924-5			56	0.55	4.0	45.7	15.4	15.5	3,700	45.7	46.0	135.4
V-M8-34-080924-6			56	0.55	4.0	45.7	15.4	15.5	3,750	46.3		
V-M9-34-080926-1	30	350	7	0.47	3.0	45.7	15.7	15.2	2,340	29.5	29.0	85.4
V-M9-34-080926-2			7	0.47	3.0	45.7	15.6	15.5	2,340	28.5		
V-M9-34-080926-3			28	0.47	3.5	45.7	15.8	15.4	3,150	38.4	38.7	114.0
V-M9-34-080926-4			28	0.47	3.5	45.7	15.9	15.3	3,180	39.1		
V-M9-34-080926-5			56	0.42	3.8	45.7	15.5	15.8	3,740	44.2	44.4	130.5
V-M9-34-080926-6			56	0.42	3.8	45.7	15.5	15.7	3,720	44.5		

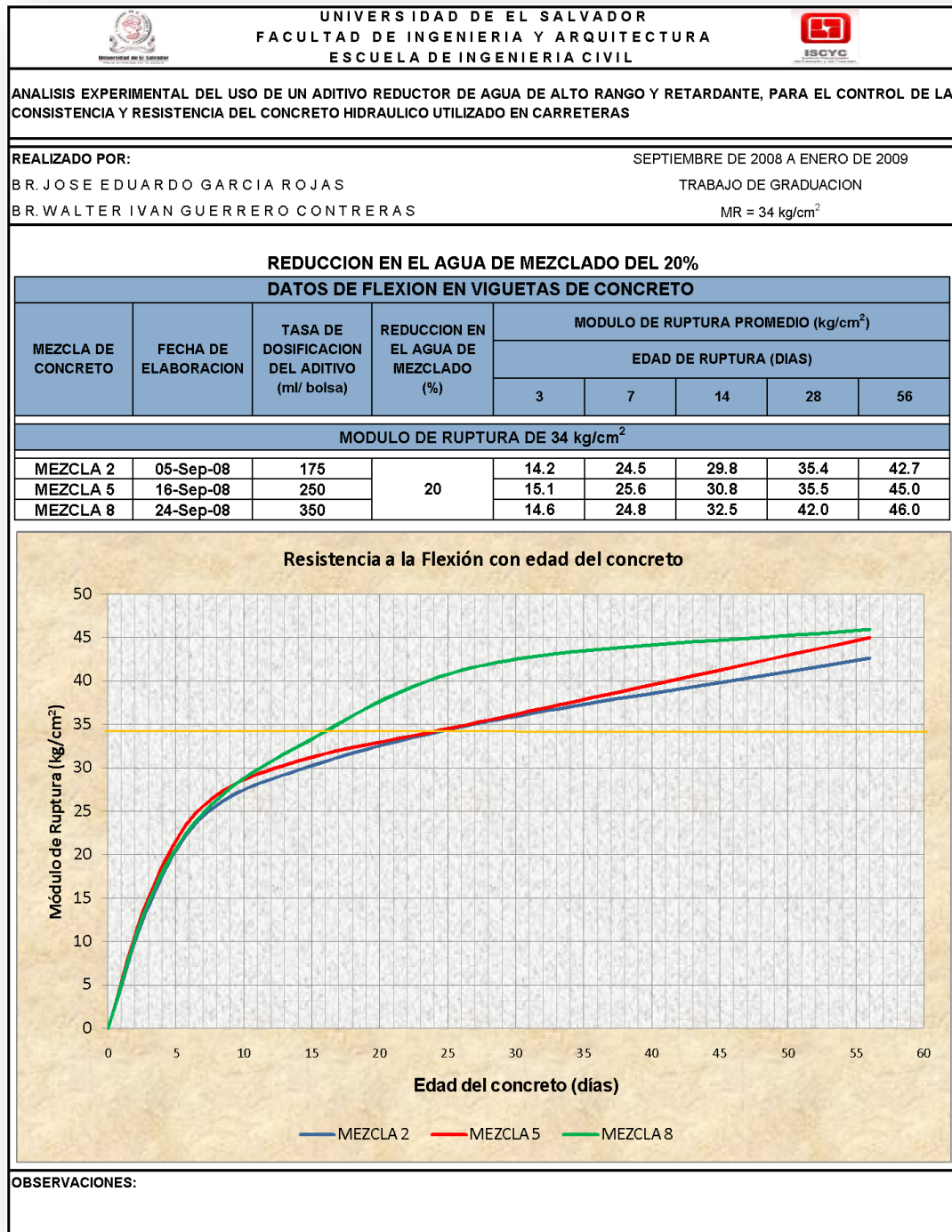
OBSERVACIONES

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.38:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.

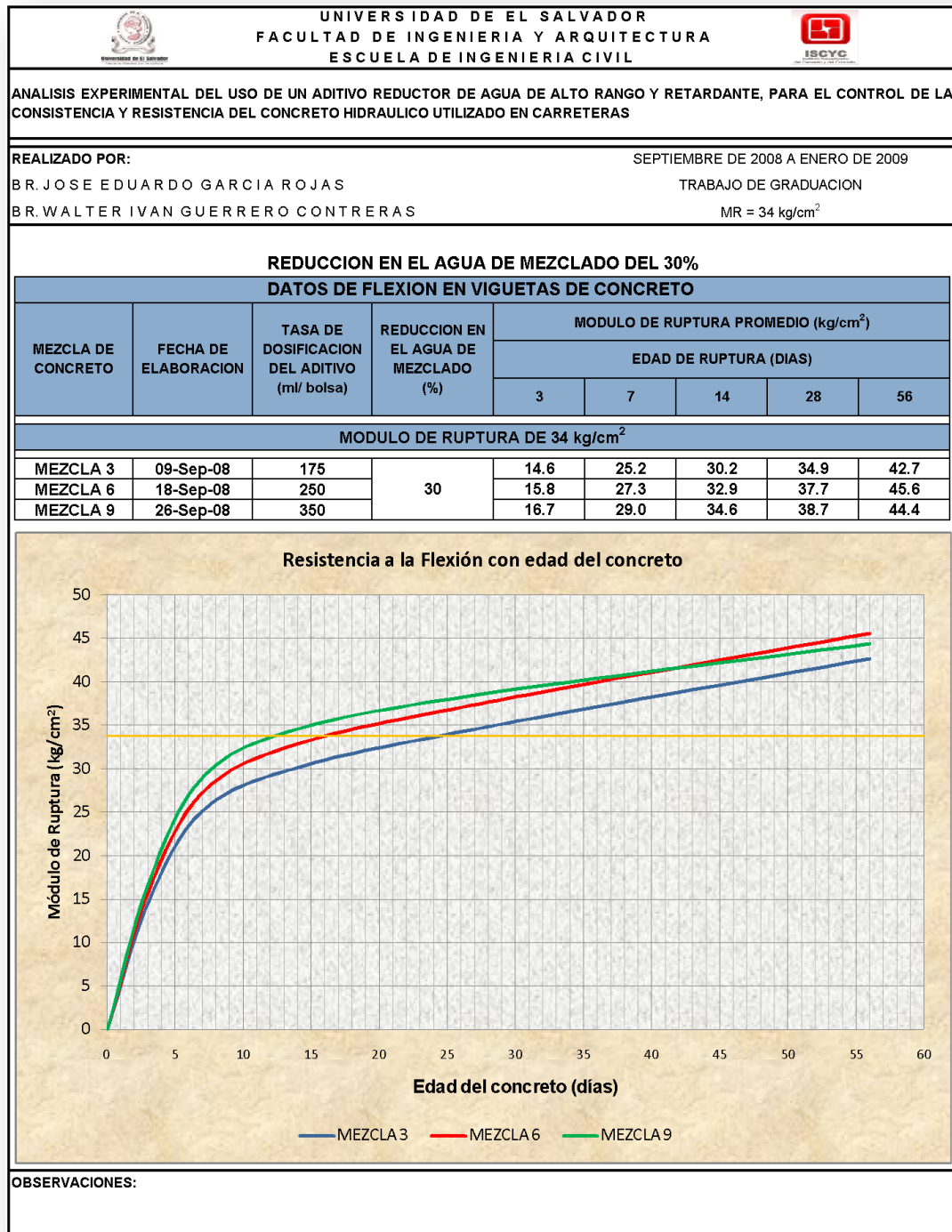


**Tabla 5.39:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.40:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 34 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.



En los gráficos mostrados en las Tablas 5.38, 5.39 y 5.40, se ilustra el comportamiento de las curvas “Módulo de Ruptura (MR) contra edad del concreto”, para las primeras nueve mezclas a edades de 7, 28 y 56 días. Cabe destacar, que se agruparon en familias de tres curvas, correspondientes a una misma reducción en el agua de mezclado y con las tres dosificaciones del aditivo en estudio (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento).

La tendencia de las curvas fue de tipo potencial, presentando un comportamiento ascendente una con respecto de otra, como era de esperarse, debido a las variaciones que presentaban cada una de las mezclas en su diseño (tasa de dosificación del aditivo y reducciones en el agua de mezclado).

Se puede observar, que todas las mezclas sobrepasaron la Resistencia a la Flexión especificada a la edad de 28 días ( $34 \text{ kg/cm}^2$ ), a pesar que en su elaboración, la relación agua/cemento (A/C) fue modificada, debido a los ajustes en el agua de mezclado.

El resultado más elevado, se obtuvo utilizando la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20% ( $M_8$ ), con un valor de  $42 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras que el menor resultado fue de  $34.9 \text{ kg/cm}^2$ , para la mezcla 3 ( $M_3$ ), elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30% (Véase Tablas 5.38 y 5.40).

Cabe destacar, que la bachada 5 ( $B_5$ ) de la mezcla 9 ( $M_9$ ), presentó un revenimiento de 4.00 pulgadas. Lo cual, generó que el resultado de Módulo de Ruptura (MR) alcanzado con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento, fuese menor que el obtenido con la misma reducción en el agua de mezclado (30%), pero con tasa de dosificación del aditivo menor (250 ml/bolsa de cemento) ( $M_6$ ) (Véase Tabla 5.40).

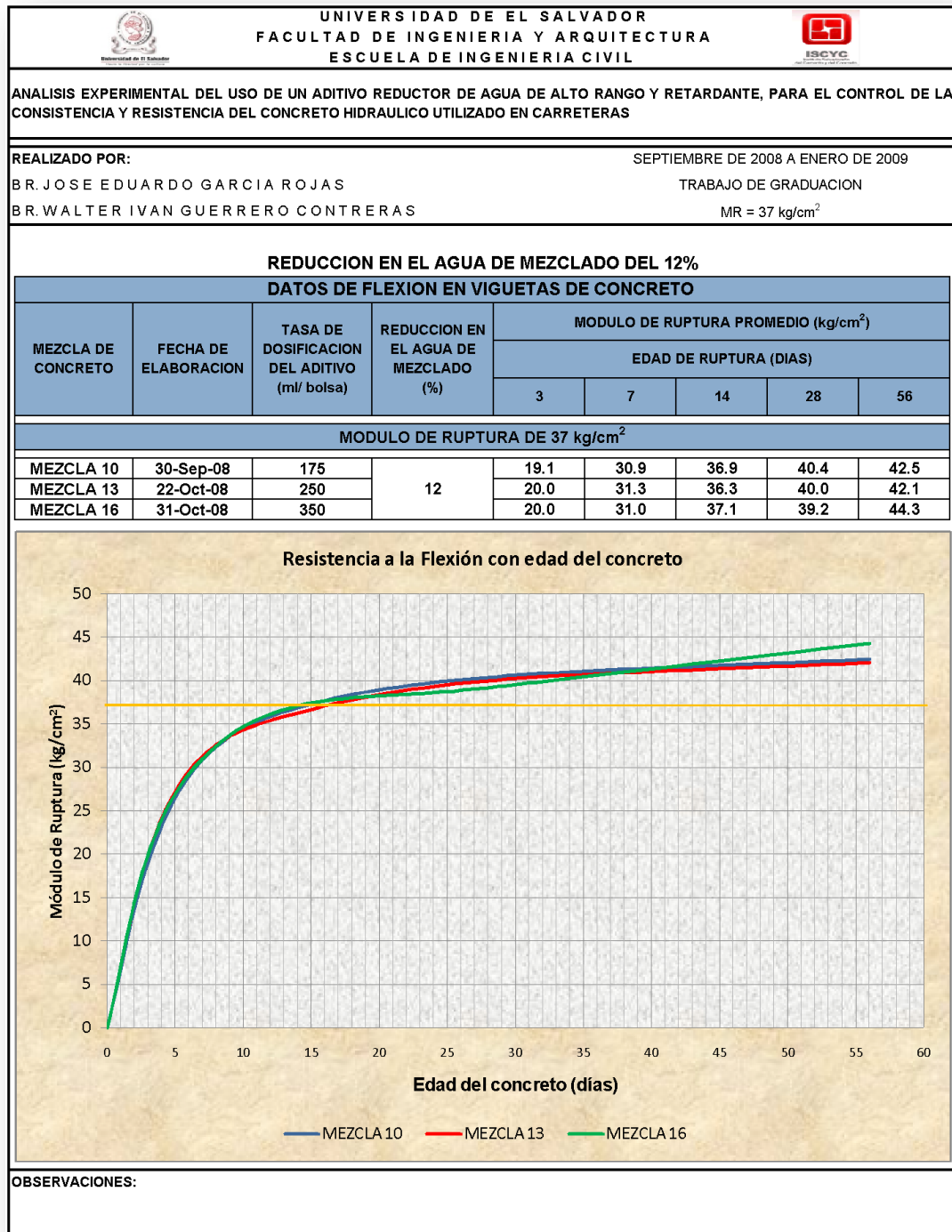
Tabla 5.41: Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm<sup>2</sup>, en viguetas de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL												
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS												
FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO SEGUN LA NORMA ASTM C78-02												
DATOS DEL CONCRETO:												
MR (diseño):		37 (kg/cm <sup>2</sup> )		Realizó: José Eduardo García y Walter Iván Guerrero				Fecha: Septiembre de 2008 a Enero de 2009				
Vigüeta	Reducción de agua	Tasa de Dosisificación	Edad	Relación Agua/Cemento	Revenimiento	Claro (L)	Ancho (b)	Profundidad (d)	Carga	MR	MR Prom.	% de MR
N°	(%)	(ml/bolsa)	(Dias)	(A/C)	(Pulgadas)	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	
V-M10-37-080930-1	12	175	7	0.50	2.3	45.7	15.5	15.3	2,470	31.1	30.9	83.6
V-M10-37-080930-2			7	0.50	2.3	45.7	15.6	15.5	2,520	30.7		
V-M10-37-080930-3			28	0.55	2.0	45.7	15.5	15.4	3,170	39.4	40.4	109.1
V-M10-37-080930-4			28	0.55	2.0	45.7	15.5	15.4	3,320	41.3		
V-M10-37-080930-5			56	0.53	1.8	45.7	15.3	15.1	3,330	43.6	42.5	114.8
V-M10-37-080930-6			56	0.53	1.8	45.7	15.3	15.1	3,150	41.3		
V-M11-37-081002-1	20	175	7	0.51	2.0	45.7	15.5	15.5	2,610	32.0	31.1	84.1
V-M11-37-081002-2			7	0.51	2.0	45.7	15.6	15.4	2,440	30.2		
V-M11-37-081002-3			28	0.51	2.5	45.7	15.5	15.0	3,230	42.3	41.9	113.2
V-M11-37-081002-4			28	0.51	2.5	45.7	15.6	15.3	3,310	41.4		
V-M11-37-081002-5			56	0.50	2.3	45.7	15.5	15.4	3,700	46.0	45.3	122.4
V-M11-37-081002-6			56	0.50	2.3	45.7	15.6	15.7	3,750	44.6		
V-M12-37-081016-1	30	175	7	0.47	2.0	45.7	15.5	15.3	2,730	34.4	31.6	85.5
V-M12-37-081016-2			7	0.47	2.0	45.7	15.7	15.4	2,350	28.9		
V-M12-37-081016-3			28	0.49	1.3	45.7	15.6	15.0	3,120	40.6	39.4	106.5
V-M12-37-081016-4			28	0.49	1.3	45.7	15.6	15.4	3,090	38.2		
V-M12-37-081016-5			56	0.49	2.5	45.7	15.5	15.3	3,460	43.6	43.8	118.3
V-M12-37-081016-6			56	0.49	2.5	45.7	15.7	15.3	3,530	43.9		
V-M13-37-081022-1	12	250	7	0.53	1.8	45.7	15.6	15.1	2,420	31.1	31.3	84.5
V-M13-37-081022-2			7	0.53	1.8	45.7	15.5	15.5	2,560	31.4		
V-M13-37-081022-3			28	0.54	2.3	45.7	15.6	15.3	3,150	39.4	40.0	108.0
V-M13-37-081022-4			28	0.54	2.3	45.7	15.6	15.2	3,190	40.5		
V-M13-37-081022-5			56	0.53	2.8	45.7	15.5	15.5	3,350	41.1	42.1	113.9
V-M13-37-081022-6			56	0.53	2.8	45.7	15.4	15.5	3,490	43.1		
V-M14-37-081024-1	20	250	7	0.50	2.0	45.7	15.4	15.4	2,530	31.7	32.7	88.3
V-M14-37-081024-2			7	0.50	2.0	45.7	15.5	15.3	2,670	33.6		
V-M14-37-081024-3			28	0.53	2.0	45.7	15.6	15.3	3,460	43.3	42.9	115.9
V-M14-37-081024-4			28	0.53	2.0	45.7	15.6	15.3	3,390	42.4		
V-M14-37-081024-5			56	0.50	2.3	45.7	15.5	15.3	3,670	46.2	46.2	125.0
V-M14-37-081024-6			56	0.50	2.3	45.7	15.6	15.5	3,790	46.2		
V-M15-37-081028-1	30	250	7	0.55	1.8	45.7	15.5	15.4	2,640	32.8	32.3	87.3
V-M15-37-081028-2			7	0.55	1.8	45.7	15.5	15.6	2,620	31.8		
V-M15-37-081028-3			28	0.55	4.0	45.7	15.3	15.3	3,090	39.4	39.4	106.6
V-M15-37-081028-4			28	0.55	4.0	45.7	15.3	15.2	3,050	39.4		
V-M15-37-081028-5			56	0.55	2.0	45.7	15.6	15.3	3,560	44.6	44.3	119.8
V-M15-37-081028-6			56	0.55	2.0	45.7	15.5	15.3	3,500	44.1		
V-M16-37-081031-1	12	350	7	0.53	2.3	45.7	15.5	15.4	2,500	31.1	31.0	83.9
V-M16-37-081031-2			7	0.53	2.3	45.7	15.6	15.5	2,540	31.0		
V-M16-37-081031-3			28	0.50	2.0	45.7	15.3	15.3	3,110	39.7	39.2	105.9
V-M16-37-081031-4			28	0.50	2.0	45.7	15.5	15.6	3,190	38.7		
V-M16-37-081031-5			56	0.52	2.3	45.7	15.3	15.1	3,410	44.7	44.3	119.7
V-M16-37-081031-6			56	0.52	2.3	45.7	15.4	15.1	3,370	43.9		
V-M17-37-081104-1	20	350	7	0.55	2.3	45.7	15.7	15.2	2,750	34.7	34.2	92.4
V-M17-37-081104-2			7	0.55	2.3	45.7	15.5	15.4	2,710	33.7		
V-M17-37-081104-3			28	0.55	2.8	45.7	15.5	15.5	3,400	41.7	42.7	115.4
V-M17-37-081104-4			28	0.55	2.8	45.7	15.5	15.4	3,510	43.7		
V-M17-37-081104-5			56	0.56	2.0	45.7	15.4	15.4	3,990	49.9	48.6	131.3
V-M17-37-081104-6			56	0.56	2.0	45.7	15.4	15.3	3,720	47.2		
V-M18-37-081107-1	30	350	7	0.48	2.0	45.7	15.5	15.4	2,570	32.0	33.3	89.9
V-M18-37-081107-2			7	0.48	2.0	45.7	15.5	15.2	2,710	34.6		
V-M18-37-081107-3			28	0.50	2.0	45.7	15.3	15.0	3,010	40.0	41.5	112.1
V-M18-37-081107-4			28	0.50	2.0	45.7	15.4	15.3	3,390	43.0		
V-M18-37-081107-5			56	0.54	2.5	45.7	15.5	15.4	3,670	45.6	45.3	122.5
V-M18-37-081107-6			56	0.54	2.5	45.7	15.5	15.4	3,620	45.0		

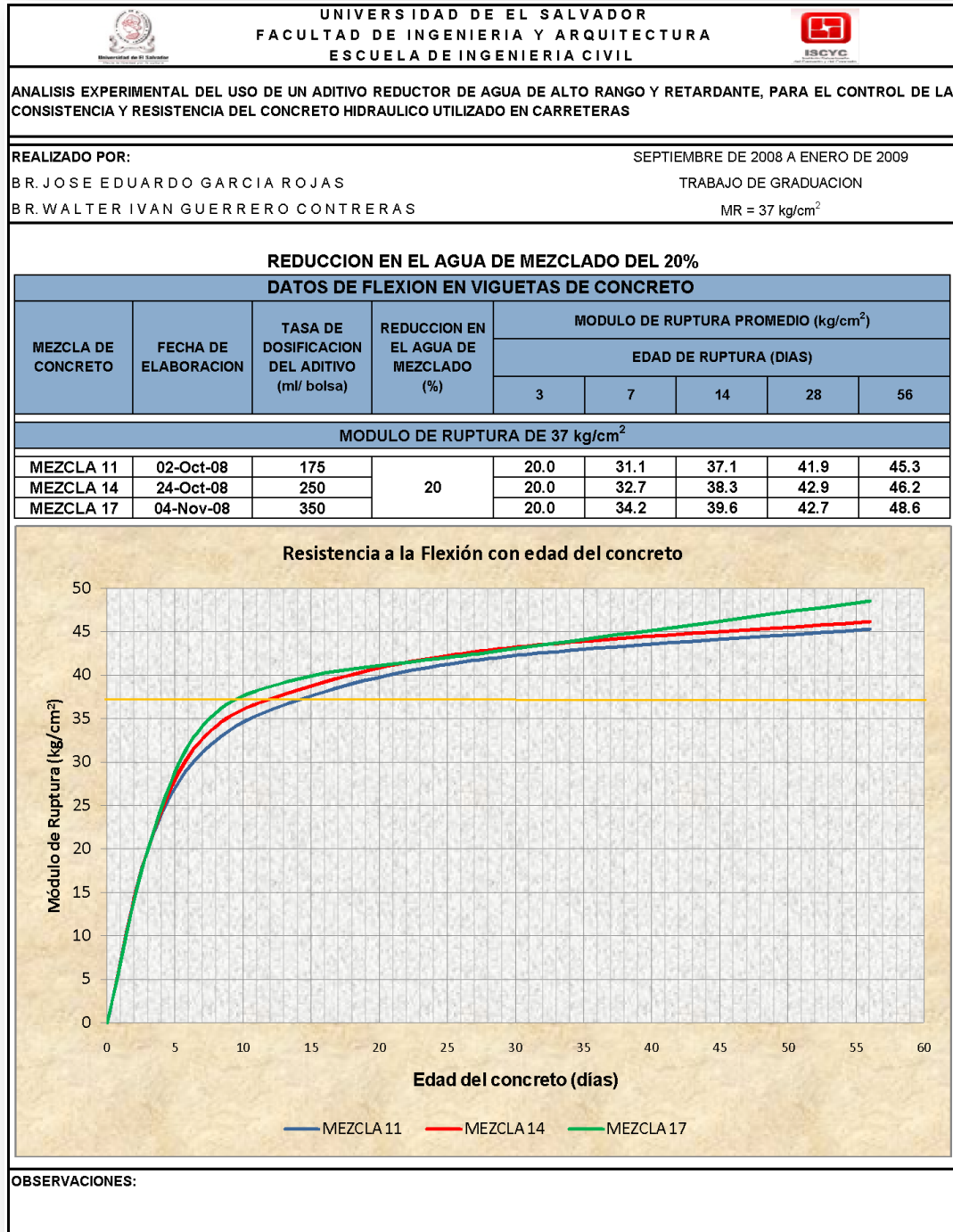
OBSERVACIONES

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.42:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 12%.

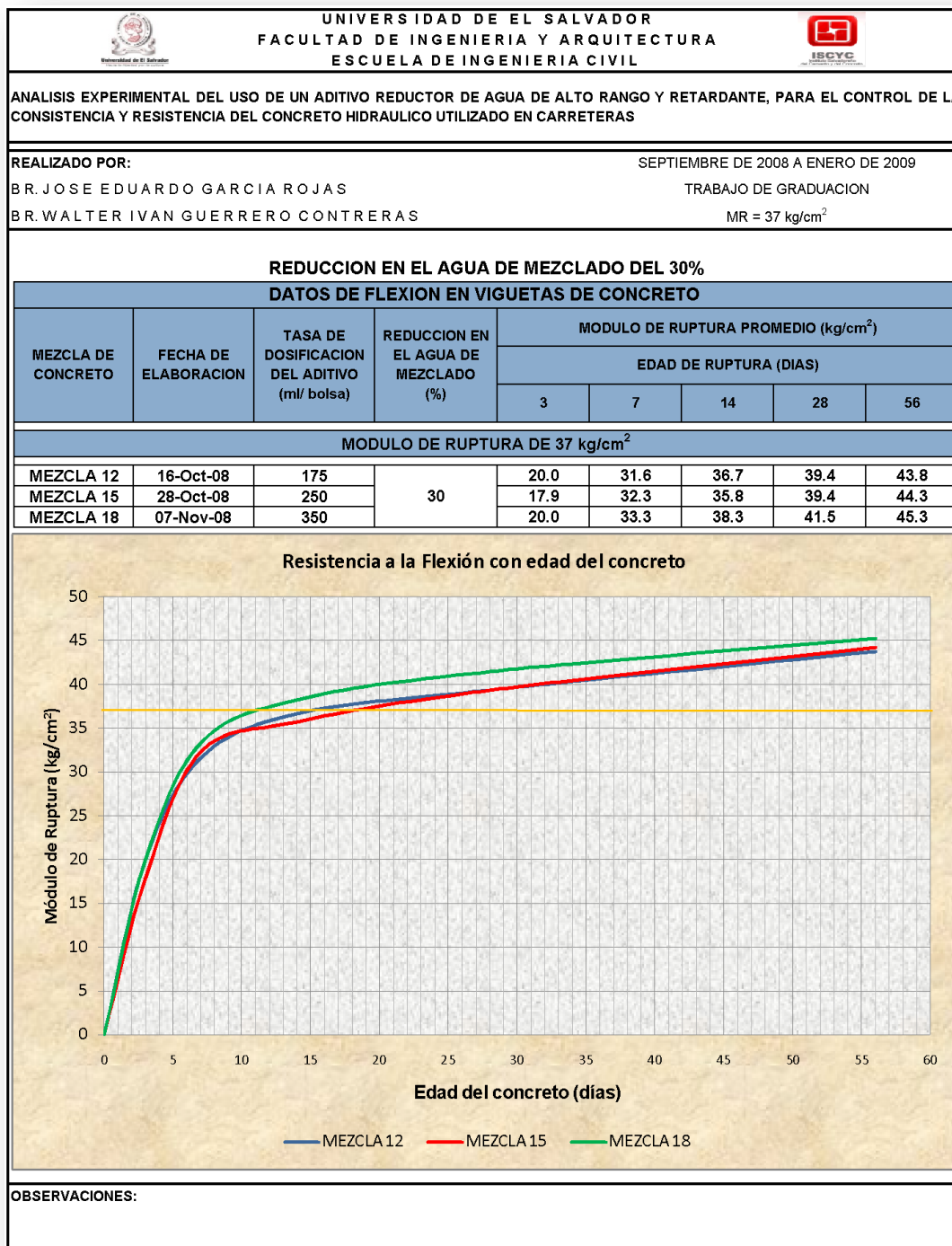


**Tabla 5.43:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 20%.



Fuente: Los autores (2009).

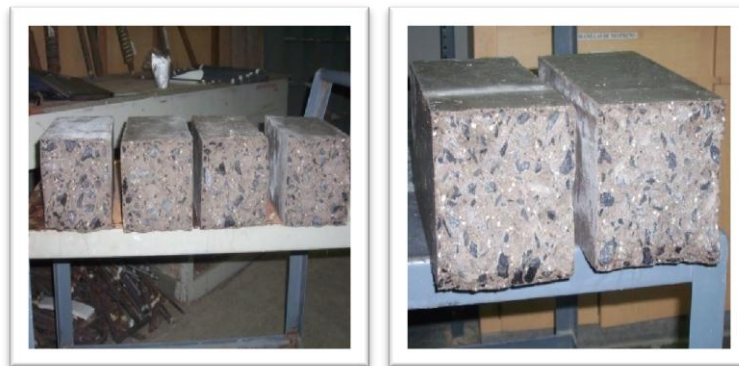
**Tabla 5.44:** Gráfico de Resistencia a la Flexión de 37 kg/cm<sup>2</sup>, para las mezclas con reducción en el agua de mezclado del 30%.



En los gráficos mostrados en las Tablas 5.42, 5.43 y 5.44, se ilustra el comportamiento de las curvas “Módulo de Ruptura (MR) contra edad del concreto”, para las nueve mezclas de concreto diseñadas para Módulo de Ruptura (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$  a edades de 7, 28 y 56 días. Se puede observar, que éstas presentaron una tendencia de tipo potencial, sin reflejar un incremento significativo de una mezcla con respecto de otra. Además, se cumplió con la resistencia especificada para la edad de 28 días ( $37 \text{ kg/cm}^2$ ). Es de hacer notar, que la mezcla 14 ( $M_{14}$ ), elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20%, alcanzó los resultados más elevados para la edad de 28 días, con un valor de Módulo de Ruptura (MR) de  $42.9 \text{ kg/cm}^2$ .



Con respecto a la ruptura de las viguetas, se observó que para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de  $34 \text{ kg/cm}^2$ , el agregado grueso dentro de la matriz de concreto se conservó intacto, a edades de 7 y 28 días, por lo que la resistencia fue aportada únicamente, por el mortero de la mezcla de concreto (Véase Figura 5.8). Caso contrario, sucedió con las viguetas diseñadas para Módulo de Ruptura (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$ , a edades de 28 y 56 días, ya que en este caso se apreció, la fractura del agregado grueso en la zona de falla, debido principalmente, al incremento en la cantidad de cemento utilizada, para la elaboración de estas mezclas.

**Figura 5.8:** Ruptura de agregado grueso, en la zona de falla de la vigueta.



**Fotografía tomada en:** Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán.

Tabla 5.45: Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Flexión (34 kg/cm<sup>2</sup>), en viguetas de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL				
									
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS					SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 1 / 2				
ENSAYO:					FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO				
NORMA:					ASTM C78-02				
DATOS DE FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO EN kg/cm <sup>2</sup>									
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DE RUPTURA (DIAS)					
				3	7	14	28	56	
MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm <sup>2</sup>									
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	12.2	22.4	28.3	35.1	39.9	
MEZCLA 2	05-Sep-08		20	14.2	24.5	29.8	35.4	42.7	
MEZCLA 3	09-Sep-08		30	14.6	25.2	30.2	34.9	42.7	
PROMEDIO (M <sub>1</sub> a M <sub>3</sub> )				13.7	24.0	29.4	35.1	41.8	
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12	14.6	23.6	30.2	37.9	42.5	
MEZCLA 5	16-Sep-08		20	15.1	25.6	30.8	35.5	45.0	
MEZCLA 6	18-Sep-08		30	15.8	27.3	32.9	37.7	45.6	
PROMEDIO (M <sub>4</sub> a M <sub>6</sub> )				15.2	25.5	31.3	37.0	44.4	
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12	17.5	28.2	33.3	37.9	46.6	
MEZCLA 8	24-Sep-08		20	14.6	24.8	32.5	42.0	46.0	
MEZCLA 9	29-Sep-08		30	16.7	29.0	34.6	38.7	44.4	
PROMEDIO (M <sub>7</sub> a M <sub>9</sub> )				16.3	27.3	33.5	39.5	45.7	
NUMERO DE DATOS (n) (M <sub>1</sub> a M <sub>9</sub> )				9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	
PROMEDIO ( $\bar{x}$ ) (M <sub>1</sub> a M <sub>9</sub> )				14.9	25.5	31.2	37.0	43.8	
DESVIACION ESTANDAR (S) (M <sub>1</sub> a M <sub>9</sub> )				1.4	2.0	1.9	2.2	2.0	
COEFICIENTE DE VARIACION (CV) (M <sub>1</sub> a M <sub>9</sub> )				9.6%	7.8%	6.1%	5.8%	4.7%	
% DE RESISTENCIA (MR) (M <sub>1</sub> a M <sub>9</sub> )				43.9%	74.9%	91.8%	108.9%	128.8%	
OBSERVACIONES:									

**Tabla 5.46:** Análisis estadístico de los resultados de Resistencia a la Flexión ( $37 \text{ kg/cm}^2$ ), en viguetas de concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC		
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS								
REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009 TRABAJO DE GRADUACION PAG. 2 / 2				
ENSAYO:			FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO					
NORMA:			ASTM C78-02					
DATOS DE FLEXION EN VIGUETAS DE CONCRETO EN $\text{kg/cm}^2$								
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DE RUPTURA (DIAS)				
				3	7	14	28	56
MODULO DE RUPTURA DE $37 \text{ kg/cm}^2$								
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	19.1	30.9	36.9	40.4	42.5
MEZCLA 11	02-Oct-08		20	20.0	31.1	37.1	41.9	45.3
MEZCLA 12	16-Oct-08		30	20.0	31.6	36.7	39.4	43.8
PROMEDIO ( $M_{10}$ a $M_{12}$ )				19.7	31.2	36.9	40.6	43.9
MEZCLA 13	22-Oct-08	250	12	20.0	31.3	36.3	40.0	42.1
MEZCLA 14	24-Oct-08		20	20.0	32.7	38.3	42.9	46.2
MEZCLA 15	28-Oct-08		30	17.9	32.3	35.8	39.4	44.3
PROMEDIO ( $M_{13}$ a $M_{15}$ )				19.3	32.1	36.8	40.8	44.2
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	17.9	31.0	35.8	39.2	44.3
MEZCLA 17	04-Nov-08		20	20.0	34.2	39.6	42.7	48.6
MEZCLA 18	07-Nov-08		30	20.0	33.3	38.3	41.5	45.3
PROMEDIO ( $M_{16}$ a $M_{18}$ )				19.3	32.8	37.9	41.1	46.1
NUMERO DE DATOS (n) ( $M_{10}$ a $M_{18}$ )				9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
PROMEDIO ( $\bar{x}$ ) ( $M_{10}$ a $M_{18}$ )				19.4	32.0	37.1	40.8	44.6
DESVIACION ESTANDAR (S) ( $M_{10}$ a $M_{18}$ )				0.8	1.1	1.2	1.3	1.8
COEFICIENTE DE VARIACION (CV) ( $M_{10}$ a $M_{18}$ )				4.2%	3.3%	3.1%	3.2%	4.0%
% DE RESISTENCIA (MR) ( $M_{10}$ a $M_{18}$ )				52.6%	86.4%	100.4%	110.3%	120.5%
OBSERVACIONES:								

Fuente: Los autores (2009).

Al realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos para módulos de ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup>, la desviación estándar (S) a las edades de 28 y 56 días, resultó ser de 2.3 y 2.1 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Mientras que las diseñadas para 37 kg/cm<sup>2</sup>, éstos fueron de 1.5 y 2.0 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Los porcentajes de módulos de ruptura (reales) obtenidos, considerando 34 kg/cm<sup>2</sup> como el 100% a la edad de 28 días, para las primeras nueve mezclas y 37 kg/cm<sup>2</sup> para las nueve restantes, son los que se presentan a continuación, en la Tabla 5.47:

**Tabla 5.47:** Porcentaje de Módulo de Ruptura (MR) obtenido a cada edad.

EDAD	MODULO DE RUPTURA	
	34 kg/cm <sup>2</sup>	37 kg/cm <sup>2</sup>
3 DIAS	44.2%	52.5%
7 DIAS	75.4%	86.6%
14 DIAS	92.4%	100.5%
28 DIAS	109.5%	110.3%
56 DIAS	129.2%	120.8%

Fuente: Los autores (2009).

## 5.4 CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS

En esta investigación, se analizaron: la correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo” (I), la correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo” (II), la correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo” (III), la correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo” (IV) y la correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión” (V). Con el objeto de evaluar, la influencia de la variación de la tasa de dosificación del aditivo, sobre las propiedades de consistencia y resistencia del concreto utilizado en la construcción de pavimentos.

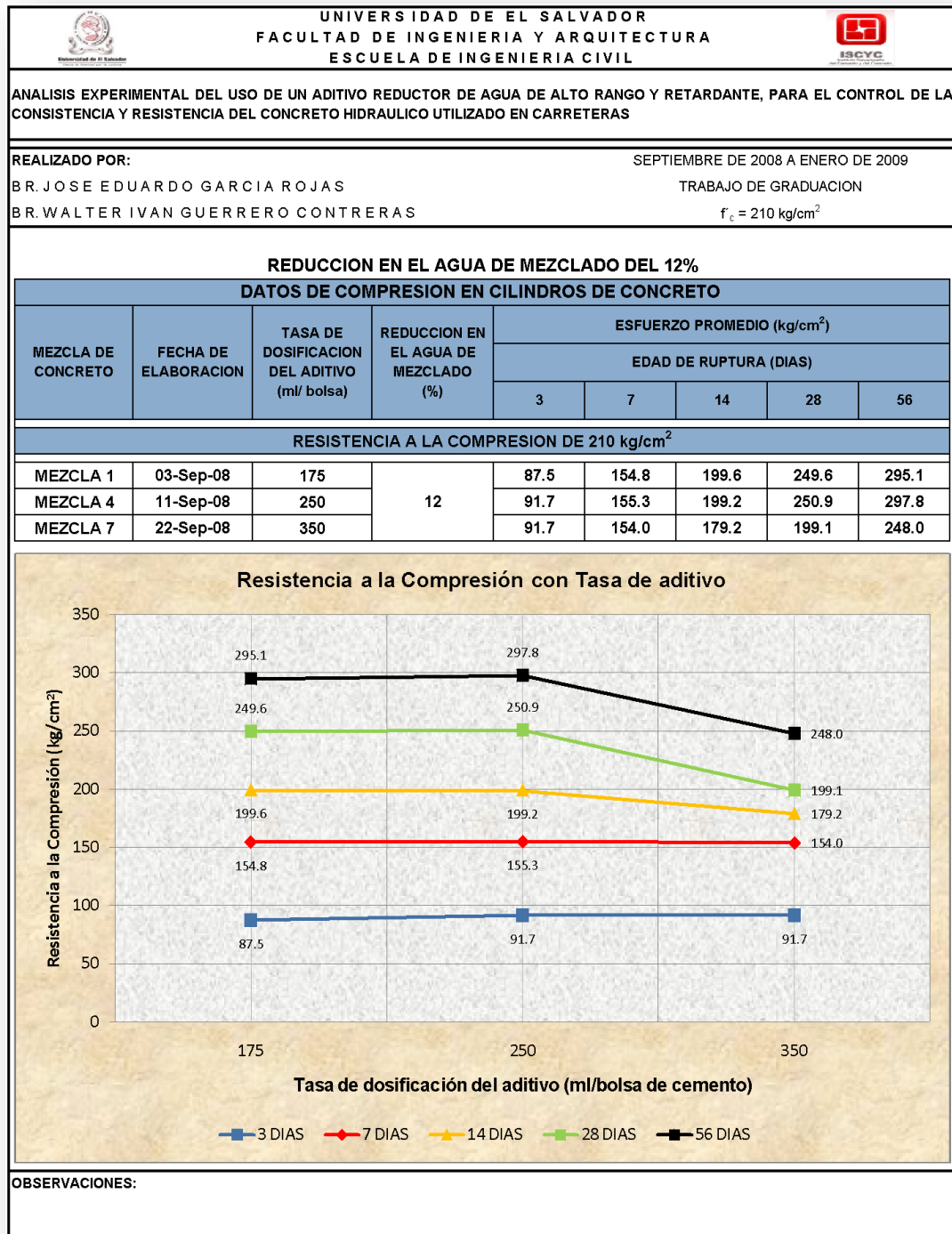
#### **5.4.1 CORRELACION ESFUERZO A LA COMPRESION EN CILINDROS CON TASA DE ADITIVO**

La correlación “Esfuerzo a la Compresión en cilindros con Tasa de aditivo”, se obtuvo graficando, las tres tasas de dosificación en las abscisas (eje x), contra cada una de las resistencias a compresión en las ordenadas (eje y). Para visualizar de forma clara y sencilla, la influencia del aditivo, se agruparon las curvas con base en la reducción en el agua de mezclado (12, 20 y 30%). Esto permitió apreciar, como el incremento de la tasa del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado generaron Resistencias a la Compresión mayores, conforme se aumentaron estos parámetros.

A continuación, en los gráficos de Tabla 5.48 a 5.53 se presentan las curvas de esta correlación, para Resistencias a la Compresión ( $f'_c$ ) de 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup>, en las que se muestran, el comportamiento de esta propiedad en función del incremento en la tasa de dosificación del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado.

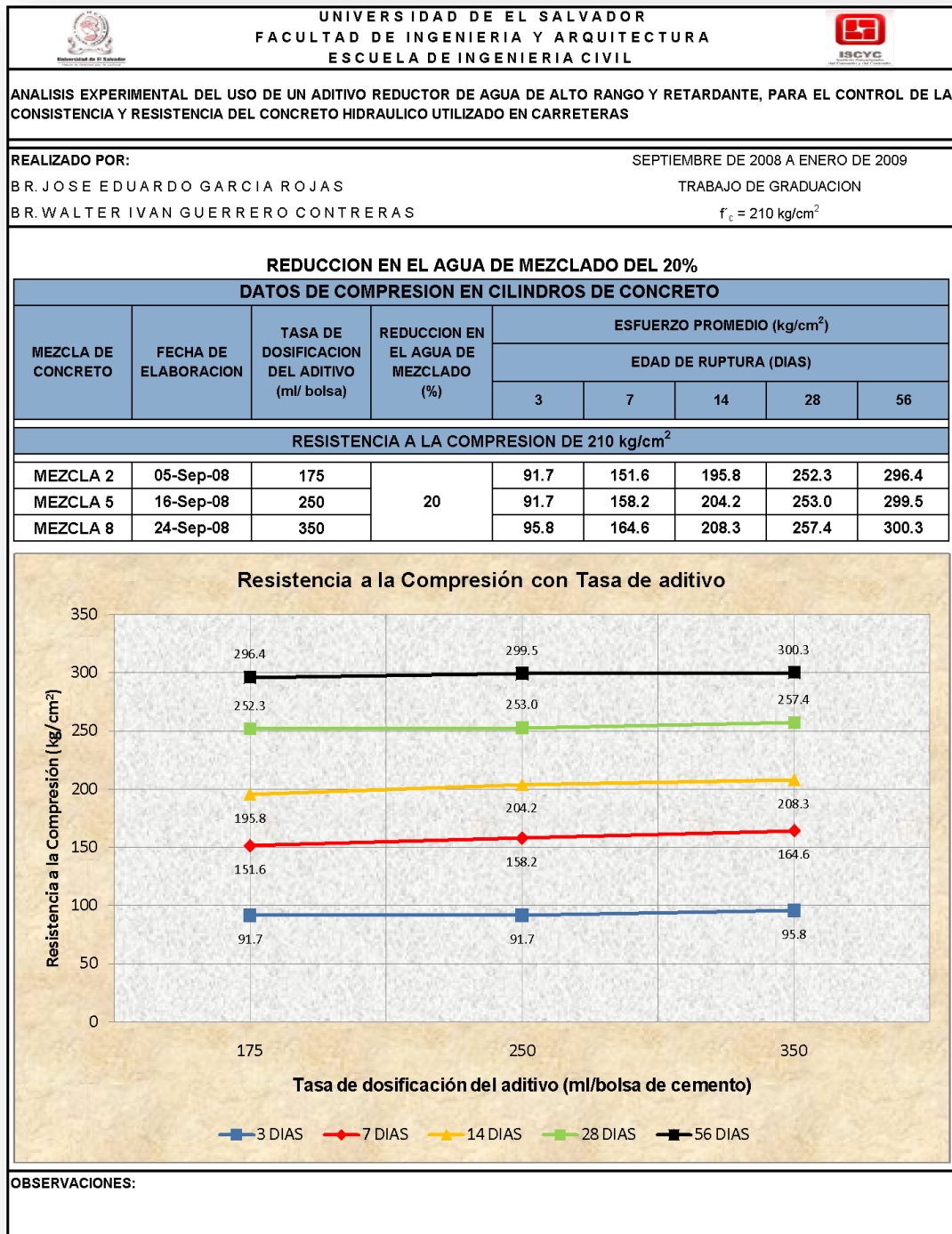
Cada punto graficado en las curvas, corresponde al promedio del ensayo a la compresión de dos cilindros a una edad determinada, así como también, con una dosificación del aditivo específica. El conjunto de cinco puntos en la escala vertical representa, los resultados obtenidos para una mezcla de concreto en particular, a las edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días.

**Tabla 5.48:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.



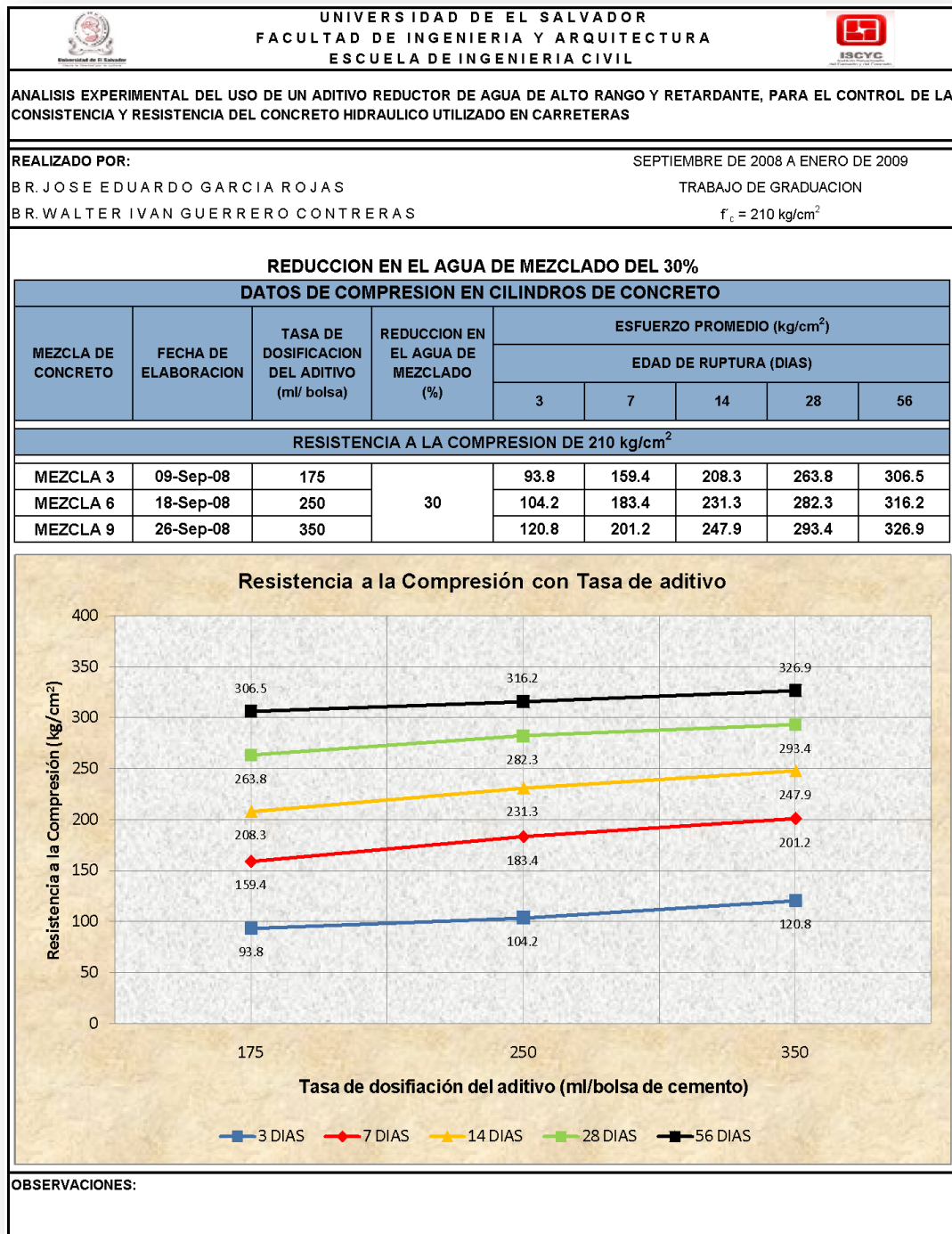
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.49:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.



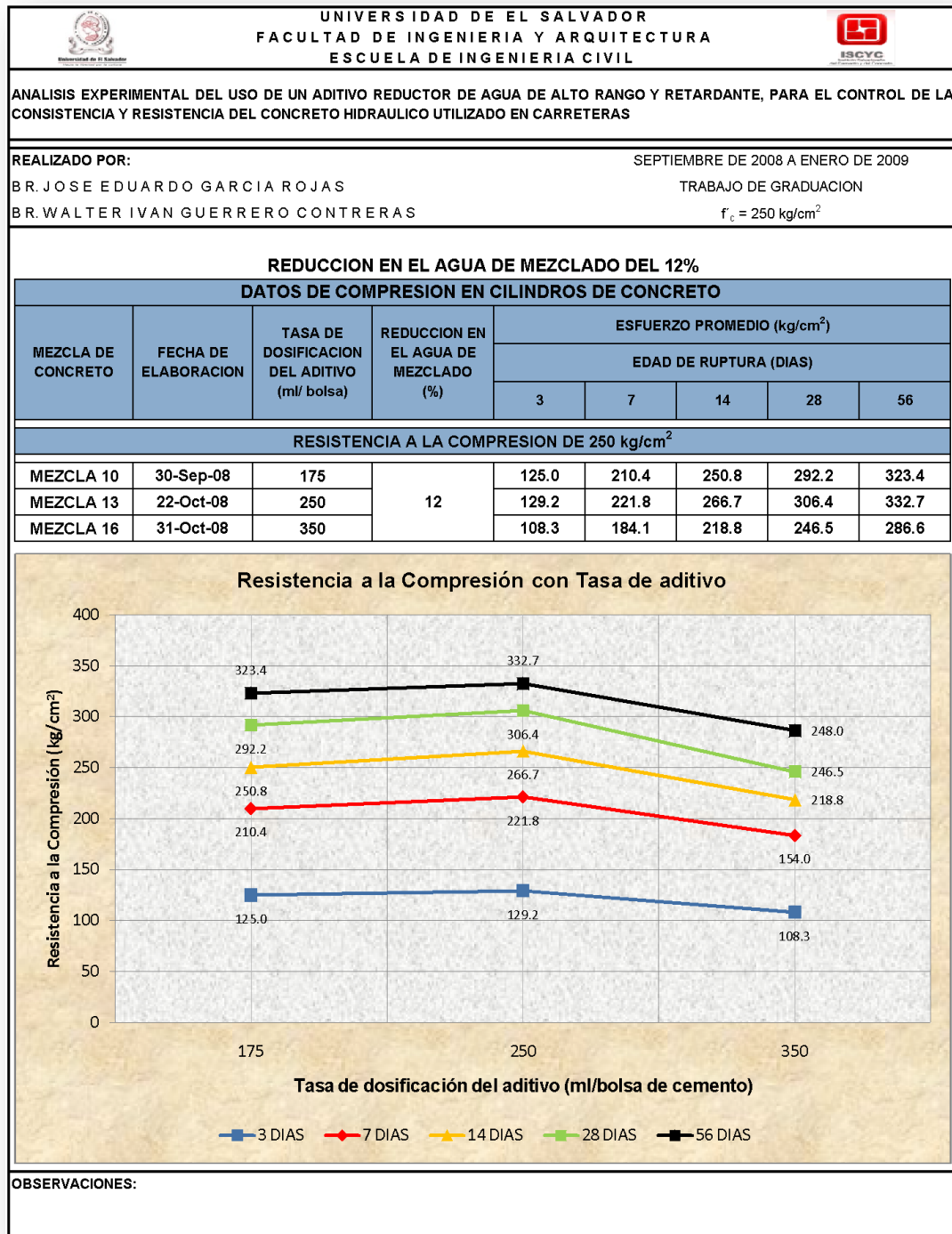
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.50:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.



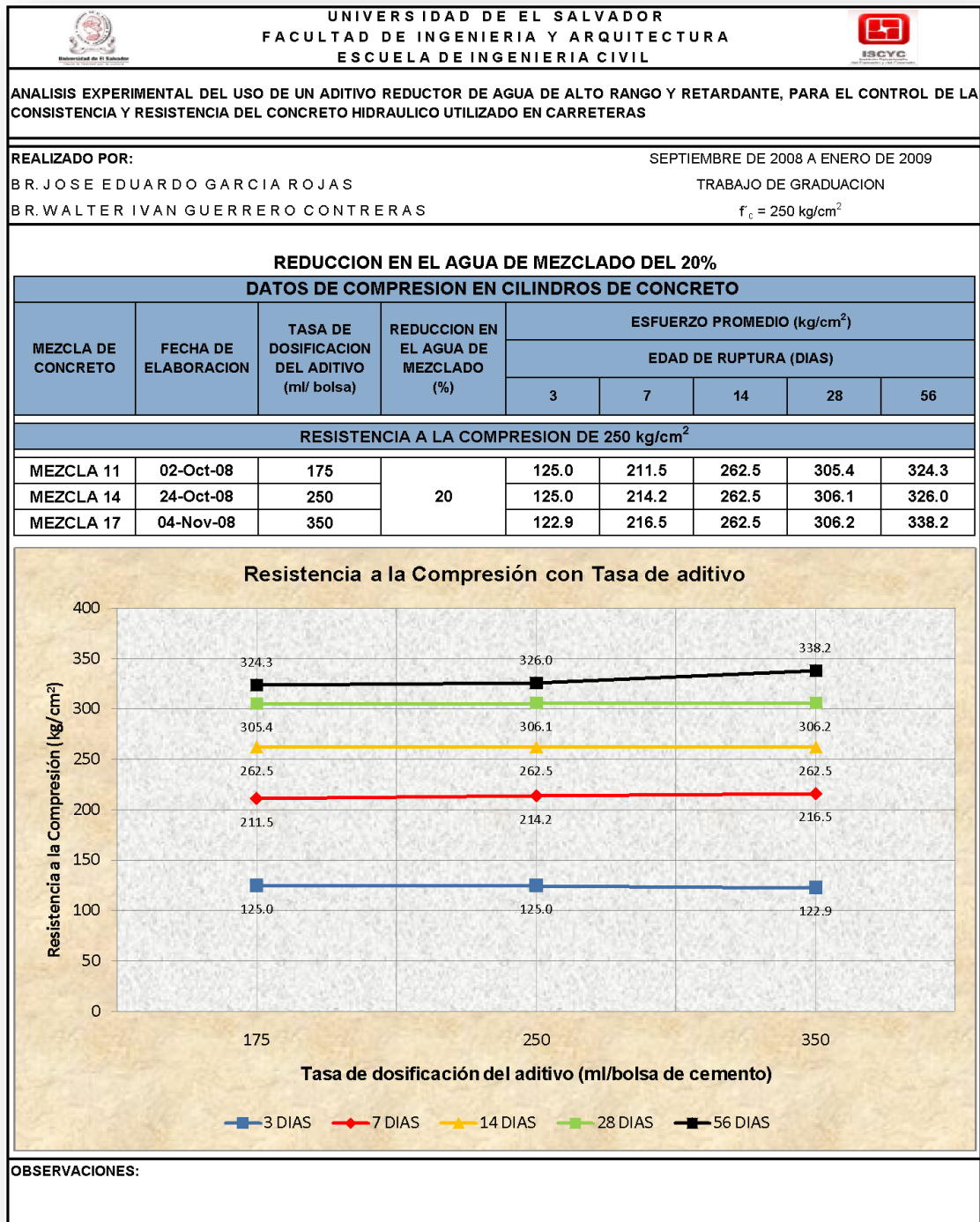
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.51:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.



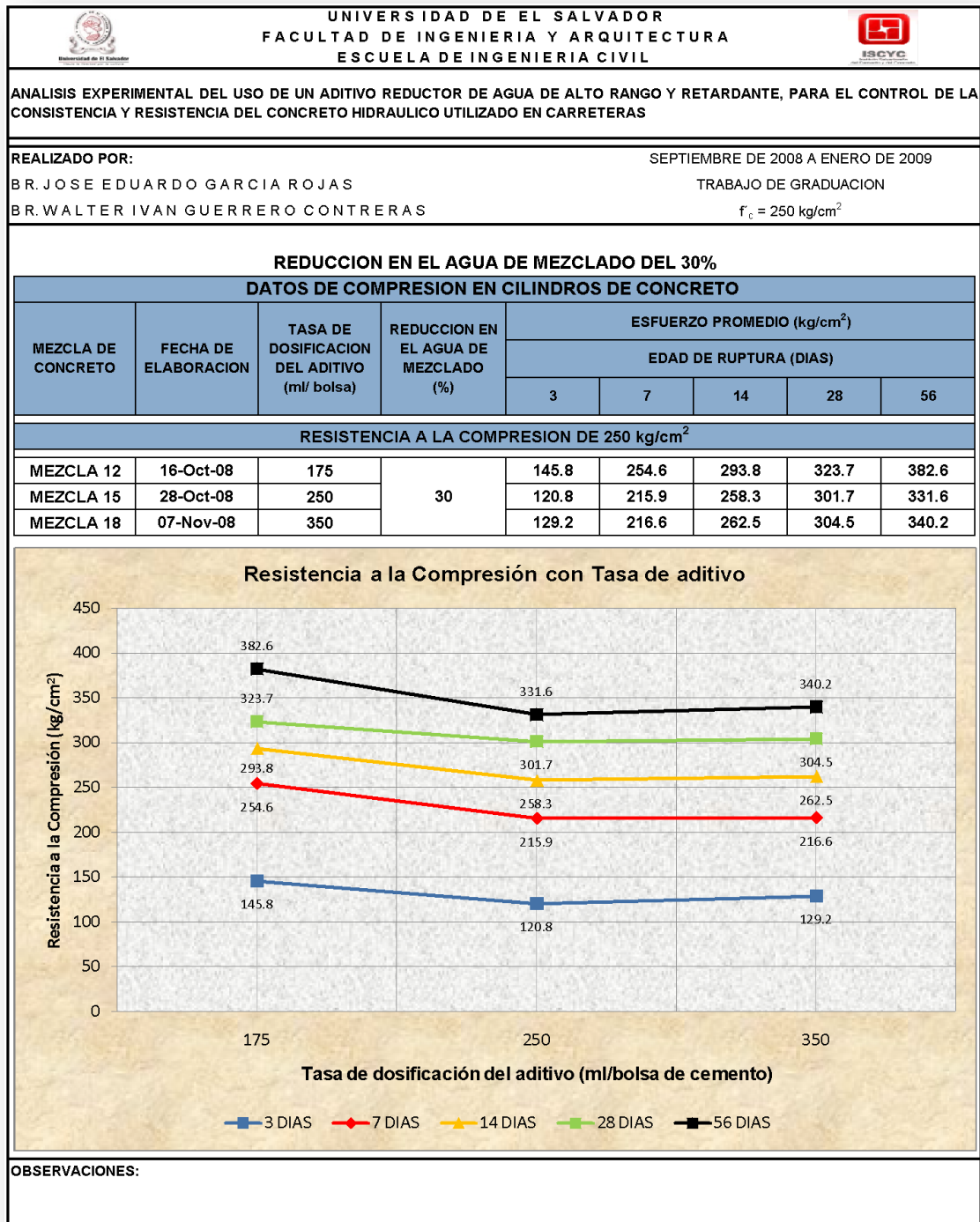
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.52:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.53:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Compresión con Tasa de aditivo”, para Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.



Fuente: Los autores (2009).

Las curvas mostradas en los gráficos de Tabla 5.48 a 5.53, nos permiten respaldar a través de los resultados obtenidos, la relación directa que existe entre el incremento de la Resistencia a Compresión y el aumento de la reducción en el agua de mezclado, así como también de la dosis del aditivo (Véase Tabla 5.26 a 5.32). Cabe destacar, que la tendencia lineal de las curvas fue en aumento, para las mezclas elaboradas con las dos Resistencias a la Compresión en estudio, exceptuando, los casos señalados en la Sección 5.3.2.1 ( $M_7$ ,  $M_{12}$  y  $M_{16}$ ). Este efecto, es el esperado, en concretos elaborados con aditivo reductor de agua, ya que la dispersión estable que se produce en las partículas de cemento, permite exponer mayor área superficial de éste a la hidratación; además, de permitir una mejor compactación <sup>[78]</sup>.

Se debe mencionar que los porcentajes reales de Resistencia a Compresión (considerando el 100% a la edad de 28 días), para las diferentes edades, presentaron incrementos considerables entre las edades de 28 y 56 días (debido principalmente, al uso de cemento ASTM C1157), siendo éstos de 20.5%, para las mezclas diseñadas con Resistencia a la Compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y de 13.0%, para la otra resistencia en estudio (Véase Tabla 5.54). Por lo tanto, se comprobó que conforme aumenta la edad del concreto, el incremento de la Resistencia a la Compresión disminuye, pero éste es considerable hasta los 56 días de edad.

**Tabla 5.54:** Incremento en el porcentaje de Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) obtenido entre cada edad.

RANGO DE EDAD	PORCENTAJE DE INCREMENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	
	210 $\text{kg/cm}^2$	250 $\text{kg/cm}^2$
0 A 3 DIAS	46.0%	50.3%
3 A 7 DIAS	32.4%	36.2%
7 A 14 DIAS	20.7%	17.4%
14 A 28 DIAS	22.6%	15.8%
28 A 56DIAS	20.5%	13.0%

Fuente: Los autores (2009).

---

<sup>[78]</sup> LAWRENCE, C.D. (1994): "Material Science of Concrete", American Ceramic Society. (Ed. J. Skalny and S, Mindes).

#### **5.4.2 CORRELACION ESFUERZO A LA FLEXION EN VIGUETAS CON TASA DE ADITIVO**

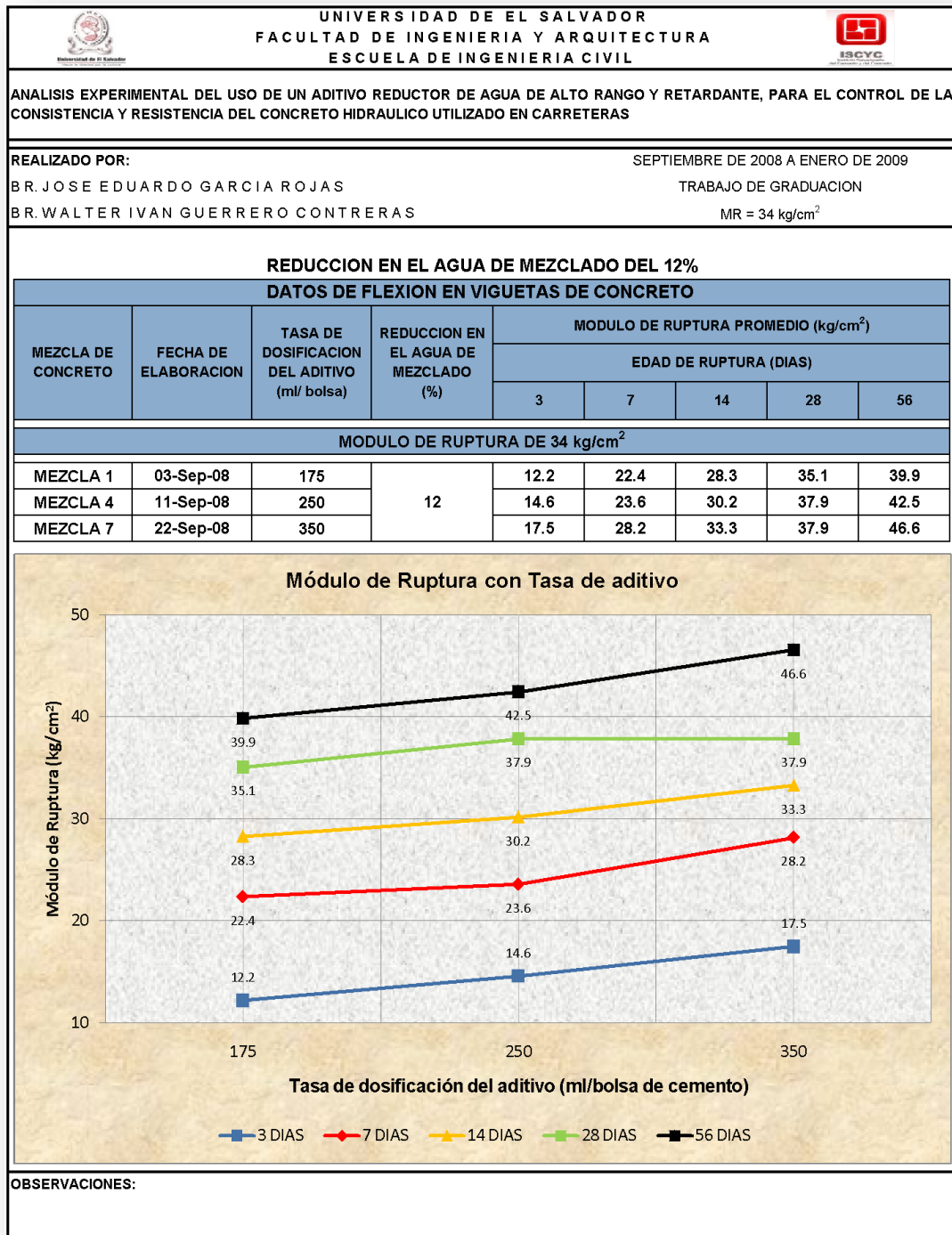
La correlación “Esfuerzo a la Flexión en viguetas con Tasa de aditivo”, se obtiene graficando, las tres tasas de dosificación en las abscisas (eje x), contra cada una de las resistencias a la flexión en las ordenadas (eje y). Las Tablas 5.37 y 5.41, detallan los resultados obtenidos para esfuerzos a la flexión en viguetas de concreto, expresados mediante su Módulo de Ruptura (MR), según lo especificado por ASTM C78.

Para visualizar de forma clara y sencilla, la influencia del aditivo, se agruparon las curvas con base en la reducción en el agua de mezclado (12, 20 y 30%). Esto permitió apreciar, como el incremento de la tasa del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado generaron Resistencias a la Flexión mayores, conforme se aumentaron estos parámetros.

En los gráficos de Tabla 5.55 a 5.60, se presentan las curvas de esta correlación, para módulos de ruptura (MR) de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, en las que se muestra el comportamiento de la Resistencia a la Flexión, en función del incremento en la tasa de dosificación del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado.

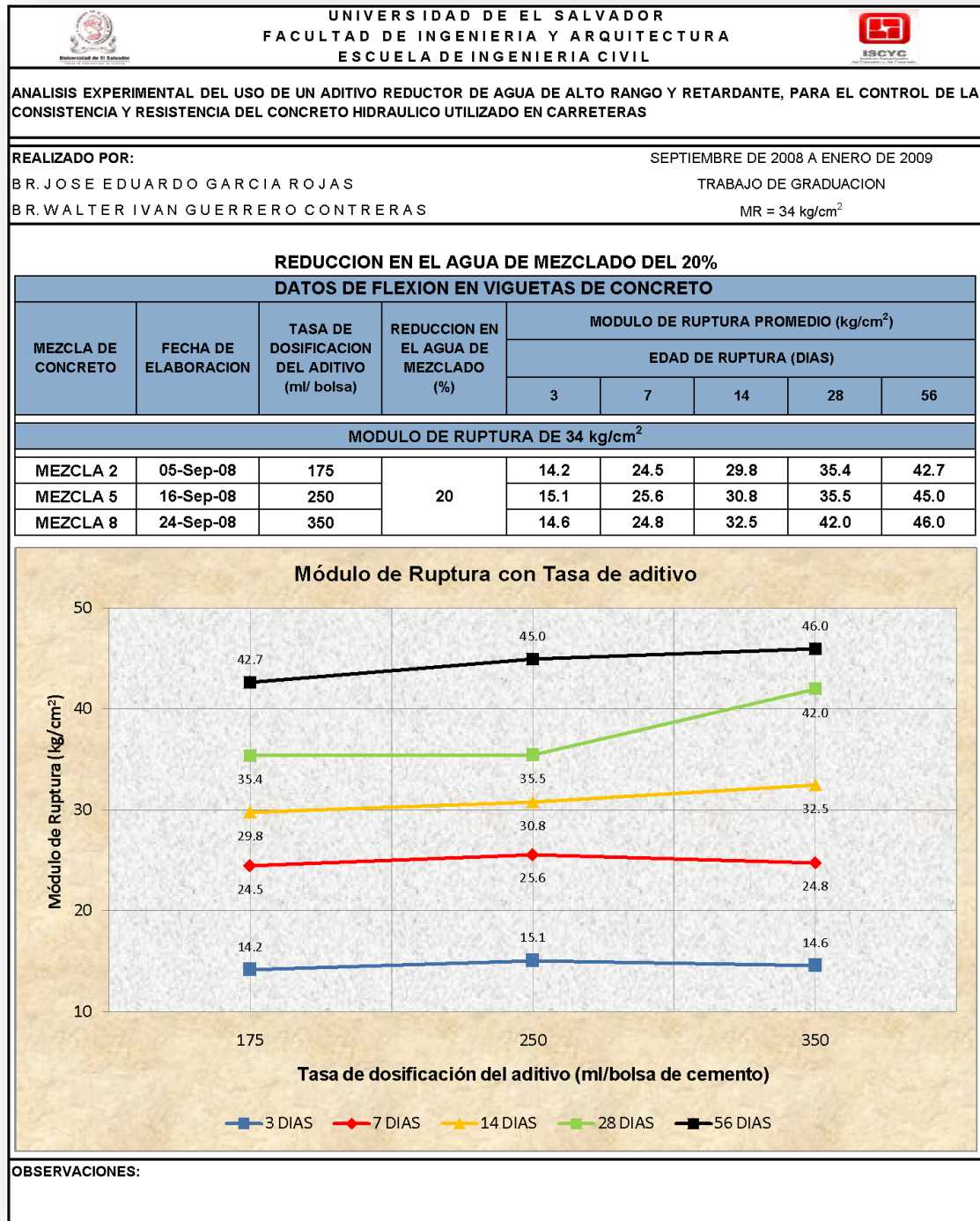
Cada punto graficado corresponde al promedio del ensayo realizado a dos viguetas, a una edad determinada, así como también, con una dosificación del aditivo específica. El conjunto de cinco puntos en la escala vertical representa, los resultados obtenidos para una mezcla de concreto a las edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días.

**Tabla 5.55:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.



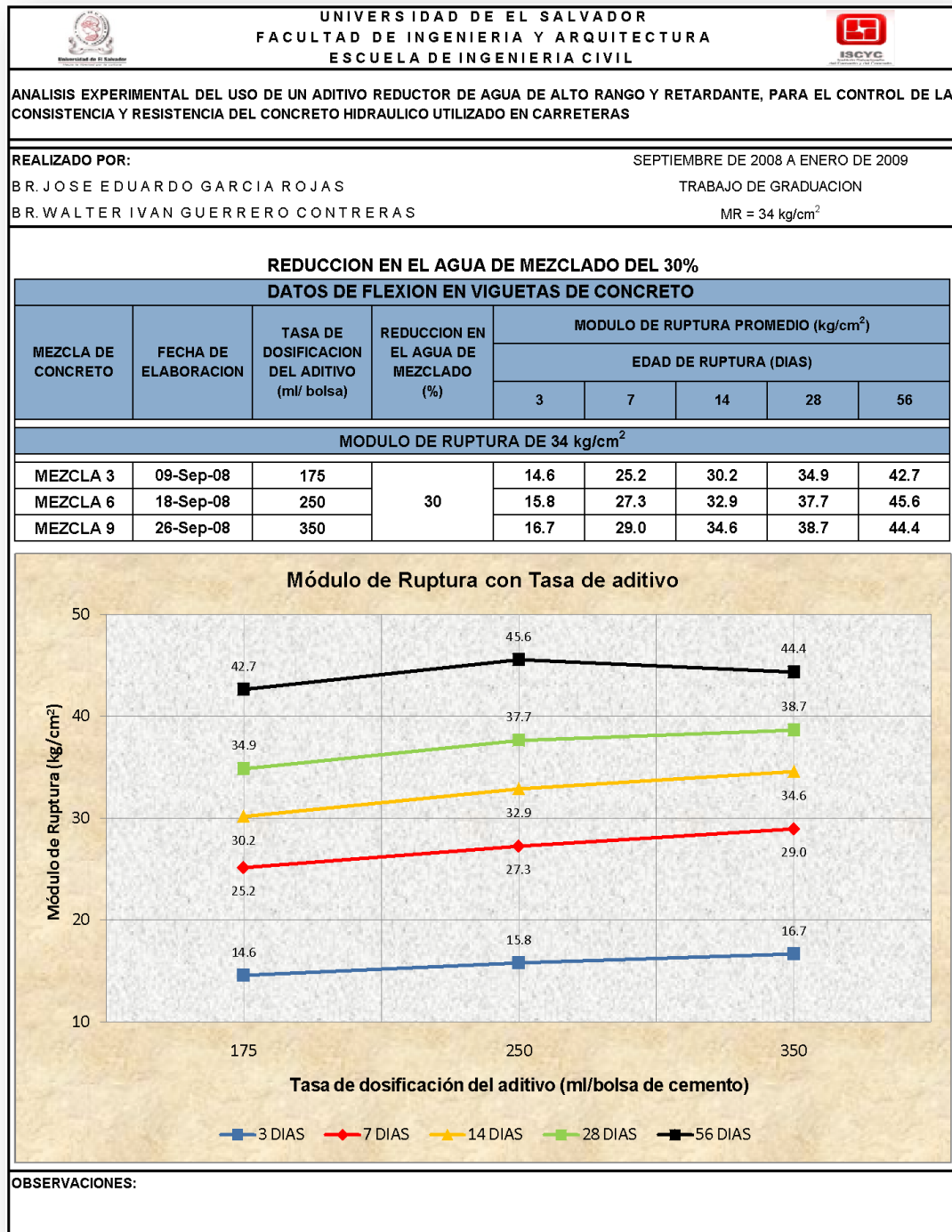
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.56:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.



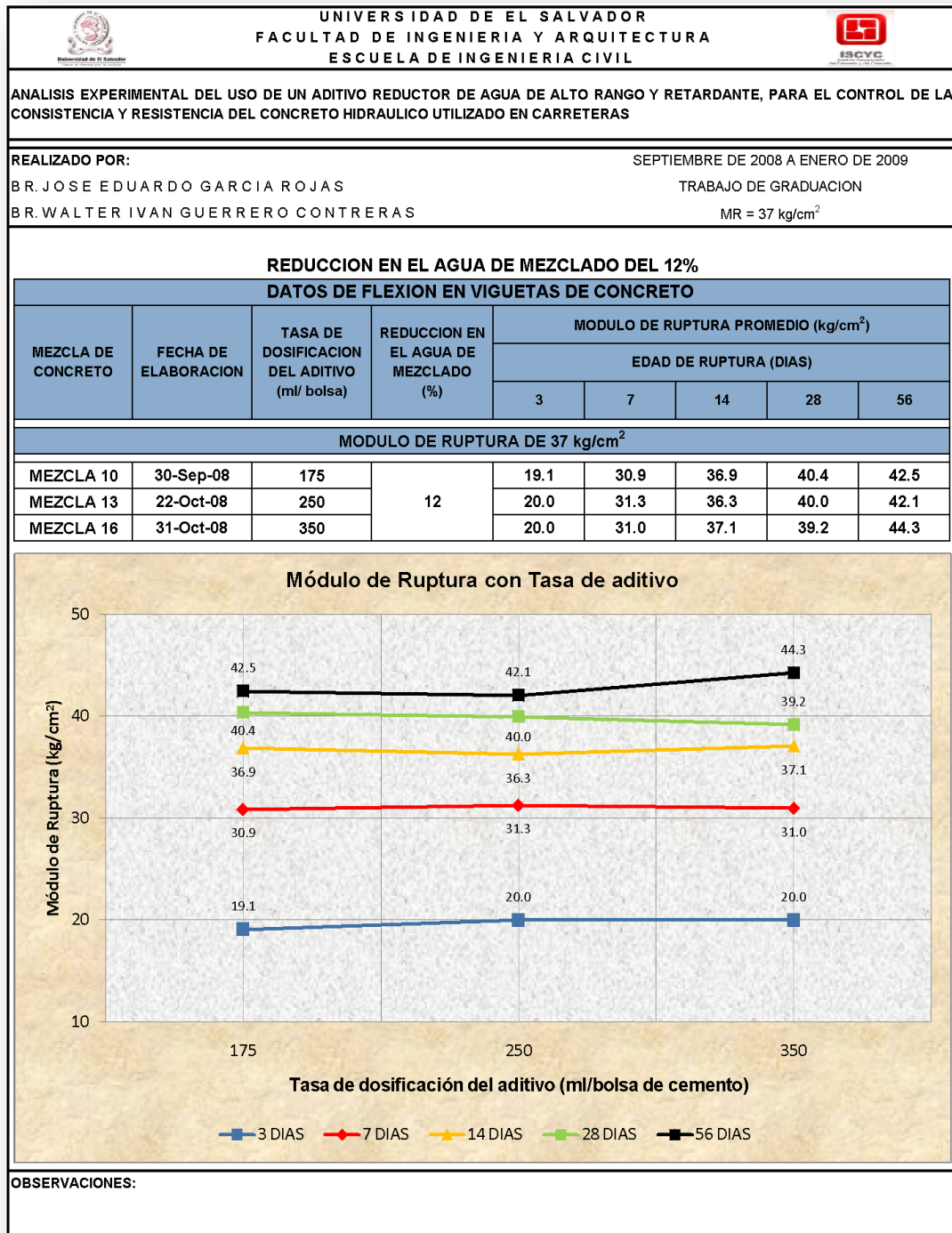
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.57:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.



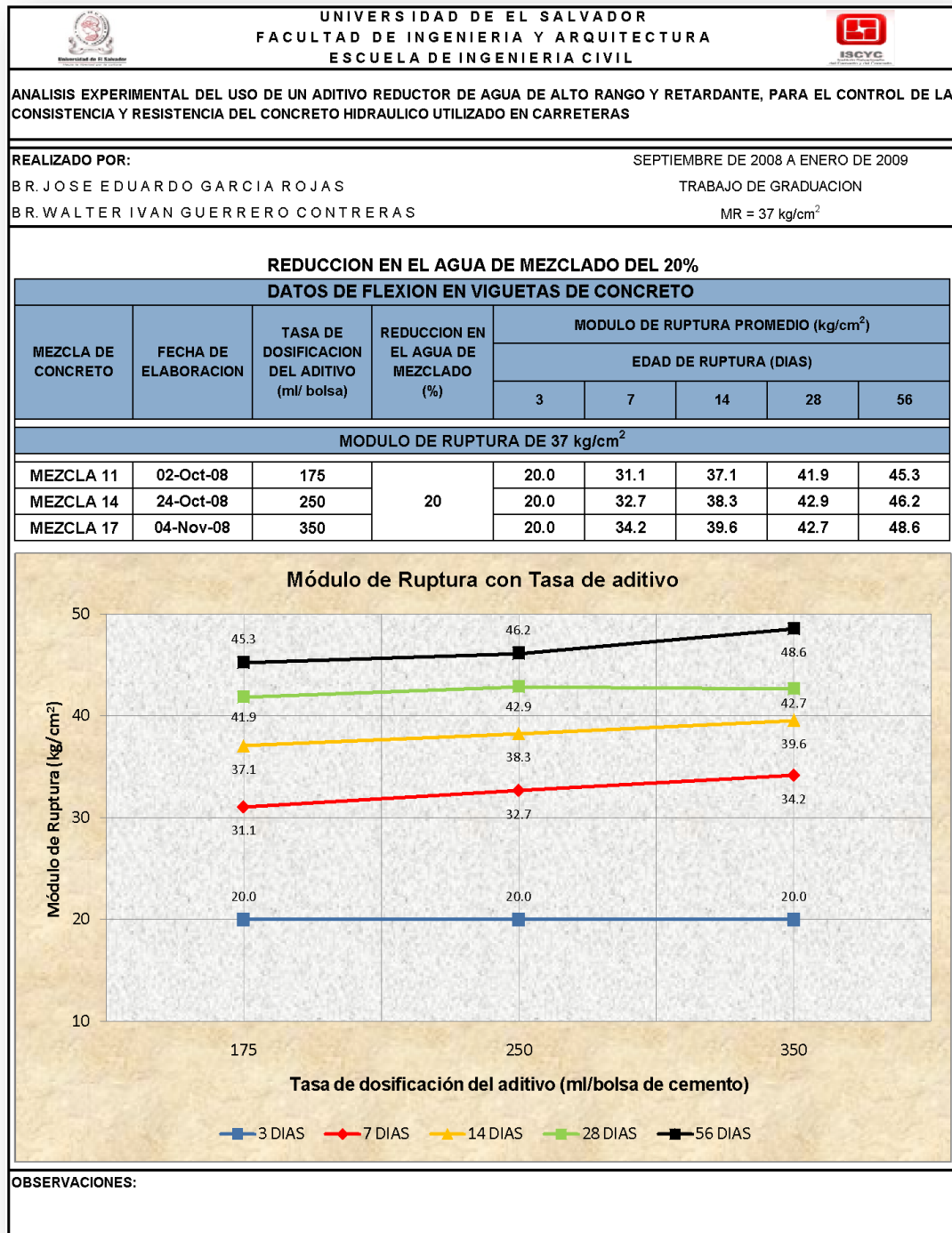
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.58:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 12%.



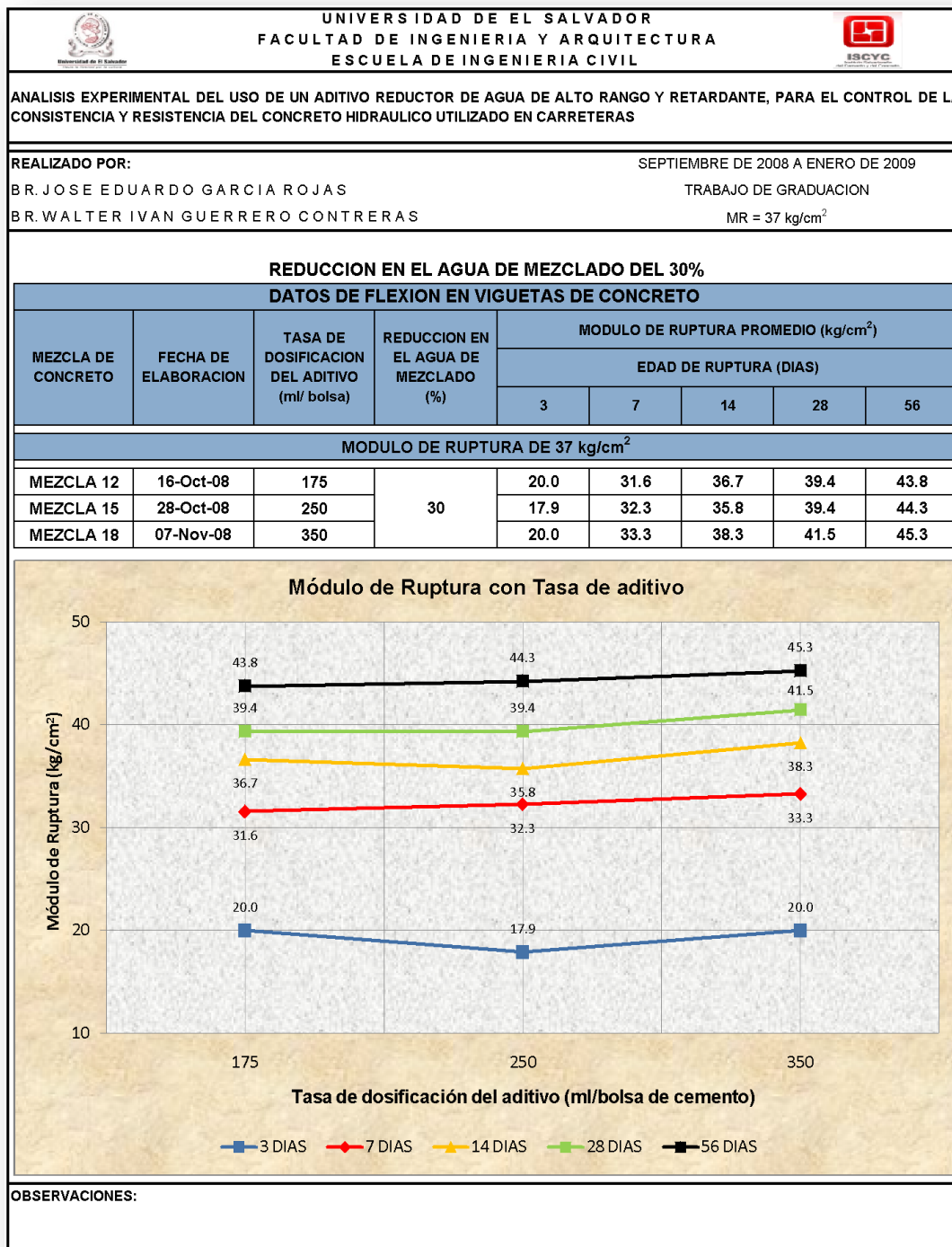
Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.59:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 20%.



Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.60:** Gráfico de correlación “Esfuerzo a la Flexión con Tasa de aditivo”, para Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y reducción en el agua de mezclado del 30%.



Fuente: Los autores (2009).

Las correlaciones anteriormente mostradas, son el resultado del ensayo a la flexión de viguetas elaboradas de diferentes bachadas ( $B_3$ ,  $B_4$  Y  $B_5$ ), por lo tanto, la relación que un par de éstas, tenga con el otro, variará según el revenimiento obtenido en la elaboración de cada bachada. Esta limitante se presentó, debido a la poca capacidad de la mezcladora disponible ( $\frac{1}{2}$  bolsa), ya que no se logró abarcar el volumen de concreto necesario para elaborar los seis viguetas, de una sola vez.

Es de observar, que a pesar de las limitantes señaladas, se tuvo un comportamiento representativo para las mezclas diseñadas con un Módulo de Ruptura (MR) de  $34 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Tablas 5.55, 5.56 y 5.57), ya que la tendencia de las curvas, fue lineal ascendente, demostrando con ello, el aumento de Resistencia a la Flexión, debido al aumento de la tasa de dosificación del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado.

Para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Tablas 5.58, 5.59 y 5.60), se observaron ciertos comportamientos anómalos, en el incremento de Resistencia a Flexión, por ejemplo, la mezcla 15 ( $M_{15}$ ) presentó para las edades de 3 y 14 días, resistencias menores que las otras mezclas, con la misma reducción en el agua de mezclado pero con diferente tasa de dosificación del aditivo ( $M_{12}$  y  $M_{18}$ ) (Véase Tabla 5.60). También, las mezclas 16 y 17 ( $M_{16}$ ) mostraron en algunas edades, resultados bajos con respecto a las otras mezclas con las reducciones en el agua de mezclado del 20 y 30%, respectivamente (Véase Tablas 5.58 y 5.59).

Además, se puede destacar que el incremento en los porcentajes reales de Resistencia a Flexión (considerando el 100% a la edad de 28 días), para las diferentes edades, fueron considerables entre las edades de 28 y 56 días (debido principalmente, al uso de cemento ASTM C1157), siendo éstos de 19.7% para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de  $34 \text{ kg/cm}^2$  y de 10.5% para el otro Módulo de Ruptura (MR) en estudio (Véase Tabla 5.61).

**Tabla 5.61:** Incremento en el porcentaje de Módulo de Ruptura (MR) obtenido entre cada edad.

RANGO DE EDAD	PORCENTAJE DE INCREMENTO DE MODULO DE RUPTURA	
	34 kg/cm <sup>2</sup>	37 kg/cm <sup>2</sup>
0 A 3 DIAS	44.2%	53.2%
3 A 7 DIAS	31.2%	33.4%
7 A 14 DIAS	17.0%	14.3%
14 A 28 DIAS	17.1%	9.4%
28 A 56DIAS	19.7%	10.5%

Fuente: Los autores (2009).

### 5.4.3 CORRELACION REVENIMIENTO DE LA MEZCLA CON TASA DE ADITIVO

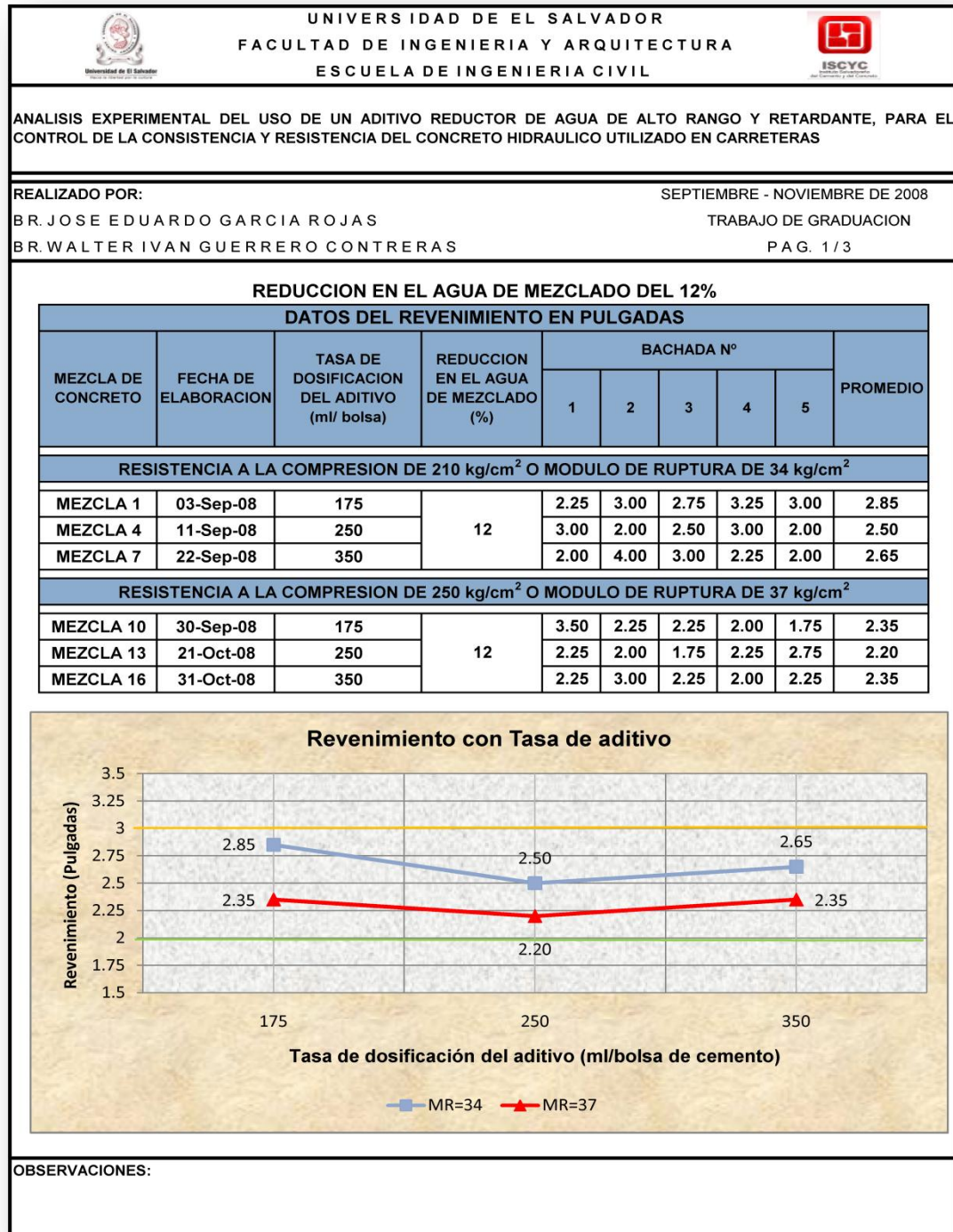
La correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, se obtuvo graficando, las tres tasas de dosificación en las abscisas (eje x), contra cada uno de los resultados promedios del ensayo de revenimiento, en las ordenadas (eje y). La Tabla 5.8, muestra los valores de revenimiento para cada bachada por individual y su promedio, según lo especificado por ASTM C143.

Para visualizar de forma clara y sencilla, la influencia del aditivo, se agruparon las curvas con base en la reducción en el agua de mezclado (12, 20 y 30%).

En los gráficos de Tabla 5.62 a 5.64, se presentan las curvas de esta correlación, para módulos de ruptura (MR) de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, en las que se muestran, el comportamiento del revenimiento promedio de cada mezcla, en función del incremento en la tasa de dosificación del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado.

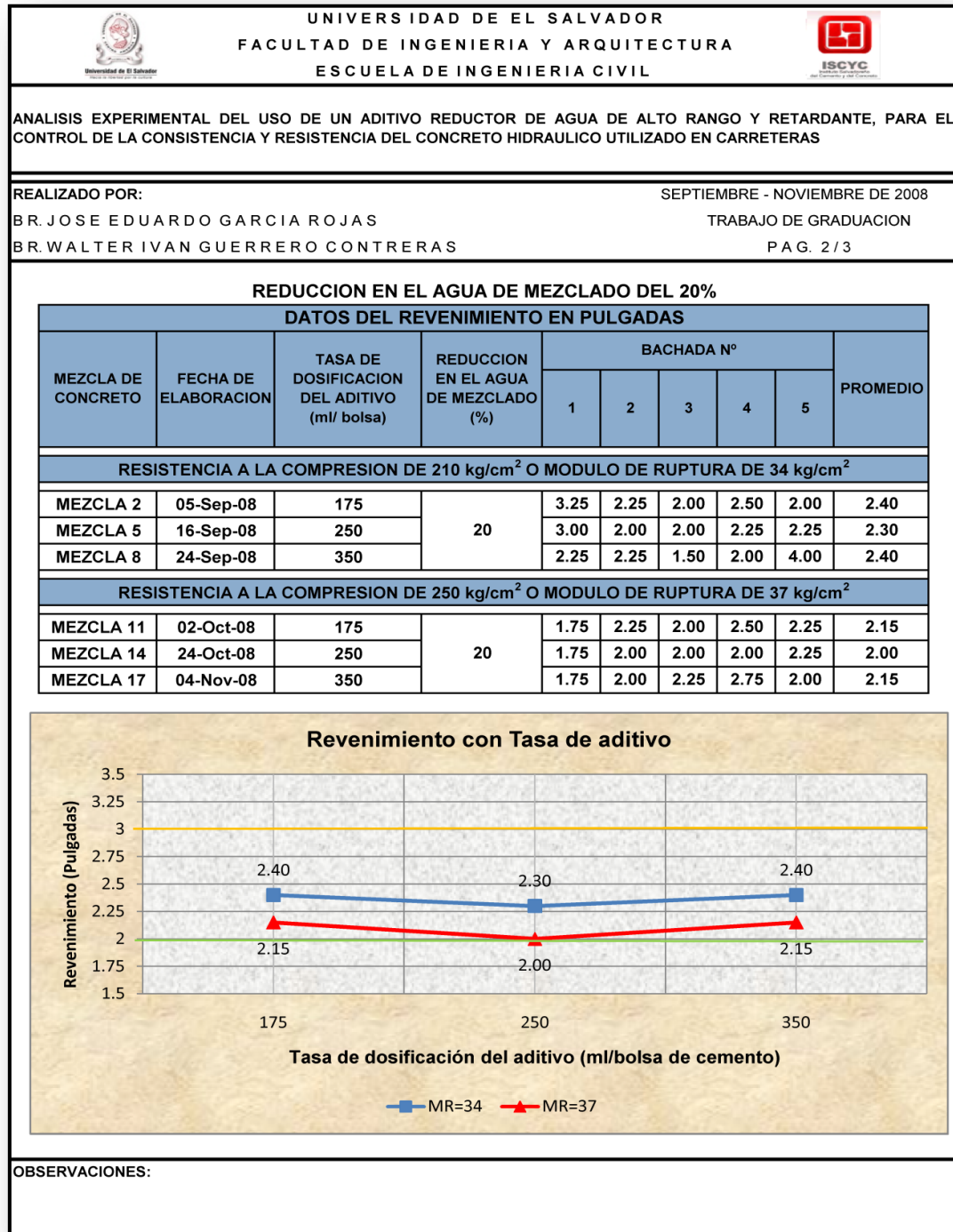
La cantidad de agua adicionada en algunas de las bachadas, o en otros casos, la reducción de la misma, para alcanzar el revenimiento especificado, tuvo como consecuencia, que la correlación que se muestra a continuación, no sea totalmente precisa, para comprobar la influencia que tiene, la variación en la tasa de dosificación del aditivo sobre la consistencia de las mezclas elaboradas.

**Tabla 5.62:** Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 12%.

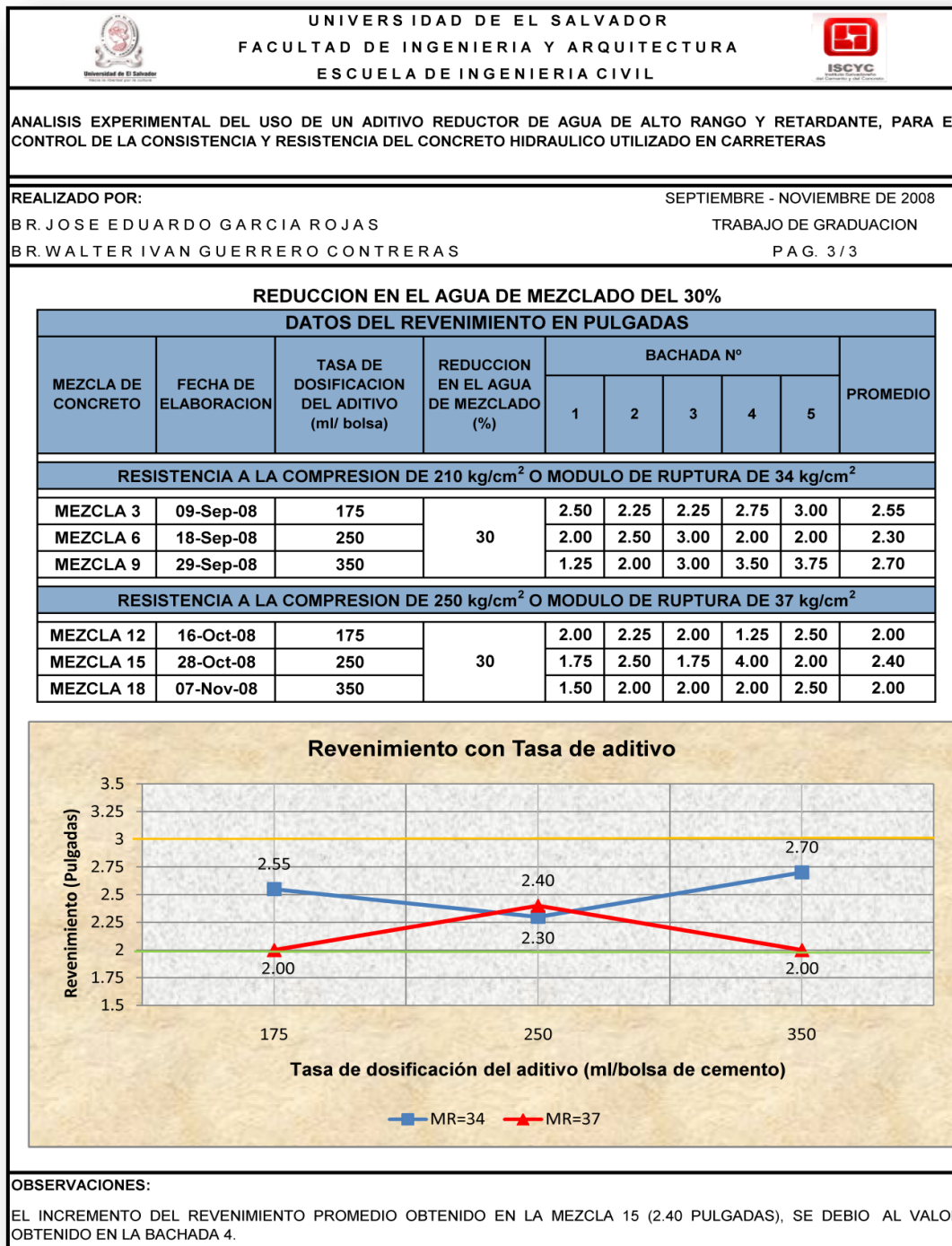


Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.63:** Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 20%.



**Tabla 5.64:** Gráfico de correlación “Revenimiento de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 30%.



Las curvas presentadas en los gráficos de Tabla 5.62 a 5.64, se analizaron tomando en cuenta, aquellos factores que permiten evaluar la influencia del aditivo Tipo G, sobre la consistencia del concreto. Cabe destacar, que para mejorar la trabajabilidad de las mezclas, en la mayoría de los casos, fue necesario realizar ajustes considerables en el agua de mezclado, ya que el efecto generado por el uso del aditivo, en ciertas tasas de dosificación no fue suficiente, para que algunas mezclas alcancen el revenimiento especificado en esta investigación (2 a 3 pulgadas).

En las Tablas 5.62, 5.63 y 5.64, se muestra el comportamiento de los resultados obtenidos del ensayo de revenimiento, para las mezclas diseñadas con módulos de ruptura (MR) de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup> (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>10</sub> y M<sub>11</sub>), la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12 y 20%. En donde, no se observaron mejoras significativas en la consistencia del concreto, únicamente con la inclusión del aditivo, siendo necesario realizar ajustes considerables en el agua de mezclado.

Para el caso más crítico, es decir, las mezclas 3 y 12 (M<sub>3</sub> y M<sub>12</sub>), elaboradas con la tasa de dosificación del aditivo más baja (175 ml/bolsa de cemento) y la reducción en el agua de mezclado más elevada (30%), se obtuvieron relaciones agua/cemento (A/C) de 0.47 y 0.68 (Véase Tablas 5.1 y 5.4), respectivamente. Así como también, valores de revenimiento menores al especificado (2 pulgadas), ya que estos oscilaron en el rango de 1.25 a 3.00 pulgadas. Por lo cual, no presentaron el grado de consistencia requerido del concreto.

Para las mezclas de concreto con la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12 y 20% (M<sub>4</sub>, M<sub>5</sub>, M<sub>13</sub> y M<sub>14</sub>), hubo bachadas en las que no fue necesario realizar ajustes (Véase Tablas 5.2 y 5.5). Las relaciones agua/cemento (A/C) obtenidas fueron de 0.57, 0.54, 0.53 y 0.52, respectivamente. Los resultados de revenimiento verifican la eficacia de esta tasa de dosificación, sobre la trabajabilidad del concreto, ya que permitió obtener una adecuada consistencia, sin necesidad de realizar ajustes significativos en el agua de mezclado. Aunque, para las mezclas diseñadas

con la misma dosificación del aditivo (250 ml/bolsa de cemento) y con una reducción en el agua de mezclado del 30% ( $M_6$  y  $M_{15}$ ), los resultados obtenidos, no presentaron un comportamiento satisfactorio, ya que si se observan, las cantidades de agua añadidas a estas mezclas (Véase Tablas 5.2 y 5.5), estas fueron considerables, obteniendo revenimientos promedios de 2.30 y 2.40 pulgadas con relaciones agua/cemento (A/C) de 0.53 y 0.55, respectivamente (Véase Tablas 5.2 y 5.5).

En el caso de las mezclas de concreto elaboradas con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, se observó que estas presentaron los resultados más satisfactorios, ya que durante la elaboración de las mezclas 7, 8 y 9 ( $M_7$ ,  $M_8$  y  $M_9$ ); en la mayoría de sus bachadas no fue necesaria la adición de agua, sino que se redujo la misma, para evitar la obtención de revenimientos superiores al límite especificado (3 pulgadas) y se consiguieron valores promedio de 2.65, 2.40 y 2.70 pulgadas con relaciones agua/cemento (A/C) de 0.51, 0.50 y 0.47, respectivamente (Véase Tabla 5.3). Aunque hubo ciertos casos, como por ejemplo, la bachada 5 ( $B_5$ ) de la mezcla 8 ( $M_8$ ), y las bachadas 4 ( $B_4$ ) y 5 ( $B_5$ ) de la mezcla 9 ( $M_9$ ), donde al adicionar la cantidad del aditivo estipulada, se obtuvieron revenimientos mayores al especificado (3.00 pulgadas).

Con base en la experiencia adquirida al elaborar las dieciocho mezclas, se apreció que el revenimiento no aumentó proporcionalmente al incremento de la tasa de dosificación del aditivo, esto debido a los ajustes en el agua de mezclado realizados al momento de la fabricación de las mismas, para alcanzar el revenimiento especificado en esta investigación (2 a 3 pulgadas). Es por esto, que si se pretendía conocer, como cada una de las tasas de dosificación del aditivo en estudio (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento), provocaban variaciones sobre la trabajabilidad del concreto, debió haberse elaborado cada bachada, sin realizársele los ajustes en el agua de diseño e independientemente, el grado de consistencia presentado (“dura”, “plástica” o “fluida”), agregarles la cantidad del aditivo establecida y posteriormente, realizarles el ensayo de revenimiento y registrar el resultado obtenido.

#### **5.4.4 CORRELACION TIEMPO DE FRAGUADO DE LA MEZCLA CON TASA DE ADITIVO**

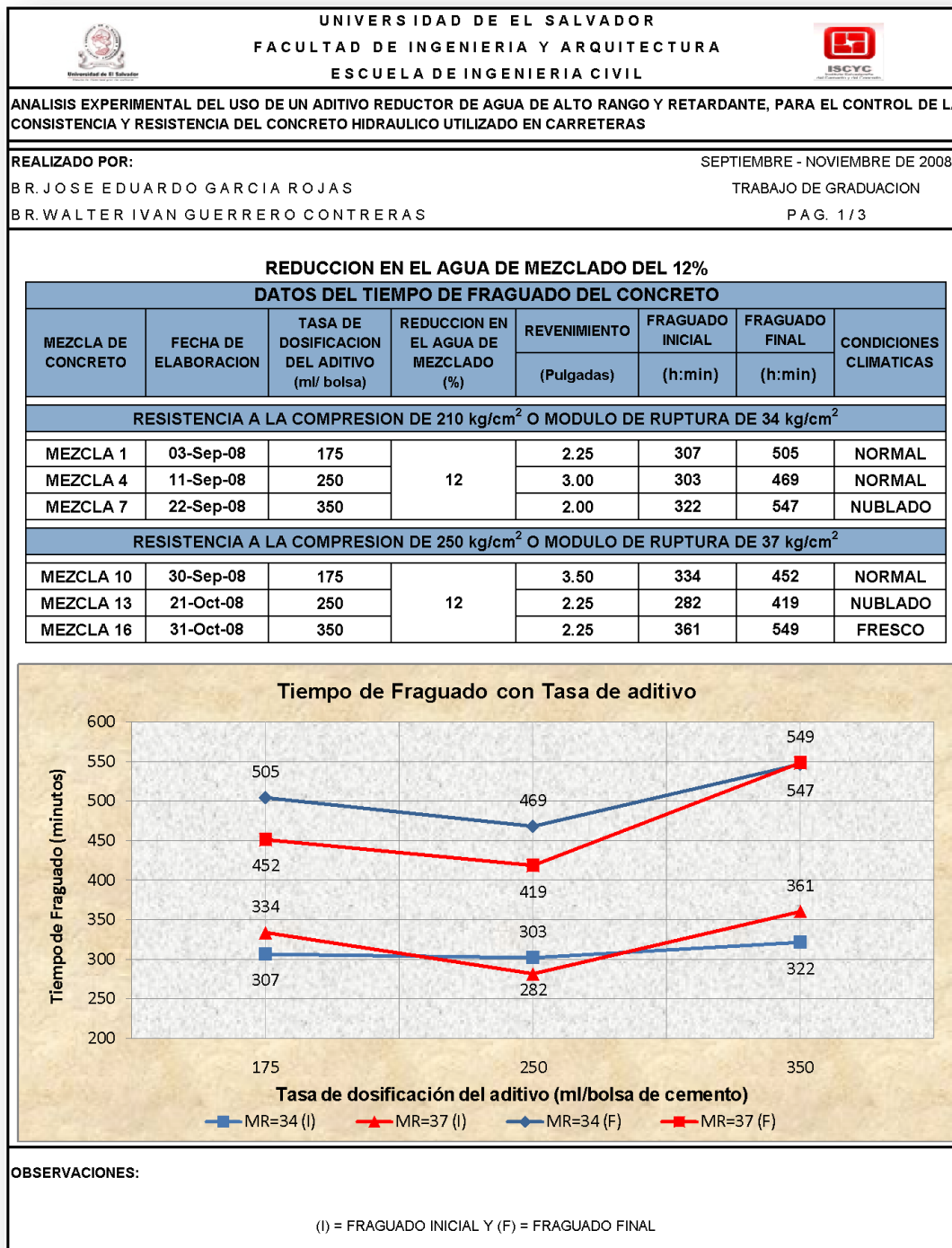
La correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, se obtiene graficando, las tres tasas de dosificación en las abscisas (eje x), contra cada una de los tiempos de fraguado inicial y final, en las ordenadas (eje y). Los resultados de los tiempos de fraguado, se detallan en Tabla 5.24 y fueron obtenidos, según el procedimiento descrito en la norma ASTM C403.

Para visualizar de forma clara y sencilla, la influencia del aditivo, se agruparon las curvas con base en la reducción en el agua de mezclado (12, 20 y 30%).

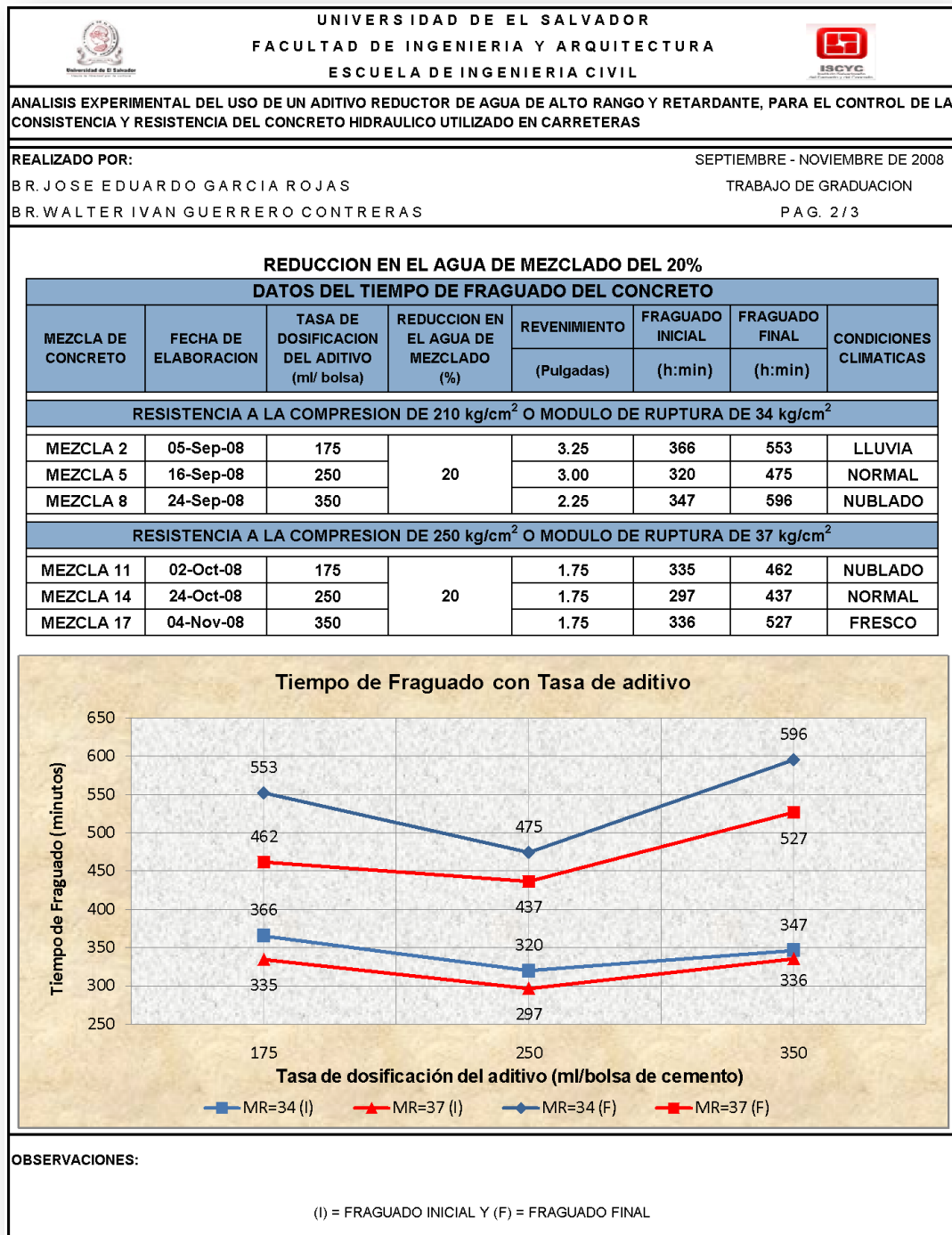
En los gráficos de Tabla 5.62 a 5.64, se presentan las curvas de esta correlación, para módulos de ruptura (MR) de 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, en las que se muestran, el comportamiento del tiempo de fraguado inicial y final de cada mezcla, en función del incremento en la tasa de dosificación del aditivo y de la reducción en el agua de mezclado.

Las variaciones en la temperatura ambiental a la que se realizó el ensayo y los ajustes en el agua de mezclado, tuvieron como consecuencia, que la correlación que se muestra a continuación, no sea precisa para verificar la influencia que tiene la variación en la tasa de dosificación del aditivo, sobre el tiempo de fraguado inicial y final del concreto. Aunque si permite, hacernos una idea del comportamiento que éste presenta en situaciones reales de obra, al verse sometido a diversas temperaturas al momento de su colocación.

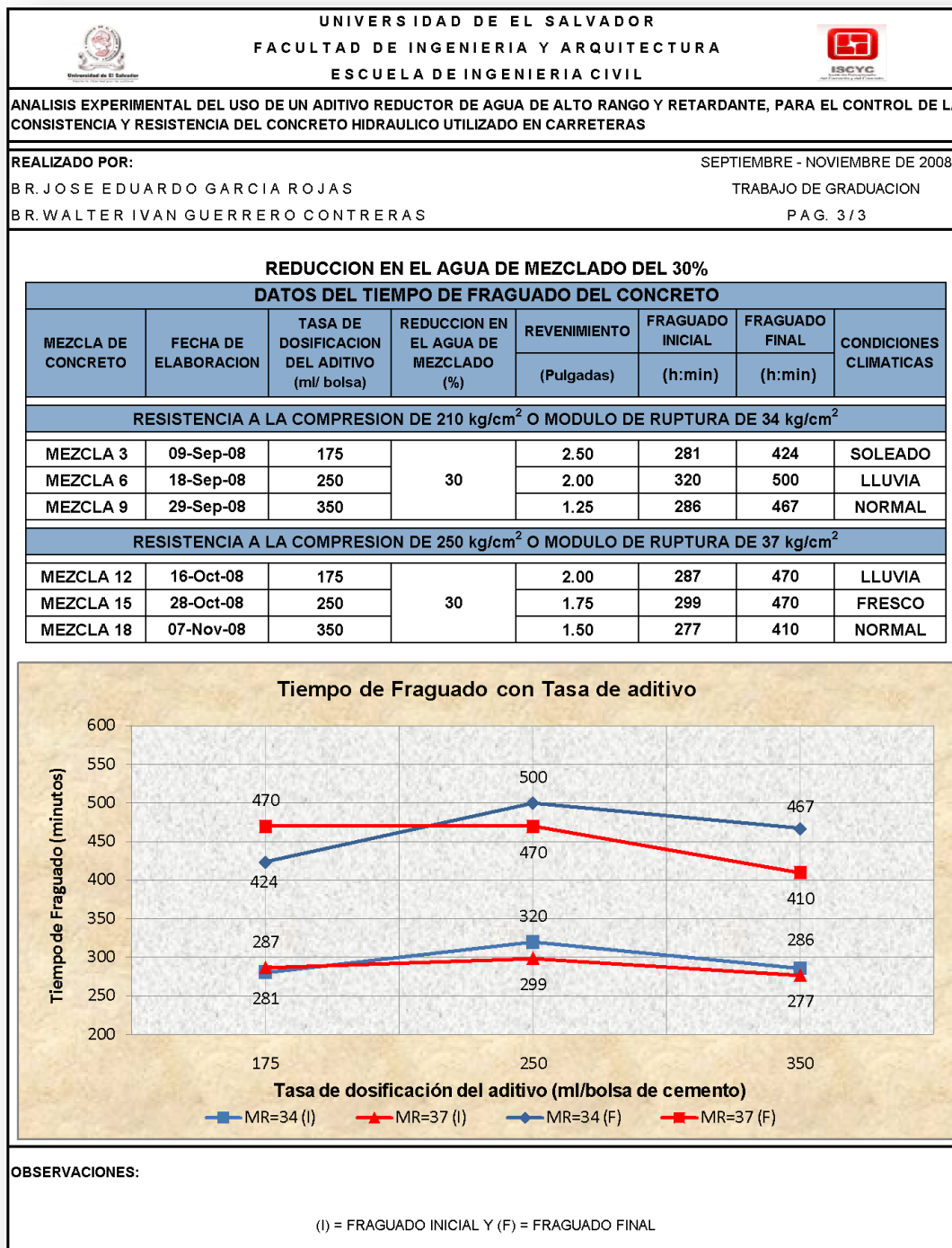
**Tabla 5.65:** Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 12%.



**Tabla 5.66:** Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 20%.



**Tabla 5.67:** Gráfico de correlación “Tiempo de Fraguado de la mezcla con Tasa de aditivo”, para la reducción en el agua de mezclado del 30%.



La Tabla 5.65 muestra el comportamiento de las mezclas elaboradas con las tres tasas de dosificación del aditivo (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento) y la reducción en el agua de mezclado del 12%. Las curvas presentaron una tendencia lineal ascendente conforme se incrementó la cantidad del aditivo, exceptuando para la mezcla 13 ( $M_{13}$ ) (250 ml/bolsa de cemento), con la cual, se obtuvo un tiempo de fraguado inicial y final “acelerado”, de 282 y 419 minutos, respectivamente, saliéndose de la tendencia mostrada por las otras mezclas ( $M_{10}$  y  $M_{16}$ ). Esto se debió principalmente, a factores de índole externo, como: la adición de 400 ml de agua (en la bachada 1 ( $B_1$ ), utilizada para los ensayos de Tiempo de Fraguado, Peso Volumétrico y Contenido de aire); el revenimiento de 2.25 pulgadas; la temperatura del concreto fresco de 25.0 °C y el “clima nublado” (alrededor de 20 °C), durante la ejecución del ensayo.

Con respecto, a la tres tasas de dosificación del aditivo (175, 250 y 350 ml/por bolsa de cemento) para la reducción en el agua de mezclado del 20%, se observó que la mezcla 2 ( $M_2$ ) (175 ml/bolsa de cemento), tuvo un comportamiento de tiempo de fraguado “retardado”, con respecto a la tendencia mostrada por las otras mezclas ( $M_5$  y  $M_8$ ) (Véase Tabla 5.66), debiéndose principalmente, a las condiciones climáticas (“lluvia”) y la temperatura ambiental (alrededor de 20 °C), predominantes en el día de elaboración de dicha mezcla. El revenimiento correspondiente a esa bachada ( $B_1$ ), fue de 3.25 pulgadas sobrepasando el límite máximo del revenimiento especificado (3 pulgadas). Es por ello, que los tiempos de fraguado inicial y final fueron anómalos, en comparación con la tendencia mostrada por los otros puntos con un valor de 553 minutos, o bien, su equivalente de 9 horas 13 minutos.

En la Tabla 5.67, se muestra el comportamiento de las mezclas para las diferentes dosificaciones del aditivo (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento) y la reducción en el agua de mezclado del 30%. Se estudiaron, las variables que provocaron el comportamiento del tiempo de fraguado “acelerado” de la mezcla 18 ( $M_{18}$ ) (350 ml/bolsa de cemento), la cual, fue elaborada en “clima normal” (alrededor de 25 °C); con una temperatura de 23.0 °C, durante las primeras horas de la mañana; se le adicionó 700 ml de agua, a la bachada 1 ( $B_1$ ), para alcanzar un valor

de revenimiento de 1.50 pulgadas, quedando por debajo del límite inferior especificado en esta investigación (2 pulgadas). La cantidad de agua adicionada con respecto al valor de revenimiento conseguido, muestra una mezcla de consistencia “dura”. Su relación agua/cemento (A/C) fue de 0.52, pudiendo ser este factor, el principal responsable de “acelerar” el endurecimiento del concreto, a tan solo 410 minutos, o bien, su equivalente de 6 horas 50 minutos.

Cabe destacar, que si los factores que influyen en el tiempo de fraguado de las mezclas de concreto, se mantienen constantes y se utiliza la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento, el tiempo de fraguado se verá incrementado considerablemente.

#### **5.4.5 CORRELACION MODULO DE RUPTURA CON ESFUERZO A LA COMPRESION**

La correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, se obtuvo graficando, los resultados de Resistencia a la Compresión en las abscisas (eje x), contra cada una los resultados de Módulo de Ruptura, en las ordenadas (eje y). En las Tablas 5.26, 5.30, 5.37 y 5.41, se detallan los datos obtenidos de Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) y Módulo de Ruptura (MR), según los ensayos especificados por las normas ASTM C39 y ASTM C78, respectivamente.

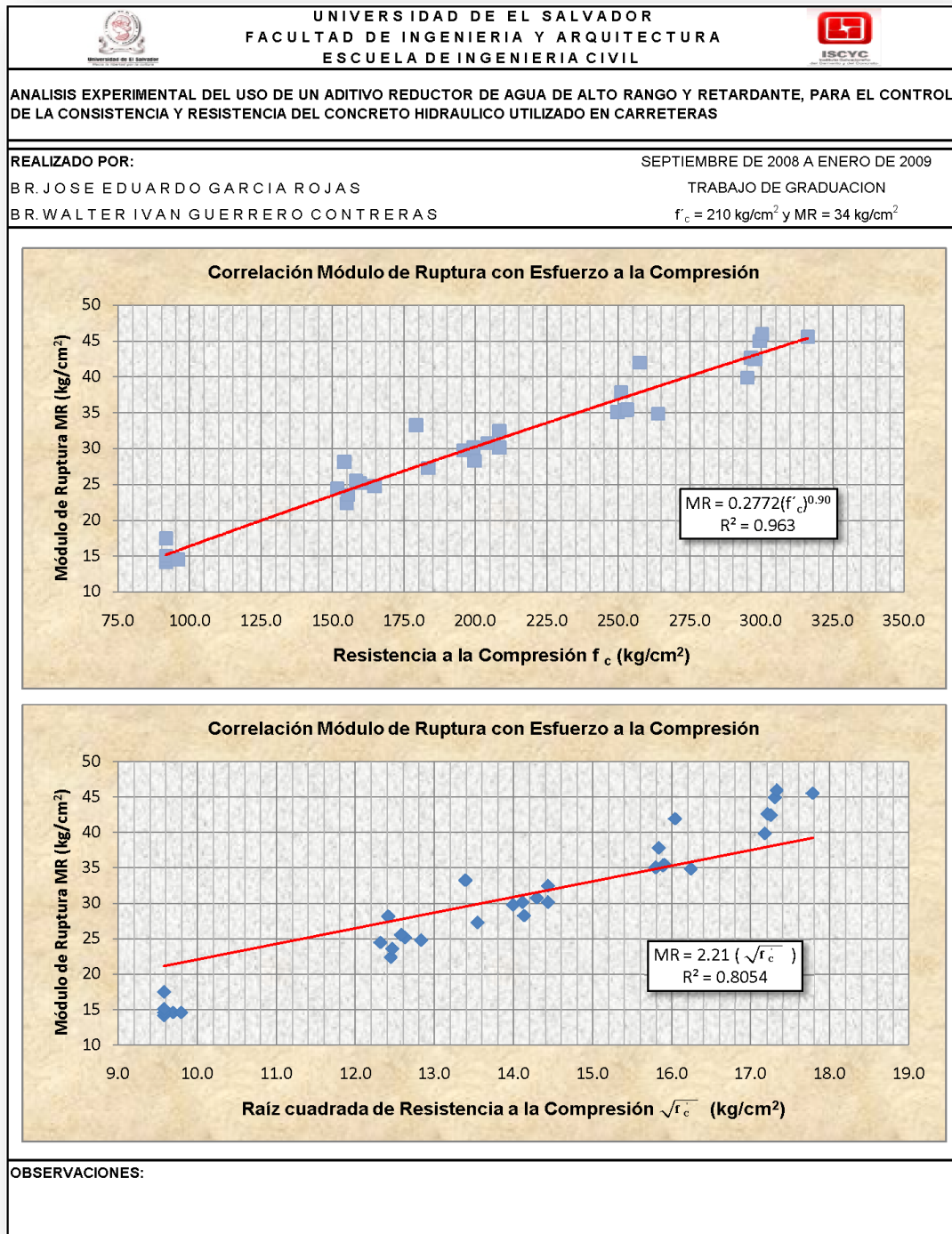
En los gráficos de las Tablas 5.69 y 5.71, se presentan las curvas de las correlaciones MR contra  $f'_c$  y MR contra  $\sqrt{f'_c}$ . También, se presentan en las Tablas 5.68 y 5.70, los valores de una constante “k”, asumiendo una relación lineal entre el Módulo de Ruptura (MR) y la Resistencia a la Compresión del concreto ( $f'_c$ ), es decir,  $k = MR/f'_c$ . De manera simultánea, se indica el cálculo de dicha constante, pero esta vez, suponiendo que existe una relación potencial, similar a la expresión recomendada por el Instituto Americano del Concreto (ACI), para la obtención del valor del Módulo de Ruptura (MR), la cual, es:  $k = MR/\sqrt{f'_c}$ .

**Tabla 5.68:** Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISOCY			
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR:				SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009					
BR. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS				TRABAJO DE GRADUACION					
BR. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup> y MR = 34 kg/cm <sup>2</sup>					
CORRELACION ESFUERZO A LA COMPRESION (f'c) CONTRA MODULO DE RUPTURA (MR)									
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DIAS	MODULO DE RUPTURA (MR)	ESFUERZO A COMPRESION (f'c)	$\sqrt{f'c}$	k	
								LINEAL MR/f'c	POTENCIAL MR/ $\sqrt{f'c}$
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm<sup>2</sup> Y MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm<sup>2</sup></b>									
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	3	12.2	87.5	9.4	0.14	1.3
MEZCLA 2	05-Sep-08		20		14.2	91.7	9.6	0.15	1.5
MEZCLA 3	09-Sep-08		30		14.6	93.8	9.7	0.16	1.5
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12		14.6	91.7	9.6	0.16	1.5
MEZCLA 5	16-Sep-08		20		15.1	91.7	9.6	0.16	1.6
MEZCLA 6	18-Sep-08		30		15.8	104.2	10.2	0.15	1.5
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12		17.5	91.7	9.6	0.19	1.8
MEZCLA 8	24-Sep-08		20		14.6	95.8	9.8	0.15	1.5
MEZCLA 9	29-Sep-08		30		16.7	120.8	11.0	0.14	1.5
<b>PROMEDIO (3 DIAS)</b>					15.0	96.5	9.8	0.16	1.5
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	7	22.4	154.8	12.4	0.14	1.8
MEZCLA 2	05-Sep-08		20		24.5	151.6	12.3	0.16	2.0
MEZCLA 3	09-Sep-08		30		25.2	159.4	12.6	0.16	2.0
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12		23.6	155.3	12.5	0.15	1.9
MEZCLA 5	16-Sep-08		20		25.6	158.2	12.6	0.16	2.0
MEZCLA 6	18-Sep-08		30		27.3	183.4	13.5	0.15	2.0
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12		28.2	154.0	12.4	0.18	2.3
MEZCLA 8	24-Sep-08		20		24.8	164.6	12.8	0.15	1.9
MEZCLA 9	29-Sep-08		30		29.0	201.2	14.2	0.14	2.0
<b>PROMEDIO (7 DIAS)</b>					25.6	164.7	12.8	0.16	2.0
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	14	28.3	199.6	14.1	0.14	2.0
MEZCLA 2	05-Sep-08		20		29.8	195.8	14.0	0.15	2.1
MEZCLA 3	09-Sep-08		30		30.2	208.3	14.4	0.14	2.1
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12		30.2	199.2	14.1	0.15	2.1
MEZCLA 5	16-Sep-08		20		30.8	204.2	14.3	0.15	2.2
MEZCLA 6	18-Sep-08		30		32.9	231.3	15.2	0.14	2.2
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12		33.3	179.2	13.4	0.19	2.5
MEZCLA 8	24-Sep-08		20		32.5	208.3	14.4	0.16	2.3
MEZCLA 9	29-Sep-08		30		34.6	247.9	15.7	0.14	2.2
<b>PROMEDIO (14 DIAS)</b>					31.4	208.2	14.4	0.15	2.2
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	28	35.1	249.6	15.8	0.14	2.2
MEZCLA 2	05-Sep-08		20		35.4	252.3	15.9	0.14	2.2
MEZCLA 3	09-Sep-08		30		34.9	263.8	16.2	0.13	2.1
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12		37.9	250.9	15.8	0.15	2.4
MEZCLA 5	16-Sep-08		20		35.5	253.0	15.9	0.14	2.2
MEZCLA 6	18-Sep-08		30		37.7	282.3	16.8	0.13	2.2
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12		37.9	199.1	14.1	0.19	2.7
MEZCLA 8	24-Sep-08		20		42.0	257.4	16.0	0.16	2.6
MEZCLA 9	29-Sep-08		30		38.7	293.4	17.1	0.13	2.3
<b>PROMEDIO (28 DIAS)</b>					37.2	255.8	16.0	0.15	2.3
MEZCLA 1	03-Sep-08	175	12	56	39.9	295.1	17.2	0.14	2.3
MEZCLA 2	05-Sep-08		20		42.7	296.4	17.2	0.14	2.5
MEZCLA 3	09-Sep-08		30		42.7	306.5	17.5	0.14	2.4
MEZCLA 4	11-Sep-08	250	12		42.5	297.8	17.3	0.14	2.5
MEZCLA 5	16-Sep-08		20		45.0	299.5	17.3	0.15	2.6
MEZCLA 6	18-Sep-08		30		45.6	316.2	17.8	0.14	2.6
MEZCLA 7	22-Sep-08	350	12		46.6	248.0	15.7	0.19	3.0
MEZCLA 8	24-Sep-08		20		46.0	300.3	17.3	0.15	2.7
MEZCLA 9	29-Sep-08		30		44.4	326.9	18.1	0.14	2.5
<b>PROMEDIO (56 DIAS)</b>					43.9	298.5	17.3	0.15	2.5
OBSERVACIONES:									
LOS VALORES EN COLOR ROJO HAN SIDO DESCARTADOS EN EL CALCULO DE LA ECUACION, DEBIDO A QUE ESTOS SON DISTANTES DE LA TENDENCIA DE LOS RESULTADOS.									

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.69:** Gráfico de correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 34 kg/cm<sup>2</sup> y Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

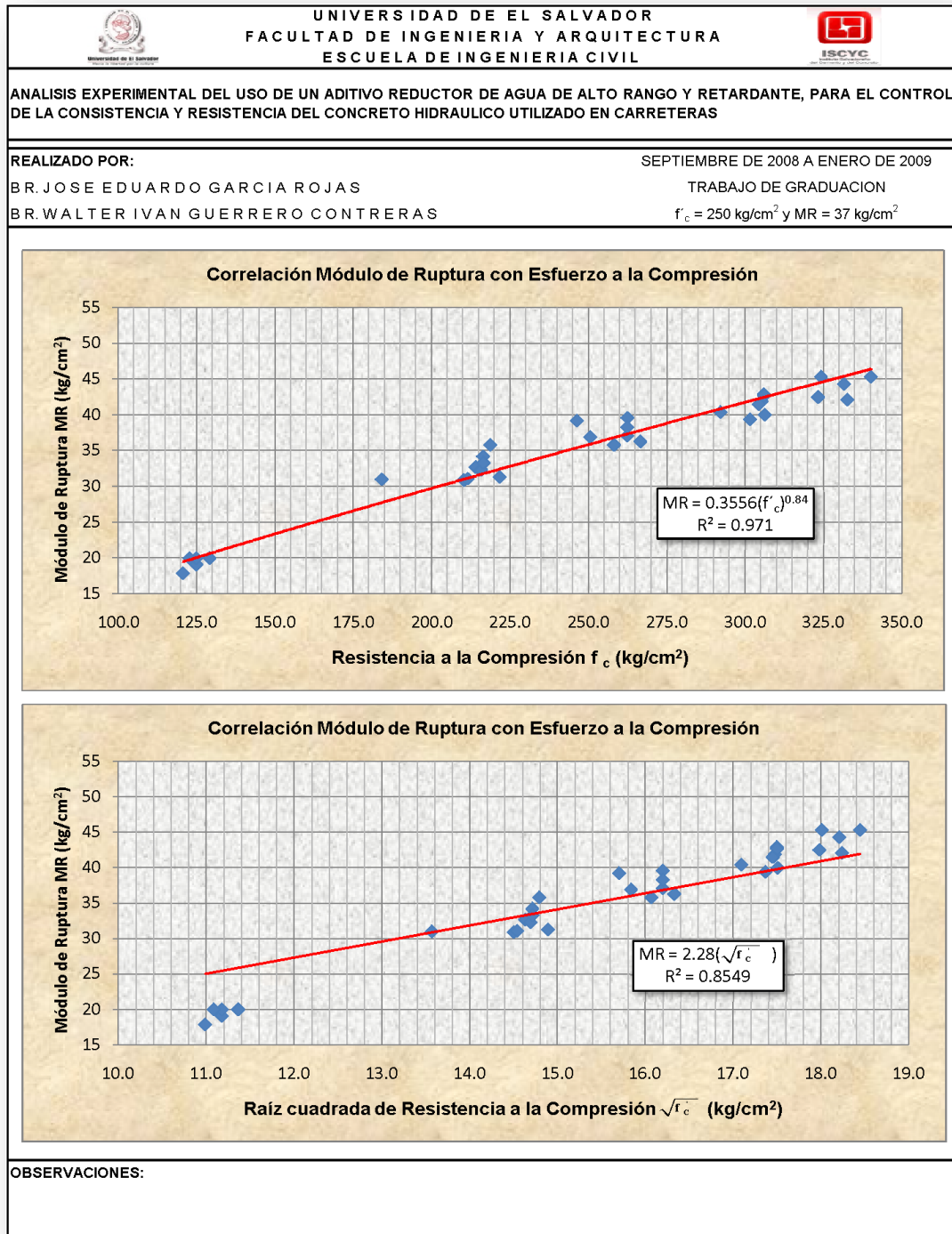


**Tabla 5.70:** Correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		ISCYC			
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS									
REALIZADO POR: BR. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS BR. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS				SEPTIEMBRE DE 2008 A ENERO DE 2009 TRABAJO DE GRADUACION f'c = 250 kg/cm <sup>2</sup> y MR = 37 kg/cm <sup>2</sup>					
CORRELACION ESFUERZO A LA COMPRESION (f'c) CONTRA MODULO DE RUPTURA (MR)									
MEZCLA DE CONCRETO	FECHA DE ELABORACION	TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO (ml/ bolsa)	REDUCCION EN EL AGUA DE MEZCLADO (%)	EDAD DIAS	MODULO DE RUPTURA (MR)	ESFUERZO A COMPRESION (f'c)	√f'c	k	
								LINEAL MR/f'c	POTENCIAL MR/√f'c
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm<sup>2</sup> Y MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm<sup>2</sup></b>									
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	3	19.1	125.0	11.2	0.15	1.7
MEZCLA 11	02-Oct-08		20		20.0	125.0	11.2	0.16	1.8
MEZCLA 12	16-Oct-08		30		20.0	145.8	12.1	0.14	1.7
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	3	20.0	129.2	11.4	0.15	1.8
MEZCLA 14	24-Oct-08		20		20.0	125.0	11.2	0.16	1.8
MEZCLA 15	28-Oct-08		30		17.9	120.8	11.0	0.15	1.6
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	3	17.9	108.3	10.4	0.17	1.7
MEZCLA 17	04-Nov-08		20		20.0	122.9	11.1	0.16	1.8
MEZCLA 18	07-Nov-08		30		20.0	129.2	11.4	0.15	1.8
<b>PROMEDIO (3 DIAS)</b>					19.4	125.7	11.2	0.16	1.7
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	7	30.9	210.4	14.5	0.15	2.1
MEZCLA 11	02-Oct-08		20		31.1	211.5	14.5	0.15	2.1
MEZCLA 12	16-Oct-08		30		31.6	254.6	16.0	0.12	2.0
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	7	31.3	221.8	14.9	0.14	2.1
MEZCLA 14	24-Oct-08		20		32.7	214.2	14.6	0.15	2.2
MEZCLA 15	28-Oct-08		30		32.3	215.9	14.7	0.15	2.2
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	7	31.0	184.1	13.6	0.17	2.3
MEZCLA 17	04-Nov-08		20		34.2	216.5	14.7	0.16	2.3
MEZCLA 18	07-Nov-08		30		33.3	216.6	14.7	0.15	2.3
<b>PROMEDIO (7 DIAS)</b>					32.0	216.2	14.7	0.15	2.2
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	14	36.9	250.8	15.8	0.15	2.3
MEZCLA 11	02-Oct-08		20		37.1	262.5	16.2	0.14	2.3
MEZCLA 12	16-Oct-08		30		36.7	293.8	17.1	0.12	2.1
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	14	36.3	266.7	16.3	0.14	2.2
MEZCLA 14	24-Oct-08		20		38.3	262.5	16.2	0.15	2.4
MEZCLA 15	28-Oct-08		30		35.8	258.3	16.1	0.14	2.2
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	14	35.8	218.8	14.8	0.16	2.4
MEZCLA 17	04-Nov-08		20		39.6	262.5	16.2	0.15	2.4
MEZCLA 18	07-Nov-08		30		38.3	262.5	16.2	0.15	2.4
<b>PROMEDIO (14 DIAS)</b>					37.2	259.8	16.1	0.14	2.3
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	28	40.4	292.2	17.1	0.14	2.4
MEZCLA 11	02-Oct-08		20		41.9	305.4	17.5	0.14	2.4
MEZCLA 12	16-Oct-08		30		39.4	323.7	18.0	0.12	2.2
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	28	40.0	306.4	17.5	0.13	2.3
MEZCLA 14	24-Oct-08		20		42.9	306.1	17.5	0.14	2.5
MEZCLA 15	28-Oct-08		30		39.4	301.7	17.4	0.13	2.3
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	28	39.2	246.5	15.7	0.16	2.5
MEZCLA 17	04-Nov-08		20		42.7	306.2	17.5	0.14	2.4
MEZCLA 18	07-Nov-08		30		41.5	304.5	17.4	0.14	2.4
<b>PROMEDIO (28 DIAS)</b>					40.8	299.2	17.3	0.14	2.4
MEZCLA 10	30-Sep-08	175	12	56	42.5	323.4	18.0	0.13	2.4
MEZCLA 11	02-Oct-08		20		45.3	324.3	18.0	0.14	2.5
MEZCLA 12	16-Oct-08		30		43.8	382.6	19.6	0.11	2.2
MEZCLA 13	21-Oct-08	250	12	56	42.1	332.7	18.2	0.13	2.3
MEZCLA 14	24-Oct-08		20		46.2	326.0	18.1	0.14	2.6
MEZCLA 15	28-Oct-08		30		44.3	331.6	18.2	0.13	2.4
MEZCLA 16	31-Oct-08	350	12	56	44.3	286.6	16.9	0.15	2.6
MEZCLA 17	04-Nov-08		20		48.6	338.2	18.4	0.14	2.6
MEZCLA 18	07-Nov-08		30		45.3	340.2	18.4	0.13	2.5
<b>PROMEDIO (56 DIAS)</b>					44.7	331.7	18.2	0.14	2.5
OBSERVACIONES:									
LOS VALORES EN COLOR ROJO HAN SIDO DESCARTADOS EN EL CALCULO DE LA ECUACION, DEBIDO A QUE ESTOS SON DISTANTES DE LA TENDENCIA DE LOS RESULTADOS.									

Fuente: Los autores (2009).

**Tabla 5.71:** Gráfico de correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, para las mezclas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>.



Según el Instituto Americano del Concreto (ACI), el Módulo de Ruptura (MR), para un “concreto de peso normal” (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>), se aproxima a valores de 2.1 a 2.4 veces la raíz cuadrada de la Resistencia a la Compresión ( $\sqrt{f'_c}$ ). En esta investigación, los valores encontrados a la edad de 28 días, se encuentran dentro de este rango, ya que con las menores resistencias en estudio (34 kg/cm<sup>2</sup>), se obtuvo un resultado de 2.3, mientras que para las mayores resistencias de esta investigación (37 kg/cm<sup>2</sup>), dicho dato fue de 2.4 (Véase Tabla 5.72).

**Tabla 5.72:** Valores de la constante “k”, asumiendo una relación de tipo lineal y potencial.

EDAD	MR/f' <sub>c</sub>	MR/√f' <sub>c</sub>
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 210 kg/cm<sup>2</sup> MODULO DE RUPTURA DE 34 kg/cm<sup>2</sup></b>		
3 DIAS	16.0%	1.5
7 DIAS	16.0%	2.0
14 DIAS	15.0%	2.2
28 DIAS	15.0%	2.3
56 DIAS	15.0%	2.5
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 250 kg/cm<sup>2</sup> MODULO DE RUPTURA DE 37 kg/cm<sup>2</sup></b>		
3 DIAS	16.0%	1.7
7 DIAS	15.0%	2.2
14 DIAS	14.0%	2.3
28 DIAS	14.0%	2.4
56 DIAS	14.0%	2.5

Fuente: Los autores (2009).

Además, al efectuar el análisis de la información recopilada, asumiendo una relación lineal entre los valores de los Módulos de Ruptura (MR) y la Resistencia a la Compresión (f'<sub>c</sub>), se obtuvo que estos son muy cercanos al 15%, cumpliendo con el límite máximo del rango señalado en la Sección 2.7.2.1.2, para dicha relación (8% a 15%).



# CAPITULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Autopista San Salvador-Comalapa. El Salvador.

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## **6.1 CONCLUSIONES**

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye lo siguiente:

### **6.1.1 TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO DE 175 ml/bolsa de cemento**

#### **6.1.1.1 CONSISTENCIA DEL CONCRETO (REVENIMIENTO)**

1. El aditivo tuvo poca influencia sobre la consistencia de las mezclas, utilizando la dosificación de 175 ml/bolsa de cemento y reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%. Por lo que se concluye, que al utilizar esta dosis, independientemente, cual sea, la reducción en el agua de mezclado empleada, el efecto generado en la trabajabilidad del concreto, es poco apreciable (Véase Tablas 5.1 y 5.4).
2. La consistencia de las mezclas de concreto, está influenciada de manera directa por la tasa de dosificación del aditivo y los ajustes en el agua de mezclado (Véase Tabla 5.8), realizados en el momento de su elaboración.

#### **6.1.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron las resistencias a compresión especificadas a la edad de 28 días. Obteniendo, un valor promedio de 255.2 y 307.1 kg/cm<sup>2</sup>, para los concretos diseñados con 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tablas 5.34 y 5.35).
2. Al emplear una tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30% (Véase Tablas 5.27, 5.28 y 5.29), se observó, que todas las mezclas diseñadas con estas características, cumplieron las resistencias a compresión especificadas a 28 días de edad. Por lo que se concluye, que estas combinaciones son adecuadas, para obtener resultados satisfactorios en la Resistencia a la Compresión del concreto.
3. Los mayores resultados obtenidos en este ensayo, fueron de 263.8 kg/cm<sup>2</sup>, para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 30% y la Resistencia a la Compresión de 210

kg/cm<sup>2</sup> (Véase Tabla 5.26) y de 323.7 kg/cm<sup>2</sup>, para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 30% y la Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> (Véase Tabla 5.30). Por lo que se concluye, que los mejores resultados a compresión para esta tasa de dosificación, se obtendrán, utilizando las mayores reducciones en el agua de mezclado (30%).

4. Los valores de desviación estándar (S) obtenidos a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días, para las primeras nueve mezclas, oscilaron entre 10.2 y 26.2 kg/cm<sup>2</sup> y entre 9.8 y 24.7 kg/cm<sup>2</sup>, para las nueve restantes (Véase Tablas 5.34 y 5.35), siendo inferiores en la mayoría de los casos, al valor asumido en el Paso II "ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO" del Capítulo IV "PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA" (25 kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que se concluye, que la metodología empleada para obtener la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ), brindó resultados satisfactorios.

#### **6.1.1.3 RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron el Módulo de Ruptura de diseño especificado a la edad de 28 días (Véase Tablas 5.45 y 5.46). Ya que el promedio de los resultados para esta tasa de dosificación del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, en las mezclas diseñadas para 34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, fueron de 35.1 y 40.6 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tablas 5.45 y 5.46).
2. Con base en los datos obtenidos, se puede observar que utilizando la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, se obtuvieron resultados de módulos de ruptura (MR) por encima del valor de Resistencia a la Flexión especificado a la edad de 28 días, en todos los casos (Véase Tablas 5.37 y 5.41). Cabe mencionar que el resultado más elevado para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 20%, con un valor de 35.4 kg/cm<sup>2</sup>.

Mientras que para las diseñadas con  $37 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 20%, con un valor de  $41.9 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo que se concluye, que los mejores resultados a flexión para esta tasa de dosificación, se obtendrán empleando las reducciones en el agua de mezclado del 20%.

3. A partir de los resultados de Módulo de Ruptura obtenidos a 28 días y en combinación con las cantidades de materiales utilizados, se concluye, que las seis mezclas elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_{10}$ ,  $M_{11}$  y  $M_{12}$ ), fueron eficientes y económicas, ya que superaron la resistencia especificada a la flexión a la edad de 28 días, requiriendo únicamente, 7.0 bolsas de cemento, para los diseños de  $34 \text{ kg/cm}^2$  y 7.7 bolsas de cemento, para los diseños de  $37 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Anexo E).
4. Las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura de  $37 \text{ kg/cm}^2$  y esta tasa de dosificación del aditivo, obtuvieron valores entre  $39.4$  y  $41.9 \text{ kg/cm}^2$ , para la edad de 28 días (Véase Tabla 5.46), los cuales, son cercanos o superiores a  $40.0 \text{ kg/cm}^2$ , que es el dato empleado, para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico con bajo tráfico en El Salvador.

#### **6.1.1.4 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO**

1. Los tiempos de fraguado inicial y final del concreto, nos permitieron establecer que el aditivo empleado en esta investigación, se clasifica como Tipo G (ASTM C494), debido a que los valores más bajos obtenidos en el ensayo, utilizando esta tasa de dosificación del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado (12, 20 y 30%), fueron de 4 horas 41 minutos (fraguado inicial) y 7 horas 4 minutos (fraguado final) (Véase Tabla 5.23).

#### **6.1.1.5 TEMPERATURA DEL CONCRETO**

1. Los resultados del ensayo de temperatura, se mantuvieron constantes y por debajo de  $32.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $90.0 \text{ }^\circ\text{F}$ ), por lo que se concluye, que se cumplieron los requisitos establecidos en la "Norma Técnica para Control de Calidad de los Materiales Estructurales" y la norma ASTM C94 (Véase Tabla 5.20).

2. Las temperaturas mínimas y máximas registradas en las mezclas de concreto, elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo, las tres reducciones en el agua de mezclado y las dos resistencias en estudio, promediaron valores entre 24.8 y 27.9 °C, (Véase Tabla 5.20), con lo que se evitó, la posible presencia de “agrietamiento por contracción plástica”, debido al secado en la superficie del concreto.

#### **6.1.1.6 PESO VOLUMETRICO (PESO UNITARIO) DEL CONCRETO**

1. Los pesos volumétricos obtenidos para esta tasa de dosificación del aditivo, oscilaron en el rango de 2,280.7 a 2,304.0 kg/m<sup>3</sup>, los cuales, son cercanos al valor recomendado por el Comité ACI 211.1, para concreto con agregado grueso con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada (2,380 kg/m<sup>3</sup>, Véase Tabla 4.19), por lo que se consideran satisfactorios, dado que denota, el adecuado proporcionamiento de los componentes en las mezclas elaboradas (Véase Tabla 5.11).
2. El valor promedio de los resultados del ensayo de peso volumétrico para las mezclas con esta tasa de dosificación del aditivo (175 ml/bolsa de cemento), fue de 2,293.1 kg/m<sup>3</sup> (Véase Tabla 5.11), con lo que se verificó que el concreto elaborado, se clasifica como “concreto de peso normal”, ya que este valor, está dentro del rango establecido para este tipo de concreto (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>).
3. Los resultados más elevados en el ensayo de peso volumétrico del concreto en estado fresco, se obtuvieron al utilizar esta tasa de dosificación del aditivo (Véase Tabla 5.11).
4. El valor de peso volumétrico del concreto en estado fresco, es similar al del peso volumétrico del concreto endurecido (Véase Tablas 5.11, 5.26 y 5.30), esto se debe a que este parámetro está determinado principalmente, por: las gravedades específicas ( $G_s$ ) de los agregados y el cemento utilizado.
5. El peso volumétrico del concreto en estado fresco, disminuye conforme se aumenta la cantidad de cemento. Es por ello, que los resultados para la Resistencia a la Compresión

( $f'_c$ ) de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , están por encima de los generados con la otra resistencia en estudio (Véase Tabla 5.12).

#### **6.1.1.7 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO**

1. Los resultados obtenidos del ensayo de contenido de aire, se mantuvieron por debajo del valor máximo permisible, para “concreto sin aire incluido” (3%) y éstos, variaron dentro del rango de 1.4 a 2.2%. Lo que indica, que el aditivo no se comportó como un “aditivo inclusor de aire” en las mezclas de concreto elaboradas con esta tasa de dosificación (Véase Tabla 5.16).
2. Las mezclas diseñadas para la Resistencia a la Flexión (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$ , tendrán mayor contenido de aire que las elaboradas con la otra resistencia en estudio (Véase Tablas 5.17, 5.18 y 5.19) Esto debido a que el aditivo empleado, se dosifica en función de la cantidad de cemento empleada.
3. Al aumentar el contenido de aire, se disminuye el peso volumétrico del concreto en estado fresco (Véase Tabla 5.15), Esto se pudo apreciar, mediante el comportamiento de las mezclas 1 y 12 ( $M_1$  y  $M_{12}$ ), las cuales, presentaron valores de contenido de aire de 1.4 y 2.2%, respectivamente y generaron, concretos con pesos volumétricos de 2,304.0 y  $2,295.5 \text{ kg/m}^3$  (Véase Tabla 5.16).
4. Los resultados más elevados en el ensayo de contenido de aire con esta tasa de dosificación del aditivo, se obtuvieron en las mezclas con la reducción en el agua de mezclado del 30%, para ambas resistencias, siendo estos valores, de 1.7 y 2.2% (Véase Tabla 5.17). Es decir, presentó un incremento máximo de 0.7% con respecto al valor de diseño (1.5%). Por lo que se concluye, que los porcentajes obtenidos, no afectarán perjudicialmente, la Resistencia a la Compresión y Flexión del concreto.

## **6.1.2 TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO DE 250 ml/bolsa de cemento**

### **6.1.2.1 CONSISTENCIA DEL CONCRETO (REVENIMIENTO)**

1. Para las mezclas elaboradas con la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y reducciones en el agua de mezclado del 12 y 20% (Véase Tablas 5.2 y 5.5), se observó un buen desempeño del aditivo sobre la trabajabilidad del concreto. Es decir, que con esta dosis y las reducciones en el agua de mezclado, anteriormente mencionadas, se puede obtener una adecuada consistencia en las mezclas.
2. Cuando se utiliza la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30% (Véase Tabla 5.2 y 5.5), no se generaron mejoras sobre la consistencia del concreto fresco. Por lo que se concluye, que esta combinación, no resulta eficiente para mejorar la trabajabilidad del concreto.
3. La consistencia de las mezclas de concreto, está influenciada de manera directa por la tasa de dosificación del aditivo y los ajustes en el agua de mezclado (Véase Tabla 5.8), realizados en el momento de su elaboración.

### **6.1.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron las resistencias a compresión especificadas a la edad de 28 días. Obteniendo, un valor promedio de 262.1 y 304.7 kg/cm<sup>2</sup>, para los concretos diseñados con 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tablas 5.34 y 5.35).
2. Al emplear una tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30% (Véase Tablas 5.27, 5.28 y 5.29), se observó, que todas las mezclas diseñadas con estas características, cumplieron las resistencias a compresión especificadas a 28 días de edad. Por lo que se concluye, que estas combinaciones son adecuadas, para obtener resultados satisfactorios en la Resistencia a la Compresión del concreto.

3. Los mayores resultados obtenidos en este ensayo, fueron de  $282.3 \text{ kg/cm}^2$ , para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 30% y la Resistencia a la Compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Tabla 5.26) y de  $301.7 \text{ kg/cm}^2$ , para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 30% y la Resistencia a la Compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Tabla 5.30). Por lo que se concluye, que los mejores resultados a compresión para esta tasa de dosificación, se obtendrán, utilizando las mayores reducciones en el agua de mezclado (30%).
4. Los valores de desviación estándar (S) obtenidos a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días, para las primeras nueve mezclas, oscilaron entre  $10.2$  y  $26.2 \text{ kg/cm}^2$  y entre  $9.8$  y  $24.7 \text{ kg/cm}^2$ , para las nueve restantes (Véase Tablas 5.34 y 5.35), siendo inferiores en la mayoría de los casos, al valor asumido en el Paso II "ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO" del Capítulo IV "PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA" ( $25 \text{ kg/cm}^2$ ). Por lo que se concluye, que la metodología empleada para obtener la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ), brindó resultados satisfactorios.

### **6.1.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron el Módulo de Ruptura de diseño especificado a la edad de 28 días (Véase Tablas 5.45 y 5.46). Ya que el promedio de los resultados para esta tasa de dosificación del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, en las mezclas diseñadas para  $34$  y  $37 \text{ kg/cm}^2$ , fueron de  $37.0$  y  $40.8 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente (Véase Tablas 5.45 y 5.46).
2. Con base en los datos obtenidos, se puede observar que utilizando la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, se obtuvieron resultados de módulos de ruptura (MR) por encima del valor de Resistencia a la Flexión especificado a la edad de 28 días, en todos

los casos (Véase Tablas 5.37 y 5.41). Cabe mencionar que el resultado más elevado para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de  $34 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 12%, con un valor de  $37.9 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras que para las diseñadas con  $37 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 20%, con un valor de  $42.9 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo que se concluye, que las combinaciones anteriores, brindarán resultados satisfactorios de Resistencia a la Flexión.

3. A partir de los resultados de Módulo de Ruptura obtenidos a 28 días y en combinación con las cantidades de materiales utilizados, se concluye, que las seis mezclas elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo ( $M_4$ ,  $M_5$ ,  $M_6$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{14}$  y  $M_{15}$ ), fueron eficientes y económicas, ya que superaron la resistencia especificada a la flexión a la edad de 28 días, requiriendo únicamente, 7.0 bolsas de cemento, para los diseños de  $34 \text{ kg/cm}^2$  y 7.7 bolsas de cemento, para los diseños de  $37 \text{ kg/cm}^2$  (Véase Anexo E).
4. Las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura de  $37 \text{ kg/cm}^2$  y esta tasa de dosificación del aditivo, obtuvieron valores entre  $39.4$  y  $42.9 \text{ kg/cm}^2$ , para la edad de 28 días (Véase Tabla 5.46), los cuales, son cercanos o superiores a  $40.0 \text{ kg/cm}^2$ , que es el dato empleado, para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico con bajo tráfico en El Salvador.

#### **6.1.2.4 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO**

1. Los tiempos de fraguado inicial y final del concreto, nos permitieron establecer que el aditivo empleado en esta investigación, se clasifica como Tipo G (ASTM C494), debido a que los valores más bajos obtenidos en el ensayo, utilizando esta tasa de dosificación del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado (12, 20 y 30%), fueron de 4 horas 42 minutos (fraguado inicial) y 6 horas 59 minutos (fraguado final) (Véase Tabla 5.23)

#### **6.1.2.5 TEMPERATURA DEL CONCRETO**

1. Los resultados del ensayo de temperatura, se mantuvieron constantes y por debajo de  $32.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $90.0 \text{ }^\circ\text{F}$ ), por lo que se concluye, que se cumplieron los requisitos establecidos

en la “Norma Técnica para Control de Calidad de los Materiales Estructurales” y la norma ASTM C94 (Véase Tabla 5.20).

2. Las temperaturas mínimas y máximas registradas en las mezclas de concreto, elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo, las tres reducciones en el agua de mezclado y las dos resistencias en estudio, promediaron valores entre 23.6 y 26.6 °C, (Véase Tabla 5.20), con lo que se evitó, la posible presencia de “agrietamiento por contracción plástica”, debido al secado en la superficie del concreto.

#### **6.1.2.6 PESO VOLUMETRICO (PESO UNITARIO) DEL CONCRETO**

1. Los pesos volumétricos obtenidos para esta tasa de dosificación del aditivo, oscilaron en el rango de 2,247.5 a 2,274.3 kg/m<sup>3</sup>, los cuales, son cercanos al valor recomendado por el Comité ACI 211.1, para concreto con agregado grueso con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada (2,380 kg/m<sup>3</sup>, Véase Tabla 4.19), por lo que se consideran satisfactorios, dado que denota, el adecuado proporcionamiento de los componentes en las mezclas elaboradas (Véase Tabla 5.11).
2. El valor promedio de los resultados del ensayo de peso volumétrico para las mezclas con esta tasa de dosificación del aditivo (250 ml/bolsa de cemento), fue de 2,260.9 kg/m<sup>3</sup> (Véase Tabla 5.11), con lo que se verificó que el concreto elaborado, se clasifica como “concreto de peso normal”, ya que este valor, está dentro del rango establecido para este tipo de concreto (2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>).
3. El valor de peso volumétrico del concreto en estado fresco, es similar al del peso volumétrico del concreto endurecido (Véase Tablas 5.11, 5.26 y 5.30), esto se debe a que este parámetro está determinado principalmente, por: las gravedades específicas ( $G_s$ ) de los agregados y el cemento utilizado.
4. Al aumentar la cantidad del aditivo, se disminuye el peso volumétrico del concreto en estado fresco, este comportamiento fue el mismo, para las dos resistencias analizadas en esta investigación (Véase Tablas 5.12, 5.13 y 5.14).

5. El peso volumétrico del concreto en estado fresco, disminuye conforme se aumenta la cantidad de cemento. Es por ello, que los resultados para la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , están por encima de los generados con la otra resistencia en estudio (Véase Tabla 5.12).

#### **6.1.2.7 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO**

1. Los resultados obtenidos del ensayo de contenido de aire, se mantuvieron por debajo del valor máximo permisible, para “concreto sin aire incluido” (3%) y éstos, variaron dentro del rango de 1.8 a 2.1%. Lo que indica, que el aditivo no se comportó como un “aditivo inclusor de aire” en las mezclas de concreto elaboradas con esta tasa de dosificación (Véase Tabla 5.16).
2. El contenido de aire del concreto fresco, aumenta en forma proporcional a la cantidad del aditivo utilizada y por estar éste, dosificado en función de la cantidad de cemento empleada. Las mezclas diseñadas para la Resistencia a la Flexión (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$ , tendrán mayor contenido de aire que las elaboradas con la otra resistencia en estudio (Véase Tablas 5.17, 5.18 y 5.19).
3. Al aumentar el contenido de aire, se disminuye el peso volumétrico del concreto en estado fresco (Véase Tabla 5.15), Esto se pudo apreciar, mediante el comportamiento de las mezclas 4 y 15 ( $M_4$  y  $M_{15}$ ), las cuales, presentaron valores de contenido de aire de 1.8 y 2.1%, respectivamente y generaron, concretos con pesos volumétricos de  $2,274.3$  y  $2,258.8 \text{ kg/m}^3$  (Véase Tabla 5.16).
4. Los resultados más elevados en el ensayo de contenido de aire con esta tasa de dosificación del aditivo, se obtuvieron en las mezclas con la reducción en el agua de mezclado del 30%, para ambas resistencias, siendo estos valores, de 1.9 y 2.1% (Véase Tabla 5.17). Es decir, presentó un incremento máximo de 0.6% con respecto al valor de diseño (1.5%). Por lo que se concluye, que los porcentajes obtenidos, no afectarán perjudicialmente, la Resistencia a la Compresión y Flexión del concreto.

### **6.1.3 TASA DE DOSIFICACION DEL ADITIVO DE 350 ml/bolsa de cemento**

#### **6.1.3.1 CONSISTENCIA DEL CONCRETO (REVENIMIENTO)**

1. Los resultados de consistencia más satisfactorios, se obtuvieron para las mezclas diseñadas con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12 y 20% (Véase Tablas 5.3 y 5.6). Por lo tanto, se concluye que utilizando estas combinaciones, se obtienen resultados aceptables de trabajabilidad.
2. Para el caso de las mezclas elaboradas con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30% (Véase Tablas 5.3 y 5.6), no se consiguieron los resultados especificados de consistencia. Por lo que se concluye, que una mezcla de concreto con estas características, no presentará buena trabajabilidad.
3. La consistencia de las mezclas de concreto, está influenciada de manera directa por la tasa de dosificación del aditivo y los ajustes en el agua de mezclado (Véase Tabla 5.8), realizados en el momento de su elaboración.

#### **6.1.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron en la mayoría de los casos (exceptuando las mezclas 7 y 16), las resistencias a compresión especificadas a la edad de 28 días. Obteniendo, un valor promedio de 250.0 y 285.7 kg/cm<sup>2</sup>, para los concretos diseñados con 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tablas 5.34 y 5.35).
2. En el caso de las dos mezclas diseñadas con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12% (M<sub>7</sub> y M<sub>16</sub>) (Véase Tablas 5.27 y 5.31), se obtuvieron resistencias por debajo de la especificada. Por lo que se concluye, que esta combinación **NO DEBE DE UTILIZARSE**, ya que afecta de forma perjudicial, la Resistencia a la Compresión del concreto.

3. Los resultados obtenidos al utilizar una dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 20 y 30%, permitieron alcanzar valores de Resistencia a la Compresión, superiores al especificado a la edad de 28 días, para las dos resistencias en estudio (Véase Tablas 5.28, 5.29, 5.32 y 5.33). Por lo que se concluye, que estas combinaciones generan efectos benéficos, sobre la Resistencia a la Compresión del concreto.
4. Los mayores resultados obtenidos en este ensayo, fueron de 293.4 kg/cm<sup>2</sup>, para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 30% y la Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> (Véase Tabla 5.26) y de 306.2 kg/cm<sup>2</sup>, para la mezcla elaborada con la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento, la reducción en el agua de mezclado del 20% y la Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> (Véase Tabla 5.30). Por lo que se concluye, que los mejores resultados a compresión para esta tasa de dosificación, se obtendrán, utilizando las mayores reducciones en el agua de mezclado (20 y 30%).
5. Los valores de desviación estándar (S) obtenidos a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días, para las primeras nueve mezclas, oscilaron entre 10.2 y 26.2 kg/cm<sup>2</sup> y entre 9.8 y 24.7 kg/cm<sup>2</sup>, para las nueve restantes (Véase Tablas 5.34 y 5.35), siendo inferiores en la mayoría de los casos, al valor asumido en el Paso II "ELECCION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO" del Capítulo IV "PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA" (25 kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que se concluye, que la metodología empleada para obtener la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ), brindó resultados satisfactorios.

### **6.1.3.3 RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO**

1. Los concretos elaborados con aditivo Tipo G y cemento ASTM C1157 Tipo HE, superaron el Módulo de Ruptura de diseño especificado a la edad de 28 días (Véase Tablas 5.45 y 5.46). Ya que el promedio de los resultados para esta tasa de dosificación del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30%, en las mezclas diseñadas para

34 y 37 kg/cm<sup>2</sup>, fueron de 37.0 y 40.8 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Véase Tablas 5.45 y 5.46).

2. Con base en los datos obtenidos, se puede observar que utilizando la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 o 30%, se obtuvieron resultados de módulos de ruptura (MR) por encima del valor de Resistencia a la Flexión especificado a la edad de 28 días, en todos los casos (Véase Tablas 5.37 y 5.41). Cabe mencionar que el resultado más elevado para las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 20%, con un valor de 42.0 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que para las diseñadas con 37 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo utilizando la reducción en el agua de mezclado del 20%, con un valor de 42.7 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que se concluye, que los mejores resultados a flexión para esta tasa de dosificación, se obtendrán empleando las reducciones en el agua de mezclado del 20%.
3. A partir de los resultados de Módulo de Ruptura obtenidos a 28 días y en combinación con las cantidades de materiales utilizados, se concluye, que las seis mezclas elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo (M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub>, M<sub>9</sub>, M<sub>16</sub>, M<sub>17</sub> y M<sub>18</sub>), fueron eficientes y económicas, ya que superaron la resistencia especificada a la flexión a la edad de 28 días, requiriendo únicamente, 7.0 bolsas de cemento, para los diseños de 34 kg/cm<sup>2</sup> y 7.7 bolsas de cemento, para los diseños de 37 kg/cm<sup>2</sup> (Véase Anexo E).
4. Las mezclas diseñadas con Módulo de Ruptura de 37 kg/cm<sup>2</sup> y esta tasa de dosificación del aditivo, obtuvieron valores entre 39.2 y 42.7 kg/cm<sup>2</sup>, para la edad de 28 días (Véase Tabla 5.46), los cuales, son cercanos o superiores a 40.0 kg/cm<sup>2</sup>, que es el dato empleado, para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico con bajo tráfico en El Salvador.

#### **6.1.3.4 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO**

1. Los tiempos de fraguado inicial y final del concreto, nos permitieron establecer que el aditivo empleado en esta investigación, se clasifica como Tipo G (ASTM C494), debido a que los valores más bajos obtenidos en el ensayo, utilizando esta tasa de dosificación del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado (12, 20 y 30%), fueron de 4 horas 37 minutos (fraguado inicial) y 6 horas 50 minutos (fraguado final) (Véase Tabla 5.23).
2. Los resultados más elevados del ensayo de tiempo de fraguado del concreto, se obtuvieron utilizando la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento, llegando a presentar valores de 6 horas 1 minuto (fraguado inicial) y de 9 horas 56 minutos (fraguado final). Por lo cual, se concluye que los resultados más prolongados, se conseguirán al emplear esta tasa de dosificación.

#### **6.1.3.5 TEMPERATURA DEL CONCRETO**

1. Los resultados del ensayo de temperatura, se mantuvieron constantes y por debajo de 32.0 °C (90.0 °F), por lo que se concluye, que se cumplieron los requisitos establecidos en la "Norma Técnica para Control de Calidad de los Materiales Estructurales" y la norma ASTM C94 (Véase Tabla 5.20).
2. Las temperaturas mínimas y máximas registradas en las mezclas de concreto, elaboradas con esta tasa de dosificación del aditivo, las tres reducciones en el agua de mezclado y las dos resistencias en estudio, promediaron valores entre 23.4 y 27.0 °C, (Véase Tabla 5.20), con lo que se evitó, la posible presencia de "agrietamiento por contracción plástica", debido al secado en la superficie del concreto.

#### **6.1.3.6 PESO VOLUMETRICO (PESO UNITARIO) DEL CONCRETO**

1. Los pesos volumétricos obtenidos para esta tasa de dosificación del aditivo, oscilaron en el rango de 2,191.6 a 2,265.8 kg/m<sup>3</sup>, los cuales, son cercanos al valor recomendado por el Comité ACI 211.1, para concreto con agregado grueso con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 1 pulgada (2,380 kg/m<sup>3</sup>, Véase Tabla 4.19), por lo que se consideran

satisfactorios, dado que denota, el adecuado proporcionamiento de los componentes en las mezclas elaboradas (Véase Tabla 5.11).

2. El valor promedio de los resultados del ensayo de peso volumétrico para las mezclas con esta tasa de dosificación del aditivo (350 ml/bolsa de cemento), fue de  $2,239.2 \text{ kg/m}^3$  (Véase Tabla 5.11), con lo que se verificó que el concreto elaborado, se clasifica como “concreto de peso normal”, ya que este valor, es muy cercano, al rango establecido para este tipo de concreto ( $2,240$  a  $2,400 \text{ kg/m}^3$ ).
3. El valor de peso volumétrico del concreto en estado fresco, es similar al del peso volumétrico del concreto endurecido (Véase Tablas 5.11, 5.26 y 5.30), esto se debe a que este parámetro está determinado principalmente, por: las gravedades específicas ( $G_s$ ) de los agregados y el cemento utilizado.
4. Al aumentar la cantidad del aditivo, se disminuye el peso volumétrico del concreto en estado fresco, este comportamiento fue el mismo, para las dos resistencias analizadas en esta investigación (Véase Tablas 5.12, 5.13 y 5.14).
5. El peso volumétrico del concreto en estado fresco, disminuye conforme se aumenta la cantidad de cemento. Es por ello, que los resultados para la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ) de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , están por encima de los generados con la otra resistencia en estudio (Véase Tabla 5.12).

#### **6.1.3.7 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO**

1. Los resultados obtenidos del ensayo de contenido de aire, se mantuvieron por debajo del valor máximo permisible, para “concreto sin aire incluido” (3%) y éstos variaron dentro del rango de 2.2 a 2.9%. Lo que indica, que el aditivo no se comportó como un “aditivo inclusor de aire” en las mezclas de concreto elaboradas con esta tasa de dosificación (Véase Tabla 5.16).
2. El contenido de aire del concreto fresco, aumenta en forma proporcional a la cantidad del aditivo utilizada y por estar éste, dosificado en función de la cantidad de cemento

empleada. Las mezclas diseñadas para la Resistencia a la Flexión (MR) de  $37 \text{ kg/cm}^2$ , tendrán mayor contenido de aire que las elaboradas con la otra resistencia en estudio (Véase Tablas 5.17, 5.18 y 5.19).

3. Al aumentar el contenido de aire, se disminuye el peso volumétrico del concreto en estado fresco (Véase Tabla 5.15), Esto se pudo apreciar, mediante el comportamiento de las mezclas 9 y 16 ( $M_9$  y  $M_{16}$ ), las cuales, presentaron valores de contenido de aire de 2.2 y 2.9%, respectivamente y generaron, concretos con pesos volumétricos de 2,265.8 y  $2,191.6 \text{ kg/m}^3$  (Véase Tabla 5.16).
4. Los resultados más elevados en el ensayo de contenido de aire con esta tasa de dosificación del aditivo, se obtuvieron en las mezclas con la reducción en el agua de mezclado del 12%, para ambas resistencias, siendo este valor, de 2.9% (Véase Tabla 5.17). Es decir, presentó un incremento de 1.4% con respecto al valor de diseño (1.5%). Por lo que se concluye, que los porcentajes obtenidos, no afectarán perjudicialmente, la Resistencia a la Compresión y Flexión del concreto.

#### **6.1.4 CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS**

##### **6.1.4.1 CORRELACION ESFUERZO A COMPRESION EN CILINDROS CON TASA DE ADITIVO**

1. El uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, permitió obtener curvas ascendentes (una con respecto de otra), mostrando que los resultados a compresión obtenidos, aumentan de forma directamente proporcional a la tasa de dosificación del aditivo y a la reducción en el agua de mezclado utilizada (Véase Tablas 5.48 a 5.53).
2. Los resultados mayores de Resistencia a la Compresión a 28 días, se obtuvieron para las mezclas con tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30% (Mezcla 9), siendo éste, de 293.4 kg/cm<sup>2</sup>, para los diseñados con Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y de 323.7 kg/cm<sup>2</sup>, para los de 250 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a la mezcla 12 (M<sub>12</sub>) con tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30% (Véase Tabla 5.27 y 5.33).
3. Los resultados de Resistencia a la Compresión obtenidos, muestran que para las combinaciones generadas con las tres dosificaciones del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado analizadas en esta investigación, se obtuvieron valores de Resistencia a Compresión, por encima de los especificados, para las edades del concreto de 56 días (Véase de Tabla 5.48 a 5.53).

##### **6.1.4.2 CORRELACION ESFUERZO A FLEXION EN VIGUETAS CON TASA DE ADITIVO**

1. La Resistencia a Flexión, es directamente proporcional al aumento en la tasa de dosificación del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado, ya que conforme estas variables se incrementan, el valor obtenido, es mayor (Véase de Tabla 5.55 a 5.60).
2. Los porcentajes de Módulo de Ruptura (MR) superiores al especificado para 28 días (100% de MR), se obtuvieron para las mezclas con la tasa dosificación del aditivo de 350

ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12% (Mezcla 7), siendo éste, de 111.5%, para los diseñados con Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup> y de 115.4%, con las de 37 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a la mezcla 14 (M<sub>14</sub>) con tasa del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20% (Véase Tabla 5.45 y 5.46).

3. Los valores de Módulo de Ruptura obtenidos, muestran que para las combinaciones generadas con las tres dosificaciones del aditivo y las tres reducciones en el agua de mezclado establecidas en esta investigación, se obtuvieron valores de resistencia superiores a los especificado, para las edades del concreto de 28 y 56 días (Véase de Tabla 5.55 a 5.60).

#### **6.1.4.3 CORRELACION REVENIMIENTO DE LA MEZCLA CON TASA DE ADITIVO**

1. La inclusión del aditivo en las mezclas de concreto resulto ser eficiente, al emplear tasas de dosificación del aditivo de 250 o 350 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12 y 20%. Esto debido a que no se realizaron ajustes significativos en el agua de mezclado, para alcanzar el revenimiento especificado.

#### **6.1.4.4 CORRELACION TIEMPO DE FRAGUADO DE LA MEZCLA CON TASA DE ADITIVO**

2. La relación agua/cemento (A/C) y la temperatura ambiental, son factores que influyeron directamente sobre el tiempo de fraguado inicial y final de las mezclas. Los resultados obtenidos, indican que con una relación agua/cemento (A/C) de 0.52 y en condiciones climáticas “normales” (alrededor de 25 °C) (M<sub>18</sub>), el tiempo de fraguado inicial y final se redujeron a 4 horas 37 minutos (277 minutos) y a 6 horas 50 minutos (410 minutos), respectivamente. Caso contrario, al aumentar dicha relación a un valor de 0.56 (M<sub>16</sub>) y bajo un “clima fresco” (alrededor de 15 °C) (M<sub>16</sub>), el endurecimiento del concreto se prolongó, hasta un tiempo de fraguado inicial de 6 horas 1 minuto (361 minutos) y el final, de 9 horas 9 minutos (509 minutos) (Véase Tabla 5.20). Por lo que se concluye, que a

mayor relación agua/cemento (A/C) y menor temperatura ambiental, el tiempo de fraguado se extiende. En forma inversa, si la relación agua/cemento (A/C) disminuye y la temperatura ambiental se incrementa, el endurecimiento del concreto se acelera.

3. No se pudo comprobar el efecto generado únicamente, por el uso del aditivo Tipo G, en sus diferentes dosificaciones (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento), sobre el comportamiento del tiempo de fraguado inicial y final del concreto, ya que los resultados obtenidos, presentaron variaciones considerables, generadas principalmente, por los ajustes en el agua de mezclado y la temperatura ambiental del sitio, en el momento en que se realizó el ensayo.

#### **6.1.4.5 CORRELACION MODULO DE RUPTURA CON ESFUERZO A COMPRESION**

1. Las ecuaciones generadas por la correlación "Módulo de Ruptura (MR) con Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ )", asumiendo una relación de tipo potencial ( $MR/\sqrt{f'_c}$ ), fueron de  $MR = 0.2772 f'_c{}^{0.90}$ , para las mezclas con Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup> y Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup> y  $MR = 0.3556 f'_c{}^{0.84}$ , para las mezclas con Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) de 250 kg/cm<sup>2</sup> y Módulo de Ruptura (MR) de 37 kg/cm<sup>2</sup>. En ambas ecuaciones, se observa que el valor de Módulo de Ruptura (MR), aumenta conforme se disminuye el exponente fraccionario y la constante "k" se incrementa, lo cual, se debe a las propiedades del concreto y a la dispersión de los resultados obtenidos en las gráficas (Véase Tabla 5.69 y 5.71).
2. Las ecuaciones obtenidas en esta investigación, asumiendo una relación lineal ( $MR/f'_c$ ) entre el Módulo de Ruptura (MR) y la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ), fueron de  $MR = 2.21 \sqrt{f'_c}$ , para las mezclas con Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup> y Módulo de Ruptura (MR) de 34 kg/cm<sup>2</sup> y  $MR = 2.28 \sqrt{f'_c}$ , para las mezclas con

Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) de 250 kg/cm<sup>2</sup> y Módulo de Ruptura (MR) de 37 kg/cm<sup>2</sup>. Ambas ecuaciones, se asemejan a la ecuación propuesta en el Comité ACI 318. Por lo cual, se concluye que estas ecuaciones, pueden ser utilizadas con la seguridad de obtener resultados satisfactorios (Véase Tabla 5.69 y 5.71).

3. Se ha observado que el valor del Módulo de Ruptura (MR), oscila entre 14 y 16% de la Resistencia a Compresión del concreto ( $f'_c$ ), proporcionando una idea de la rigidez y la conveniente capacidad de distribución de cargas, que pueden generarse en pavimentos utilizando este tipo de mezclas (Véase Tabla 5.68). Por lo que se concluye, que para diseñar pavimentos de concreto, cuando se utilicen cemento, aditivo, y agregados gruesos y agregado fino similares, a los empleados en esta investigación, puede asumirse que el valor de la Resistencia a la Flexión del concreto (MR), es el 15% de su Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ), es decir,  $MR = 15 \% (f'_c)$ .

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Respecto a la investigación anterior, se recomienda:

### **6.2.1 RELATIVO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

1. Las dosificaciones del aditivo Tipo G y las reducciones en el agua de mezclado, que permitieron obtener resultados satisfactorios de consistencia, sin necesidad de realizar ajustes significativos en el agua de mezclado, son: la tasa de dosificación del aditivo de 250 y 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12%; y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12 y 20%.
2. El aditivo superplastificante, incluyó aire al concreto en porcentajes que no sobrepasaron el valor máximo permisible (3%), como para clasificarlo como un “aditivo inclusor de aire”, permitiendo obtener pesos volumétricos en el rango establecido para “concretos de peso normal”, por lo que se recomienda, utilizar cualquiera de las tres dosis del aditivo (175, 250 y 350 ml/bolsa de cemento) y las tres reducciones en el agua de mezclado (12, 20 y 30%) en estudio, sin perjudicar la resistencia al concreto en ninguno de los casos.
3. Las combinaciones de las tasas de dosificación del aditivo Tipo G y las reducciones en el agua de mezclado, que permitieron satisfacer los requisitos de resistencia especificada del concreto, a la compresión y flexión, son: la tasa de dosificación del aditivo de 175 o 250 ml/bolsa de cemento y las reducciones en el agua de mezclado del 12, 20 y 30; y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20 y 30%.
4. La Resistencia a Compresión y Flexión, alcanzó valores por encima del especificado, por lo que se recomienda, que para mantener, la consistencia necesaria para la colocación del concreto en la construcción de pavimentos y a la vez, cumplir con los requisitos de Resistencia a la Compresión y Flexión, se deben utilizar las combinaciones del aditivo y la reducción en el agua de mezclado, siguientes: la tasa de dosificación del aditivo de 250

ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12%; y la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20%.

5. Los tiempos de fraguado inicial y final obtenidos en esta investigación, no brindaron la información necesaria, para establecer en forma clara y precisa, las dosis del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado que sean eficientes para retardar el endurecimiento del concreto, por lo que se recomienda investigar esta propiedad, en un sitio con temperatura controlada (20 a 25 °C).

### **6.2.2 RELATIVO A LAS CORRELACIONES CON EL CONCRETO**

1. Las dosificaciones del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado, que se recomiendan, para obtener los resultados esperados en la correlación “Resistencia a Compresión con Tasa de aditivo”, son: la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30%, para las mezclas diseñadas con 210 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 175 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 30%, para las mezclas diseñadas con 250 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Las dosificaciones del aditivo y las reducciones en el agua de mezclado que se recomiendan, para obtener los mejores resultados, en la correlación “Resistencia a Flexión con Tasa de aditivo”, son: la tasa de dosificación del aditivo de 350 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 12%, para las mezclas diseñadas con 34 kg/cm<sup>2</sup> y la tasa de dosificación del aditivo de 250 ml/bolsa de cemento y la reducción en el agua de mezclado del 20%, para las mezclas diseñadas con 37 kg/cm<sup>2</sup>.
3. Con respecto a las correlaciones “Revenimiento con Tasa de aditivo” y “Tiempo de fraguado con Tasa de aditivo”, se recomienda realizar estudios más exhaustivos, teniendo mayor control sobre los ajustes realizados en el agua de las mezclas y las condiciones ambientales del lugar en que se efectúen los ensayos; para evitar así, la influencia de factores externos sobre los resultados y garantizar la calidad de los mismos

4. En cuanto a la correlación “Módulo de Ruptura con Esfuerzo a la Compresión”, se recomienda, el uso de las ecuaciones obtenidas, cuando se utilicen cemento, aditivo, y agregados gruesos y agregado fino similares, a los empleados en esta investigación.

### **6.2.3 RELATIVO A LA METODOLOGIA UTILIZADA**

1. Se debe implementar un proceso de acopio total de los materiales a utilizar, principalmente, en el caso de los agregados gruesos y el agregado fino, y el cemento, para garantizar la calidad y uniformidad de los mismos, evitando con ello, variaciones en las propiedades utilizadas en la etapa de diseño.
2. Deben realizarse las pruebas de laboratorio respectivas, a los materiales que van a utilizarse para elaborar el concreto, con la finalidad de conocer sus propiedades y con ello, garantizar la precisión en los diseños de las mezclas y así como también, para respaldar la calidad de los resultados obtenidos.
3. Se recomienda determinar “la combinación óptima de gravas”, según el método descrito en la norma ASTM C29, ya que mediante este procedimiento, se obtiene la combinación de agregados gruesos con mayor peso volumétrico.
4. Para optimizar el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, en la economía de la mezcla, se recomienda, reducir la cantidad de agua de mezclado (12 a 30%) en el PASO V “ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO” de la etapa de diseño, con la finalidad de obtener, las proporciones de cada uno de los componentes de manera eficiente, disminuyendo al máximo la cantidad de cemento; mejorando la trabajabilidad y a la vez, cumpliendo con los requisitos establecidos para el concreto fresco y endurecido, en las especificaciones del proyecto o en normativas internacionales.
5. Para investigaciones similares a la nuestra, se recomienda encontrar la resistencia requerida de diseño ( $f'_{cr}$ ) mediante el empleo de la Tabla 4.13, asumiendo un valor de desviación estándar (S) de 25.0 kg/cm<sup>2</sup>.

6. Se recomienda tener mucha precaución, en el proceso de medición del contenido de humedad (CH%) de los agregados (gruesos y fino) para posteriormente, realizar los ajustes en el agua de mezclado de cada una de las mezclas, en forma precisa.
7. Para obtener mejores resultados en las pruebas hechas al concreto en estado fresco y endurecido, se recomienda efectuar un muestreo adecuado de los agregados a utilizar, que éstos, estén libres de partículas contaminantes, que se tenga un buen control de calidad en la elaboración de las mezclas (pesado y mezclados adecuados), que se elaboren correctamente los especímenes de prueba (compactación adecuada) y que los ensayos sean realizados en el mismo laboratorio, con la misma máquina de prueba y de ser posible, por el mismo operario.
8. Deben realizarse las mediciones de temperatura ambiental y humedad relativa del lugar de trabajo, en especial, durante los días de elaboración del concreto y realización de los ensayos.
9. Para obtener resultados de tiempo de fraguado inicial y final congruentes, se recomienda que este ensayo, sea realizado en condiciones controladas, es decir, en un cuarto húmedo (Temperatura y humedad controlada).
10. Se recomienda elaborar los especímenes (cilindros y viguetas) de concreto de una misma bachada, ya que los resultados de bachadas diferentes presentan variaciones.
11. Los especímenes de concreto (cilindros y viguetas) deben ser elaborados y curados según lo indicado en la norma (ASTM C192), y ensayados, mientras se encuentren húmedos, para evitar la presencia de resultados anómalos.
12. También, siempre considerando viable el análisis con muestreo pequeño, es factible incrementar el número de especímenes (cilindros y viguetas), a conveniencia y análisis del investigador, para mejorar el nivel de confianza, en los resultados de Resistencia a Compresión y Flexión que se obtengan.

13. Se recomienda, el uso de los métodos estadísticos para muestreo pequeño (Distribución t de Student, Distribución Chi-Cuadrado, etc.) como una herramienta útil, práctica y económica para obtener resultados válidos en menor tiempo que con muestras de mayor tamaño.

#### **6.2.4 RELATIVO A FUTUROS TEMAS DE INVESTIGACION**

1. Establecer estudios más específicos, en situaciones particulares, como pueden ser:
  - ⊕ Buscar otros aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes utilizados en nuestro país para la construcción de carreteras, para analizar su compatibilidad y comportamiento con el cemento ASTM C1157 Tipo HE.
  - ⊕ Realizar mezclas con mayores y menores cantidades del aditivo que las hechas en esta investigación, para comprobar su variabilidad y eficiencia, así como, realizando variaciones en las resistencias de estudio.
  - ⊕ Verificar la influencia de estos aditivos, sobre otras propiedades del concreto.
  - ⊕ Realizar un estudio más profundo con los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes y su desempeño a diferentes temperaturas.
  - ⊕ Realizar investigaciones enfocadas en el estudio del efecto de otros tipos de aditivos, como por ejemplo, acelerantes, retardantes, inclusores de aire, etc.
  - ⊕ Realizar un análisis de costos que evalué la viabilidad del uso de este tipo de aditivo en las mezclas de concreto utilizadas en la construcción de pavimentos.
2. En futuras investigaciones, se recomienda planificar previamente a la elaboración de las mezclas, la forma correcta de: elaboración, curado y ensayo de los especímenes de prueba (cilindros y viguetas). Tomando en cuenta, el lapso de tiempo para la limpieza del equipo (Moldes cilíndricos, moldes prismáticos y cubos), con el objetivo, de conocer las variantes e imprevistos que implica este tipo de estudios y evaluar como éstas afectan en la prolongación del tiempo de ejecución de las mismas.

3. Es recomendable, aumentar la apertura en las investigaciones del concreto, para la construcción de carreteras en El Salvador, por parte de entidades e instituciones que colaboren para estandarizar los procedimientos y normativas con parámetros adecuados a nuestro ambiente y recursos.
4. Se recomienda a las Universidades que cuentan con la carrera de Ingeniería Civil, proponer temas de trabajos de graduación, en el área de tecnología del concreto, para que los estudiantes, puedan dar un valioso aporte al desarrollo de las investigaciones sobre materiales de construcción en El Salvador.
5. Es necesario, que para futuras investigaciones, se fortalezca tanto la calidad como la cantidad de equipo existente, en el laboratorio de nuestra Universidad.

## GLOSARIO

Se presentan ordenadas alfabéticamente aquellas palabras del texto que puedan resultar difíciles de entender para el lector o que respondan a usos particulares de la terminología sobre la tecnología del concreto. Al definir las no se pretende dar cuenta de su significado general, sino del sentido preciso con que se utilizan en determinados pasajes del documento. Para ello, se ofrece una explicación resumida de las palabras o términos que se han anotado antes en el texto.

- ⊕ **A granel:** Abundante, copioso, sobrado o suelto.
- ⊕ **Ábaco:** Es un instrumento de cálculo que utiliza cuentas que se deslizan a lo largo de una serie de alambres o barras de metal o madera fijadas a un marco para representar las unidades, decenas, centenas, unidad de mil, decena de mil, centena de mil, etc.
- ⊕ **Adición:** Material inorgánico finamente dividido, utilizado en el concreto para mejorar ciertas propiedades o lograr propiedades especiales. Existen dos tipos de adiciones inorgánicas: adiciones inertes (Tipo I) y adiciones hidráulicas latentes o puzolánicas (Tipo II).
- ⊕ **Agregado de peso ligero:** Agregado de baja densidad (como por ejemplo: piedra pómez, escoria, cenizas volcánicas, etc.) utilizado para fabricar "concretos livianos".
- ⊕ **Agrietamiento:** Es una fisura que atraviesa de lado a lado el espesor de una estructura, es producto de cambios en el concreto provocados, por la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia, a esfuerzos debidos a la contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.
- ⊕ **Arena manufacturada:** Agregado fino producido al triturar roca, grava, escorias de hierro de altos hornos, o concreto de cemento hidráulico.

- ⊕ **Bachada:** Cantidad de materiales mezclados, que en cada ciclo produce una revolvedora o planta mezcladora.
- ⊕ **Cartas de control:** Gráficas que muestran el comportamiento de un proceso en un período específico.
- ⊕ **Cemento hidráulico:** Material con características cementantes o aglutinantes que reacciona con agua y es usado para unir entre sí todos los agregados para producir concreto hidráulico.
- ⊕ **Cimbra:** Es una estructura auxiliar que sirve para sostener el peso de un elemento de concreto, en tanto no esté en condiciones de sostenerse por sí mismo.
- ⊕ **Clínker:** Caliza cocida.
- ⊕ **Coefficiente de variación (CV):** Es una medida de la dispersión relativa de un conjunto de datos, para poder distinguir el grado de variabilidad o dispersión de dos o más variables.
- ⊕ **Cohesión:** Identificada con el esfuerzo de cedencia, representa la resistencia que la mezcla opone para deformarse e iniciar el flujo del concreto.
- ⊕ **Colado:** Es la actividad de colocar el concreto en las cimbras o encofrados.
- ⊕ **Compactación:** Actividad que consiste en someter el concreto fresco, recién colocado, a la acción de fuerzas capaces de deformarlo con el doble propósito de que se adapte a la forma del espacio confinado por las cimbras y expulse el aire atrapado, de manera que resulte un material que sea lo más compacto posible.
- ⊕ **Componentes del concreto:** Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Pórtland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.

- ⊕ **Concreto convencional:** Es aquel concreto de uso común en las obras que se construyen con equipos y procedimientos ordinarios, suele elaborarse mediante mezclas de consistencia semifluida, plástica y semiplástica en las que resulta aplicable la prueba de revenimiento.
- ⊕ **Concreto endurecido:** El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.
- ⊕ **Concreto fresco:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo.
- ⊕ **Consistencia:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada con base en resultados de alguna prueba específica.
- ⊕ **Contracción:** Aumento o disminución del volumen de concreto, provocando cambios en la forma y tamaño del elemento, por efecto de variaciones térmicas, cambios de humedad o por el efecto del agregado o aditivos utilizados.
- ⊕ **Costras de laminado:** Capa de óxido de hierro (FeO) que se forman en la superficie del acero.
- ⊕ **Cribado:** Actividad que consiste en separar un producto en base al tamaño de las partículas que lo conforman.
- ⊕ **Curado:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente

después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.

- ⊕ **Desviación estándar de una muestra de la población (S):** Es la medida más común de dispersión. Dicho de manera sencilla, mide qué tan dispersos están los valores en una serie de datos respecto a su valor medio, en otras palabras, es el "promedio" o variación esperada con respecto de la media aritmética.
- ⊕ **Eflorescencia:** La eflorescencia o el florecimiento de la caliza es un fenómeno transitorio del cemento Pórtland. Su efecto consiste en blanquear el color del concreto.
- ⊕ **Encofrado:** Son las cimbras que se utilizan para moldear el concreto y darle la forma especificada en el diseño de la estructura.
- ⊕ **Ensaye:** Es el promedio del resultado de dos cilindros de concreto ensayados.
- ⊕ **Espurio:** Anómalo, falso, no auténtico.
- ⊕ **Estabilidad:** Es la medida que el concreto opone a perder su homogeneidad original en el lapso comprendido desde que abandona la mezcladora hasta que adquiere el fraguado en su posición final.
- ⊕ **Exudación:** Forma particular de segregación, el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad. Si el volumen evaporado es mayor que el volumen que migró a la superficie, se generan fisuras de retracción plástica.
- ⊕ **Finos:** Material con un tamaño de partícula inferior a 0.125 mm, incluyendo el cemento, la adición y la aportación de las arenas.
- ⊕ **Filler:** Material fino, compuesto por arena molida y seca.
- ⊕ **Formaleta:** Estructura de madera con que se construye una viga o cualquier pieza de concreto.

- ⊕ **Fulminante:** Explosivo muy sensible a la percusión y a la temperatura, empleado como generador de la explosión detonante. Materia que se usa para hacer estallar cargas explosivas.
- ⊕ **Grava triturada:** Producto resultante de una trituración artificial de la grava, donde la mayoría de las partículas poseen por lo menos una cara resultante de la fractura.
- ⊕ **Gravedad específica:** La razón de la masa de un volumen de material (incluyendo los vacíos permeables e impermeables, pero excluyendo los vacíos entre partículas), a una temperatura establecida, con la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura establecida.
- ⊕ **Helada(s):** Es un fenómeno climático que consiste en un descenso inesperado de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies.
- ⊕ **Herrumbre:** Óxido de hierro (FeO) en la superficie del acero.
- ⊕ **Media aritmética de una muestra de la población ( $\bar{x}$ ):** Es un valor tal que, si con él se sustituye los términos de la serie, se puede obtener una suma igual a la que los propios términos darían. La media aritmética o promedio es una cantidad finita de números que es igual a la suma de todos ellos, dividida por el número de sumandos. También, la media aritmética puede ser denominada como centro de gravedad de una distribución, el cual no es necesariamente la mitad.
- ⊕ **Mezclado:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.
- ⊕ **Mortero:** La fracción de concreto consistente en la pasta junto con los agregados de tamaño inferior a 4.75 mm (malla N° 4).

- ⊕ **Neopreno:** Es un químico artificial que se utiliza como sustituto del caucho debido a que sus propiedades son similares.
- ⊕ **Pasta:** Se refiere a la mezcla de cemento, agua, aire (naturalmente atrapado o intencionalmente incorporado) y aditivos (cuando son empleados).
- ⊕ **Permeabilidad:** Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.
- ⊕ **Petrografía:** Es la rama de la geología que se ocupa del estudio e investigación de las rocas, en especial en cuanto respecta a su aspecto descriptivo, su composición mineralógica y su estructura.
- ⊕ **Picnómetro o botella de gravedad específica:** Es un frasco con un cierre sellado de vidrio con un tapón con un finísimo capilar, de tal manera que un volumen puede obtenerse con gran precisión.
- ⊕ **Puzolana:** Silicatos y alumino-silicatos, que por su cuenta poseen poco o ningún valor cementante pero que, finamente divididos y en presencia de humedad, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar componentes que poseen propiedades cementantes.
- ⊕ **Relación agua/cemento (A/C):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo solo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad en peso de cemento en la pasta aglutinante.
- ⊕ **Reología:** Examina el comportamiento del concreto y en general de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios entre ambos estados, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir cuerpos que tienen cierta plasticidad.

- ⊕ **Roseta:** Una estructura o formación en forma de un racimo o conjunto con aspecto parecido al de una rosa.
- ⊕ **Sangrado:** Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos.
- ⊕ **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.
- ⊕ **Tamiz:** Son marcos circulares que sostienen mallas de alambres estirados con aberturas cuadradas.
- ⊕ **Tolva:** Es un dispositivo destinado a depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados.
- ⊕ **Trabajabilidad del concreto:** Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.
- ⊕ **Vibrado:** Es el método comúnmente utilizado para consolidar el concreto, el cual crea con la vibración una destrucción temporal de la fricción interna entre las partículas de agregado, y el concreto se comporta como líquido, se asienta en las cimbras por acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire suben más fácilmente a la superficie.
- ⊕ **Viscosidad:** Es una medida de la resistencia de un material para fluir debido a la fricción interna (y es la relación de esfuerzo aplicado respecto a la tasa de corte).
- ⊕ **Yute:** Materia textil que se obtiene de la corteza interior de una planta de la familia de las Tiliáceas.

## REFERENCIAS

### **Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC).**

Urbanización Madreselva 3a. Etapa, Avenida El Espino y Blvd. Sur, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centro América.

Teléfono: (503) 2505-0162 y (503) 2505-0163.

FAX: (503) 2505-0162, (503) 2505-0164

Referencia al presente estudio: Asesoría técnica y realización de pruebas de laboratorio al concreto en estado fresco y endurecido.

### **Laboratorio de Suelos y Materiales “Mario Ángel Guzmán Urbina”. Universidad de El Salvador (UES), Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), Escuela de Ingeniería Civil.**

Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, Centro América.

Teléfono: (503) 2235-2235.

Referencia al presente estudio: Realización de pruebas de laboratorio al concreto endurecido.

### **Sitios Web consultados durante la investigación:**

#### **En el área de las normativas y especificaciones vigentes:**

- ⊕ <http://www.aci-int.org/general/home.asp>
- ⊕ <http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/index.shtml?E+mystore>

#### **En el área de experimentación, de tecnología del concreto y diseño de mezcla:**

- ⊕ <http://www.cement.org/>
- ⊕ <http://www.construaprende.com/tesis01/121-concreto/1212-caracteristicas-de-esfuer.html>

- ⊕ <http://ligiamariavelez.blogviajes.com/1158790920/>
- ⊕ <http://www.cfia.or.cr/docs/informedelICCYC.pdf>
- ⊕ <http://www.fisicarecreativa.com/guias/capitulo1.pdf>
- ⊕ <http://www.nrmca.org/P2P/Example%20Specification.pdf#search=%22deviation%20ACI%22>
- ⊕ <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/288.htm>
- ⊕ <http://www.soiltest.com>

**En el área de instituciones afines a la investigación realizada:**

- ⊕ <http://www.cessa.com.sv/>
- ⊕ <http://www.concresal.com.sv/>
- ⊕ <http://www.concreterasalvadorenãa.com.sv/>
- ⊕ <http://www.imcyc.com/>
- ⊕ <http://www.iscyc.net>
- ⊕ <http://www.mixtolisto.com.sv/>

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ACI Committee 116 (1990): "Cement and Concrete Terminology", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [2] ASTM Designation C494/494M-99ae1: "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [3] ACI Committee 211.1-91 (2002): "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [4] Haciendo uso de la ecuación  $MR = C \sqrt{f'_c}$  (Kg/cm<sup>2</sup>) propuesta por el Comité ACI 330R-01 y utilizando 2.35 como valor del coeficiente (C).
- [5] ASTM Designation C1157-02: "Standard Performance Specification for Hydraulic Cement", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [6] ASTM Designation C143/C143M-00: "Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [7] ASTM Designation C1064/C1064M-01: "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [8] ASTM Designation C231-97e1: "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [9] ASTM Designation C403/C403M-99: "Standard Test Method for Time of Setting Concrete Mixtures by Penetration Resistance", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [10] ASTM Designation C192/C192M-02: "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

- [11] ASTM Designation C39/C39M-05: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [12] ASTM Designation C78-02: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [13] ACI Committee 316-74: "Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [14] Sánchez de Guzmán, Diego (2007): "Concretos de alto desempeño"; Revista del ISCYC. Año 12, No.46, pág. 15. ISCYC. El Salvador.
- [15] ASTM Designation C33-03: "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [16] ASTM Designation D448-03a: "Standard Classifications for Sizes of Aggregates for Road and Bridge Construction", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [17] ASTM Designation C330-03: "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [18] ASTM Designation C332-99: "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [19] ASTM Designation C136-01: "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [20] ASTM Designation C125-02: "Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [21] ACI Committee 318-02: "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [22] Coto, José Aguilar (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Pág. 48, Tesis UES.

- [23] ASTM Designation C127-01: "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Course Aggregate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [24] ASTM Designation C128-01: "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [25] ASTM Designation C88-99<sup>a</sup>: "Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [26] ASTM Designation C70-94 (2001): "Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [27] ASTM Designation C566-97 (2004): "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [28] Cañas Lazo, Manuel Antonio y otros (1999): "Establecimiento de una relación entre el Módulo de Ruptura ( $f_r$ ) y la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) para mezclas de concreto hidráulico en El Salvador". Trabajo de Investigación UPES.
- [29] ACI Committee 207.5R-99: "Roller-Compacted Mass Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [30] ASTM Designation C131-03: "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [31] ASTM Designation C535-03e1: "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [32] Comisión Federal de Electricidad (1994): "Manual de tecnología del concreto", Instituto de Ingeniería UNAM, México Sección 1.

- [33] ASTM Designation C1602/C1602M-06: "Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [34] ASTM Designation C172-99: "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [35] ASTM Designation C173/C173M-01e1: "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [36] ASTM Designation C138/C138-01a: "Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [37] AASHTO Designation T199-00: "Concrete Air Content - Chace Air Indicator Method", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [38] ICPC (1992): "Boletín No. 56". Enero/Marzo.
- [39] IMCYC: "Diseño y control de mezclas de concreto". Pág. 41.
- [40] Coto, José Aguilar (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Parte 1. Pág. 93, Tesis UES.
- [41] IMCYC (1991): "Aditivos para concreto". Editorial Limusa.
- [42] IMCYC (1990): "Aditivos superfluidificantes para concreto". Editorial Limusa. Primera edición. Pág. 17. México.
- [43] Fernández Cánovas, Manuel (1992): "Composición y dosificación de los hormigones de alta resistencia". Revista sección-hormigón. Nº 79. Págs. 980-981.
- [44] Coto, José Aguilar (1994): "Estudio de concreto con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente". Parte 2. Pág. 51, Tesis UES.
- [45] IMCYC (1990): "Aditivos superfluidificantes para concreto". Editorial Limusa. Primera edición. Pág. 61. México.
- [46] Venuat, Michael (1972): "Aditivos y tratamiento de morteros y hormigones". Barcelona, España.
- [47] POWERS, T.C. (1968): "The Properties of Fresh Concrete". John Wiley and Sons, INC. New York, N.Y.
- [48] ACI Committee 309 (1987): "Guide for Consolidation of Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [49] ASTM Designation C94/C94M-03: "Standard Specifications for Ready Mixed Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

- [50] ASTM Designation C1017 (1990): "Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [51] ACI Committee 211. Report 211.3 (1987): "Standard Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [52] U.S. Bureau of Reclamation (1975): "Temperature of Concrete", Concrete Manual Designation 35, Octave Edition. Department of the Interior Washington, D.C.
- [53] FREEDMAN, S. (1974): "Properties of materials for reinforced concrete", Hand book of concrete engineering, Chapter 6. Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- [54] BURGESS, A. J., RYELL, J. Y BUNTING, J. (1987): "High strength concrete for the willows bridge", ACI Journal Vol. 67. N° 8.
- [55] ASTM Designation C307-03 (2008): "Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistance Mortar, grout, and Monolithic Surfacing", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [56] ASTM Designation C496/C496M-02: "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [57] ASTM Designation C293-02: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Pont Loading)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [58] U.S. Bureau of Reclamation (1975): "Concrete Manual, Removal of forms and Finishing". U.S. Department of the Interior, Chapter VI, section D. Washington, D.C.
- [59] ACI Committee 330R-01: "Guide for Design and Construction of concrete Parking Lots", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [60] ACI Committee 304-73: "Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [61] ASTM Designation C685/C685M-01: "Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [62] ACI Committee 301-99: "Specification for Structural Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [63] ACI Committee 308-71: "Standard Practice for Curing Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [64] ACI Committee 302.1R-04: "Guide for Concrete Floor and Slab Construction", American Concrete Institute, Detroit, Mich.

- [65] ASTM Designation C156-03: "Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [66] ACI Committee 305-99: "Hot Weather Concreting", American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [67] ASTM Designation D1500-02: "Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [68] ASTM Designation C150-02ae1: "Standard Specification for Portland Cement", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [69] ASTM Designation C595-07: "Standard Specification for Blended Hydraulic Cement", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [70] Tomado de estudio geológico del yacimiento La Cantera S.A. de C.V., realizado por Ing. Porfirio Lagos Ventura.
- [71] ASTM Designation C295-03: "Standard Guide for Petrographic of Aggregate for Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [72] ASTM Designation D75-03: "Standard Practice for Sampling Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [73] ASTM Designation C702-98: "Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [74] ASTM Designation C40-99: "Standard Test Method for Organic Impurities in Fines Aggregates for Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [75] ASTM Designation C29/C29M-97 (2003): "Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [76] ASTM Designation D4791-99: "Standard Test Method for Flat Particles, Elongated particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- [77] MOP (1997): "Norma Técnica para el Control de la Calidad de los Materiales Estructurales". Pág. 9, Sección 3.4.4 literal 2. San Salvador, El Salvador.
- [78] LAWRENCE, C.D. (1994): "Material Science of Concrete", American Ceramic Society. (Ed. J. Skalny and S, Mindes).

## BIBLIOGRAFIA

### Libros de Texto:

- ⊕ Instituto Colombiano de Productores de Concreto (ICPC); “**Colección Básica del Concreto 5: Construcción de Pavimentos**”; Editorial Panamericana Formas e Impresos, Colombia. (1999).
- ⊕ Instituto Colombiano de Productores de Concreto (ICPC); “**Colección Básica del Concreto 1: Tecnología y Propiedades**”; Editorial Panamericana Formas e Impresos., Colombia. (1997).
- ⊕ Comisión Federal de Electricidad (CFE); “**Manual de Tecnología del Concreto**”. Tomo **I, II y III**; Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de México (UNAM), Editorial Limusa. México D.F., México. (1994).

### Trabajos de graduación:

- ⊕ Mario Alfredo Concepción Lino y otros; “**Determinación del módulo de elasticidad del concreto y correlación con otros ensayos para concreto endurecido elaborado con materiales locales**”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA). San Salvador, El Salvador. (2007).
- ⊕ José Mauricio Cortez Garcia y otros; “**Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente**”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2007).
- ⊕ Selma Idalia González Morán y otros; “**Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla. Beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en El Salvador**”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado

de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2005).

- ⊕ Jeannethe Patricia Mendoza Delgado y otros; **“Estudio comparativo de los pavimentos rígidos y pavimentos flexibles en vías interurbanas mediante la aplicación del Highway Development and Management Model (HDM-4)”**; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2005).
- ⊕ Miriam Beatriz Hernández Campos y otros; **“Estudio de aditivos retardantes y superplastificantes utilizados en concretos de resistencia normal elaborado con cemento Pórtland tipo I y I (PM), para mejorar la trabajabilidad”**; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Albert Einstein. San Salvador, El Salvador. (1998).

**Papeles técnicos:**

- ⊕ Cañas Lazo, Manuel Antonio y otro: **“Establecimiento de una relación entre el Módulo de Ruptura ( $f_r$ ) y la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) para mezclas de concreto hidráulico en El Salvador”**; Universidad Politécnica de El Salvador (UPES), San Salvador, El Salvador. (1999)
- ⊕ González Magaña, José Antonio: **“Investigación del concreto utilizado en la construcción del pavimento en la prolongación de la calle Chiltiupán, concreto de 40 kg/cm<sup>2</sup> a flexión y cemento 1157”**; Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (1999)
- ⊕ González Magaña, José Antonio: **“Investigación del concreto hidráulico utilizado en la construcción del pavimento en la prolongación de la 9ª.C.P y bulevar sur, Santa Tecla, concreto de 40 kg/cm<sup>2</sup> a flexión y cemento 1157”**; Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (1999)

**Revistas técnicas:**

- ⊕ Solís Carcaño, Romel y otros: “**Evaluación del concreto con reductor de agua en clima cálido**”; Revista Ingeniería, Edición: Vol. 16(2), págs. 103 – 111, San José, Costa Rica. (2006).
- ⊕ Sánchez de Guzmán, Diego: “**Concretos de alto desempeño**”; Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 12, N° 46, págs. 14 – 15, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2007).
- ⊕ Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC): “**Proyectos exitosos**”. Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 11, N° 43, pág. 23, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2006).
- ⊕ Burgos Oviedo, Ricardo: “**Trabajos de reparación y cepillado en un tramo de la carretera CA - 1**”; Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 11, N° 42, pág. 17, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2006).

**Comités:**

- ⊕ **ACI 116:** Glossary of Terms on Cements and Concrete Technology Cement.
- ⊕ **ACI 201-R:** Guide to Durable Concrete.
- ⊕ **ACI 207.5 R-99:** Rolled - Compacted Mass Concrete.
- ⊕ **ACI 211.1-91 (2002):** Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete.
- ⊕ **ACI 211.3R:** Guide for Selecting Proportions for No – Slump Concrete.
- ⊕ **ACI 212.4R-93 (1998):** Guide for the Use of High-Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete.

- ⊕ **ACI 214-77 (1997):** Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete.
- ⊕ **ACI 301-99:** Specifications for Structural Concrete.
- ⊕ **ACI 302:** Guide for Concrete Floor and Slab Construction.
- ⊕ **ACI 304-73:** Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete.
- ⊕ **ACI 305-99:** Hot Weather Concreting.
- ⊕ **ACI 308:** Standard Practice for Curing Concrete.
- ⊕ **ACI 309R-98:** Guide for Consolidation of Concrete.
- ⊕ **ACI 316-74:** Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases.
- ⊕ **ACI 318-02:** Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- ⊕ **ACI 330R-01:** Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots.

**Normas:**

- ⊕ **AASHTO M157:** Standard Specifications for Ready Mix Concrete.
- ⊕ **AASHTO T199-00:** Concrete Air Content-Chace Air Indicator Method.
- ⊕ **ASTM C29/C29M-97(2003):** Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- ⊕ **ASTM C33-03:** Standard Specifications for Concrete Aggregates.
- ⊕ **ASTM C39/C39M-05:** Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- ⊕ **ASTM C40-99:** Standard Test Method for Organic Impurities in Fines Aggregates for Concrete.
- ⊕ **ASTM C42/C42M-99:** Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ⊕ **ASTM C70-94 (2001):** Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregates.
- ⊕ **ASTM C78-02:** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- ⊕ **ASTM C88-99a:** Standard Test Method for Soundness of aggregates by use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.
- ⊕ **ASTM C94/C94M-03:** Standard Specifications for Ready - Mixed Concrete.
- ⊕ **ASTM C123-98:** Standard Test Method for Light weight particles in aggregates.
- ⊕ **ASTM C125-02:** Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.
- ⊕ **ASTM C127-01:** Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- ⊕ **ASTM C128-01:** Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- ⊕ **ASTM C131-03:** Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine.
- ⊕ **ASTM C136-01:** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ⊕ **ASTM C138/C138-01a:** Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

- ⊕ **ASTM C142-97(2004):** Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.
- ⊕ **ASTM C143/C143M-00:** Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ⊕ **ASTM C150-02a<sup>e1</sup>:** Standard Specification for Portland Cement.
- ⊕ **ASTM C156-03:** Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials.
- ⊕ **ASTM C172-99:** Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.
- ⊕ **ASTM C173/C173M-01<sup>e1</sup>:** Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method.
- ⊕ **ASTM C192/C192M-02:** Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ⊕ **ASTM C231-97<sup>e1</sup>:** Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- ⊕ **ASTM C293-02:** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading).
- ⊕ **ASTM C295-03:** Standard Guide for Petrographic of Aggregate for Concrete.
- ⊕ **ASTM C307-03(2008):** Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant mortar, grout and Monolithic Surfacing.
- ⊕ **ASTM C360-92:** Test Method for Ball Penetration in Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete (Withdrawn 1999).
- ⊕ **ASTM C403/C403M-99:** Standard Test Method for Time of Setting of Concrete.
- ⊕ **ASTM C470/C470M-02a:** Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically.
- ⊕ **ASTM C494/494M-99a<sup>e1</sup>:** Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

- ⊕ **ASTM C496/C496M-02:** Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ⊕ **ASTM C511-03:** Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Using Testing of Hydraulic Cements and Concretes.
- ⊕ **ASTM C535-03<sup>e1</sup>:** Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine.
- ⊕ **ASTM C566-97 (2004):** Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- ⊕ **ASTM C595-07:** Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.
- ⊕ **ASTM C617-98 (2003):** Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.
- ⊕ **ASTM C684-99 (2003):** Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens.
- ⊕ **ASTM C685/C685M-01 (2004):** Standard Specification for Concrete made by Volumetric Batching and Continuous Mixing.
- ⊕ **ASTM C702-98:** Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.
- ⊕ **ASTM C873-99:** Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds.
- ⊕ **ASTM C1231/C1231M-06:** Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders.
- ⊕ **ASTM C1602/C1602M-06:** Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.
- ⊕ **ASTM C1064/C1064M-01:** Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete.

- ⊕ **ASTM C1157-02:** Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.
- ⊕ **ASTM D75-03:** Standard Practice for Sampling Aggregates.
- ⊕ **ASTM D448-03a:** Standard Classifications for Sizes of Aggregates for Road and Bridge Construction.
- ⊕ **ASTM D1500-98:** Standard Test Method for ASTM Colors of Petroleum Products (ASTM Color Scale).
- ⊕ **ASTM D4791-99:** Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate.
- ⊕ **ASTM E4-02:** Standard Practices for Force Verification of Testing Machines.
- ⊕ **ASTM E77-98 (2003):** Standard Test Method for Inspection and Verification of Thermometers.
- ⊕ **DIN 1048-1:** Testing concrete; testing of fresh concrete.

**Otras fuentes:**

- ⊕ **Folletos de clase: “Tecnología del Concreto”.**

Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía.

Universidad de El Salvador. E.S. (2007).

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**



**ANEXOS**

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CONTROL DE GRANULOMETRIA Y PROPIEDADES FISICAS DE LA GRAVA N° 1 (TMN DE  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA), GRAVA N° 2 (TMN DE  $1\frac{1}{2}$  PULGADAS) Y LA COMBINACION DE GRAVAS.

**GRAVA N° 1:** TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) DE  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA.

**GRAVA N° 2:** TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) DE 1 PULGADA.

**COMBINACION DE GRAVAS:** ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA COMBINACION.

**ANEXO B:** CONTROL DE GRANULOMETRIA Y PROPIEDADES FISICAS DE LA ARENA.

**ANEXO C:** CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO.

**ANEXO D:** CONTROL DE CALIDAD DEL ADITIVO PLASTIFLOW-R.

**ANEXO E:** DISEÑOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.

**ANEXO F:** TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CONCRETO.



# ANEXO A

**CONTROL DE GRANULOMETRIA Y PROPIEDADES FISICAS DE LA GRAVA N° 1 (TMN DE  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA), GRAVA N° 2 (TMN DE 1 PULGADA) Y LA COMBINACION DE GRAVAS**

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

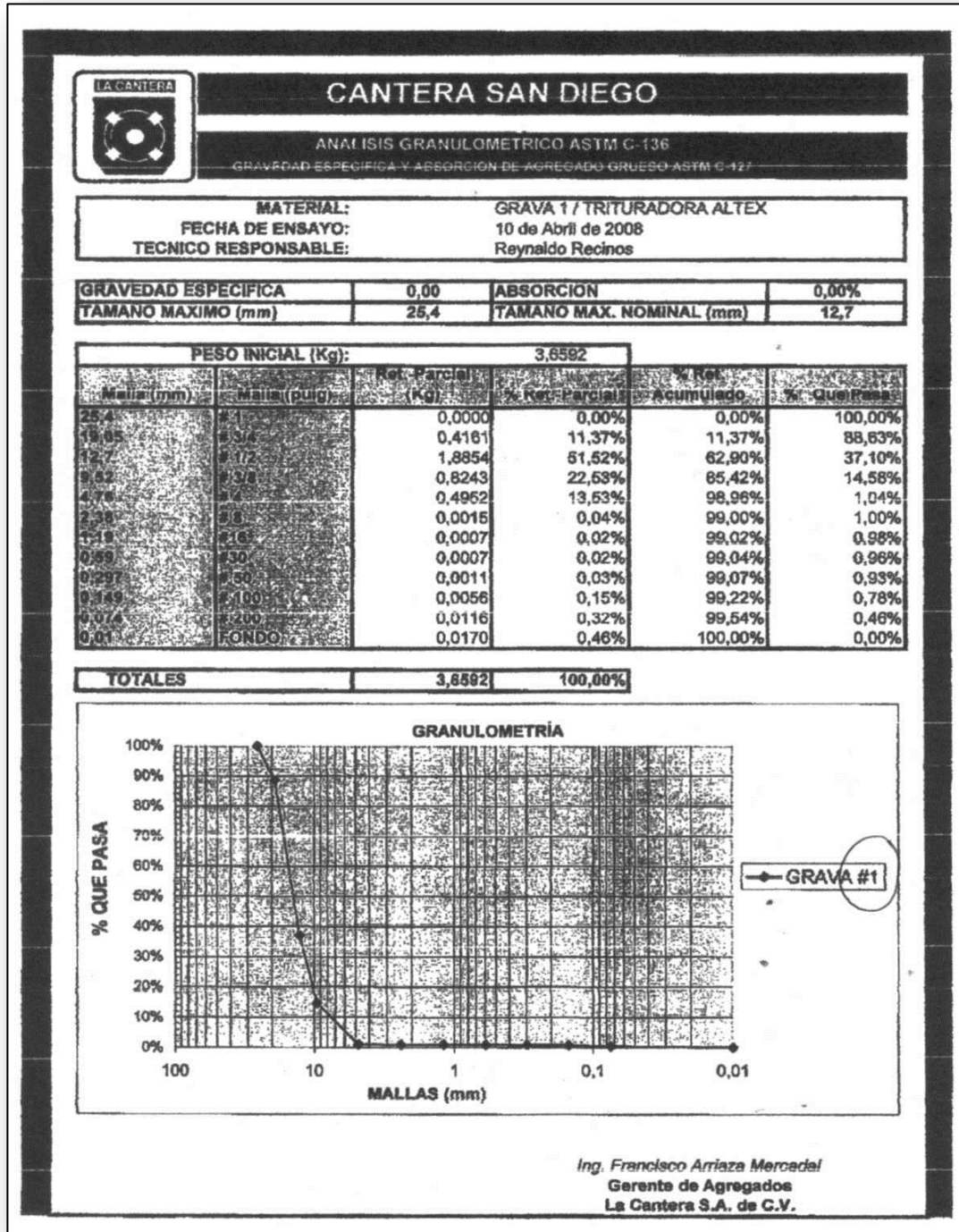
**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA  
EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL  
CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

# **GRAVA Nº 1**

**TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) DE  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

Anexo A1: Análisis granulométrico de la grava N° 1, realizado el 10 de Abril de 2008.



**Anexo A2:** Análisis granulométrico, resistencia al desgaste, gravedad específica, absorción y material más fino que la malla N° 200 de la grava N° 1, realizado el 1 de Junio de 2008.

**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS DE GRAVA 1**

---

Fecha	01-Jun-08
Planta	Central
Análisis #	May-08
Procedencia	Cantera
Tipo	Trituración
Color	Café oscuro
Responsable	E.E.G
Proyecto	DIEGO DE HOLGUIN TRAMO II

**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MENOR**  
 ASTM C-131

Gradación B	W inicial	W final
	5000.0	4110.0
% Desgaste	18%	

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**  
 ASTM C-127

W seco	sss	W sumergido	Ge	Abs %
3135.0	3174.0	1962.0	2.62	1.24
Promedio			2.62	1.24

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA #200**  
 ASTM C-117

W inicial: 6597.0 gramus  
 W lavado: 6570.0 gramus  
 0.4%

**GRANULOMETRIA**  
 ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido g	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
1	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 3/4	440.00	6.70	6.70	93.30
N° 3/8	4354.00	66.27	72.97	27.03
N° 4	1582.00	24.08	97.05	2.95
N° 8	140.50	2.14	99.19	0.81
fondo	53.50	0.81	100.00	0.00
SUMAS	6570.0	100.00		

ASTM C-33

LIMITE O PARAMETRO	
100	100
90	100
25	55
0	10
0	5
0	0

OBSERVACIONES: Error dentro del 0.3% ASTM C-136

---

Realizó \_\_\_\_\_ Supervisó \_\_\_\_\_  
 Ing. G. Flores Barrios  
 Gerente de Control de Calidad

Anexo A3: Análisis granulométrico de la grava N° 1, realizado el 8 de Agosto de 2008.



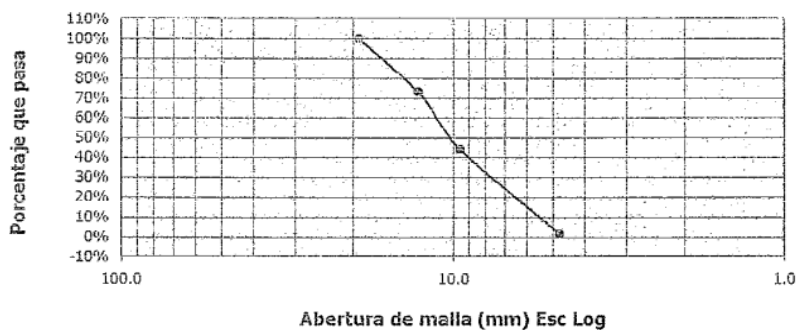
DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y MATERIALES



ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C-136

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificacion de calidad  
PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
FECHA ENSAYO : 8-Ago-07  
TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,grava%,cantecon  
Peso Inicial (grs) = 5,000.0

Malla (mm)	Ret. Parcial	% Ret. Parc.	% Ret. Acumu	% Que Pasa	Malla (pul)
50.80	0	0.00%	0.00%	100.00%	2"
38.10	0	0.00%	0.00%	100.00%	1 1/2"
25.40	0	0.00%	0.00%	100.00%	1"
19.10	0	0.00%	0.00%	100.00%	3/4"
12.70	1,610	26.83%	26.83%	73.17%	1/2"
9.52	1,770	29.50%	56.33%	43.67%	3/8"
4.76	2,524	42.07%	98.40%	1.60%	No. 4
Fondo	96	1.60%	100.00%	0.00%	
Sumas	6,000				



Muestreo efectuado por solicitante

INSTITUTO TECNOLOGICO  
CENTROAMERICANO ITCA  
LABORATORIOS  
DEPTO. INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ADMOM. FEPADE

Ing. Joaquín Alberto Montenegro  
Jefe Laboratorios Control de Calidad  
Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales

Anexo A4: Sanidad de la grava N° 1, realizado en Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO INS. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y MATERIALES



**SANIDAD AGREGADOS PARA CONCRETO  
ASTM C-88**

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
 PROYECTO : Verificación de calidad  
 PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
 FECHA ENSAYO : Agosto 2007  
 TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
 Archivo N° : 08-07-03,grava¼,cantecon

**AGREGADO GRUESO**

Granulometría Preparada			Granulometría Designada				Análisis Cualitativo		
Tamiz No	Ret-Parcial M. Original	Preparado (gr) antes ensayo	Tamiz No	Retenido (gr) ensayado	(%) Perdida	PERDIDA según Mues Or	Partículas Iniciales	Partículas Pulver.	Partículas Fracturadas
2 1/2"									
2"	0.00								
1 1/2"	0.00		1 1/2"						
1"	0.00								
3/4"	0.00		5/8"						
1/2"	0.27	670.0	5/16"	640.0	4.48%	1.2%	172	--	2
3/8"	0.30	330.0	5/16"	316.0	4.24%	1.3%	186	1	3
No 4	0.42	300.0	No 5	287	4.33%	1.8%			
Totales	98.4%	1,300.0		1,243					

**Perdida después de cinco ciclos = 4.3%**

Observaciones : Muestreo, efectuado por solicitante  
 Reactivo empleado, Sulfato de sodio



Ing. Joaquín Umberto Montenegro,  
 Jefe Laboratorios Control Calidad  
 Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales

Anexo A5: Resistencia a la abrasión de la grava N° 1, realizado el 9 de Agosto de 2007.



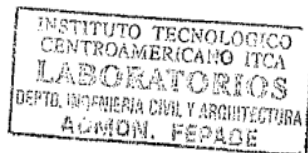
DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES

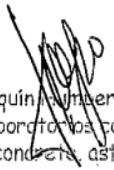


## Resistencia a la Abrasión de los agregados pétreos Maquina de los Angeles ASTM C 131

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificación de calidad  
PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
FECHA ENSAYO : 9-Ago-07  
TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,grava¾,cantecon

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	TIPO GRANULOM.	NUMERO ESFERAS	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL (grs)	PORCENTAJE DESGASTE
tam nom max ¾"	"C"	8	5,020	4,286	14.62%



  
Ing. Joaquín Umberto Montenegro  
Jefe Laboratorios control de calidad  
Suelos, concreto, asfalto y Materiales

Anexo A6: Índice de durabilidad de la grava N° 1, realizado el 8 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



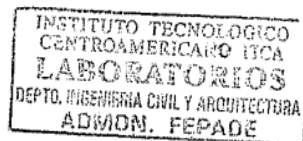
## Índice de Durabilidad en Agregados Pétreos ASTM D-3744

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificación de calidad  
PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
FECHA ENSAYO : 8-Ago-07  
TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,grava¾,cantecon

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTURA INICIAL	ALTURA SEDIMENTO	INDICE DURABILIDAD
tamaño nominal maximo ¾"	A		0.030	98.9%

FORMULA EMPLEADA PARA GRUESOS:  $ID = 30.3 + 20.8 \cot ( 0.29 + 0.15 H )$  rad  
Altura H en pulgadas

OBSERVACIONES : Muestreros realizados por el solicitante.



Ing. Joaquín Umberto Montenegro  
Jefe Laboratorios Control de calidad  
Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales

Anexo A7: Gravedad específica y absorción de la grava N° 1, realizado el 11 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y MATERIALES



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
EN MATERIALES PETREOS  
ASTM C 127

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificacion de calidad  
PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
FECHA ENSAYO : 11-Ago-07  
TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,grava¾,cantecon

MUESTRA N°	PESOS (gr)			ABSORCION		PESOS ESPECIFICOS		
	Sat-Sup-Sec	Sumergido	Seco	(%)	(Kg./ m3)	MASA	SAT-SUP-SEC	REAL
1	905.0	560.0	886.0	2.14	55.07	2.568	2.623	2.718
2	904.0	559.0	885.0	2.15	55.07	2.565	2.620	2.715
3	897.0	554.0	878.0	2.16	55.39	2.560	2.615	2.710
PROMEDIOS =				2.15	55.23	2.564	2.619	2.714

Muestreo efectuado por solicitante



Ing. Joaquín Umberto Montenegro  
Jefe Laboratorios control de calidad  
Suelos, concreto, asfalto y Materiales

Anexo A8: Partículas planas y alargadas de la grava N° 1, realizado el 8 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



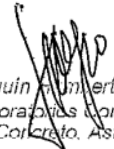
## Partículas Planas y Alargadas ASTM D-4791

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
 PROYECTO : Verificación de calidad  
 PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
 FECHA ENSAYO : 8-Ago-07  
 TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
 Archivo N° : 08-07-03,grava¼,cantecon

	Retenido en tamiz 1"		Retenido en tamiz 3/4"		Retenido en tamiz 1/2"	
	# partículas	peso (gr)	# partículas	peso (gr)	# partículas	peso (gr)
Partículas Iniciales					148	700
Partículas Alargadas					0	0
% partículas alargadas					0%	0%
Partículas Planas					16	67
% partículas planas					11%	10%
Partículas Normales					132	633
% partículas normales					89%	90%
% partículas planas y largas					11%	10%
retenido parcial en granulometría =	0%		0%		27%	
Porcentaje según presencia en la muestra =	0.00%		0.0%		2.6%	
<b>Porcentaje de planas y largas en toda la muestra = 2.6%</b>						

OBSERVACIONES : muestra tomada por solicitante  
 Relacion entre dimensiones de las partículas = 1/3  
 La muestra es producto de trituración industrial, por lo tanto presenta 100% de caras fracturadas



  
 Ing. Joaquín Humberto Montenegro  
 Jefe Laboratorios Control de Calidad  
 Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



## Partículas Ligeras y Desmenuzables ASTM C 123 y C 142

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
 PROYECTO : Verificación de calidad  
 PROCEDENCIA : plantel LA CANTERA, San Diego  
 FECHA ENSAYO : 10-Ago-07  
 TEC. ENCARGADO : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
 Archivo N° : 08-07-03,grava%,cantecon

### Partículas Livianas (carbon y lignito)

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	TIPO Agregado	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL (grs)	PORCENTAJE que flota
Pasa malla # 4 y retenido en malla # 50	fino	600.0	600.0	0.00%

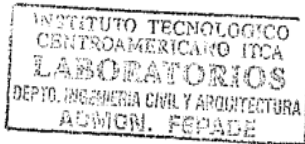
Muestreo efectuado por solicitante  
 No se observan partículas color negro y/o café oscuro, características del carbon  
 Sal empleada para obtener líquido pesado: cloruro de zinc

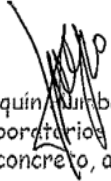
### Partículas Desmenuzables (grumos de arcilla)

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	TIPO Agregado	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL (grs)	PORCENTAJE dezmenuzado
Pasa malla # 4 y retenido en malla # 16	fino	600.0	600.0	0.00%

Pesos finales, obtenidos después de tamizar por malla # 20

Muestreo efectuado por solicitante



  
 Ing. Joaquín Humberto Montenegro  
 Jefe Laboratorios control de calidad  
 Suelos, concreto, asfalto y Materiales


**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA  
EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL  
CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

# **GRAVA Nº 2**

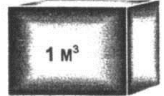
**TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) DE 1 PULGADA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**Anexo A10:** Análisis granulométrico, resistencia al desgaste, gravedad específica, absorción y material más fino que la malla N° 200 de la grava N° 2, realizado el 21 de Diciembre de 2006.



**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS GRAVA 2**



---

Fecha 21-Dic-06

Planta Plantel Central

Análisis # Dic-06

Procedencia Cantera

Tipo Trituración

Color Gris oscuro

Responsable E.E.G.

Proyecto \_\_\_\_\_

Graduación 3	W inicial	W final
	10000.0	8020.0
% Desgaste	20%	

**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MAYOR**

ASTM C-535

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**

ASTM C-127

W seco	SSS	W Sumergido	Ge	Abs %
4958.0	5010.0	3070.0	2.58	1.05
Promedio			2.58	1.05

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA #200**

ASTM C-117

W inicial 15356.0 gramos

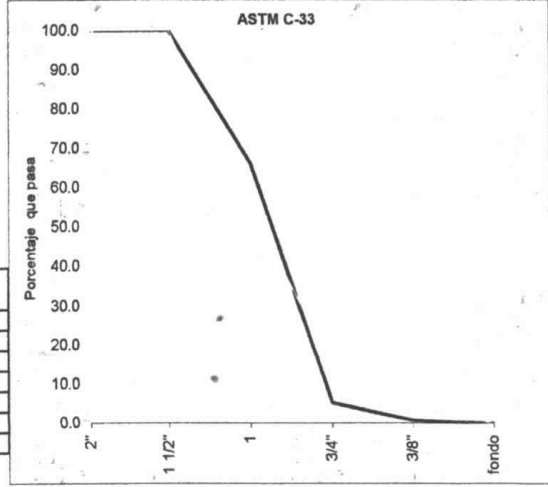
W lavado 15296.0 gramos

0.4%

**GRANULOMETRIA**

ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	5171.00	33.67	33.67	66.33
3/4"	9365.00	60.98	94.64	5.36
3/8"	683.00	4.45	99.09	0.91
fondo	139.60	0.91	100.00	0.00
SUMAS	15356.60	100.00		




OBSERVACIONES: Error dentro del 0.3% ASTM C-136

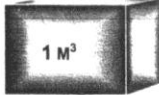
Realizó: \_\_\_\_\_

Supervisó \_\_\_\_\_  
 Ing. G. Flores Barrios  
 Gerente Técnico

Anexo A11: Análisis granulométrico, resistencia al desgaste, gravedad específica, absorción y material más fino que la malla N° 200 de la grava N° 2, realizado el 30 de Febrero de 2007.



**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS GRAVA 2**



---

Fecha: 30-feb-07

Planta: Plantel Central

Análisis #: Feb-01

Procedencia: Cantera

Tipo: Trituración

color: Gris oscuro

Responsable: E.E.G.

Proyecto: \_\_\_\_\_

Graduacion 3	W inicial	W final
% Desgaste		

W seco	SSS	W Sumergido	Ge	Abs %
Promedio				

**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MAYOR**

ASTM C-535

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**

ASTM C-127

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA #200**

ASTM C-117

W inicial \_\_\_\_\_ gramos

W lavado \_\_\_\_\_ gramos

**GRANULOMETRIA**

ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1	4518.00	33.90	33.90	66.10
3/4"	7392.00	55.47	89.37	10.63
3/8"	1313.00	9.85	99.22	0.78
fondo	103.40	0.78	100.00	0.00
SUMAS	13326.40	100.00		

ASTM C-33

OBSERVACIONES: Error dentro del 0.3% ASTM C-136

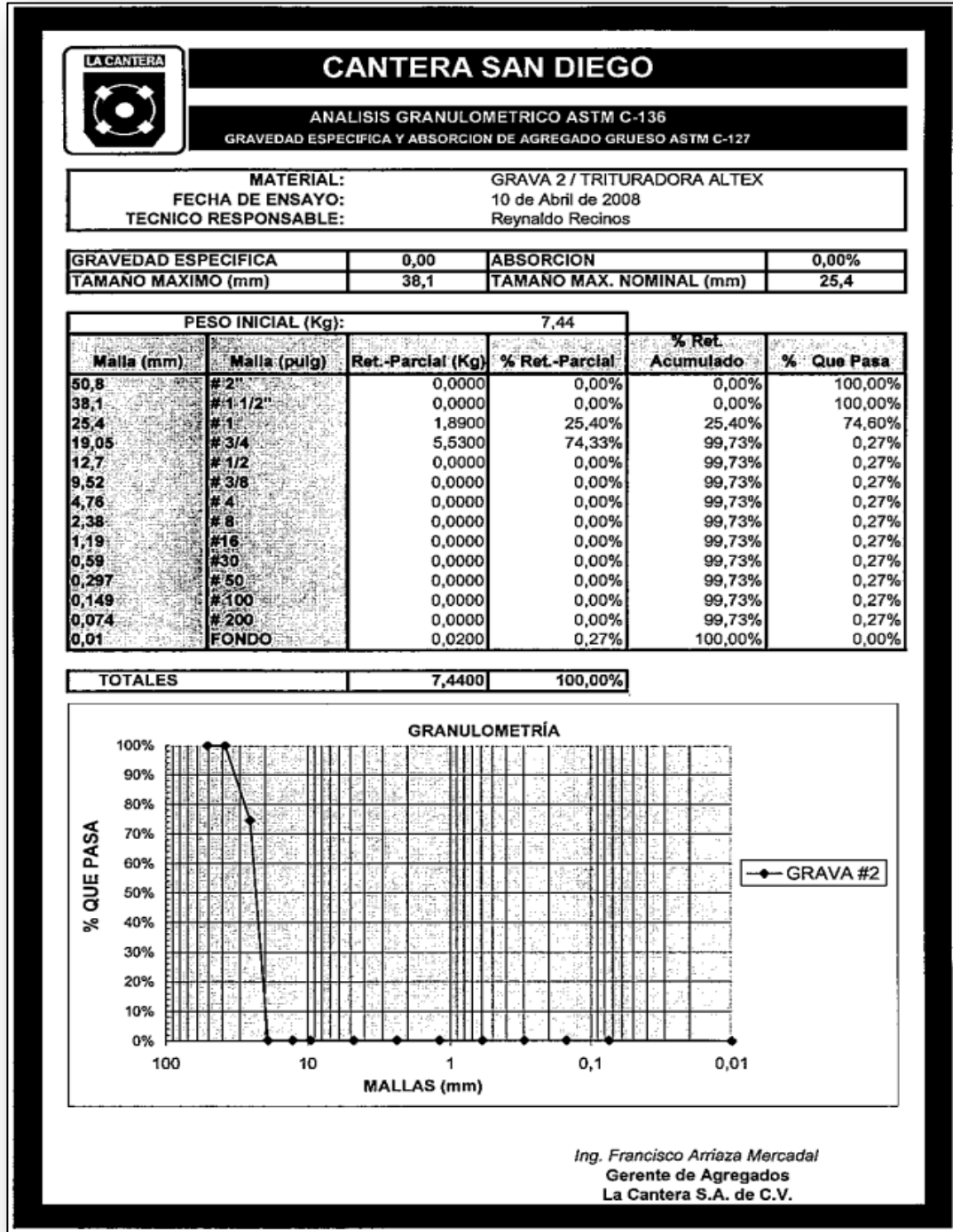
---



---

Realizó: \_\_\_\_\_ Supervisó: Ing. G. Flores Barrios  
Gerente Técnico

Anexo A12: Análisis granulométrico de la grava N° 2, realizado el 10 de Abril de 2008.



Fuente: Yacimiento La Cantera S.A. de C.V.

**Anexo A13:** Análisis granulométrico, resistencia al desgaste, gravedad específica, absorción y material más fino que la malla N° 200 de la grava N° 2, realizado el 1 de Junio de 2008.

**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS GRAVA 2**

---

Fecha	01-Jun-08
Planta	Planta Central
Análisis #	May-08
Procedencia	Cantera
Tipo	Trituración
Color	Gris oscuro
Responsable	E.E.G
Proyecto	DIEGO DE HOLGUIN TRAMO II

**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MAYOR**  
 ASTM C-535

Gradación 3	W inicial	W final
	10000.0	8250.0
% Desgaste	18%	

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**  
 ASTM C-127

W seco	SSS	W Sumergido	Ge	Abs %
5012.0	5067.0	3128.0	2.61	1.10
Promedio			2.61	1.10

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA #200**  
 ASTM C-117

W inicial	15140.0	gramos
W lavado	15000.0	gramos
<u>0.9%</u>		

**GRANULOMETRIA**  
 ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido y	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	3772.00	24.91	24.91	75.09
3/4"	6460.00	55.88	80.79	19.21
3/8"	2515.00	16.61	97.40	2.60
fondo	393.50	2.60	100.00	0.00
SUMAS	15140.50	100.00		

LIMITE O PARAMETRO	
100	100
90	100
20	55
0	15
0	5
0	0


  

OBSERVACIONES: Error dentro del 0.3% ASTM C-136

---

Realizó \_\_\_\_\_ Supervisó \_\_\_\_\_  
 Ing. G. Flores Barros  
 Gerente Técnico

**Anexo A14:** Peso volumétrico varillado de la grava N° 2, realizado el 21 de Agosto de 2008.

 Universidad de El Salvador <small>Hacia la libertad por la cultura</small>	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																																													
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																														
<b>REALIZADO POR:</b>																																																														
B.R.: JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R.: WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	21 DE AGOSTO DE 2008 GRAVA N° 2 P A G. 1 / 1																																																													
<b>ANALISIS DE LA GRAVA N° 2 (TMN DE 1 PULGADA)</b>																																																														
<b>ENSAYO:</b>	PESO VOLUMETRICO VARILLADO																																																													
<b>NORMA:</b>	ASTM C29/C29M-97(2003)																																																													
<b>MATERIAL:</b>	GRAVA N° 2																																																													
<b>REQUISITOS:</b>	1420 A 1760 kg/m <sup>3</sup>																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="3" style="background-color: #a6c9ec;">PESO VOLUMETRICO VARILLADO</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">Fecha</th> <th colspan="5" style="background-color: #a6c9ec;">21/08/2008</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #a6c9ec;">Material</th> <th colspan="5" style="background-color: #a6c9ec;">GRAVA</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #a6c9ec;">Ensayo N°</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">1</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">2</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">3</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">4</th> <th style="background-color: #a6c9ec;">5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del molde</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">5,938.00</td> <td style="text-align: center;">5,938.00</td> <td style="text-align: center;">5,938.00</td> <td style="text-align: center;">5,938.00</td> <td style="text-align: center;">5,938.00</td> </tr> <tr> <td>Peso del molde + material</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">20,530.00</td> <td style="text-align: center;">20,550.00</td> <td style="text-align: center;">20,651.00</td> <td style="text-align: center;">20,695.00</td> <td style="text-align: center;">20,500.00</td> </tr> <tr> <td>Peso del material</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">14,592.00</td> <td style="text-align: center;">14,612.00</td> <td style="text-align: center;">14,713.00</td> <td style="text-align: center;">14,757.00</td> <td style="text-align: center;">14,562.00</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde</td> <td style="text-align: center;">cm<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">10,182.87</td> <td style="text-align: center;">10,182.87</td> <td style="text-align: center;">10,182.87</td> <td style="text-align: center;">10,182.87</td> <td style="text-align: center;">10,182.87</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico varillado</td> <td style="text-align: center;">kg/m<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">1,432.99</td> <td style="text-align: center;">1,434.96</td> <td style="text-align: center;">1,444.88</td> <td style="text-align: center;">1,449.20</td> <td style="text-align: center;">1,430.05</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td style="text-align: center;">kg/m<sup>3</sup></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">1,438.42</td> </tr> </tbody> </table>		PESO VOLUMETRICO VARILLADO	Fecha	21/08/2008					Material	GRAVA					Ensayo N°	1	2	3	4	5	Peso del molde	g	5,938.00	5,938.00	5,938.00	5,938.00	5,938.00	Peso del molde + material	g	20,530.00	20,550.00	20,651.00	20,695.00	20,500.00	Peso del material	g	14,592.00	14,612.00	14,713.00	14,757.00	14,562.00	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	10,182.87	10,182.87	10,182.87	10,182.87	10,182.87	Peso volumétrico varillado	kg/m <sup>3</sup>	1,432.99	1,434.96	1,444.88	1,449.20	1,430.05	Promedio	kg/m <sup>3</sup>	1,438.42				
PESO VOLUMETRICO VARILLADO	Fecha		21/08/2008																																																											
	Material		GRAVA																																																											
	Ensayo N°	1	2	3	4	5																																																								
Peso del molde	g	5,938.00	5,938.00	5,938.00	5,938.00	5,938.00																																																								
Peso del molde + material	g	20,530.00	20,550.00	20,651.00	20,695.00	20,500.00																																																								
Peso del material	g	14,592.00	14,612.00	14,713.00	14,757.00	14,562.00																																																								
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	10,182.87	10,182.87	10,182.87	10,182.87	10,182.87																																																								
Peso volumétrico varillado	kg/m <sup>3</sup>	1,432.99	1,434.96	1,444.88	1,449.20	1,430.05																																																								
Promedio	kg/m <sup>3</sup>	1,438.42																																																												
<b>OBSERVACIONES:</b> EL VALOR PROMEDIO OBTENIDO ESTA COMPRENDIDO DENTRO DEL RANGO DE PESOS VOLUMETRICOS VARILLADOS DE LA GRAVA PARA SER UTILIZADA EN LA ELABORACION DE CONCRETO.																																																														


**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA  
EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL  
CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

## **COMBINACION DE GRAVAS**

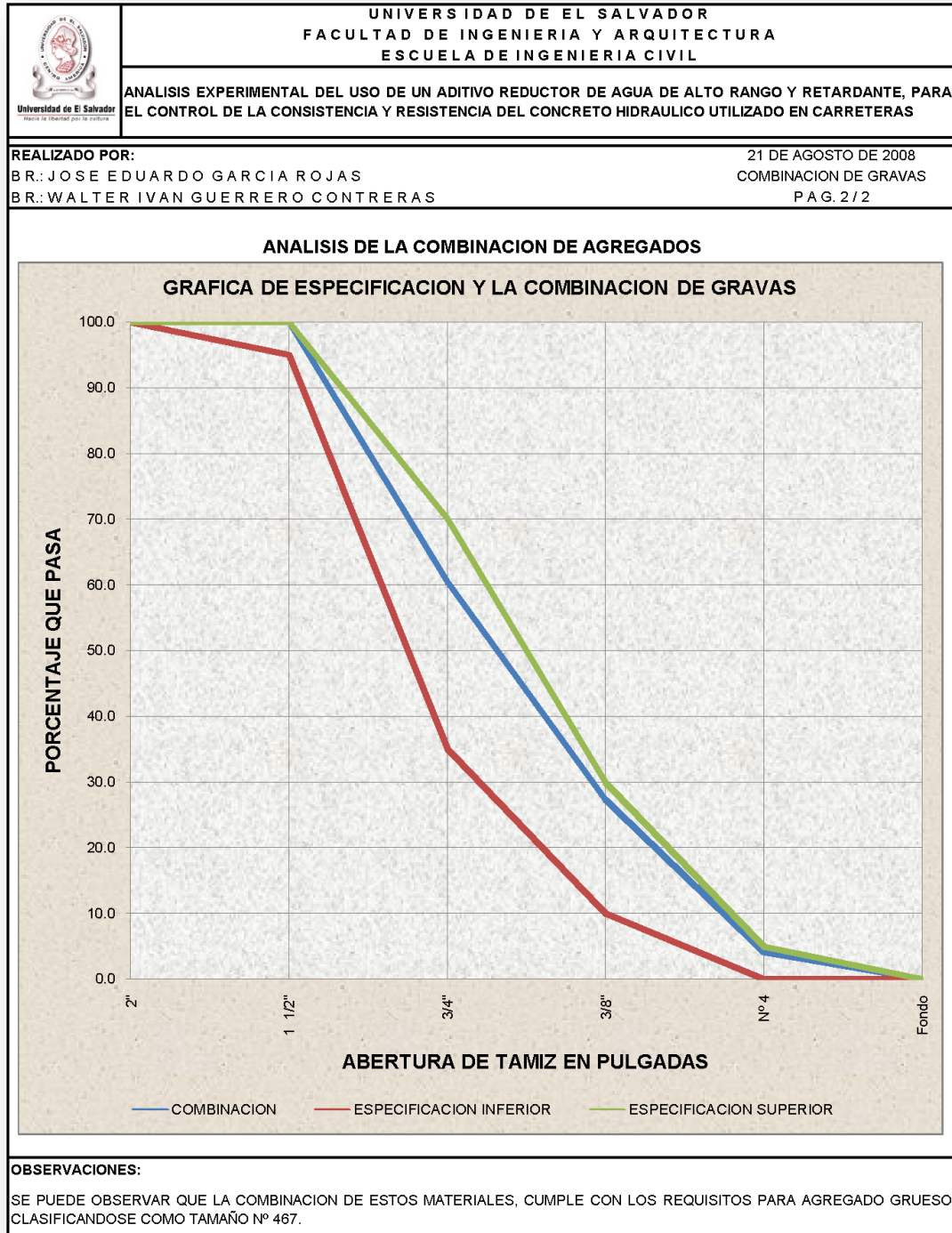
**ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA COMBINACION**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**Anexo A15:** Análisis granulométrico de la combinación de agregados gruesos (40% Grava N° 2 y 60% Grava N° 1), realizado el 21 de Agosto de 2008.

 Universidad de El Salvador <i>Hacia la libertad por la cultura</i>	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>					
	<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>					
<b>REALIZADO POR:</b> B.R.: JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R.: WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS			21 DE AGOSTO DE 2008 COMBINACION DE GRAVAS P.A.G. 1 / 2			
<b>ANALISIS DE LA COMBINACION DE AGREGADOS</b>						
<b>ENSAYO:</b>		GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS				
<b>NORMA:</b>		ASTM C136-01				
<b>COMBINACION:</b>		40 % GRAVA N° 2 Y 60% GRAVA N° 1				
<b>ESPECIFICACION:</b>		TAMAÑO N° 467 DE LA NORMA ASTM C33-03				
<b>PESO INICIAL:</b>		10,615.00			g	
<b>Malla N° en mm (in)</b>	<b>Fecha</b>	<b>21/08/2008</b>				
	<b>Muestreo</b>	<b>1</b>				
	<b>ASTM C33 (N° 467)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>% Retenido Parcial</b>	<b>% Retenido Acumulado</b>	<b>% Acumulado que pasa</b>	
50 (2)	100	0.00	0.00	0.00	100.00	OK
37.5 (1 ½)	95 hasta 100	0.00	0.00	0.00	100.00	OK
25 (1)	-	1,726.00	16.29	16.29	83.71	OK
19 (¾)	35 hasta 70	2,461.00	23.22	39.51	60.49	OK
12.5 (½)	-	1,907.00	17.99	57.50	42.50	OK
9.5 (⅜)	10 hasta 30	1,610.00	15.19	72.69	27.31	OK
4.75 (N° 4)	0 hasta 5	2,453.00	23.15	95.84	4.16	OK
2.36 (N° 8)	-	310.00	2.93	98.76	1.24	OK
Fondo	-	131.00	1.24	100.00	0.00	OK
Sumas	0	10,598.00	100.00			
<b>ERROR:</b>		$\frac{W_{INICIAL} - W_{FINAL}}{W_{INICIAL}}$		X	100	
<b>ERROR:</b>		$\frac{17.00}{10,615.00}$		X	100	
<b>ERROR:</b>		0.16%				
<b>OBSERVACIONES:</b>						
ERROR DENTRO DEL 0.3% ASTM C136						

**Anexo A16:** Curva granulométrica de la combinación de agregados gruesos (40% Grava N° 2 y 60% Grava N° 1), realizado el 21 de Agosto de 2008.






# **ANEXO B**

**CONTROL DE GRANULOMETRIA Y PROPIEDADES  
FISICAS DE LA ARENA**

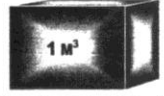
**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN  
CARRETERAS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**Anexo B1:** Análisis granulométrico, equivalente de arena, gravedad específica, absorción y material más fino que pasa la malla N° 200 de la arena del Río Tihuapa, realizado el 29 de Febrero de 2007.



**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS DE ARENA**



---

Fecha: 29-feb-07  
 Planta: Plantel Central  
 Análisis #: Feb-01  
 Procedencia: Tihuapa  
 Tipo: Natural  
 color: \_\_\_\_\_  
 Responsable: E.E.G.  
 Proyecto: \_\_\_\_\_

**EQUIVALENTE DE ARENA**  
 ASTM D-2419

	Altura (ctm)		
	H fino	H arena	%
1			
2			
Promedio			

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**  
 ASTM C-128

	Pesos (grs)				Ge	Abs %
	W seco	SSS	W pig.+agua	W pig.+agua+mss		
1						
2						
Promedio						

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA #200**  
 ASTM C-117

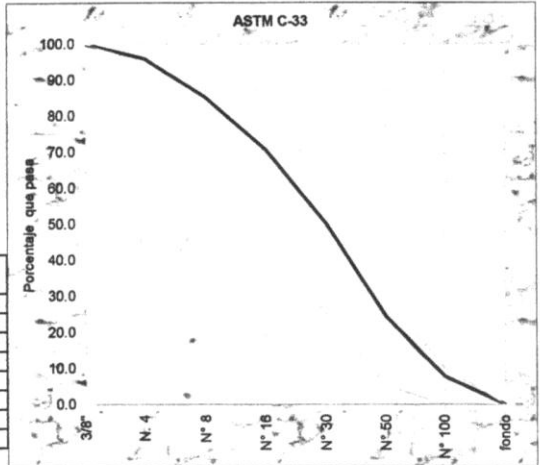
W inicial: 950.80 gramos  
 W lavado: 921.00 gramos

3.1%

**GRANULOMETRIA**  
 ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	37.50	3.94	3.94	96.06
N° 8	103.00	10.82	14.76	85.24
N° 16	138.30	14.53	29.30	70.70
N° 30	195.00	20.49	49.79	50.21
N° 50	246.20	25.87	75.66	24.34
N° 100	157.50	16.55	92.21	7.79
fondo	74.10	7.79	100.00	0.00
SUMAS	951.80	100.00		

M.F. 2.7



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Realizó: \_\_\_\_\_

Supervisó: Ing. G. Flores Barrios  
Gerente Técnico

Anexo B2: Análisis granulométrico de la arena del Río Tihuapa, realizado el 8 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



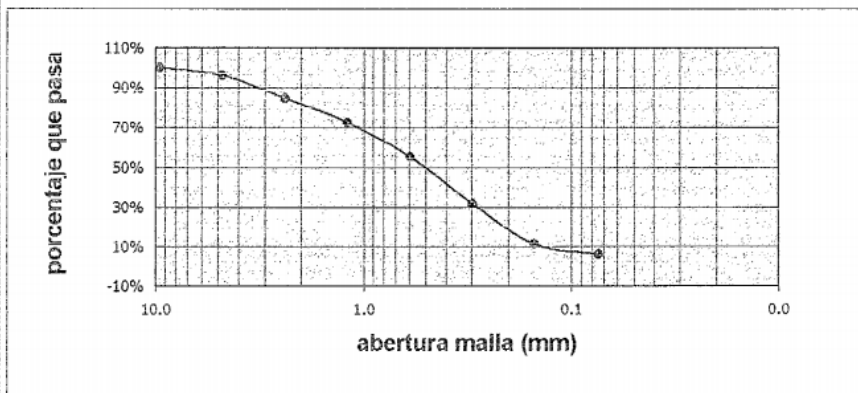
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C-136

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA.  
PROYECTO : Verificacion calidad  
PROCEDENCIA MATERIAL : Banco Rio TIHUAPA  
FECHA ENSAYO : 08-Ago-07  
TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

Peso Inicial (grs) = 1,500.0

Malla (mm)	Ret-Parcial	% Ret.Parc.	% Ret. Acumu	% Que Pasa	Malla (pul)
9.520	0.0	0.00%	0.00%	100.00%	3/8"
4.760	56.4	3.76%	3.76%	96.24%	No.4
2.380	171.6	11.44%	15.20%	84.80%	No, 8
1.190	182.9	12.19%	27.39%	72.61%	No,16
0.590	260.0	17.33%	44.73%	55.27%	No, 30
0.297	352.5	23.50%	68.23%	31.77%	No, 60
0.149	307.6	20.51%	88.73%	11.27%	No, 100
0.074	80.3	5.35%	94.09%	5.91%	No, 200
Fondo	88.7	5.91%	100.00%	0.00%	
Sumas	1,500.0				

Modulo de Finura = 2.4

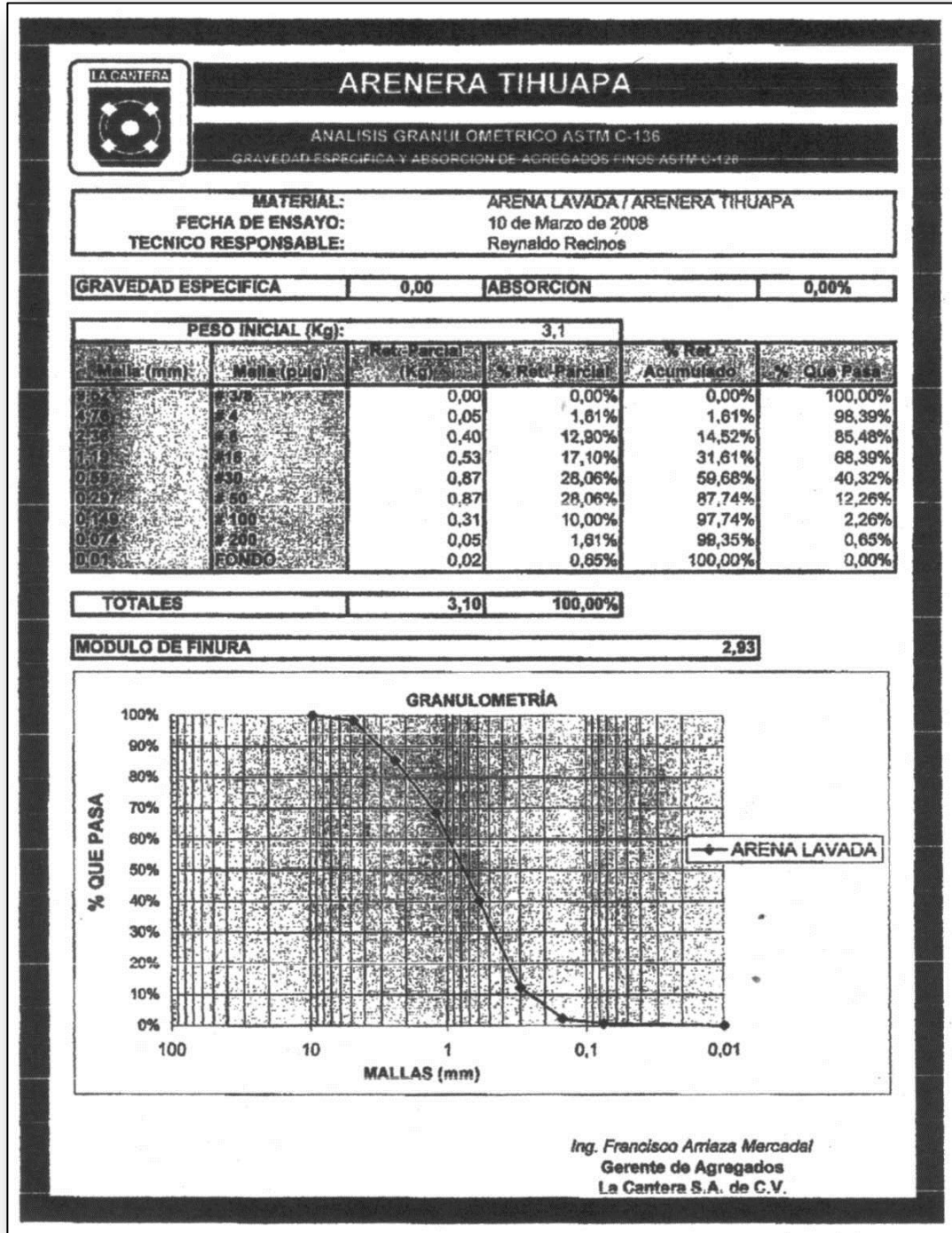


Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante



Ing. Joaquin Fernando Montenegro  
Jefe Laboratorio Control de Calidad  
Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales

Anexo B3: Análisis granulométrico de la arena del Río Tihuapa, realizado el 10 de Marzo de 2008.



**Anexo B4:** Análisis granulométrico, equivalente de arena, gravedad específica, absorción y material más fino que pasa la malla N° 200 de la arena del Río Tihuapa, realizado el 1 de Junio de 2008.

**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS DE ARENA**

---

Fecha	01-Jun-08
Planta	Plantel Central
Análisis #	Jun-01
Procedencia	Tihuapa
Tipo	Natural
Color	Café claro
Responsable	E E G
Proyecto	DIEGO DE HOLGUIN TRAMO II

**EQUIVALENTE DE ARENA**  
ASTM D-2419

	Altura (ctm)		
	H fino	H arena	%
1			
2			
Promedio			

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**  
ASTM C-128

	Pesos (grs)				Ge	Abs %
	W seco	SSS	W p/ig + agua	W p/ig + agua + mas		
1	471.6	500.0	1454.0	1759.3	2.57	6.02
2						
Promedio					2.57	6.02

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA**  
#200  
ASTM C-117

W inicial 740.90 gramos  
W 4 714.50 gramos

**3.6%**

**GRANULOMETRIA**  
ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido, g	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
N 4	22.00	2.97	2.97	97.03
N 8	96.70	13.06	16.03	83.97
N 16	106.70	14.41	30.43	69.57
N 30	124.50	16.81	47.24	52.76
N 50	179.90	24.29	71.53	28.47
N 100	141.50	19.10	90.63	9.37
fondo	69.40	9.37	100.00	0.00
SUMAS	740.70	100.00		

**M1 2.6**

LIMITES O PARAMETROS	
100	100
95	100
80	100
50	85
25	60
5	30
0	10
0	0

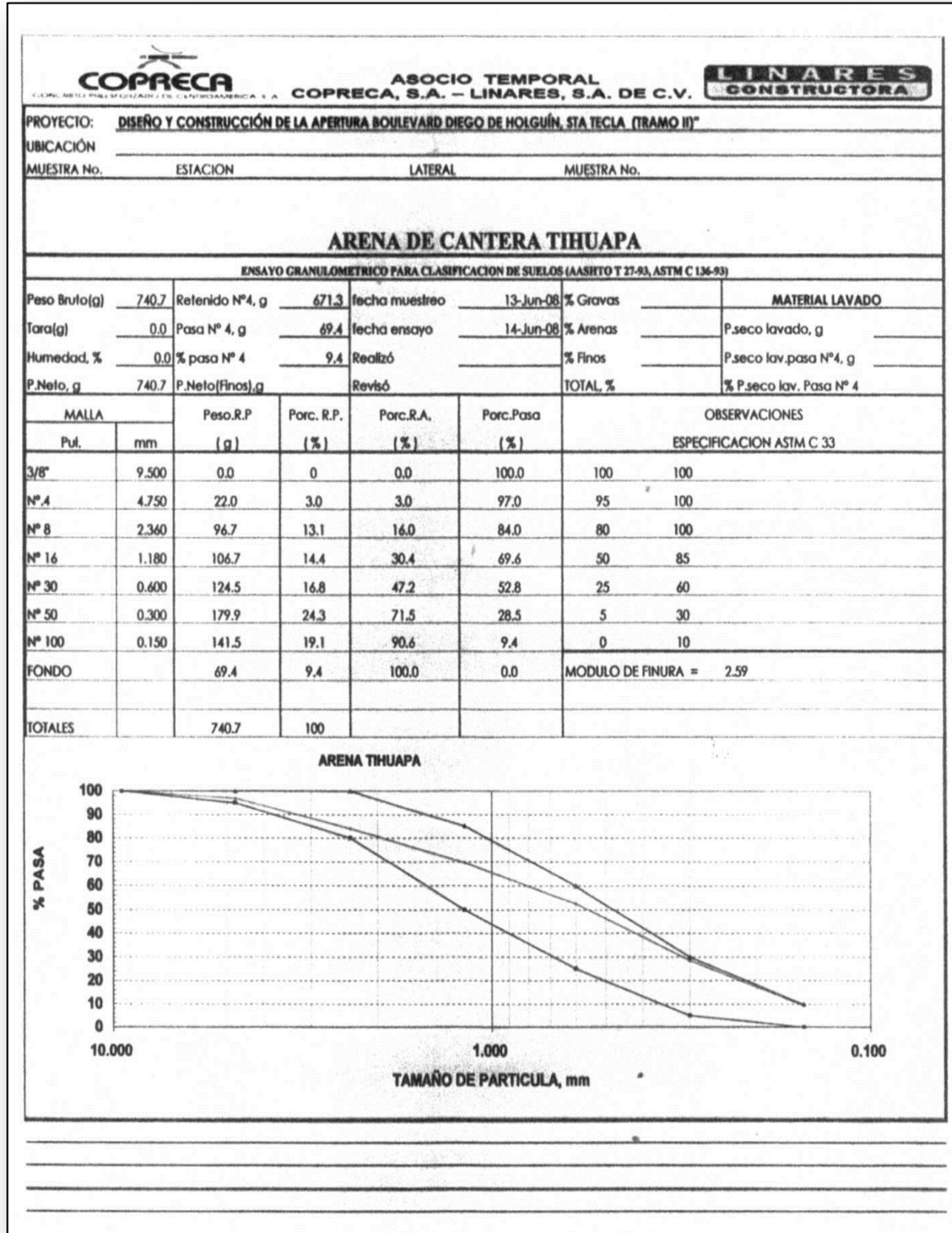
  

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

Realizó \_\_\_\_\_ Supervisó \_\_\_\_\_

Ing. G. Flores Barrios  
Coordinador Técnico

Anexo B5: Análisis granulométrico de la arena del Río Tihuapa, realizado el 14 de Junio de 2008.



Fuente: Yacimiento La Cantera S.A. de C.V.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



**SANIDAD AGREGADOS PARA CONCRETO  
ASTM C-88**

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
 PROYECTO : Verificacion calidad  
 PROCEDENCIA MATERIAL : Banco Rio TIHUAPA  
 FECHA ENSAYO : julio-agosto 2007  
 TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
 Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

Granulometna Preparada			Granulometna Designada			
Tamiz No	Ret-Pare(%) M. Original	Retenido (gr) antes ensayo	Tamiz No	Retenido (gr) ensayado	(%) Perdida	% perdida Funcion M Original
4	3.78%	0.0	4			
8	11.44%	100.0	8	89.90	10.10%	1.16%
16	12.19%	100.0	16	91.10	8.90%	1.00%
30	17.33%	100.0	30	90.30	9.70%	1.68%
50	23.50%	100.0	50	90.20	9.80%	2.30%
100	20.51%	100.0	100	90.40	9.60%	1.97%
500.0			451.9			

Perdida despues de cinco ciclos = 8.2%

Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante  
 Reactivo empleado, Sulfato de sodio



Ing. Joaquín Roberto Montenegro  
 Jefe Laboratorio de Control Calidad  
 Suelos y Concreto Asfalto y Materiales

Anexo B7: Equivalente de arena de la arena del Río Tihuapa, realizado el 8 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



## Equivalente de arena

ASTM D-2419

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificación calidad  
PROCEDENCIA MATERIAL : Banco Río TIHUAPA  
FECHA ENSAYO : 08-Ago-07  
TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTURA TOTAL	ALTURA ARENA	EQUIVALENTE ARENA
arena	B	8.100	7.200	88.89%
		7.900	7.000	88.61%
		8.100	7.100	87.65%





promedio = 88%

Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
CENTROAMERICANO ITCA  
LABORATORIOS  
DEPTO. INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ADMION. FEPADÉ

  
Ing. Joaquín Humberto Montenegro  
Jefe Laboratorio control de calidad  
Suelos, Concreto, Asfalto y Materiales

Anexo B8: Material fino contenido en los agregados pétreos de la arena del Río Tihuapa, realizado el 10 de Agosto de 2007.

	<p>DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD SUELOS CONCRETO ASPHALTO Y MATERIALES</p>		
<h3>Material fino contenido en los agregados Petreos</h3> <h4>ASTM C-117 y FLH - 512</h4>			
<p>SOLICITANTE : Ing. Gabnel Guevarra, LA CANTERA PROYECTO : Verificacion calidad PROCEDENCIA MATERIAL : Banco Rio TIHUAPA FECHA ENSAYO : 10-Ago-07 TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon</p>			
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL SECO Lavado malla 200 (grs)	PORCENTAJE Finos
arena	1,800.0	1,658.3	7.87%
<p>Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante</p>			
		 Ing. Joaquin Humberto Montenegro Jefe Laboratorios Control de calidad Suelos Concreto Asfalto y Materiales	

Anexo B9: Impurezas orgánicas de la arena del Río Tihuapa, realizado el 9 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



## Impurezas orgánicas ASTM C 40

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificación calidad  
PROCEDENCIA MATERIAL : Banco Río TIHUAPA  
FECHA ENSAYO : 09-Ago-07  
TEC. RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

La muestra fue saturada con hidróxido de sodio al 3%, observándose luego de veinticuatro horas un color igual al número **UNO** de la carta de colorimetría, más claro que el color estándar, por tanto la cantidad de materias orgánicas, presentes en la muestra, no afecta en la elaboración de concreto normal, según requisitos que exige ASTM C-33

Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
CENTROAMERICANO ITCA  
LABORATORIOS  
DEPTO. INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
AUMON. FEPADE

Ing. Joaquín Humberto Montenegro  
Jefe Laboratorios Control de calidad  
Suelos Concreto Asfalto y Materiales



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



## Partículas Ligeras y Desmenuzables ASTM C 123 y C 142

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
 PROYECTO : Verificación calidad  
 BANCO DE PETREOS : Banco Río TIHUAPA  
 FECHA ENSAYO : 10-Ago-07  
 TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
 ENSAYO N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

**Partículas Livianas (carbon y lignito)**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	TIPO Agregado	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL (grs)	PORCENTAJE que flota
Pasa malla # 4 y retenido en malla # 50	arena	225.0	211.0	6.22%

Muestreo efectuado por solicitante  
 No se observan partículas color negro y/o café oscuro, características del carbon  
 Sal empleada para obtener liquido pesado: cloruro de zinc

### Partículas Desmenuzables (grumos de arcilla)

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	TIPO Agregado	PESO INICIAL (grs)	PESO FINAL (grs)	PORCENTAJE desmenuzado
Pasa malla # 4 y retenido en malla # 16	arena	204.0	202.0	0.98%

Pesos finales, obtenidos despues de tamizar por malla # 20

Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante



Ing. Joaquín Humberto Montenegro  
 Jefe Laboratorios control de calidad  
 Suelos Concreto Asfalto y Materiales

Anexo B11: Gravedad específica y absorción de la arena del Río Tihuapa, realizado el 10 de Agosto de 2007.



DEPARTAMENTO ING. CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD  
SUELOS CONCRETO ASFALTO Y MATERIALES



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
EN MATERIALES PETREOS

ASTM C 128

SOLICITANTE : Ing. Gabriel Guevarra, LA CANTERA  
PROYECTO : Verificacion calidad  
BANCO DE PETREOS : Banco Rio TIHUAPA  
FECHA ENSAYO : 10-Ago-07  
TEC RESPONSABLE : Haydee Hernandez, Melquin Bermudez  
Archivo N° : 08-07-03,arena-tihuapa,cantecon

MUEST Nº	PESOS (gr)				ABSORCION		PESOS ESPECIFICOS		
	Sat-Sup-Sec	Mat + agua	Mat+Agua+Are	Seco	(%)	(Kg/M3)	MASA	SAT-SUP-SEC	REAL
1	380.2	677.7	908.6	374.0	1.66	41.53	2.505	2.547	2.614
2	394.6	669.1	908.6	388.3	1.62	40.62	2.504	2.544	2.610
3	385.1	677.2	911.2	379.1	1.58	39.71	2.509	2.549	2.613
PROMEDIOS =					<b>1.62</b>	<b>40.62</b>	<b>2.51</b>	<b>2.55</b>	<b>2.61</b>

Observaciones : arena lavada y tamizada por solicitante



Ing. Joaquín Umberto Montenegro  
Jefe Laboratorios control de calidad  
Suelos, concreto, asfalto y Materiales



# **ANEXO C**

## **CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO**

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN  
CARRETERAS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

Anexo C1: Certificado de calidad del Cemento ASTM C1157 Tipo HE del periodo del 1 al 30 de Junio de 2008.

## CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CESSAPAV 06-08

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-03, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 30 de Junio del 2008 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS**

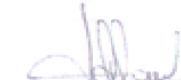
DETERMINACIÓN	ASTM C1157-03 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	187
Resistencia a la Compresión (ASTM C109) 1 día (psi) 3 días (psi) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,450 mín. 2,465 mín. ... ...	1,780 3,340 4,060 4,960
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	7
Fineza Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (B) (ASTM C 204)	...	5,140
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.7
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	48.4
Expansión de barras sumergidas en agua, 14 días (%) (ASTM C1038)	0.020 % máx.	0.000
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	-0.01
Densidad (ASTM C188)	...	2.93

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente  
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los once días mes de Julio del año dos mil ocho.

  
Ing. Roberto Guandique  
Supte. de Control de Calidad



  
Ing. Jose Guillermo Osorio  
Gerente de Control de Calidad

NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE LA EMPRESA

**CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.**

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0090; Fax: (503)2505-0106  
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

## CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CESSAPAV 09-08

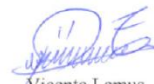
Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-03, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 30 de Septiembre del 2008 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS

DETERMINACIÓN	ASTM C1157-03 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	160
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 1 día (psi) 3 días (psi) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,450 mín. 2,465 mín. ... ...	1,880 3,480 4,220 5,220
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	6
Fineza Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (B) (ASTM C 204)	...	5,090
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.5
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	48.4
Expansión de barras sumergidas en agua. 14 días (%) (ASTM C1038)	0.020 % máx.	0.005
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	-0.01

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente  
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los diez días del mes de Octubre del año dos mil ocho.



Vicente Lemus  
Jefe de Control de Calidad




Ing. Roberto Guandique  
Gerente de Control de Calidad

NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE LA EMPRESA

### CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106  
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

**Anexo C3:** Certificado de calidad del Cemento ASTM C1157 Tipo HE del periodo del 1 al 31 de Octubre de 2008.

## CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CESSAPAV 10-08

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-03, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 31 de Octubre del 2008 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS**

DETERMINACIÓN	ASTM C1157-03 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	167
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 1 día (psi) 3 días (psi) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,450 mín. 2,465 mín. ... ...	1,880 3,380 4,080 4,970
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	5
Fineza Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (E) (ASTM C 204)	...	5,200
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.5
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	48.0
Expansión de barras sumergidas en agua. 14 días (%) (ASTM C1038)	0.020 % máx.	0.003
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	0.01

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente  
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los diez días del mes de Noviembre del año dos mil ocho.



Vicente Lemus  
Jefe de Control de Calidad



Ing. Roberto Guandique  
Gerente de Control de Calidad



NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE LA EMPRESA

**CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.**  
Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madresolva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0105  
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

**Anexo C4:** Certificado de calidad del Cemento ASTM C1157 Tipo HE del periodo del 1 al 30 de Noviembre de 2008.

## CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CESSAPAV 11-08

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-03, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 30 de Noviembre del 2008 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS**

DETERMINACIÓN	ASTM C1157-03 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	181
Resistencia a la Compresión (ASTM C109) 1 día (psi) 3 días (psi) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,450 mín. 2,465 mín. ... ...	1,870 3,300 4,120 5,040
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	6.0
Fineza Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (B) (ASTM C 204)	...	4,810
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.5
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	48.0
Expansión de barras sumergidas en agua. 14 días (%) (ASTM C1038)	0.020 % máx.	0.001
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	-0.01

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente  
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los nueve días del mes de Diciembre del año dos mil ocho.

  
 Ing. Roberto Guandique  
 Gerente de Control de Calidad
 

NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE LA EMPRESA

**CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.**  
 Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
 Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106  
 Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América



# **ANEXO D**

**CONTROL DE CALIDAD DEL ADITIVO PLASTIFLOW-R**

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN  
CARRETERAS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

# HOJA INFORMATIVA DEL PRODUCTO

## PLASTIFLOW R

Reductor del agua de alto rango, superplastificante y retardador de fraguado químicamente activo para concreto.

### CÓMO FUNCIONA

PLASTIFLOW R es un complejo polimérico orgánico y sintético soluble en agua que no contiene cloruro. Interacciona químicamente con las partículas de cemento en el concreto recién mezclado, resultando en una mejorada distribución del cemento en toda la mezcla. Esta reacción transforma las características de trabajabilidad (bajo asentamiento) de los diseños de mezcla con una baja proporción de agua/cemento en una mezcla muy trabajable (alto asentamiento) de fraguado más lento sin cambios en la proporción de diseño de agua/cemento.

### APLICACIONES

- ◆ Úselo en mezclas de concreto arquitectónico, estructural, prefabricado y postensado.
- ◆ Úselo en ambientes donde la temperatura ambiental está por encima de los 70 °F (21 °C).
- ◆ Úselo en aplicaciones donde se requiera el máximo tiempo de trabajo para el concreto debido a las condiciones meteorológicas, a las condiciones de vaciado o donde el tiempo de tránsito prolongado exige un tiempo de fraguado retrasado.

### VENTAJAS

- ◆ Al mismo tiempo, brinda mayor asentamiento sin agua de mezcla adicional y retarda el fraguado del concreto, lo que permite más tiempo para vaciar y dar el acabado final bajo condiciones meteorológicas calurosas.
- ◆ Aumenta la resistencia del concreto en todas las edades y mejora la trabajabilidad y la durabilidad.
- ◆ Reduce los requerimientos de agua de mezcla hasta en 30%, logrando así un aumento de hasta 50% en la resistencia a la compresión y de hasta 30% en la resistencia a la flexión.
- ◆ Permite ahorrar en el consumo de cemento: es posible lograr una reducción en el consumo de cemento de hasta un 15% a la vez que se conserva la misma resistencia.
- ◆ PLASTIFLOW R puede convertir el concreto de bajo asentamiento en una mezcla fluyente autonivelante sin segregación del agregado o disminución de la resistencia.
- ◆ Mejora considerablemente la resistencia a los daños a causa de la congelación y descongelación, a la penetración de agua y a la corrosión del acero de refuerzo inducida por el ión cloruro (sales descongelantes).
- ◆ El concreto fluye fácilmente en los encofrados para llenar las oquedades y se distribuye de manera uniforme alrededor de los refuerzos pesados.

- ◆ El concreto superplastificado con PLASTIFLOW R puede dejarse caer hasta 15 pies dentro de encofrados de paredes y columnas sin la ayuda de una tolva para llenado (tubo "tremie") y sin prácticamente ninguna segregación en comparación con un máximo de 5 pies para el concreto en asentamiento normal. Esto puede significar un excepcional ahorro en mano de obra al efectuar el vaciado en paredes y columnas estructurales fuertemente reforzadas.
- ◆ El concreto se bombea con mayor facilidad, lo cual reduce las presiones de bombeo hasta en un 50%.
- ◆ El concreto de alta densidad puede bombearse en lugares que anteriormente sólo eran accesibles mediante grúa y cubos para la aplicación.
- ◆ Los gastos de acabado del concreto se reducen debido a las mejoradas características de flujo que PLASTIFLOW R ofrece sin necesidad de agregar agua.
- ◆ PLASTIFLOW R reduce considerablemente o elimina la exudación excesiva asociada con las mezclas de concreto no superplastificadas de alto asentamiento. Así, el acabado del concreto comienza más pronto y se reducen los gastos de acabado.
- ◆ El concreto superplastificado con PLASTIFLOW R necesita de considerablemente menor vibración que el concreto normal con una baja proporción de agua a cemento debido a una reducción en la viscosidad de la mezcla.
- ◆ No inflamable, no tóxico y clasificado por el Dept. de Transporte de los EE.UU. como no peligroso.
- ◆ Cumple con todos los requisitos federales y estatales con respecto a los componentes orgánicos volátiles (VOC).

### PRECAUCIONES

- ◆ El efecto de plasticidad de PLASTIFLOW R normalmente dura entre 2 y 3 horas y se puede agregar en la planta de concreto premezclado o en el sitio de la obra.
- ◆ Si se perdiera la plasticidad antes de vaciar todo el concreto, a éste se le puede volver a agregar el aditivo por segunda vez para recobrar el alto asentamiento sin pérdida alguna de resistencia. Es posible que con una segunda dosis no se pueda alcanzar el mismo alto asentamiento obtenido con la dosis inicial.
- ◆ No lo use si la temperatura está por debajo de 70 °F (21 °C). PLASTIFLOW R es recomendado para temperaturas por debajo de 70 °F (21 °C).
- ◆ Es posible que sea necesario utilizar un agente incorporador de aire adicional para el concreto que

PLASTIFLOW R

3

aditivos/retardadores de fraguado superficial



soluciones químicas para problemas en concreto

## Anexo D2: Continuación de hoja informativa del aditivo Plastiflow - R.

requiera resistencia contra daños causados por congelación y descongelación.

- ◆ Para el concreto autonivelante, puede que sea necesario aumentar la proporción de finos y gruesos del agregado en aproximadamente 5% o agregar cenizas volantes, escoria de alto horno o humo de sílice. Esto resulta sobre todo importante en diseños de mezclas que contienen un contenido de cemento menor a las 500 lb. por yarda cúbica.

### INSTRUCCIONES DE USO

- ◆ Solicite al fabricante folletos sobre el producto, etiquetas y hojas de datos de seguridad de materiales actualizados y léalos detenidamente antes de utilizar el producto.
- ◆ Las condiciones medioambientales del lugar y las del sustrato, y el diseño de la mezcla del concreto afectan de manera significativa la selección del producto, los métodos de aplicación, los procedimientos y rendimientos, el aspecto y el desempeño. La documentación sobre el producto proporciona información general aplicable a algunas condiciones. Sin embargo, es obligatorio que el comprador o instalador aplique adecuadamente una prueba de producción antes de usar el producto a escala de campo (independientemente de cualquier otra declaración verbal o escrita) para verificar que el producto y las cantidades compradas pueden ser aplicados de manera satisfactoria y que lograrán producir el aspecto y desempeño deseados bajo las condiciones de uso previstas.
- ◆ La dosificación requerida de PLASTIFLOW R depende del diseño de la mezcla de concreto y se debe determinar utilizando ensayos de prueba. El concreto debe llegar al sitio de la obra con un asentamiento de 1 a 2 pulgadas.
- ◆ PLASTIFLOW R se debe agregar una vez que el concreto se haya mezclado a fondo y se haya obtenido un asentamiento inicial deseado de 1 a 2 pulgadas (2,5 a 5 cm). Las tasas de dosis iniciales recomendadas van desde 6 a 12 onz. (175 a 350 ml.) por saco de cemento Portland, según el diseño de mezcla del concreto y los parámetros de uso.
- ◆ El concreto puede dosificarse nuevamente después de la dosis inicial para recobrar la pérdida de plasticidad. Póngase en contacto con NOX-CRETE para obtener parámetros de uso más específicos.
- ◆ PLASTIFLOW R se debe agregar directamente al concreto recién mezclado bien sea inyectando aditivo en el centro del tambor o haciendo girar el tambor en la dirección de descarga hasta que el concreto se haya acumulado en la parte superior del tambor. Al comenzar la mezcla, el concreto succionará el PLASTIFLOW R hacia atrás en dirección al centro del tambor. Mezcle durante 5 a 7 minutos.

### DATOS TÉCNICOS

Densidad bruta ..... 7,7 lb./gal. (1.110 g./lt.)  
Color, ASTM D-1500 ..... 1,5  
Claridad ..... Transparente  
Punto de congelación ..... 32 °F (0 °C)  
Punto de inflamación ..... >200 °F (93 °C)

Cumple con todos los requisitos de ASTM C-494 para los aditivos tipo A (reductor del agua) y tipo G (reductor de agua

de rango elevado y retardador de fraguado). Permite un mínimo de 12% de reducción del agua en el diseño de la mezcla. También cumple con AASHTO M194 tipo A y tipo G.

### EMPAQUETADO

El producto viene empacado en cubetas de 5 gal. (19 lt.) / 49,5 lb. (22,5 kg.) y tambores de 55 gal. (208 lt.) / 546 lb. (248,1 kg.).

### VIDA ÚTIL

Un año a partir de la fecha de fabricación en recipientes sellados originales de fábrica debidamente almacenados. Usar antes de la fecha de vencimiento impresa en la etiqueta.

### MANIPULACIÓN/ALMACENAJE

El producto debe protegerse contra la congelación. Si se produjera congelación accidental, todavía es posible usar el producto pero el contenido debe mezclarse agitando para asegurar una distribución uniforme de los ingredientes activos.

Para prevenir la contaminación, los tambores almacenados se deben cerrar herméticamente y almacenarse en una atmósfera donde la temperatura ambiental no sea inferior a 40 °F (4 °C).

### DISPONIBILIDAD Y SERVICIOS TÉCNICOS

Además de las oficinas corporativas en Omaha, Nebraska, NOX-CRETE Products Group mantiene oficinas regionales y centros de distribución en los principales mercados de todo el mundo. Para información técnica o de suministro, llámenos al (800) 669-2738 o al (402) 341-1976.

### GARANTÍA LIMITADA

#### AVISO - LEA DETENIDAMENTE CONDICIONES DE VENTA

NOX-CRETE ofrece este producto en venta sujeto a las siguientes condiciones de venta y de garantía limitada, las que se consideran haber sido aceptadas por el Comprador y todos los usuarios, y que sólo pueden ser modificadas mediante un acuerdo escrito y suscrito por un funcionario corporativo debidamente autorizado de NOX-CRETE. Ningún otro representante de o para NOX-CRETE está autorizado a conceder garantía alguna o renunciar a la limitación de responsabilidades indicada más adelante.

#### LIMITACIÓN DE LA GARANTÍA

NOX-CRETE garantiza que este producto está libre de defectos de fabricación. Si el producto estuviera defectuoso al comprarse y lo estubo al usarse, dentro del periodo de uso indicado en el envase o cartón, NOX-CRETE sustituirá el producto defectuoso por un producto nuevo sin cargo al comprador.

NOX-CRETE no da NINGUNA OTRA GARANTÍA, expresa o implícita, respecto de este producto. No existe NINGUNA GARANTÍA DE COMERCIABILIDAD. Bajo ninguna circunstancia asumirá NOX-CRETE responsabilidad alguna por daños especiales, indirectos o emergentes resultantes del uso o manipulación del producto y el monto de ningún reclamo, de cualquier tipo, será mayor que el precio de compra del producto con respecto a los daños que se reclaman.

#### RIESGOS INHERENTES

NOX-CRETE NO DA GARANTÍA ALGUNA CON RESPECTO AL DESEMPEÑO DEL PRODUCTO UNA VEZ QUE ÉSTE HA SIDO APLICADO POR EL COMPRADOR, Y EL COMPRADOR ASUME TODOS LOS RIESGOS ASOCIADOS CON EL USO O APLICACIÓN DEL PRODUCTO.

Actualizado el 10/04/03. Esta versión reemplaza todas las versiones anteriores.

Plastiflow R p. 2

NOX-CRETE PRODUCTS GROUP • 1444 South 20th Street • P.O. Box 8102 • Omaha, Nebraska 68108  
PHONE: (800) NOX-CRETE (669-2738) • (402) 341-1976 FAX: (800) FAX ORDER (329-6733) • (402) 341-9752 • [www.nox-crete.com](http://www.nox-crete.com)

Fuente: Nox-crete.





# ANEXO E

## DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO



**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**



Anexo E1: Diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	2 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 1 (M <sub>1</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	7.1	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	8.5	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E2: Continuación de diseño de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	2 DE SEPTIEMBRE DE 2008 MEZCLA 1 (M <sub>1</sub> ) P A G. 2 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.691	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.309	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	774.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	94.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	807.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,071.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	94.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	120.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	159.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	12.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.55	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E3: Diseño de la mezcla 2 (M<sub>2</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	4 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 2 (M <sub>2</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.7	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.5	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E4: Continuación de diseño de la mezcla 2 (M<sub>2</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		4 DE SEPTIEMBRE DE 2008 MEZCLA 2 (M <sub>2</sub> ) P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.691	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.309	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	774.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	152.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	815.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,006.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	152.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	121.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	149.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	18.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.50
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E5: Diseño de la mezcla 3 (M<sub>3</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	8 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 3 (M <sub>3</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	3.2	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	11.2	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>or</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E6: Continuación de diseño de la mezcla 3 (M<sub>3</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		8 DE SEPTIEMBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 3 (M <sub>3</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.691	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.309	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	774.4	Kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	113.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	828.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,031.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	113.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	123.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	153.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	11.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.44
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E7: Diseño de la mezcla 4 (M<sub>4</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	8 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 4(M <sub>4</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.2	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	11.2	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E8: Continuación de diseño de la mezcla 4 (M<sub>4</sub>).

 	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	8 DE SEPTIEMBRE DE 2008 MEZCLA 4 (M <sub>4</sub> ) P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>	
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>	
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2.380      Kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>	
Volumen de agua:	0.186      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.692      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.308      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	773.0      kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>	
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	143.9      Kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :	
Peso del cemento:	296.3      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0      bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	826.8      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,001.3      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	143.9      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.9      kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>	
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15      m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:	
Peso del cemento:	44.1      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0      bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	123.1      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	149.1      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	18.9      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3      kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.55
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.	
<b>OBSERVACIONES:</b>	



Anexo E9: Diseño de la mezcla 5 (M<sub>5</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	15 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 5 (M <sub>5</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.6	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	8.9	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E10: Continuación de diseño de la mezcla 5 (M<sub>5</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		15 DE SEPTIEMBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 5 (M <sub>5</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.692	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.308	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	773.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	157.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	809.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,005.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	157.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	120.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	149.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	18.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.50
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E11: Diseño de la mezcla 6 (M<sub>6</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	17 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 6 (M <sub>6</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f' <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.3	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	12.0	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f'<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E12: Continuación de diseño de la mezcla 6 (M<sub>6</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	17 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 6 (M <sub>6</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 2 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.692	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.308	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	773.0	Kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	136.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	833.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,002.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	136.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	124.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	149.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	14.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.44	
<p><sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.</p>		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E13: Diseño de la mezcla 7 (M<sub>7</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	21 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 7 (M <sub>7</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.7	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.7	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>or</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E14: Continuación de diseño de la mezcla 7 (M<sub>7</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	21 DE SEPTIEMBRE DE 2008 MEZCLA 7 (M <sub>7</sub> ) P.A.G. 2 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.693	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.307	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	771.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	150.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	813.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,006.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	150.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	2.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	121.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	149.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	19.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	0.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.55	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E15: Diseño de la mezcla 8 (M<sub>8</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	23 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 8 (M <sub>8</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	1.3	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	13.1	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E16: Continuación de diseño de la mezcla 8 (M<sub>8</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	23 DE SEPTIEMBRE DE 2008 MEZCLA 8 (M <sub>8</sub> ) P.A.G. 2 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.693	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.307	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	771.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	118.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	839.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,012.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	118.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	2.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	44.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	125.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	150.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	14.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.50	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E17: Diseño de la mezcla 9 (M<sub>9</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	25 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 9 (M <sub>9</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	34	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	210	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	1.1	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	11.4	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	243.5	kg / cm <sup>2</sup>
	23.9	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	296.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.0	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E18: Continuación de diseño de la mezcla 9 (M<sub>9</sub>).

 	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>	
<b>REALIZADO POR:</b>	25 DE SEPTIEMBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 9 (M <sub>9</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P A G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>	
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>	
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2,380      Kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>	
Volumen de agua:	0.186      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.101      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.693      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.307      m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	771.3      kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>	
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	133.4      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :	
Peso del cemento:	296.3      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.0      bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	826.5      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,010.5      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	133.4      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	2.7      kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>	
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15      m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:	
Peso del cemento:	44.1      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.0      bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	123.1      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	150.5      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	13.9      kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.4      kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.44
<p><sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.</p>	
<b>OBSERVACIONES:</b>	



Anexo E19: Diseño de la mezcla 10 (M<sub>10</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	29 DE SEPTIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 10 (M <sub>10</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	2.3	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	10.1	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>or</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E20: Continuación de diseño de la mezcla 10 (M<sub>10</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		29 DE SEPTIEMBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 10 (M <sub>10</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	748.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	132.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	792.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,022.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	132.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	118.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	152.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	17.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.50	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E21: Diseño de la mezcla 11 (M<sub>11</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	1 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 11 (M <sub>11</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.9	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	12.6	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E22: Continuación de diseño de la mezcla 11 (M<sub>11</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		1 DE OCTUBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 11 (M <sub>11</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	748.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	128.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	811.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,008.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	128.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	120.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	150.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	15.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.46	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E23: Diseño de la mezcla 12 (M<sub>12</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	15 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 12 (M <sub>12</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	175	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	1.1	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.3	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E24: Continuación de diseño de la mezcla 12 (M<sub>12</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		15 DE OCTUBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 12 (M <sub>12</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.001	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	748.6	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	150.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	786.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,010.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	150.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	1.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	117.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	150.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	15.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.40
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E25: Diseño de la mezcla 13 (M<sub>13</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	21 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 13 (M <sub>13</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>g</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.5	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	12.3	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E26: Continuación de diseño de la mezcla 13 (M<sub>13</sub>).

 	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	21 DE OCTUBRE DE 2008 MEZCLA 13 (M <sub>13</sub> ) P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>	
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>	
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2.380 kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>	
Volumen de agua:	0.186 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	747.2 kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>	
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	134.5 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :	
Peso del cemento:	325.9 kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7 bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	807.4 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,004.4 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	134.5 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	2.1 kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>	
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15 m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:	
Peso del cemento:	48.5 kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1 bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	120.2 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	149.5 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	17.6 kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3 kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.50
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.	
<b>OBSERVACIONES:</b>	



Anexo E27: Diseño de la mezcla 14 (M<sub>14</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	23 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 14 (M <sub>14</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>g</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.8	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	11.6	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E28: Continuación de diseño de la mezcla 14 (M<sub>14</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		23 DE OCTUBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 14 (M <sub>14</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	747.2	Kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	136.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	802.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,007.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	136.7	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	2.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	119.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	150.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>^</sup> :	16.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.46
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E29: Diseño de la mezcla 15 (M<sub>15</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	27 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 15 (M <sub>15</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	250	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	1.6	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	10.3	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E30: Continuación de diseño de la mezcla 15 (M<sub>15</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		27 DE OCTUBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 15 (M <sub>15</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.002	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.702	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.298	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	747.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	138.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	792.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,015.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	138.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	2.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	118.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	151.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	14.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:		0.40
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E31: Diseño de la mezcla 16 (M<sub>16</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	30 DE OCTUBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 16 (M <sub>16</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	12.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f' <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.4	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.5	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f'<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E32: Continuación de diseño de la mezcla 16 (M<sub>16</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		30 DE OCTUBRE DE 2008 MEZCLA 16 (M <sub>16</sub> ) P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.003	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.703	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.297	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	745.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	156.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	784.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,003.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	156.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	3.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	116.8	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	149.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	20.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.50	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E33: Diseño de la mezcla 17 (M<sub>17</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	3 DE NOVIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 17 (M <sub>17</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	20.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.5	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.9	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		



Anexo E34: Continuación de diseño de la mezcla 17 (M<sub>17</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	3 DE NOVIEMBRE DE 2008 MEZCLA 17 (M <sub>17</sub> ) P.A.G. 2 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
A. Estimación del peso del concreto:	2.380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.003	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.703	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.297	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	745.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
A. El agua por añadir es de:	152.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	787.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	1,004.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	152.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	3.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	117.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	149.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	18.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.46	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		

Anexo E35: Diseño de la mezcla 18 (M<sub>18</sub>).

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		 ISCYC
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	6 DE NOVIEMBRE DE 2008	
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS	MEZCLA 18 (M <sub>18</sub> )	
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	P.A.G. 1 / 2	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 1: Información para el diseño de la mezcla:</b>		
Tipo de elemento:		Pavimentos
Tamaño máximo del agregado:	1 1/2	Pulgadas
Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado:	1	Pulgadas
	25	cm
Tipo de cemento:		Portland CESSA PAV
Aditivo:		PLASTIFLOW-R
Tasa de dosificación del aditivo:	350	ml / bolsa de cemento
Reducción del agua de mezcla:	30.0	%
Inclusión de aire:		No
Módulo de ruptura (MR) especificado:	37	kg / cm <sup>2</sup>
Resistencia especificada (f <sub>c</sub> ):	250	kg / cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico varillado (P.V.V <sub>v</sub> ) de la grava:	1,464.0	kg / m <sup>3</sup>
Módulo de finura (MF) de la arena:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la arena:		2.5
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) de la grava:		2.6
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del cemento:		2.9
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del agua:		1.0
Gravedad específica (G <sub>s</sub> ) del aditivo:		1.1
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado grueso:	0.4	%
Contenido total de humedad (CH%) en el agregado fino:	9.7	%
Absorción (A%) en el agregado grueso:	1.4	%
Absorción (A%) en el agregado fino:	4.2	%
<b>Paso 2: Elección de la resistencia requerida de diseño (f<sub>cr</sub>):</b>	283.5	kg / cm <sup>2</sup>
	27.8	MPa
<b>Paso 3: Elección del revenimiento:</b>		
Revenimiento recomendado:	2.5 a 7.5	cm
Revenimiento deseado:	5.0 a 7.5	cm
	2 a 3	Pulgadas
<b>Paso 4: Elección del tamaño máximo nominal del agregado:</b>	1	Pulgadas
	25	cm
<b>Paso 5: Cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire:</b>		
Inclusión de aire:		No
Agua de mezclado:	186.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Contenido de aire:	1.5	% / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 6: Selección de la relación agua/cemento (A/C):</b>		0.500
<b>Paso 7: Cálculo del contenido de cemento:</b>	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 8: Estimación del contenido de agregado grueso:</b>	1,013.1	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>OBSERVACIONES:</b>		

Anexo E36: Continuación de diseño de la mezcla 18 (M<sub>18</sub>).

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>		6 DE NOVIEMBRE DE 2008
B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS		MEZCLA 18 (M <sub>18</sub> )
B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		P.A.G. 2 / 2
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE PESO NORMAL, SEGUN EL COMITE ACI 211.1-91 (2002)</b>		
<b>Paso 9: Estimación del contenido de agregado fino:</b>		
<b>A. Estimación del peso del concreto:</b>	2,380	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>B. Estimación del contenido de agregado grueso con base en el volumen absoluto:</b>		
Volumen de agua:	0.186	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de cemento:	0.111	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado grueso:	0.388	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aire incluido:	0.015	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen de aditivo:	0.003	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena:	0.703	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Volumen sólido de agregado fino:	0.297	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto
Peso requerido de arena seca:	745.3	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 10: Ajuste por humedad del agregado:</b>		
<b>A. El agua por añadir es de:</b>	155.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para 1 m <sup>3</sup> :		
Peso del cemento:	325.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	7.7	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	785.9	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	1,003.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua:	155.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	3.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
<b>Paso 11: Estimación de la mezcla de laboratorio total:</b>		
Volumen final para la mezcla de laboratorio:	0.15	m <sup>3</sup> de concreto
Pesos estimados de ingredientes para la mezcla de laboratorio:		
Peso del cemento:	48.5	kg / m <sup>3</sup> de concreto
	1.1	bolsas / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado fino:	117.0	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agregado grueso:	149.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del agua <sup>A</sup> :	16.2	kg / m <sup>3</sup> de concreto
Peso del aditivo:	0.4	kg / m <sup>3</sup> de concreto
La relación agua/cemento (A/C) de la mezcla de laboratorio es de:	0.40	
<sup>A</sup> Se ha considerado la reducción de agua de mezcla indicada en Paso 1.		
<b>OBSERVACIONES:</b>		




# **ANEXO F**

**TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO**

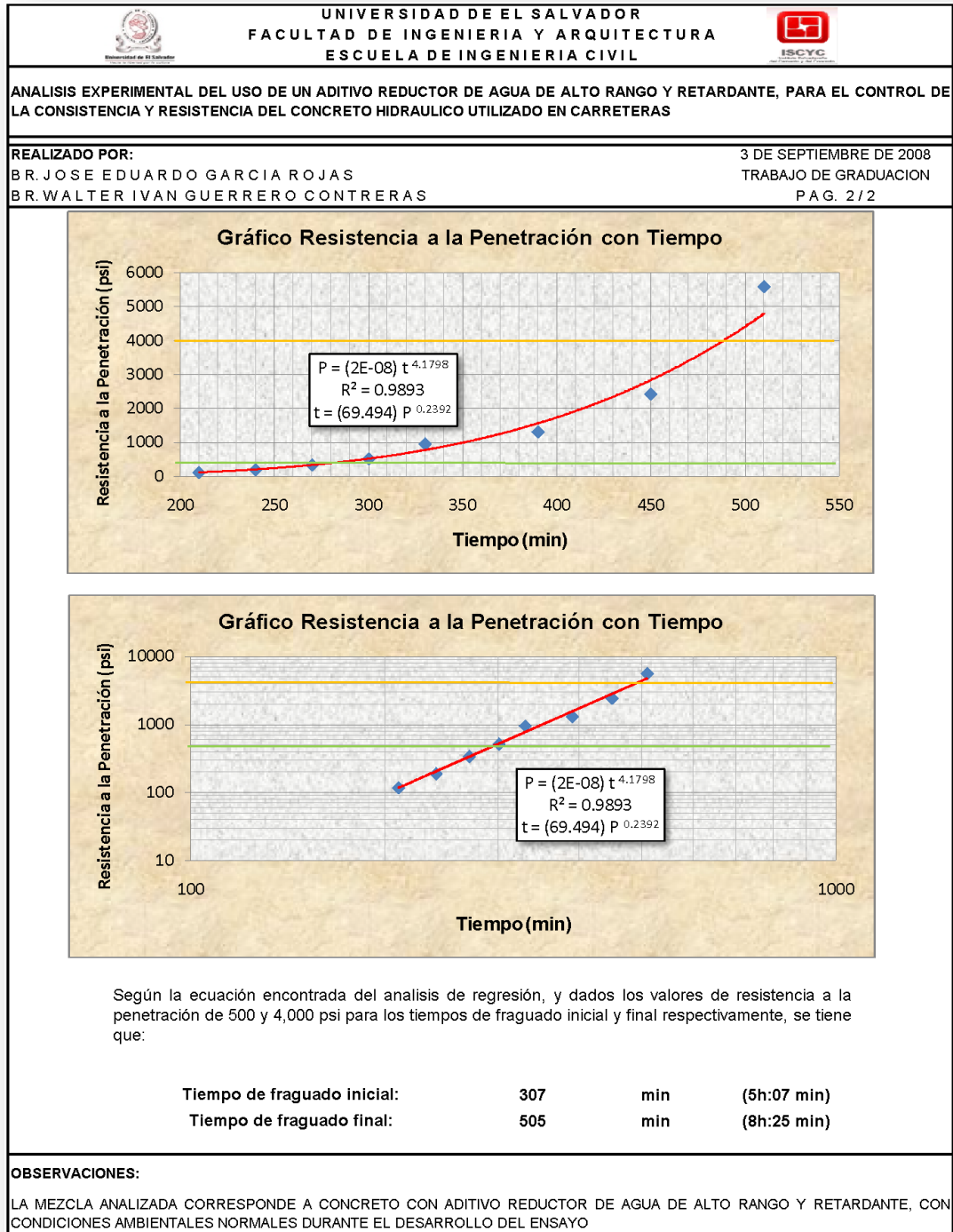
**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO  
REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE,  
PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA  
DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN  
CARRETERAS**

**EDUARDO GARCIA Y WALTER GUERRERO  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**



**Anexo F1: Tiempo de fraguado de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																																																
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		3 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1/2																																															
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 1																																																
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																															
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:40:00 a.m.																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e1eef6;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>03:30</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>60</td><td>120</td></tr> <tr><td>04:00</td><td>12:40:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>96</td><td>192</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>01:10:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>86</td><td>344</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>130</td><td>520</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>96</td><td>960</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>132</td><td>1,320</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>04:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>122</td><td>2,440</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>05:10:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>140</td><td>5,600</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	03:30	12:10:00 p.m.	0.500	60	120	04:00	12:40:00 p.m.	0.500	96	192	04:30	01:10:00 p.m.	0.250	86	344	05:00	01:40:00 p.m.	0.250	130	520	05:30	02:10:00 p.m.	0.100	96	960	06:30	03:10:00 p.m.	0.100	132	1,320	07:30	04:10:00 p.m.	0.050	122	2,440	08:30	05:10:00 p.m.	0.025	140	5,600
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																													
03:30	12:10:00 p.m.	0.500	60	120																																													
04:00	12:40:00 p.m.	0.500	96	192																																													
04:30	01:10:00 p.m.	0.250	86	344																																													
05:00	01:40:00 p.m.	0.250	130	520																																													
05:30	02:10:00 p.m.	0.100	96	960																																													
06:30	03:10:00 p.m.	0.100	132	1,320																																													
07:30	04:10:00 p.m.	0.050	122	2,440																																													
08:30	05:10:00 p.m.	0.025	140	5,600																																													
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																	

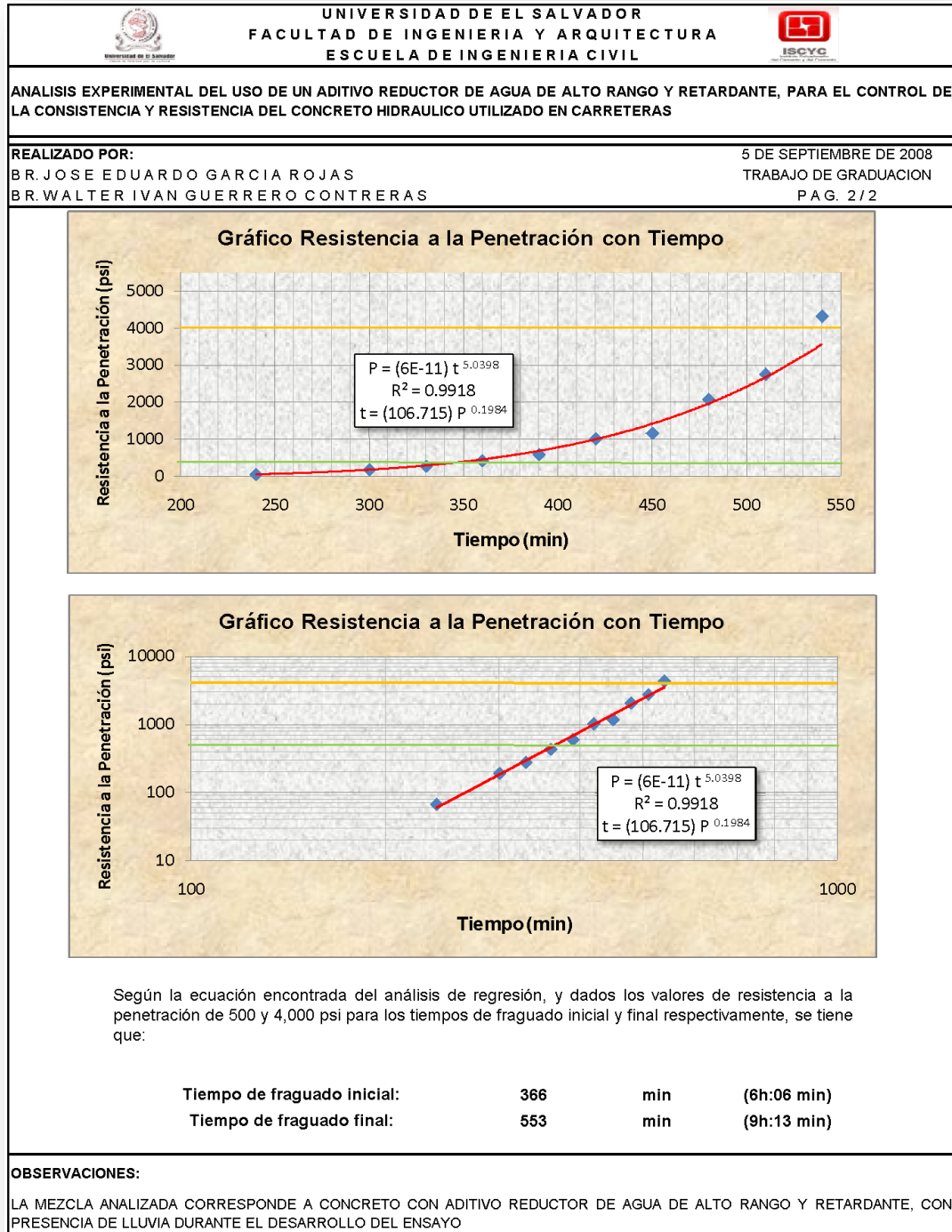
Anexo F2: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 1 (M<sub>1</sub>).




**Anexo F3: Tiempo de fraguado de la mezcla 2 (M<sub>2</sub>).**

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																																											
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																											
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		5 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1/2																																																									
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																										
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																										
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 2																																																										
<b>RESISTENCIA EN MR (f'<sub>c</sub>):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																									
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:00:00 a.m.																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="padding: 5px;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="padding: 5px;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="padding: 5px;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="padding: 5px;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="padding: 5px;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:00:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>34</td><td>68</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:00:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>96</td><td>192</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:30:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>70</td><td>280</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:00:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>108</td><td>432</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:30:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>150</td><td>600</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:00:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>102</td><td>1,020</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:30:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>118</td><td>1,180</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:00:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>104</td><td>2,080</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:30:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>138</td><td>2,760</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>05:00:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>108</td><td>4,320</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:00:00 p.m.	0.500	34	68	05:00	01:00:00 p.m.	0.500	96	192	05:30	01:30:00 p.m.	0.250	70	280	06:00	02:00:00 p.m.	0.250	108	432	06:30	02:30:00 p.m.	0.250	150	600	07:00	03:00:00 p.m.	0.100	102	1,020	07:30	03:30:00 p.m.	0.100	118	1,180	08:00	04:00:00 p.m.	0.050	104	2,080	08:30	04:30:00 p.m.	0.050	138	2,760	09:00	05:00:00 p.m.	0.025	108	4,320
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																							
04:00	12:00:00 p.m.	0.500	34	68																																																							
05:00	01:00:00 p.m.	0.500	96	192																																																							
05:30	01:30:00 p.m.	0.250	70	280																																																							
06:00	02:00:00 p.m.	0.250	108	432																																																							
06:30	02:30:00 p.m.	0.250	150	600																																																							
07:00	03:00:00 p.m.	0.100	102	1,020																																																							
07:30	03:30:00 p.m.	0.100	118	1,180																																																							
08:00	04:00:00 p.m.	0.050	104	2,080																																																							
08:30	04:30:00 p.m.	0.050	138	2,760																																																							
09:00	05:00:00 p.m.	0.025	108	4,320																																																							
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																											

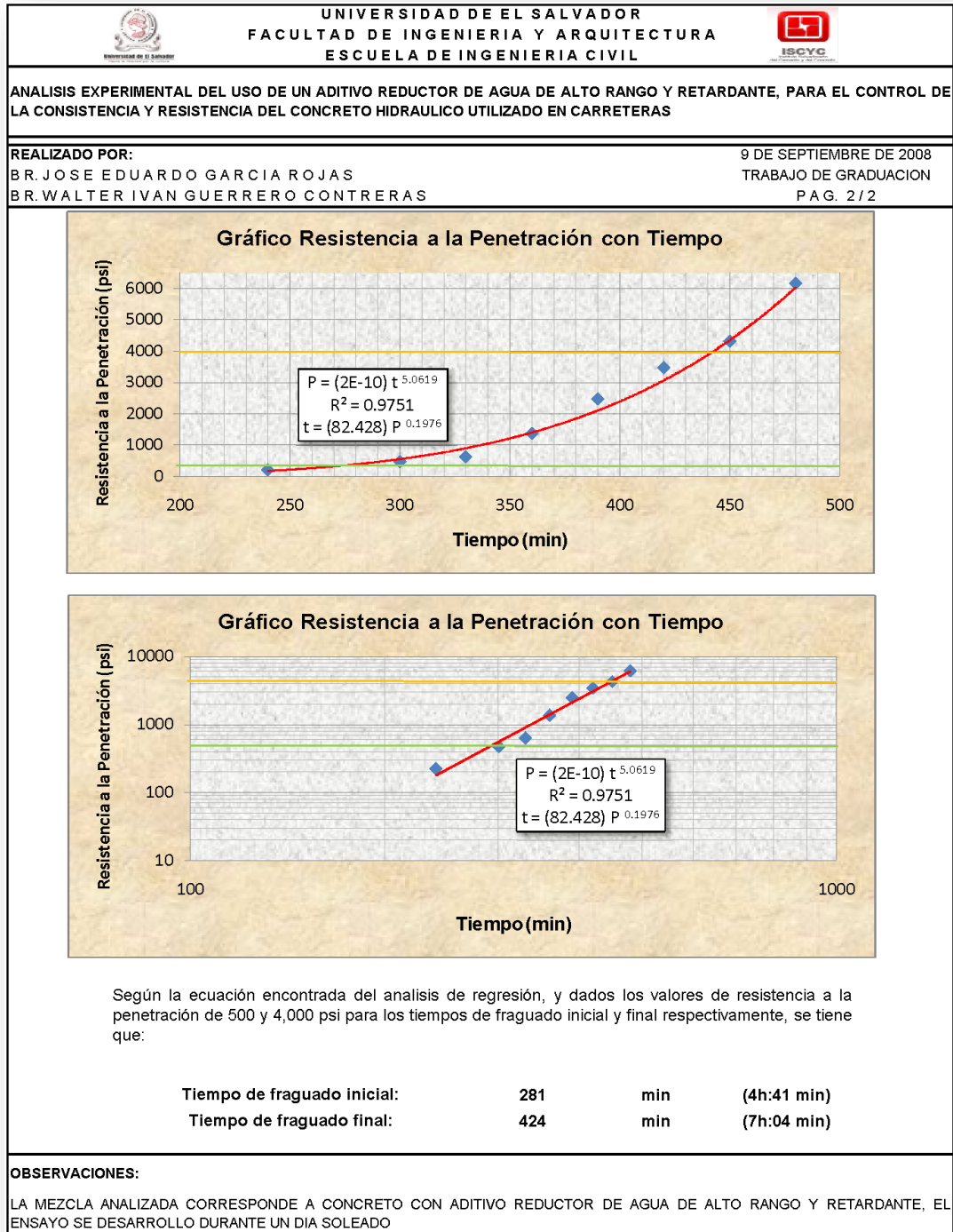
Anexo F4: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 2 (M<sub>2</sub>).





**Anexo F5: Tiempo de fraguado de la mezcla 3 (M<sub>3</sub>).**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																																																
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	9 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 3																																																
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																															
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:10:00 a.m.																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>114</td><td>228</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:10:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>120</td><td>480</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>160</td><td>640</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>138</td><td>1,380</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:40:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>124</td><td>2,480</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>174</td><td>3,480</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>108</td><td>4,320</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:10:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>154</td><td>6,160</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:10:00 p.m.	0.500	114	228	05:00	01:10:00 p.m.	0.250	120	480	05:30	01:40:00 p.m.	0.250	160	640	06:00	02:10:00 p.m.	0.100	138	1,380	06:30	02:40:00 p.m.	0.050	124	2,480	07:00	03:10:00 p.m.	0.050	174	3,480	07:30	03:40:00 p.m.	0.025	108	4,320	08:00	04:10:00 p.m.	0.025	154	6,160
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																													
04:00	12:10:00 p.m.	0.500	114	228																																													
05:00	01:10:00 p.m.	0.250	120	480																																													
05:30	01:40:00 p.m.	0.250	160	640																																													
06:00	02:10:00 p.m.	0.100	138	1,380																																													
06:30	02:40:00 p.m.	0.050	124	2,480																																													
07:00	03:10:00 p.m.	0.050	174	3,480																																													
07:30	03:40:00 p.m.	0.025	108	4,320																																													
08:00	04:10:00 p.m.	0.025	154	6,160																																													
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																	

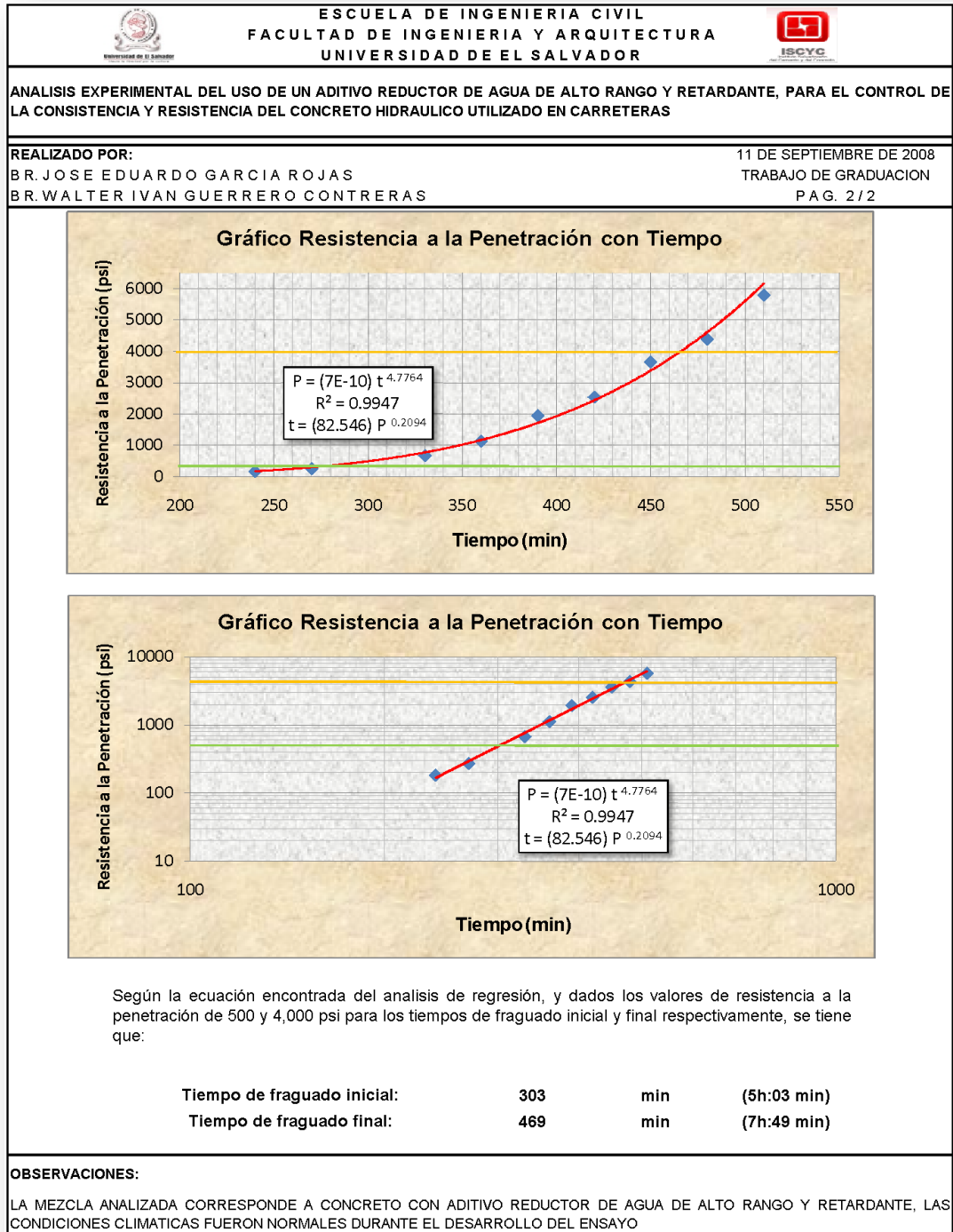
Anexo F6: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 3 (M<sub>3</sub>).





Anexo F7: Tiempo de fraguado de la mezcla 4 (M<sub>4</sub>).

 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																				
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																				
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		11 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																		
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																			
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																			
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 4																																																			
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																		
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:05:00 a.m.																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="padding: 5px;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="padding: 5px;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="padding: 5px;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="padding: 5px;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="padding: 5px;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:05:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>92</td><td>184</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:35:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>136</td><td>272</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:35:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>170</td><td>680</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:05:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>114</td><td>1,140</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:35:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>98</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:05:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>128</td><td>2,560</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:35:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>92</td><td>3,680</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:05:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>110</td><td>4,400</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:35:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>145</td><td>5,800</td></tr> </tbody> </table>			TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:05:00 p.m.	0.500	92	184	04:30	12:35:00 p.m.	0.500	136	272	05:30	01:35:00 p.m.	0.250	170	680	06:00	02:05:00 p.m.	0.100	114	1,140	06:30	02:35:00 p.m.	0.050	98	1,960	07:00	03:05:00 p.m.	0.050	128	2,560	07:30	03:35:00 p.m.	0.025	92	3,680	08:00	04:05:00 p.m.	0.025	110	4,400	08:30	04:35:00 p.m.	0.025	145	5,800
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																
04:00	12:05:00 p.m.	0.500	92	184																																																
04:30	12:35:00 p.m.	0.500	136	272																																																
05:30	01:35:00 p.m.	0.250	170	680																																																
06:00	02:05:00 p.m.	0.100	114	1,140																																																
06:30	02:35:00 p.m.	0.050	98	1,960																																																
07:00	03:05:00 p.m.	0.050	128	2,560																																																
07:30	03:35:00 p.m.	0.025	92	3,680																																																
08:00	04:05:00 p.m.	0.025	110	4,400																																																
08:30	04:35:00 p.m.	0.025	145	5,800																																																
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																				

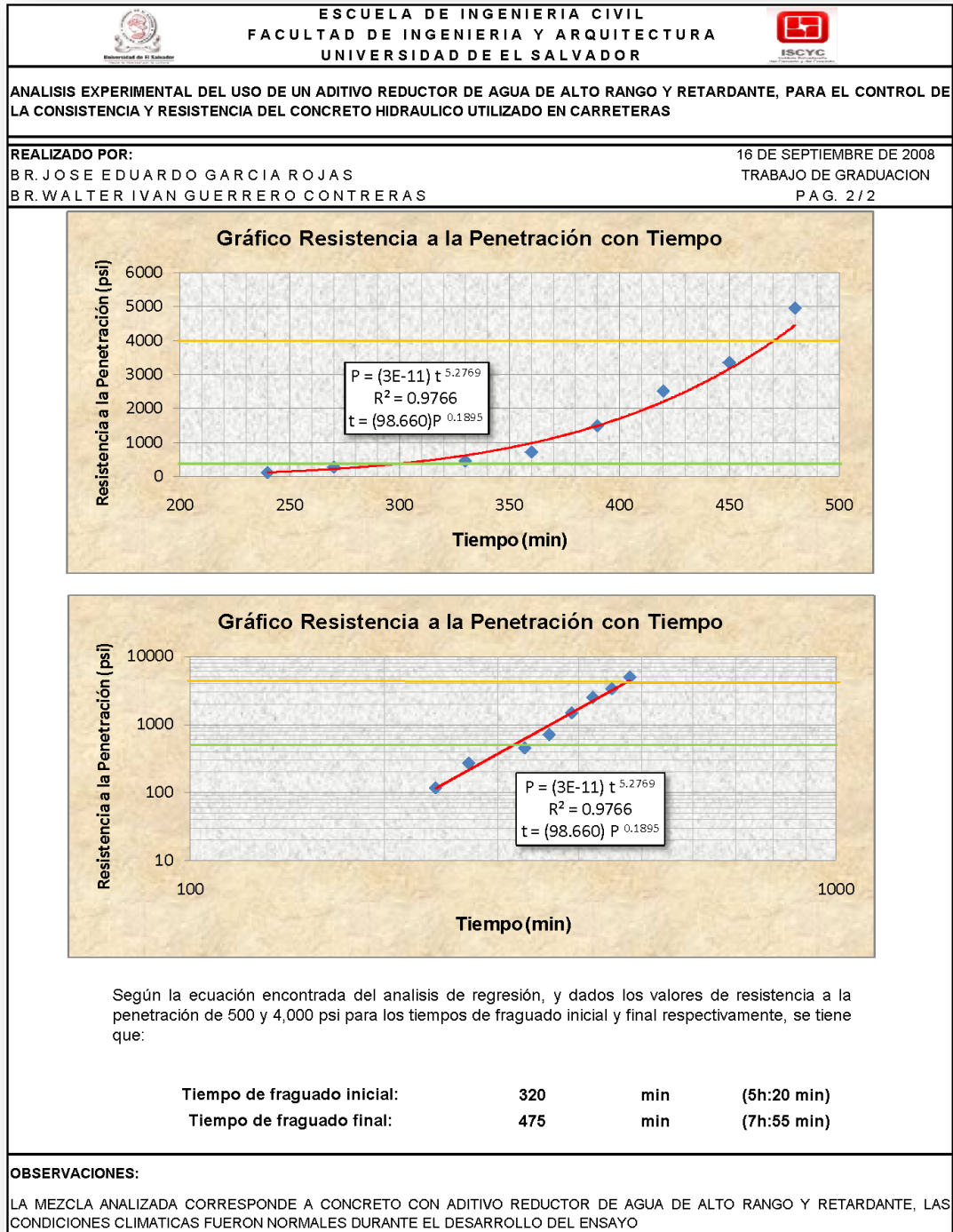
Anexo F8: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 4 (M<sub>4</sub>).





**Anexo F9: Tiempo de fraguado de la mezcla 5 (M<sub>5</sub>).**

 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																															
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																															
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		16 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																													
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																														
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																														
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 5																																														
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																													
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:10:00 a.m.																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th>TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th>HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th>AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th>LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th>RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>60</td><td>120</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:40:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>138</td><td>276</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>46</td><td>460</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>72</td><td>720</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:40:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>150</td><td>1,500</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>126</td><td>2,520</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>84</td><td>3,360</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:10:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>124</td><td>4,960</td></tr> </tbody> </table>			TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:10:00 p.m.	0.500	60	120	04:30	12:40:00 p.m.	0.500	138	276	05:30	01:40:00 p.m.	0.100	46	460	06:00	02:10:00 p.m.	0.100	72	720	06:30	02:40:00 p.m.	0.100	150	1,500	07:00	03:10:00 p.m.	0.050	126	2,520	07:30	03:40:00 p.m.	0.025	84	3,360	08:00	04:10:00 p.m.	0.025	124	4,960
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																											
04:00	12:10:00 p.m.	0.500	60	120																																											
04:30	12:40:00 p.m.	0.500	138	276																																											
05:30	01:40:00 p.m.	0.100	46	460																																											
06:00	02:10:00 p.m.	0.100	72	720																																											
06:30	02:40:00 p.m.	0.100	150	1,500																																											
07:00	03:10:00 p.m.	0.050	126	2,520																																											
07:30	03:40:00 p.m.	0.025	84	3,360																																											
08:00	04:10:00 p.m.	0.025	124	4,960																																											
<b>OBSERVACIONES:</b>																																															

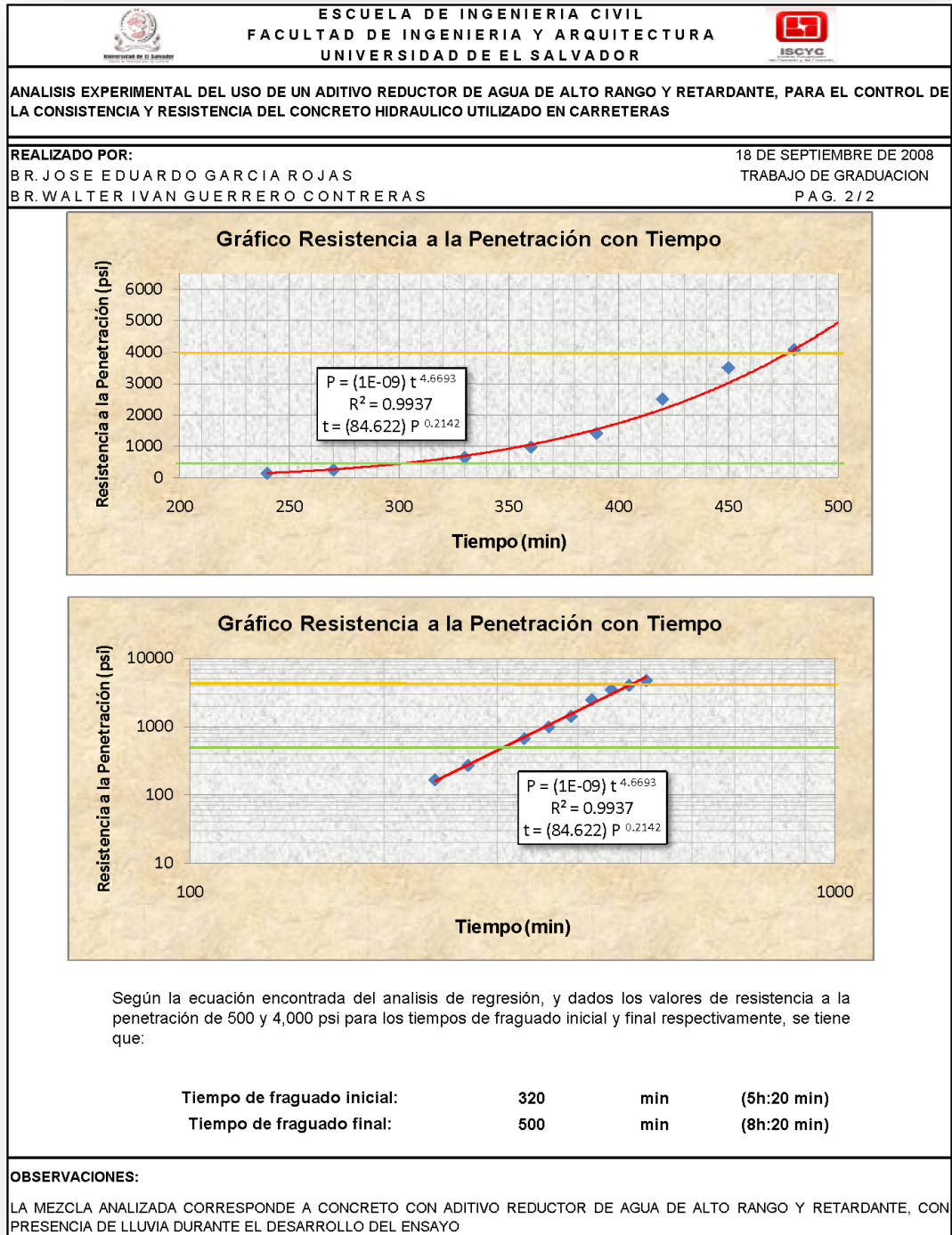
Anexo F10: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 5 (M<sub>5</sub>).





Anexo F11: Tiempo de fraguado de la mezcla 6 (M<sub>6</sub>).

	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR																																																					
																																																						
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																						
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	18 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																					
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																					
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																					
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 6																																																					
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																				
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:10:00 a.m.																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>84</td><td>168</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>68</td><td>272</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>168</td><td>672</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>100</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:40:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>72</td><td>1,440</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>126</td><td>2,520</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>88</td><td>3,520</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:10:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>102</td><td>4,080</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>120</td><td>4,800</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:10:00 p.m.	0.500	84	168	04:30	12:40:00 p.m.	0.250	68	272	05:30	01:40:00 p.m.	0.250	168	672	06:00	02:10:00 p.m.	0.100	100	1,000	06:30	02:40:00 p.m.	0.050	72	1,440	07:00	03:10:00 p.m.	0.050	126	2,520	07:30	03:40:00 p.m.	0.025	88	3,520	08:00	04:10:00 p.m.	0.025	102	4,080	08:30	04:40:00 p.m.	0.025	120	4,800
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																		
04:00	12:10:00 p.m.	0.500	84	168																																																		
04:30	12:40:00 p.m.	0.250	68	272																																																		
05:30	01:40:00 p.m.	0.250	168	672																																																		
06:00	02:10:00 p.m.	0.100	100	1,000																																																		
06:30	02:40:00 p.m.	0.050	72	1,440																																																		
07:00	03:10:00 p.m.	0.050	126	2,520																																																		
07:30	03:40:00 p.m.	0.025	88	3,520																																																		
08:00	04:10:00 p.m.	0.025	102	4,080																																																		
08:30	04:40:00 p.m.	0.025	120	4,800																																																		
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																						

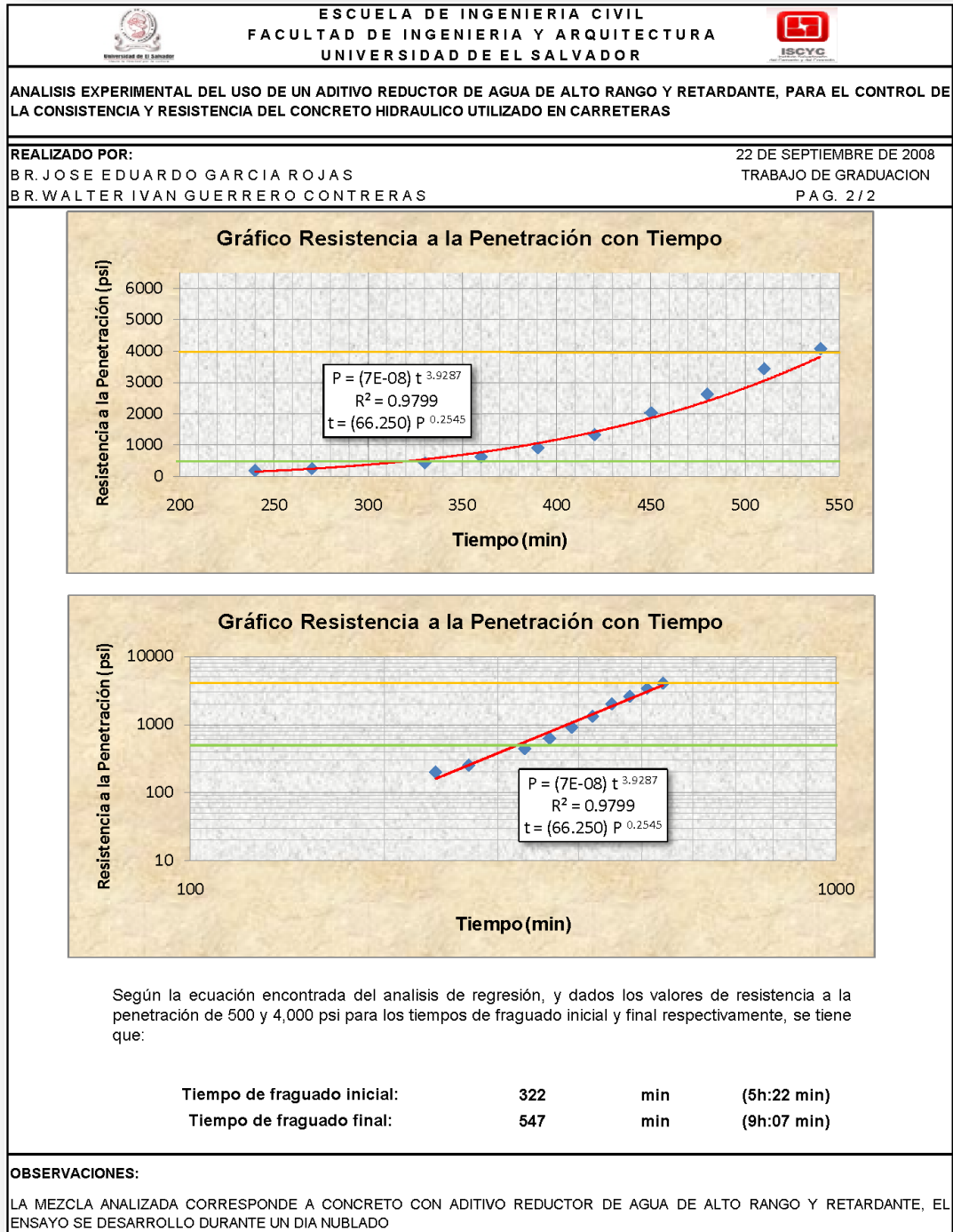
Anexo F12: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 6 (M<sub>6</sub>).





**Anexo F13: Tiempo de fraguado de la mezcla 7 (M<sub>7</sub>).**

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																										
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																											
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		22 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																									
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																										
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																										
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 7																																																										
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																									
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:10:00 a.m.																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>102</td><td>204</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>64</td><td>256</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>112</td><td>448</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>64</td><td>640</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:40:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>92</td><td>920</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>134</td><td>1,340</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:40:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>102</td><td>2,040</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>132</td><td>2,640</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>86</td><td>3,440</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>05:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>102</td><td>4,080</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:10:00 p.m.	0.500	102	204	04:30	12:40:00 p.m.	0.250	64	256	05:30	01:40:00 p.m.	0.250	112	448	06:00	02:10:00 p.m.	0.100	64	640	06:30	02:40:00 p.m.	0.100	92	920	07:00	03:10:00 p.m.	0.100	134	1,340	07:30	03:40:00 p.m.	0.050	102	2,040	08:00	04:10:00 p.m.	0.050	132	2,640	08:30	04:40:00 p.m.	0.025	86	3,440	09:30	05:40:00 p.m.	0.025	102	4,080
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																							
04:00	12:10:00 p.m.	0.500	102	204																																																							
04:30	12:40:00 p.m.	0.250	64	256																																																							
05:30	01:40:00 p.m.	0.250	112	448																																																							
06:00	02:10:00 p.m.	0.100	64	640																																																							
06:30	02:40:00 p.m.	0.100	92	920																																																							
07:00	03:10:00 p.m.	0.100	134	1,340																																																							
07:30	03:40:00 p.m.	0.050	102	2,040																																																							
08:00	04:10:00 p.m.	0.050	132	2,640																																																							
08:30	04:40:00 p.m.	0.025	86	3,440																																																							
09:30	05:40:00 p.m.	0.025	102	4,080																																																							
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																											

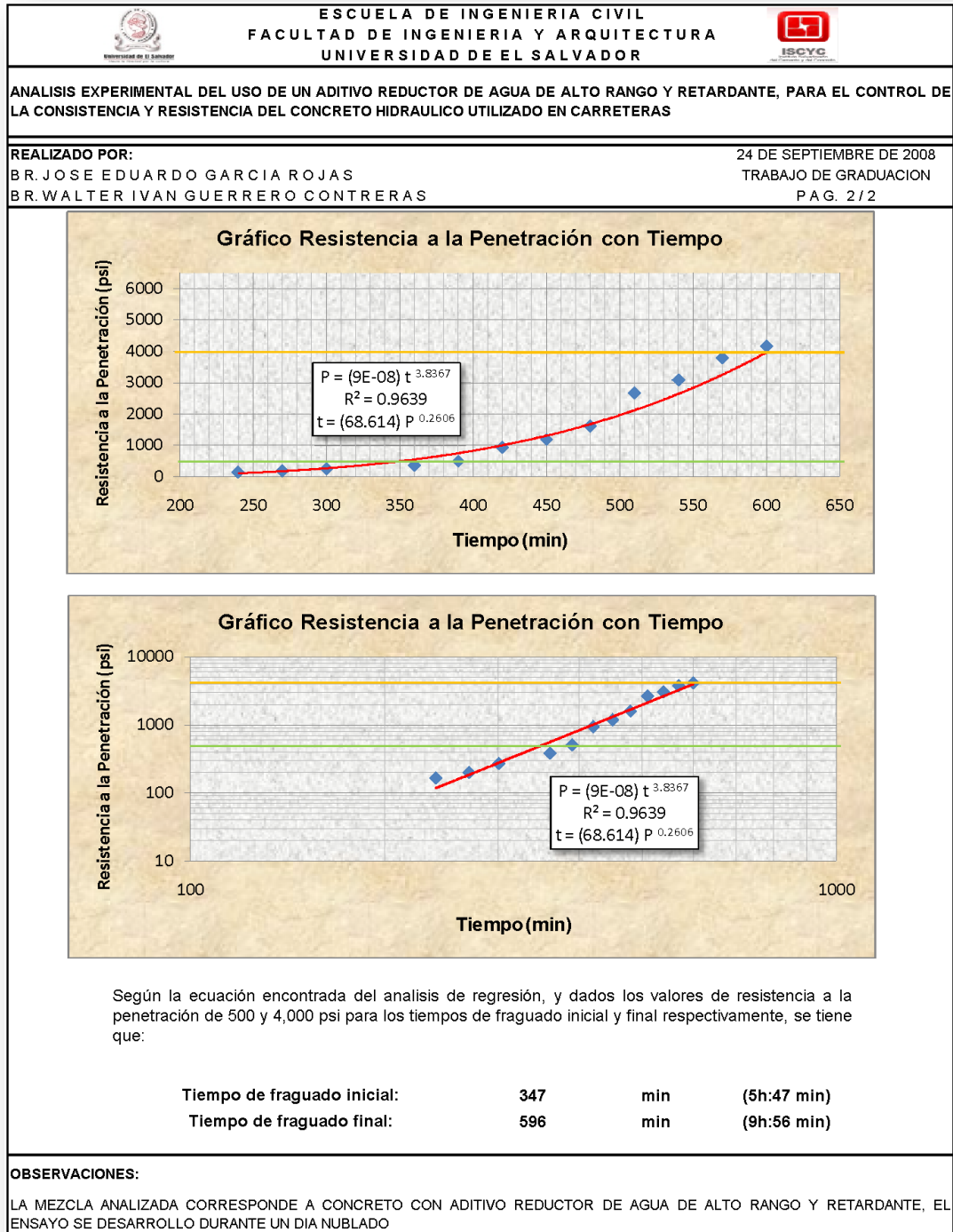
Anexo F14: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 7 (M<sub>7</sub>).





**Anexo F15: Tiempo de fraguado de la mezcla 8 (M<sub>8</sub>).**

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																																				
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																																					
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		24 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																																			
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																																				
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																																				
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 8																																																																				
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																																			
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	07:50:00 a.m.																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>11:50:00 a.m.</td><td>0.500</td><td>84</td><td>168</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>50</td><td>200</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>12:50:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>68</td><td>272</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>01:50:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>96</td><td>384</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>128</td><td>512</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>02:50:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>95</td><td>950</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:20:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>120</td><td>1,200</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>03:50:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>162</td><td>1,620</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:20:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>134</td><td>2,680</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>04:50:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>155</td><td>3,100</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>05:20:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>190</td><td>3,800</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>05:50:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>104</td><td>4,160</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	11:50:00 a.m.	0.500	84	168	04:30	12:20:00 p.m.	0.250	50	200	05:00	12:50:00 p.m.	0.250	68	272	06:00	01:50:00 p.m.	0.250	96	384	06:30	02:20:00 p.m.	0.250	128	512	07:00	02:50:00 p.m.	0.100	95	950	07:30	03:20:00 p.m.	0.100	120	1,200	08:00	03:50:00 p.m.	0.100	162	1,620	08:30	04:20:00 p.m.	0.050	134	2,680	09:00	04:50:00 p.m.	0.050	155	3,100	09:30	05:20:00 p.m.	0.050	190	3,800	10:00	05:50:00 p.m.	0.025	104	4,160
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																																	
04:00	11:50:00 a.m.	0.500	84	168																																																																	
04:30	12:20:00 p.m.	0.250	50	200																																																																	
05:00	12:50:00 p.m.	0.250	68	272																																																																	
06:00	01:50:00 p.m.	0.250	96	384																																																																	
06:30	02:20:00 p.m.	0.250	128	512																																																																	
07:00	02:50:00 p.m.	0.100	95	950																																																																	
07:30	03:20:00 p.m.	0.100	120	1,200																																																																	
08:00	03:50:00 p.m.	0.100	162	1,620																																																																	
08:30	04:20:00 p.m.	0.050	134	2,680																																																																	
09:00	04:50:00 p.m.	0.050	155	3,100																																																																	
09:30	05:20:00 p.m.	0.050	190	3,800																																																																	
10:00	05:50:00 p.m.	0.025	104	4,160																																																																	
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																					

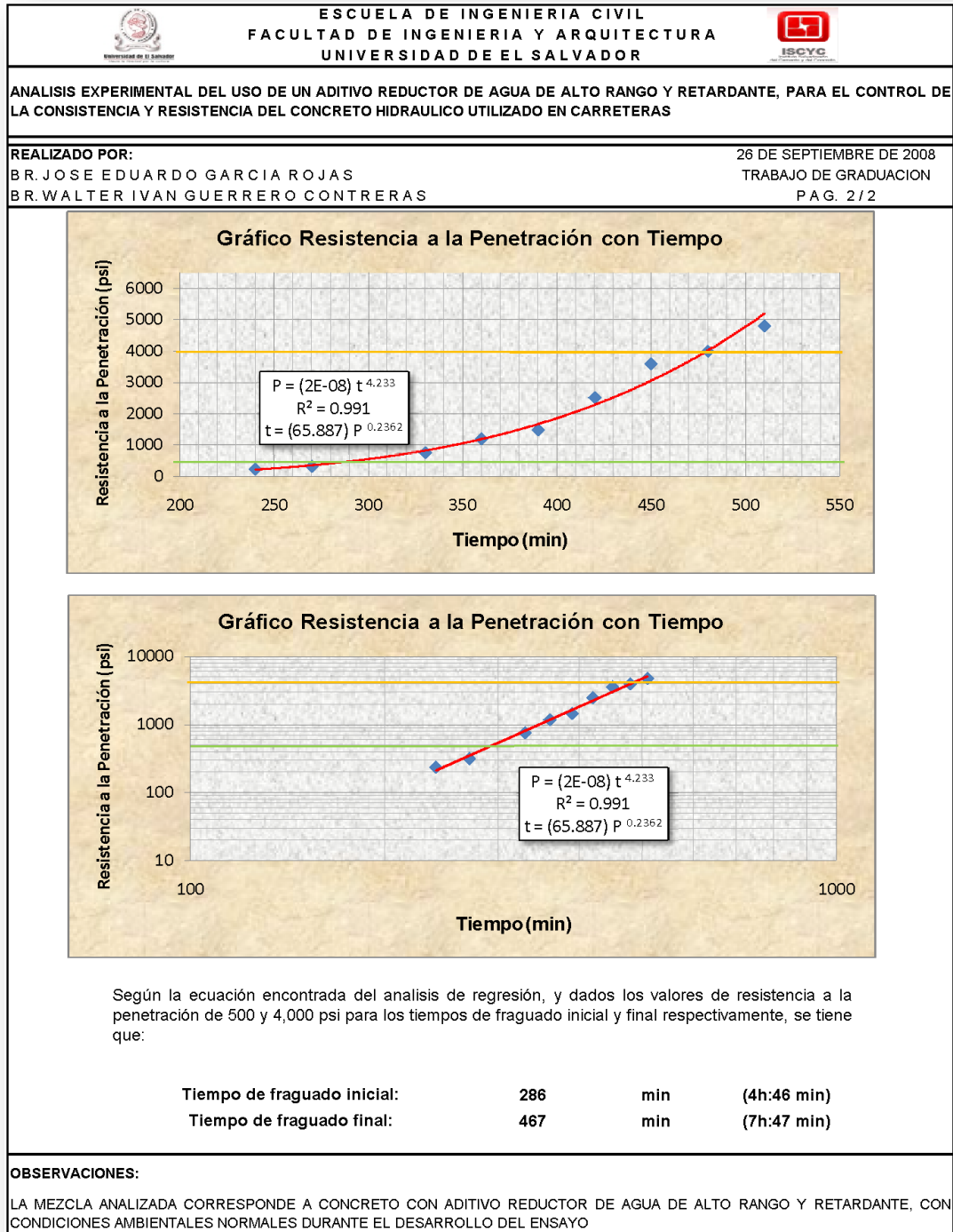
Anexo F16: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 8 (M<sub>8</sub>).





**Anexo F17: Tiempo de fraguado de la mezcla 9 (M<sub>9</sub>).**

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																					
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																						
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		26 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																				
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																					
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																					
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 9																																																					
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	34 (210)	kg/cm <sup>2</sup>																																																				
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:15:00 a.m.																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:15:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>120</td><td>240</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:45:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>80</td><td>320</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:45:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>190</td><td>760</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:15:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>120</td><td>1,200</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:45:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>74</td><td>1,480</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:15:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>126</td><td>2,520</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:45:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>90</td><td>3,600</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:15:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>100</td><td>4,000</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:45:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>120</td><td>4,800</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:15:00 p.m.	0.500	120	240	04:30	12:45:00 p.m.	0.250	80	320	05:30	01:45:00 p.m.	0.250	190	760	06:00	02:15:00 p.m.	0.100	120	1,200	06:30	02:45:00 p.m.	0.050	74	1,480	07:00	03:15:00 p.m.	0.050	126	2,520	07:30	03:45:00 p.m.	0.025	90	3,600	08:00	04:15:00 p.m.	0.025	100	4,000	08:30	04:45:00 p.m.	0.025	120	4,800
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																		
04:00	12:15:00 p.m.	0.500	120	240																																																		
04:30	12:45:00 p.m.	0.250	80	320																																																		
05:30	01:45:00 p.m.	0.250	190	760																																																		
06:00	02:15:00 p.m.	0.100	120	1,200																																																		
06:30	02:45:00 p.m.	0.050	74	1,480																																																		
07:00	03:15:00 p.m.	0.050	126	2,520																																																		
07:30	03:45:00 p.m.	0.025	90	3,600																																																		
08:00	04:15:00 p.m.	0.025	100	4,000																																																		
08:30	04:45:00 p.m.	0.025	120	4,800																																																		
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																						

Anexo F18: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 9 (M<sub>9</sub>).



**Anexo F19: Tiempo de fraguado de la mezcla 10 (M<sub>10</sub>).**

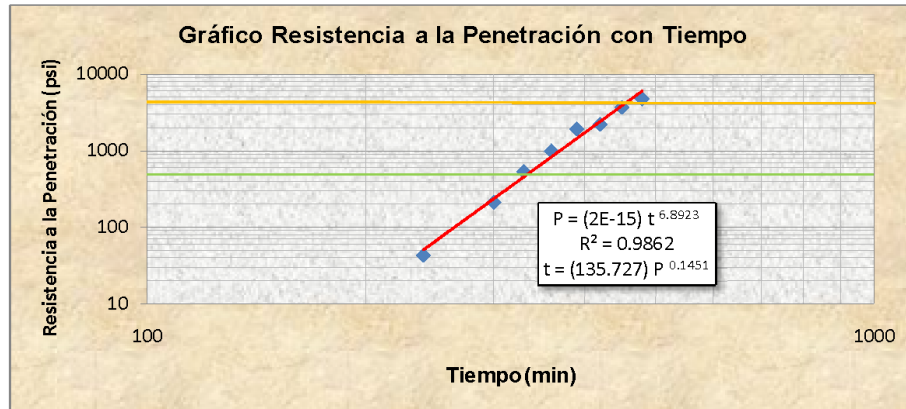
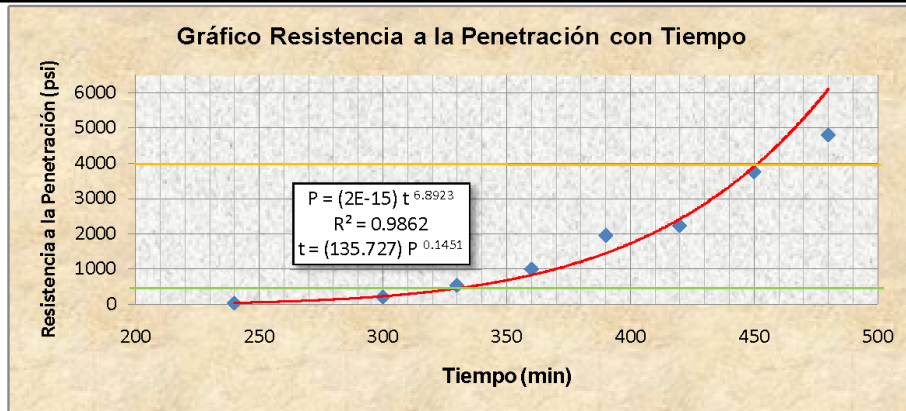
 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																	
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		30 DE SEPTIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1/2																																															
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 10																																																
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																															
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	07:50:00 a.m.																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="padding: 5px;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="padding: 5px;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="padding: 5px;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="padding: 5px;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="padding: 5px;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>11:50:00 a.m.</td><td>0.500</td><td>22</td><td>44</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>12:50:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>108</td><td>216</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>136</td><td>544</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>01:50:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>100</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:20:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>196</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>02:50:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>112</td><td>2,240</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:20:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>94</td><td>3,760</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>03:50:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>120</td><td>4,800</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	11:50:00 a.m.	0.500	22	44	05:00	12:50:00 p.m.	0.500	108	216	05:30	01:20:00 p.m.	0.250	136	544	06:00	01:50:00 p.m.	0.100	100	1,000	06:30	02:20:00 p.m.	0.100	196	1,960	07:00	02:50:00 p.m.	0.050	112	2,240	07:30	03:20:00 p.m.	0.025	94	3,760	08:00	03:50:00 p.m.	0.025	120	4,800
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																													
04:00	11:50:00 a.m.	0.500	22	44																																													
05:00	12:50:00 p.m.	0.500	108	216																																													
05:30	01:20:00 p.m.	0.250	136	544																																													
06:00	01:50:00 p.m.	0.100	100	1,000																																													
06:30	02:20:00 p.m.	0.100	196	1,960																																													
07:00	02:50:00 p.m.	0.050	112	2,240																																													
07:30	03:20:00 p.m.	0.025	94	3,760																																													
08:00	03:50:00 p.m.	0.025	120	4,800																																													
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																	

Anexo F20: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 10 (M<sub>10</sub>).

**ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS**

REALIZADO POR: B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS  
 B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS

30 DE SEPTIEMBRE DE 2008  
 TRABAJO DE GRADUACION  
 P.A.G. 2/2





Según la ecuación encontrada del análisis de regresión, y dados los valores de resistencia a la penetración de 500 y 4000 psi para los tiempos de fraguado inicial y final respectivamente, se tiene que:

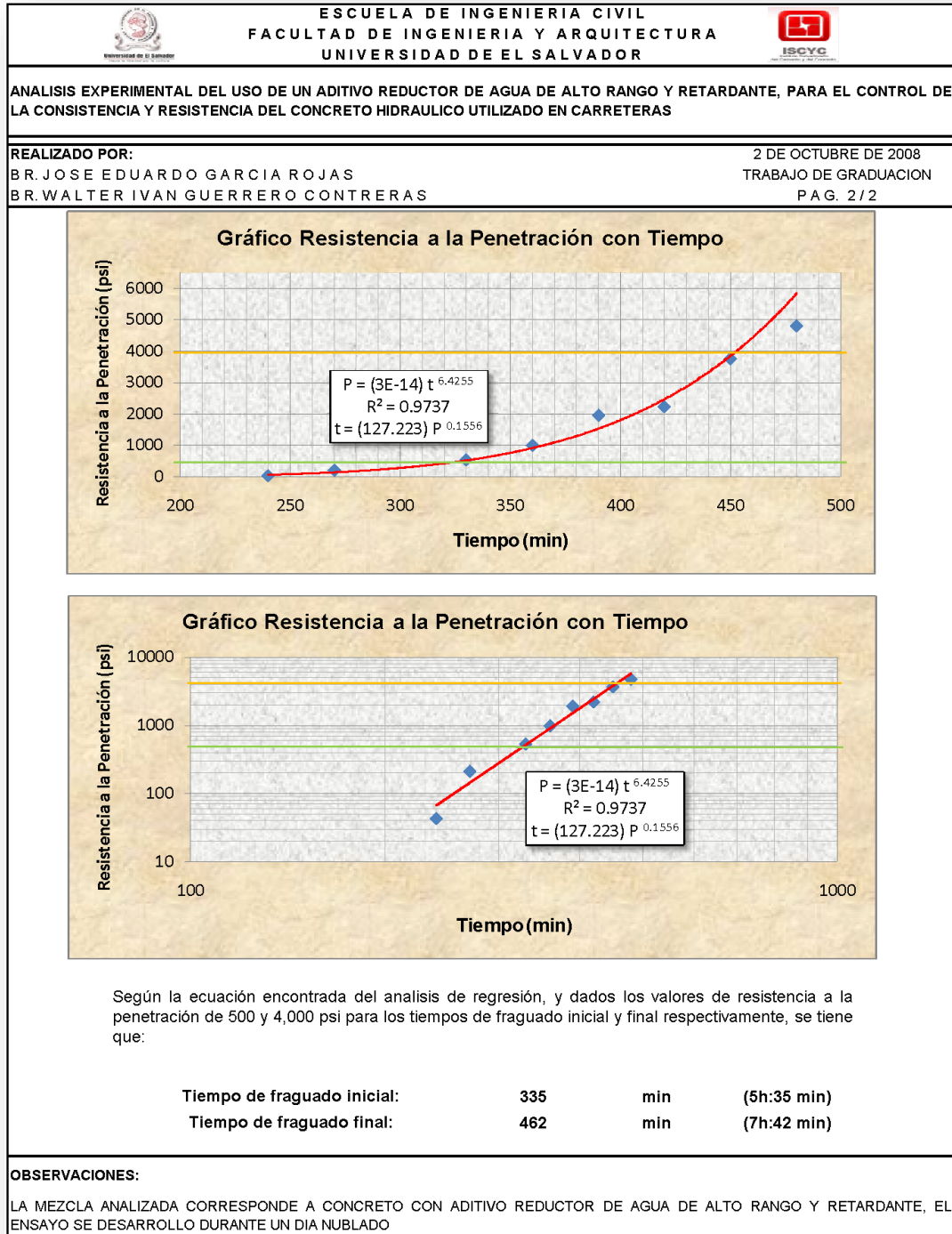
Tiempo de fraguado inicial:	<b>334</b>	min	<b>(5h:34 min)</b>
Tiempo de fraguado final:	<b>452</b>	min	<b>(7h:32 min)</b>

**OBSERVACIONES:**  
 LA MEZCLA ANALIZADA CORRESPONDE A CONCRETO CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, CON CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO



Anexo F21: Tiempo de fraguado de la mezcla 11 (M<sub>11</sub>).

 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																															
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																															
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		2 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																													
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																														
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																														
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 11																																														
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																													
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	07:45:00 a.m.																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th>TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th>HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th>AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th>LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th>RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>11:45:00 a.m.</td><td>0.500</td><td>22</td><td>44</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:15:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>108</td><td>216</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:15:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>136</td><td>544</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>01:45:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>100</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:15:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>196</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>02:45:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>112</td><td>2,240</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:15:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>94</td><td>3,760</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>03:45:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>120</td><td>4,800</td></tr> </tbody> </table>			TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	11:45:00 a.m.	0.500	22	44	04:30	12:15:00 p.m.	0.500	108	216	05:30	01:15:00 p.m.	0.250	136	544	06:00	01:45:00 p.m.	0.100	100	1,000	06:30	02:15:00 p.m.	0.100	196	1,960	07:00	02:45:00 p.m.	0.050	112	2,240	07:30	03:15:00 p.m.	0.025	94	3,760	08:00	03:45:00 p.m.	0.025	120	4,800
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																											
04:00	11:45:00 a.m.	0.500	22	44																																											
04:30	12:15:00 p.m.	0.500	108	216																																											
05:30	01:15:00 p.m.	0.250	136	544																																											
06:00	01:45:00 p.m.	0.100	100	1,000																																											
06:30	02:15:00 p.m.	0.100	196	1,960																																											
07:00	02:45:00 p.m.	0.050	112	2,240																																											
07:30	03:15:00 p.m.	0.025	94	3,760																																											
08:00	03:45:00 p.m.	0.025	120	4,800																																											
<b>OBSERVACIONES:</b>																																															

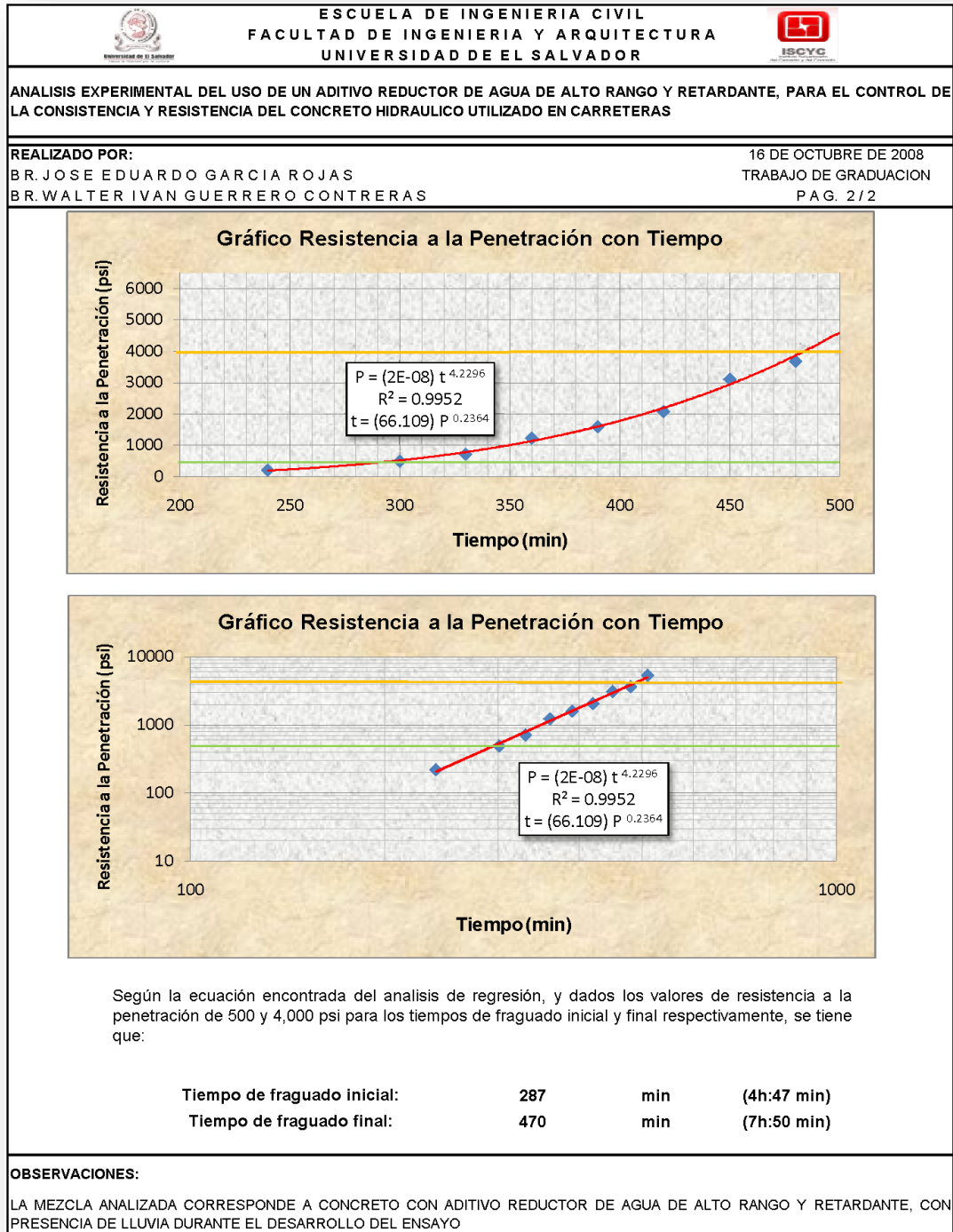
Anexo F22: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 11 (M<sub>11</sub>).





**Anexo F23:** Tiempo de fraguado de la mezcla 12 (M<sub>12</sub>).

 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																				
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																				
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		16 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																		
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																			
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																			
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 12																																																			
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																																		
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:05:00 a.m.																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="padding: 5px;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="padding: 5px;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="padding: 5px;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="padding: 5px;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="padding: 5px;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:05:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>112</td><td>224</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:05:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>124</td><td>496</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:35:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>72</td><td>720</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:05:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>124</td><td>1,240</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:35:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>80</td><td>1,600</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:05:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>104</td><td>2,080</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:35:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>78</td><td>3,120</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:05:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>92</td><td>3,680</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:35:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>134</td><td>5,360</td></tr> </tbody> </table>			TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:05:00 p.m.	0.500	112	224	05:00	01:05:00 p.m.	0.250	124	496	05:30	01:35:00 p.m.	0.100	72	720	06:00	02:05:00 p.m.	0.100	124	1,240	06:30	02:35:00 p.m.	0.050	80	1,600	07:00	03:05:00 p.m.	0.050	104	2,080	07:30	03:35:00 p.m.	0.025	78	3,120	08:00	04:05:00 p.m.	0.025	92	3,680	08:30	04:35:00 p.m.	0.025	134	5,360
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																
04:00	12:05:00 p.m.	0.500	112	224																																																
05:00	01:05:00 p.m.	0.250	124	496																																																
05:30	01:35:00 p.m.	0.100	72	720																																																
06:00	02:05:00 p.m.	0.100	124	1,240																																																
06:30	02:35:00 p.m.	0.050	80	1,600																																																
07:00	03:05:00 p.m.	0.050	104	2,080																																																
07:30	03:35:00 p.m.	0.025	78	3,120																																																
08:00	04:05:00 p.m.	0.025	92	3,680																																																
08:30	04:35:00 p.m.	0.025	134	5,360																																																
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																				

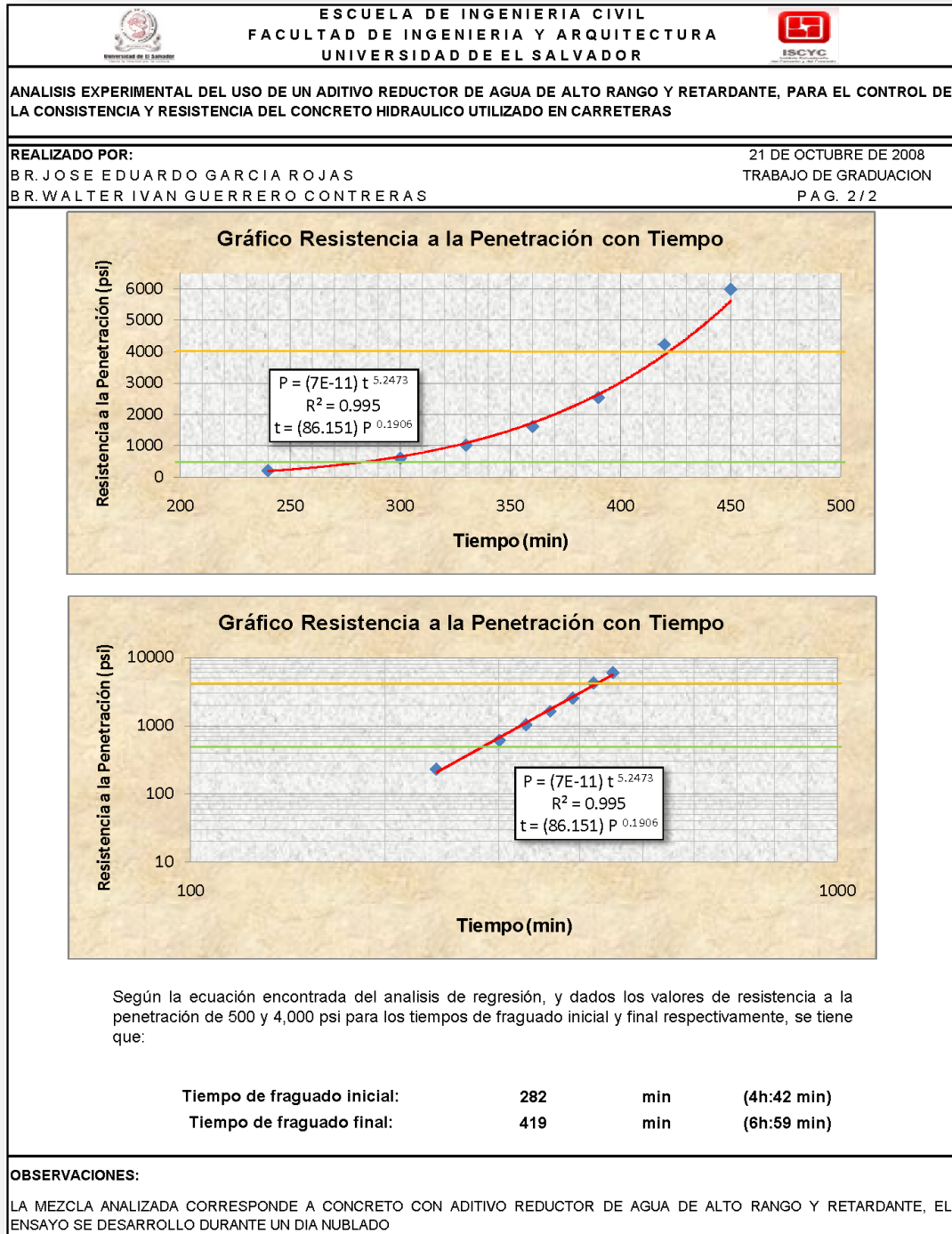
Anexo F24: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 12 (M<sub>12</sub>).





Anexo F25: Tiempo de fraguado de la mezcla 13 (M<sub>13</sub>).

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																											
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																												
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		21 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																										
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																											
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																											
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 13																																											
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																										
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:10:00 a.m.																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:10:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>116</td><td>232</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:10:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>154</td><td>616</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:40:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>104</td><td>1,040</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:10:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>82</td><td>1,640</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:40:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>128</td><td>2,560</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:10:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>106</td><td>4,240</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:40:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>150</td><td>6,000</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:10:00 p.m.	0.500	116	232	05:00	01:10:00 p.m.	0.250	154	616	05:30	01:40:00 p.m.	0.100	104	1,040	06:00	02:10:00 p.m.	0.050	82	1,640	06:30	02:40:00 p.m.	0.050	128	2,560	07:00	03:10:00 p.m.	0.025	106	4,240	07:30	03:40:00 p.m.	0.025	150	6,000
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																								
04:00	12:10:00 p.m.	0.500	116	232																																								
05:00	01:10:00 p.m.	0.250	154	616																																								
05:30	01:40:00 p.m.	0.100	104	1,040																																								
06:00	02:10:00 p.m.	0.050	82	1,640																																								
06:30	02:40:00 p.m.	0.050	128	2,560																																								
07:00	03:10:00 p.m.	0.025	106	4,240																																								
07:30	03:40:00 p.m.	0.025	150	6,000																																								
<b>OBSERVACIONES:</b>																																												

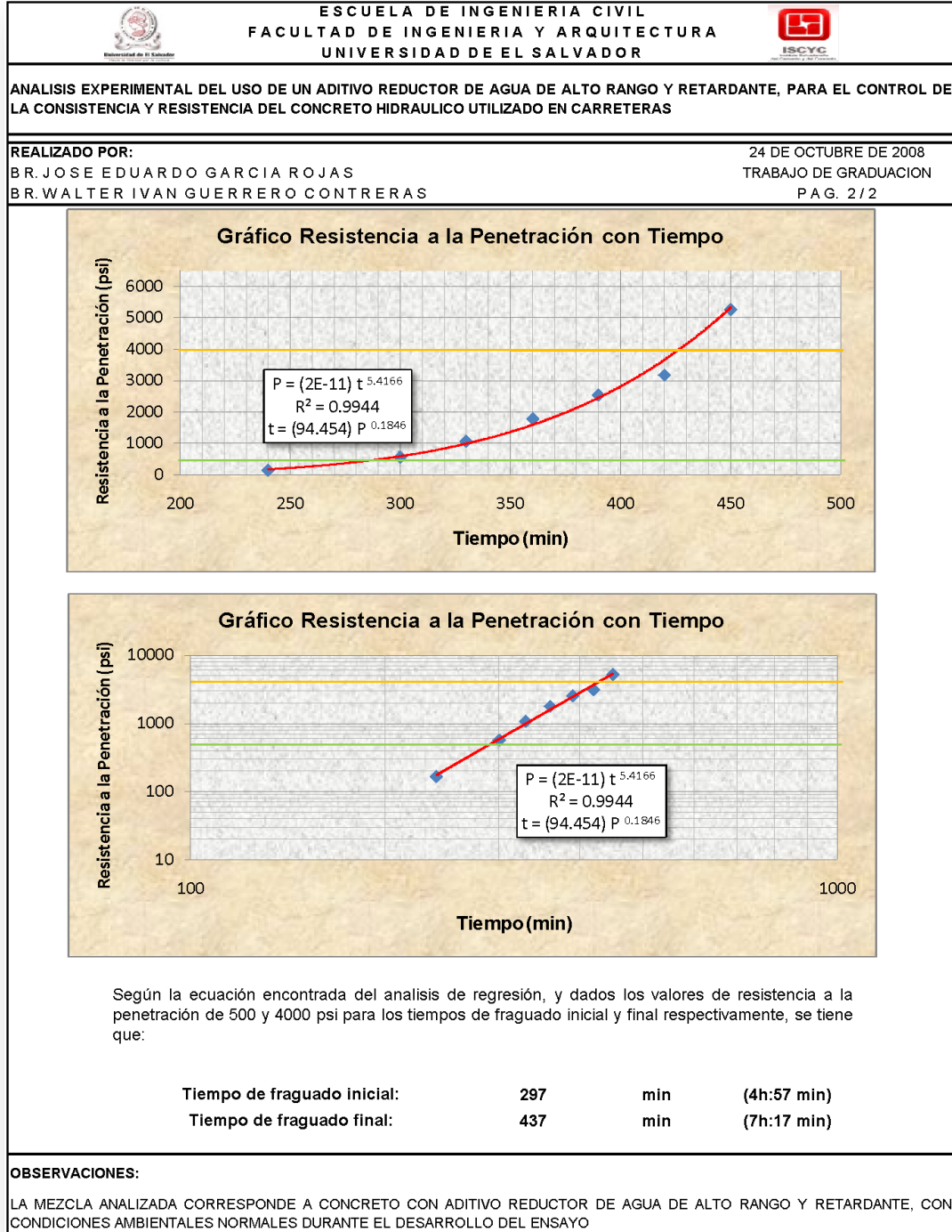
Anexo F26: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 13 (M<sub>13</sub>).




Anexo F27: Tiempo de fraguado de la mezcla 14 (M<sub>14</sub>).

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																											
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																												
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		24 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																										
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																											
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																											
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 14																																											
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																										
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:30:00 a.m.																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:30:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>84</td><td>168</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:30:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>144</td><td>576</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>02:00:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>108</td><td>1,080</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:30:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>90</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>03:00:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>128</td><td>2,560</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:30:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>80</td><td>3,200</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>04:00:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>132</td><td>5,280</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:30:00 p.m.	0.500	84	168	05:00	01:30:00 p.m.	0.250	144	576	05:30	02:00:00 p.m.	0.100	108	1,080	06:00	02:30:00 p.m.	0.050	90	1,800	06:30	03:00:00 p.m.	0.050	128	2,560	07:00	03:30:00 p.m.	0.025	80	3,200	07:30	04:00:00 p.m.	0.025	132	5,280
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																								
04:00	12:30:00 p.m.	0.500	84	168																																								
05:00	01:30:00 p.m.	0.250	144	576																																								
05:30	02:00:00 p.m.	0.100	108	1,080																																								
06:00	02:30:00 p.m.	0.050	90	1,800																																								
06:30	03:00:00 p.m.	0.050	128	2,560																																								
07:00	03:30:00 p.m.	0.025	80	3,200																																								
07:30	04:00:00 p.m.	0.025	132	5,280																																								
<b>OBSERVACIONES:</b>																																												

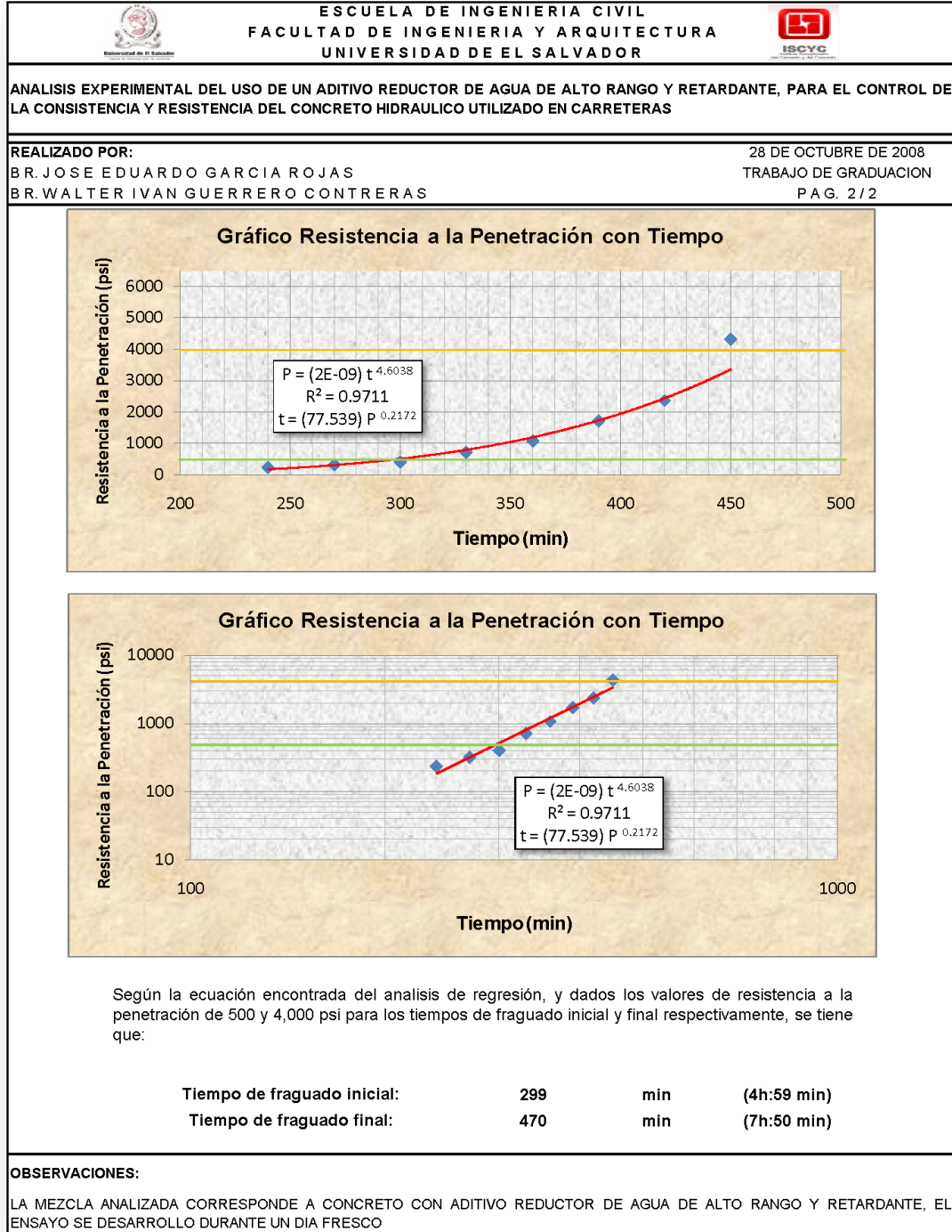
Anexo F28: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 14 (M<sub>14</sub>).





Anexo F29: Tiempo de fraguado de la mezcla 15 (M<sub>15</sub>).

	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR																																																
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																	
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS	28 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1/2																																																
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 15																																																
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																															
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	07:50:00 a.m.																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>11:50:00 a.m.</td><td>0.500</td><td>120</td><td>240</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>80</td><td>320</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>12:50:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>102</td><td>408</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>180</td><td>720</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>01:50:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>108</td><td>1,080</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:20:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>86</td><td>1,720</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>02:50:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>118</td><td>2,360</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:20:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>108</td><td>4,320</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	11:50:00 a.m.	0.500	120	240	04:30	12:20:00 p.m.	0.250	80	320	05:00	12:50:00 p.m.	0.250	102	408	05:30	01:20:00 p.m.	0.250	180	720	06:00	01:50:00 p.m.	0.100	108	1,080	06:30	02:20:00 p.m.	0.050	86	1,720	07:00	02:50:00 p.m.	0.050	118	2,360	07:30	03:20:00 p.m.	0.025	108	4,320
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																													
04:00	11:50:00 a.m.	0.500	120	240																																													
04:30	12:20:00 p.m.	0.250	80	320																																													
05:00	12:50:00 p.m.	0.250	102	408																																													
05:30	01:20:00 p.m.	0.250	180	720																																													
06:00	01:50:00 p.m.	0.100	108	1,080																																													
06:30	02:20:00 p.m.	0.050	86	1,720																																													
07:00	02:50:00 p.m.	0.050	118	2,360																																													
07:30	03:20:00 p.m.	0.025	108	4,320																																													
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																	

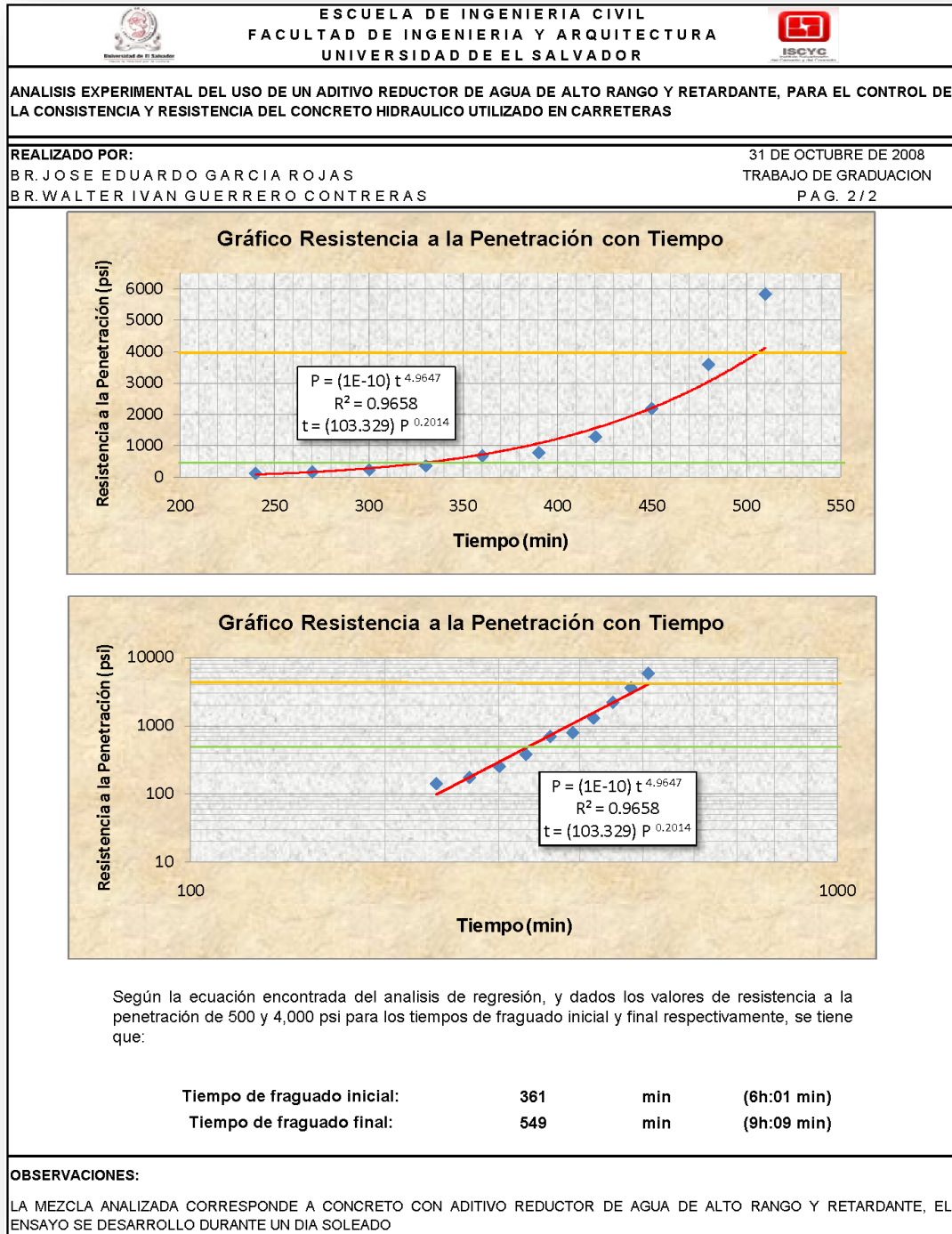
Anexo F30: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 15 (M<sub>15</sub>).





Anexo F31: Tiempo de fraguado de la mezcla 16 (M<sub>16</sub>).

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																								
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																									
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		31 DE OCTUBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																							
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																								
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																								
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 16																																																								
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																																							
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:20:00 a.m.																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:20:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>72</td><td>144</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:50:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>44</td><td>176</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:20:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>64</td><td>256</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:50:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>96</td><td>384</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:20:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>70</td><td>700</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:50:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>80</td><td>800</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:20:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>130</td><td>1,300</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:50:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>110</td><td>2,200</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:20:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>90</td><td>3,600</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:50:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>146</td><td>5,840</td></tr> </tbody> </table>			TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:20:00 p.m.	0.500	72	144	04:30	12:50:00 p.m.	0.250	44	176	05:00	01:20:00 p.m.	0.250	64	256	05:30	01:50:00 p.m.	0.250	96	384	06:00	02:20:00 p.m.	0.100	70	700	06:30	02:50:00 p.m.	0.100	80	800	07:00	03:20:00 p.m.	0.100	130	1,300	07:30	03:50:00 p.m.	0.050	110	2,200	08:00	04:20:00 p.m.	0.025	90	3,600	08:30	04:50:00 p.m.	0.025	146	5,840
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																					
04:00	12:20:00 p.m.	0.500	72	144																																																					
04:30	12:50:00 p.m.	0.250	44	176																																																					
05:00	01:20:00 p.m.	0.250	64	256																																																					
05:30	01:50:00 p.m.	0.250	96	384																																																					
06:00	02:20:00 p.m.	0.100	70	700																																																					
06:30	02:50:00 p.m.	0.100	80	800																																																					
07:00	03:20:00 p.m.	0.100	130	1,300																																																					
07:30	03:50:00 p.m.	0.050	110	2,200																																																					
08:00	04:20:00 p.m.	0.025	90	3,600																																																					
08:30	04:50:00 p.m.	0.025	146	5,840																																																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																									

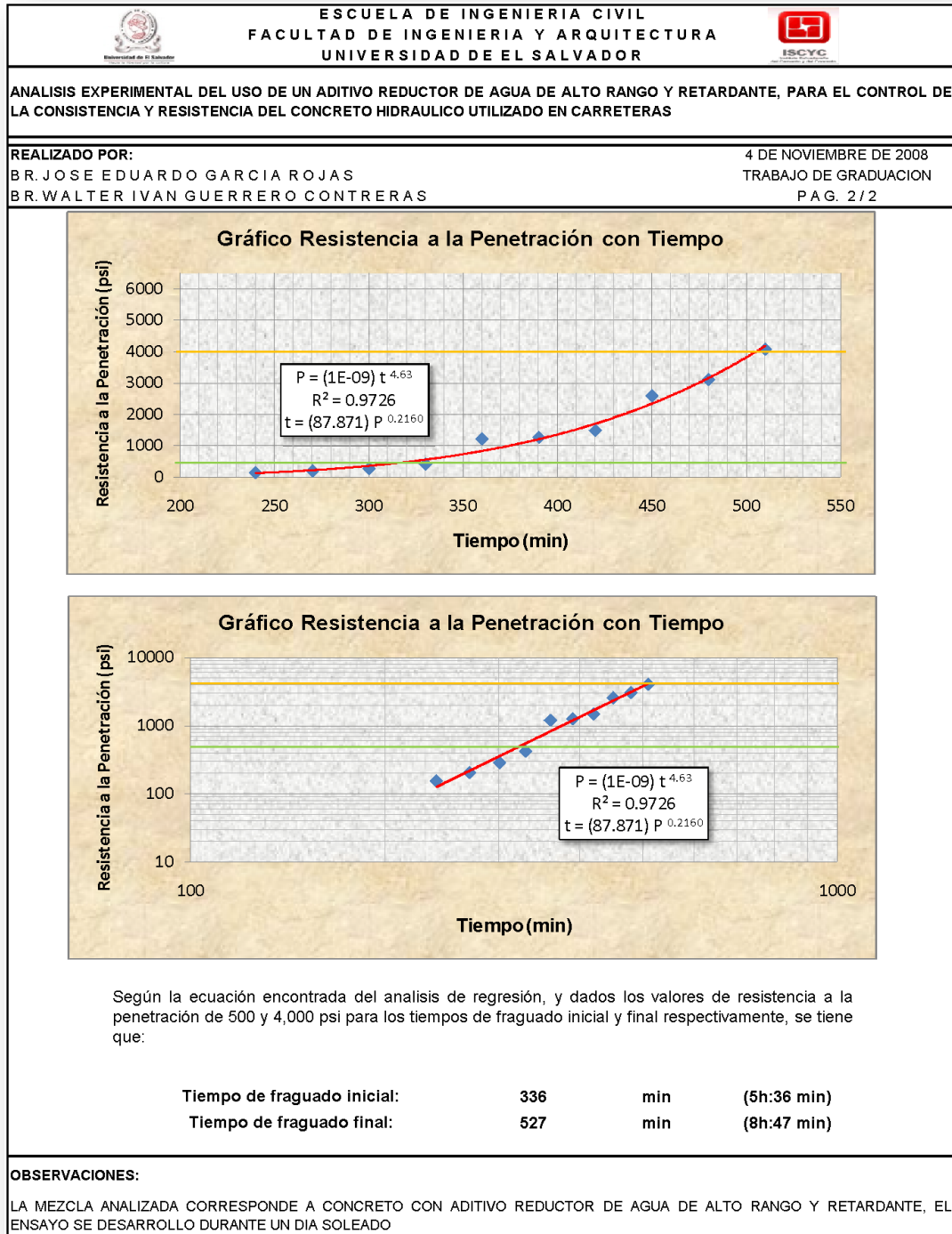
Anexo F32: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 16 (M<sub>16</sub>).





Anexo F33: Tiempo de fraguado de la mezcla 17 (M<sub>17</sub>).

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																																										
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																																											
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		4 DE NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																																									
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																																										
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																																										
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 17																																																										
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																																									
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:05:00 a.m.																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:00</td><td>12:05:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>78</td><td>156</td></tr> <tr><td>04:30</td><td>12:35:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>102</td><td>204</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:05:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>72</td><td>288</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:35:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>106</td><td>424</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:05:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>122</td><td>1,220</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:35:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>128</td><td>1,280</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:05:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>150</td><td>1,500</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:35:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>130</td><td>2,600</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>04:05:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>78</td><td>3,120</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>04:35:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>102</td><td>4,080</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:00	12:05:00 p.m.	0.500	78	156	04:30	12:35:00 p.m.	0.500	102	204	05:00	01:05:00 p.m.	0.250	72	288	05:30	01:35:00 p.m.	0.250	106	424	06:00	02:05:00 p.m.	0.100	122	1,220	06:30	02:35:00 p.m.	0.100	128	1,280	07:00	03:05:00 p.m.	0.100	150	1,500	07:30	03:35:00 p.m.	0.050	130	2,600	08:00	04:05:00 p.m.	0.025	78	3,120	08:30	04:35:00 p.m.	0.025	102	4,080
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																																							
04:00	12:05:00 p.m.	0.500	78	156																																																							
04:30	12:35:00 p.m.	0.500	102	204																																																							
05:00	01:05:00 p.m.	0.250	72	288																																																							
05:30	01:35:00 p.m.	0.250	106	424																																																							
06:00	02:05:00 p.m.	0.100	122	1,220																																																							
06:30	02:35:00 p.m.	0.100	128	1,280																																																							
07:00	03:05:00 p.m.	0.100	150	1,500																																																							
07:30	03:35:00 p.m.	0.050	130	2,600																																																							
08:00	04:05:00 p.m.	0.025	78	3,120																																																							
08:30	04:35:00 p.m.	0.025	102	4,080																																																							
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																											

Anexo F34: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 17 (M<sub>17</sub>).



Anexo F35: Tiempo de fraguado de la mezcla 18 (M<sub>18</sub>).

	 <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>																																											
<b>ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE UN ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE, PARA EL CONTROL DE LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO UTILIZADO EN CARRETERAS</b>																																												
<b>REALIZADO POR:</b> B.R. JOSE EDUARDO GARCIA ROJAS B.R. WALTER IVAN GUERRERO CONTRERAS		7 DE NOVIEMBRE DE 2008 TRABAJO DE GRADUACION P.A.G. 1 / 2																																										
<b>ENSAYO:</b>	TIEMPO DE FRAGUADO																																											
<b>NORMA:</b>	ASTM C403/C403M-99																																											
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLA 18																																											
<b>RESISTENCIA EN MR (f'c):</b>	37 (250)	kg/cm <sup>2</sup>																																										
<b>HORA DE INTERACCION CEMENTO/AGUA:</b>	08:25:00 a.m.																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th style="width: 20%;">TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)</th> <th style="width: 15%;">HORA DE TOMA DE LECTURA</th> <th style="width: 15%;">AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas<sup>2</sup>)</th> <th style="width: 15%;">LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)</th> <th style="width: 35%;">RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>04:30</td><td>12:55:00 p.m.</td><td>0.500</td><td>118</td><td>236</td></tr> <tr><td>05:00</td><td>01:25:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>98</td><td>392</td></tr> <tr><td>05:30</td><td>01:55:00 p.m.</td><td>0.250</td><td>152</td><td>608</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>02:25:00 p.m.</td><td>0.100</td><td>104</td><td>1,040</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>02:55:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>90</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>03:25:00 p.m.</td><td>0.050</td><td>144</td><td>2,880</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>03:55:00 p.m.</td><td>0.025</td><td>112</td><td>4,480</td></tr> </tbody> </table>					TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)	04:30	12:55:00 p.m.	0.500	118	236	05:00	01:25:00 p.m.	0.250	98	392	05:30	01:55:00 p.m.	0.250	152	608	06:00	02:25:00 p.m.	0.100	104	1,040	06:30	02:55:00 p.m.	0.050	90	1,800	07:00	03:25:00 p.m.	0.050	144	2,880	07:30	03:55:00 p.m.	0.025	112	4,480
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INTERACCION (h:min)	HORA DE TOMA DE LECTURA	AREA DE AGUJA UTILIZADA (pulgadas <sup>2</sup> )	LECTURA DE FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (psi)																																								
04:30	12:55:00 p.m.	0.500	118	236																																								
05:00	01:25:00 p.m.	0.250	98	392																																								
05:30	01:55:00 p.m.	0.250	152	608																																								
06:00	02:25:00 p.m.	0.100	104	1,040																																								
06:30	02:55:00 p.m.	0.050	90	1,800																																								
07:00	03:25:00 p.m.	0.050	144	2,880																																								
07:30	03:55:00 p.m.	0.025	112	4,480																																								
<b>OBSERVACIONES:</b>																																												

Anexo F36: Gráficos de Tiempo de fraguado de la mezcla 18 (M<sub>18</sub>).

