

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



**PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO
Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN
DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE
SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

CINDY ETELVINA ALFARO PERÉZ

JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ

GRACIA MARÍA MENJÍVAR ESCOBAR

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

M.Eng. Ing. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Grado previo a la opción de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO
Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN
DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE
SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN
SALVADOR**

Presentado por :

CINDY ETELVINA ALFARO PÉREZ

JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ

GRACIA MARÍA MENJÍVAR ESCOBAR

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

San Salvador, junio de 2025

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

Agradecimientos por: Cindy Etelvina Alfaro Pérez

En primer lugar, agradezco a Dios por su fidelidad y amor. Me acompañó en los momentos de debilidad, otorgando sabiduría en cada momento no sólo de la carrera, sino también en mi vida personal y laboral. Por estos motivos y más le doy gracias a Dios.

Agradezco a mis padres, Raúl Amílcar Alfaro Villeda y Dora Mirna Pérez de Alfaro, por tener paciencia en mi camino hacia la culminación de la carrera, por su apoyo y palabras de aliento. Su positivismo y disciplina que me inculcaron, son las herramientas que me ayudaron a superar las dificultades. Le estoy muy agradecida a mis hermanos menores que siempre estuvieron para mí en cada etapa de mi carrera. A toda la familia Alfaro Villeda, que en los días más difíciles me dieron su apoyo, entre ellos mis abuelos y tías. Les estoy muy agradecida.

A mi asesor de tesis, que nos dedicó horas de su tiempo para formar ese carácter y criterio ingenieril que será herramienta para una vida profesional, agradecer a quien nos acompañó en el desarrollo de este trabajo de graduación, el Ing. Mauricio Ernesto Valencia, por ello que dedico sinceramente este esfuerzo a quien considero un catedrático muy capaz de la facultad de Ingeniería y arquitectura.

A los catedráticos, por toda la enseñanza que me brindaron, especialmente a los que estuvieron apoyando en la realización del trabajo de grado, Ing. Mauricio Valencia, El Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores y a todos los ingenieros de la escuela de ingeniería civil que siempre nos apoyaron. A mis compañeros, Gracia María Menjívar Escobar y Jorge Luis Franco Sánchez, por el apoyo en lo que es el desarrollo del trabajo de graduación. Esperando que se mantenga el compañerismo. Permitieron culminar a su lado este último esfuerzo y poder compartir materia en conjunto.

Agradecimientos por: Gracia María Menjívar Escobar

Al concluir este importante desafío académico en mi vida, me siento enormemente agradecida con todas las personas que de alguna manera han sido parte de este proceso, quiero dedicarles mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por brindarme salud, fuerza, sabiduría y paciencia. Su amor y bendiciones me han acompañado para enfrentar todos los desafíos en cada paso de mi camino.

A mis padres, Óscar Antonio Menjívar y Belky Judith Escobar de Menjívar, quienes siempre me han brindado su amor incondicional, su sacrificio, su apoyo constante y su confianza en mis capacidades.

Sus consejos me han fortalecido en los momentos de duda, por enseñarme la perseverancia, que me ha motivado a no rendirme nunca. Ustedes han sido mi mayor apoyo, y este logro, es también suyo.

A mis hermanos menores, Luis Antonio Menjívar Escobar y Daniel José Menjívar Escobar, como su hermana mayor, quiero motivarlos y ser un ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia para que logren todo lo que se proponen.

A toda mi familia, por estar siempre a mi lado en este capítulo de mi vida, su confianza en mí ha sido fundamental para alcanzar este logro.

A mi asesor de tesis, Ingeniero Mauricio Ernesto Valencia, su conocimiento ingenieril y su vasta experiencia fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Aprecio mucho su paciencia y la forma en que nos corrigió con empatía, especialmente cuando cometíamos errores. Este proyecto no habría sido posible sin su apoyo constante y su valiosa orientación. Me honra haber contado con un catedrático capacitado y comprometido de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, quien dedicó horas para guiarnos en la formación de nuestro criterio, enfoque profesional y ética como futuros ingenieros civiles.

A los docentes que han sido parte fundamental de mi formación académica, por cada clase, por cada enseñanza y por cada momento que contribuyó a mi crecimiento profesional y personal. Su vocación de enseñar ha dejado huella en mí.

A mis compañeros de tesis: Cindy Etelvina Alfaro Pérez y Jorge Luis Franco Sánchez, quiero expresar mi sincero agradecimiento por el apoyo brindado durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo de graduación. Ha sido un placer compartir este último esfuerzo académico con ustedes, y valoro mucho la

oportunidad de haber trabajado juntos. Espero que nuestro compañerismo continúe más allá de esta etapa, y que sigamos creciendo juntos en el futuro.

Gracias a todos de corazón por ser parte de mi vida y por ayudarme a alcanzar este sueño.

Agradecimientos por: Jorge Luis Franco Sánchez

Un agradecimiento primeramente a Dios, por darme sabiduría, inteligencia, perseverancia y bendiciones que me han permitido alcanzar este logro personal y profesional.

A mis padres, Yanira Sánchez y Jorge Franco, que siempre han estado a mi lado en todas las situaciones tanto buenas como malas, gracias al apoyo incondicional que me brindaron desde pequeño ayudándome con mis tareas, hasta la adultez escuchando mis problemas en los estudios. Gracias por apoyarme, por siempre creer en mí, motivarme en mis momentos más difíciles y siempre ser mi apoyo incondicional.

A mis hermanos, Diana y Saúl, por siempre estar allí, por ser un apoyo y siempre motivarme a no detenerme y siempre estar dispuestos a ayudarme a pesar de las dificultades, los quiero mucho.

A Ing. Rosa Esmeralda Galdámez, por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida, por explicarme cuando no entendía temas de las materias, por ayudarme a ser un mejor ser humano y a crecer como profesional. Este es un logro que he conseguido gracias a su ayuda.

A Zeidy Campos, por ser una gran amiga, por escucharme en mis momentos difíciles, por tenerme paciencia, por siempre brindar una mano cuando lo necesitaba sin importar cuan difíciles eran los problemas y por estar pendiente para ayudar en este trabajo de graduación.

A Lic. Gabriela Quinteros, que me motivo a superarme tanto en lo personal como en lo profesional, me animó a no detenerme ni rendirme ante las adversidades que se me presentaron, por ayudarme en mi recuperación física y ser una muy buena amiga que siempre está dispuesta a ayudar.

A mis compañeras Cindy Etelvina Alfaro Pérez y Gracia María Menjívar Escobar, que ayudaron hacer posible este paso final en la culminación de la carrera. A pesar de nuestras diferencias, se les aprecia por todo el apoyo brindado y amistad que desarrollamos. Espero que les vaya bien en el desarrollo de su vida personal y profesional.

A Ing. Mauricio Ernesto Valencia, nuestro asesor y amigo, que siempre estuvo dispuesto a ayudarnos, brindar sus conocimientos y experiencias para poder realizar este trabajo de graduación.

A todos los profesionales que nos ayudaron a poder realizar este trabajo de graduación, ing. Susan Elizabeth Campos, Arq. Cristina Dimas, Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, Ing. Ramon Evelio López Hernández , Técnicos de laboratorio de suelos de Escuela de Ingeniería Civil, que nos brindaron su ayuda, conocimientos y experiencias para poder realizar este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	30
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 ALCANCES.....	7
1.5 LIMITACIONES.....	9
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1 DESARROLLO SOCIOECONÓMICO, CULTURAL Y TURISMO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, CANTÓN SAN DIEGO.....	11
2.1.1 Generalidades.....	11
2.2 DIAGNOSTICO DE LOS HABITANTES Y DEL CAMINO HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO.....	22
2.2.1 Diagnóstico ambiental y socioeconómico.....	22
2.2.2 Diagnóstico del camino.....	24

2.3 ESTUDIO PARA LA PROPUESTA TÉCNICA DEL CAMINO HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO	28
2.3.1 Topografía del camino.....	28
2.3.2 ESTUDIO DE TRÁNSITO	37
2.3.3 HIDROLOGIA.....	55
2.3.4 Estudio geotécnico para carreteras y mecánica de suelos para carreteras.....	75
2.4 GEOMETRÍA DE LOS CAMINOS Y DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO.....	78
2.5 ELEMENTOS ESENCIALES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMINOS.....	107
2.6 DERECHO DE VIA.....	114
2.7 MOVIMIENTO DE TIERRA	116
2.8 PAVIMENTO.....	122
2.8.1 TIPO DE PAVIMENTOS	123
2.8.2 PARTES QUE COMPONEN UN PAVIMENTO	127
2.9 MÉTODOS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DEL SUELO DE SUBRASANTE	130
2.9.1 Restitución del suelo de subrasante.	130

2.9.2 Estabilización de suelos.....	130
2.9.3 Estabilización con aditivos.....	131
2.9.4 Estabilización con suelo - cemento.....	131
2.9.5 Estabilización con cal.....	133
2.9.6 Estabilidad de suelos con emulsión asfáltica.....	134
2.10 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	135
2.10.1 TIPO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	136
CAPÍTULO III: ESTUDIOS PRELIMINARES.....	144
3.1 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.....	144
3.1.1 Geología de la zona.....	145
3.2 ESTUDIO DE TRÁFICO.....	212
3.2.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA.....	212
3.2.2 PUNTO DE AFORO.....	212
3.2.3 INFORMACIÓN PROPORCIONADA Y RECOPIADA.....	214
3.2.3.1 INFORMACIÓN PROPORCIONADA.....	214
3.2.3.1.1 TASAS DE CRECIMIENTO.....	216
3.2.3.1.2 TPDA HISTÓRICO DE LA ZONA.....	217
3.2.3.1.3 PIB NACIONAL.....	222
3.2.3.1.4 PIB AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA.....	222

3.2.3.1.5 PIB TRANSPORTE Y ALMACENAJE	223
3.2.3.1.6 CENSO DEMOGRÁFICO	224
3.2.3.1.7 RESUMEN DE FACTORES	225
3.2.3.2 INFORMACIÓN RECOPIADA	226
3.2.3.2.1 SECCIÓN DE LA VÍA.....	226
3.2.3.2.2 RESULTADO DE AFORO VEHICULAR.....	227
3.2.4 GENERACIÓN Y ATRACCIÓN DE TRÁFICO	230
3.2.4.1 TRÁFICO GENERADO.....	230
3.2.4.2 TRÁFICO ATRAÍDO.....	230
3.2.5 PROYECCIÓN	231
3.3 TOPOGRAFÍA.....	235
CAPÍTULO IV: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DEL ACCESO VIAL	268
4.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA CALLE QUE CONDUCE HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO.....	268
4.1.1 Criterio de Diseño.	268
4.1.2 Propiedades de los materiales para el diseño estructural.....	273
4.1.3 Subrasante	274

4.1.4	Coeficiente de aporte estructural.....	274
4.1.5	Subrasante de balastro.....	277
4.1.6	Característica del drenaje del pavimento.....	279
4.1.7	Cálculo de ESAL's para pavimento flexible por el método AASHTO-93	282
	Cálculo por medio del software WinPAS 12.....	285
4.2	DISEÑO GEOMÉTRICO	294
4.2.1	Georreferenciación de proyecto (configuración regional)	297
4.2.2	Superficie de curvas de nivel en civil 3D.....	298
4.2.2.1	Importación de puntos	298
4.2.2.2	Creando una superficie a partir de curvas de nivel en Civil 3d	301
4.2.3	Alineamiento Horizontal.....	304
4.2.4	Alineamiento Vertical.....	308
4.2.5	Modelación de corredor	315
4.2.6	Sección transversal.....	325
4.2.7	Diagrama de masas.....	331
	CAPÍTULO V: DRENAJE	333
5.1	Hidrología, drenaje y obras hidráulicas	333
5.1.1	Efectos del agua sobre el área en estudio.....	333

5.1.2 Estimación del caudal máximo (relación lluvia - escorrentía).	336
5.2 Diseño de Cunetas	346
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	366
7.1 CONCLUSIONES.....	366
7.2 RECOMENDACIONES	368
7.3 BIBLIOGRAFÍA	369

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO II

Imagen 2.1 Mapa de división administrativa del distrito del Paisnal	12
Imagen 2: 2 Sección longitudinal de primer tramo en vía de acceso	26
Imagen 2.3 Integración de tecnología en estación total.....	33
Imagen 2.4 Explicación gráfica de proceso de observación de puntos con estación total.....	36
Imagen 2.5 Coeficiente de permeabilidad de diferentes tipos de suelos	58
Imagen 2.6: Elementos de la curva simple.	89
Imagen 2.7: Elementos de la curva de transición.	95
Imagen 2.8. Curvas parabólicas.	101
Imagen 2.9: Curvas verticales convexas y curvas verticales cóncavas.....	102
Imagen 2.10: Diagrama de masas.	119

Imagen 2.11: Pavimento flexible, rígido e híbrido.	125
Imagen 2.12: Pavimento flexible, rígido e híbrido.	126
Imagen 2.13: Daños típicos de superficie de pavimentos.	143

CAPÍTULO III

Imagen 3.1 Ubicación de Pozos a Cielo Abierto a lo largo de la Vía.	146
Imagen 3.2 Cantidades recomendadas para cada ensayo de laboratorio.	151
Imagen 3.3 Clasificación vehicular utilizada por el MOPT.	213
Imagen 3.4. Ubicación de punto de aforo.	214
Imagen 3.5 Sección transversal de la vía.	226
Imagen 3.6 Sección en planta de la vía.	227
Imagen 3.7 Direcciones en las que se realizó el conteo peatonal y vehicular.	228
Imagen 3.8 Ubicación de antena base GNSS de Escuela de Ingeniera Civil.	236
Imagen 3.9 Ruta de distribución de puntos a cada 20 metros.	237
Imagen 3. 10 Equipo utilizado en la medición.	238
Imagen 3.11 Medición de la vía.	239
Imagen 3.12 Reporte y Fotografía de Primer Vuelo.	266
Imagen 3.13 Reporte y Fotografía de Segundo Vuelo.	267

CAPÍTULO IV

Imagen 4.1. Estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el módulo elástico.	276
Imagen 4.2. Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con cemento con los parámetros de resistencia de la base.	277

Imagen 4.3. Variación del coeficiente estructural de capa de subbase con diferentes parámetros de resistencia.....	278
Imagen 4.4. Creación de proyecto en WinPAS.....	285
Imagen 4.5. Selección de cálculo de ESAL en WinPAS.....	285
Imagen 4.6. Insertar los datos solicitados en WinPAS.....	286
Imagen 4.7. Ingreso del valor estimado de espesor de estructura en WinPAS.	287
Imagen 4.8. Ingreso del valor de diferentes parámetros en WinPAS.....	287
Imagen 4.9. Selección de cálculo de ESALs según tipo de vehículo en WinPAS.	288
Imagen 4.10. Ingreso de pesos de ejes en kips en WinPAS.....	289
Imagen 4.11. Seleccionar el tipo de pavimento en WinPAS.....	289
Imagen 4.12. Ingresar dato de módulo de resiliencia y CBR en WinPAS.	290
Imagen 4.14. Espesores de cada capa de la estructura del pavimento.....	292
Imagen 4.15. Valor de Esals para pavimento flexible	293
Imagen 4.16. Valor del número estructural	294
Imagen 4.18 Pestaña de propiedades de elementos de civil.....	299
Imagen 4.19 Herramientas de importación de puntos.	300
Imagen 4.20 Ventana de importación de puntos.....	300
Imagen 4.21 Visualización de puntos cantón San Diego.	301
Imagen 4.22 Creación de superficie a partir de puntos.....	302
Imagen 4.23 Ventana para la creación de la superficie.	303

Imagen 4.24 Visualización de superficie en área de trabajo.	304
Imagen 4.25. Creación de alineamiento.	305
Imagen 4.26. Ventana de alineamientos.	306
Imagen 4.27. Ventana de normas de diseño.	307
Imagen 4.29. Opción para la creación de perfil longitudinal.	309
Imagen 4.30. Ventana de creación de perfil longitudinal.	310
Imagen 4.31. Ventanas de generalidades del perfil longitudinal.	311
Imagen 4.32. Visualización de perfil.	313
Imagen 4.33. Opciones para la creación de rasante.	313
Imagen 4.34. Ventana para creación de rasante del camino.	314
Imagen 4.35. Herramienta de tangente y curvas verticales.	314
Imagen 4.36. Perfil longitudinal con rasante y área de cortes y rellenos.	315
Imagen 4.37. Herramienta para crear el ensamble.	316
Imagen 4.38. Ventana de creación de ensamble.	317
Imagen 4.40. Se muestra los parámetros que se tomaron para el diseño del pavimento.	319
Imagen 4.41. Introducción de ensamble derecho en área de trabajo.	319
Imagen 4.42. Introducción de cunetas.	320
Imagen 4.43. Introducción de parámetros de diseños de cunetas.	321
Imagen 4.44. Introducción de cunetas en área de trabajo.	321
Imagen 4.45. Introducción de taludes.	322
Imagen 4.46. Introducción de parámetros de diseños de taludes.	322

Imagen 4.47. Introducción de taludes derecha en área de trabajo.	323
Imagen 4.48. Ensamble terminado en área de trabajo.	324
Imagen 4.49. Ventana para la creación del corredor.....	324
Imagen 4.50. Creaciones vistas múltiple.	325
Imagen 4.51. Edición de estilo de secciones transversales.....	326
Imagen 4.52. Ventana para la creación de secciones transversales	326
Imagen 4.53. Secciones transversales en área de trabajo.	327
Imagen 4.54. Barra de herramientas de Analyze.....	328
Imagen 4.55. Ventana de seleccionar grupo de líneas	328
Imagen 4.56. Ventana de cálculo de volúmenes de cortes y rellenos.....	329
Imagen 4.57. Ventana para presentación de tablas de cortes y relleno.....	330
Imagen 4.58 Tablas de cortes y rellenos.....	331
Imagen 4.59. Herramienta para la creación de diagrama masa	331
Imagen 4.60. Ventana para seleccionar del alineamiento y el grupo de alineamiento.....	332

CAPÍTULO V

Imagen 5.1: Ubicación de subcuencas en la vía.....	334
Imagen 5.2: Vegetación	342
Imagen 5.3: Cultivos y uso del suelo.	342
Imagen 5.4: Cultivos y uso del suelo.	343
Imagen 5.5: Inicio de software Hcanales	348
Imagen 5.6: Datos de entrada al programa.	348

Imagen 5.7: Reporte de resultados.....	349
Imagen 5.8: Sección de canaleta.....	350

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Asentamientos humanos de alto riesgo en el municipio de El Paisnal	15
Tabla 2.2 Red vial en el municipio de El Paisnal, San Salvador	16
Tabla 2.3 Conectividad vial interna del municipio, distancia de la cabecera municipal de El Paisnal a cada cantón.	17
Tabla 2.4 Clasificación de carreteras especiales	79
Tabla 2.5 Clasificación de carreteras primarias.....	80
Tabla 2.6 Clasificación de carreteras secundarias.....	81
Tabla 2.7 Clasificación de carreteras terciarias.....	82
Tabla 2.8 Clasificación de carreteras terciarias modificada.	83
Tabla 2.9 Clasificación de carreteras rurales.	84
Tabla 2.10 Clasificación de carreteras rurales modificadas.	84
Tabla 2.11 Clasificación de camino vecinal.....	85
Tabla 2.12 Longitudes mínimas de transición	96
Tabla 2.13: Rango de pendientes.	100
Tabla 2.14: Elementos que conforman una curva parabólica.	101
Tabla 2.15: Tipos de superficie de rodamiento.....	106

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Ubicación de Pozos de Cielo Abierto (PCA) en la Vía.....	147
Tabla 3.2 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 1	147
Tabla 3.3 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 2	148
Tabla 3.4 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 3	148
Tabla 3.5 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 4	149
Tabla 3.6 Ensayos a realizar y referencia a normativa correspondiente	149
Tabla 3.7 Masa mínima de muestra para la determinación del contenido de humedad.....	152
Tabla 3.8 Tabla con datos para la determinación del contenido de humedad.	153
Tabla 3.9 Masa recomendada para espécimen de ensayo.....	154
Tabla 3.10 Datos para determinación de gravedad específica.	155
Tabla 3. 11: Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) a diferentes temperaturas.....	156
Tabla 3. 12 Procedimiento para cálculo de granulometría.	159
Tabla 3. 13 Granulometría para agregado gruesos.....	160
Tabla 3. 14 Temperaturas para hidrometría.	161
Tabla 3. 15 Datos de hidrometría de PCA-1.	162
Tabla 3. 16 Datos de Límite Líquido (LL) de PCA-1.....	164
Tabla 3. 17 Datos de Límite Plástico (LP) de PCA-1.....	166
Tabla 3. 18 Límites de consistencia de PCA-1.....	166
Tabla 3. 19 Clasificación de suelos de la AASHTO.....	168

Tabla 3. 20 Datos necesarios para determinar clasificación AASHTO	168
Tabla 3. 21 Clasificación según el tipo de grano del suelo.....	170
Tabla 3. 22 Simbología de tipo de suelo	170
Tabla 3. 23 Datos necesarios para determinar clasificación SUCS	170
Tabla 3. 24 Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos.....	175
Tabla 3.25 Valores Obtenidos en ensayo de compactación de suelos en laboratorio.....	176
Tabla 3.26 Datos obtenidos en Laboratorio para Ensayo CBR.....	178
Tabla 3.27 Datos obtenidos por cálculos para Ensayo CBR.....	179
Tabla 3.28 Contenido de Humedad de PCA de Campaña Geotécnica	181
Tabla 3.29 Gravedad Especifica de PCA de Campaña Geotécnica.....	181
Tabla 3.30 Granulometría de PCA 1-Estrato1.....	182
Tabla 3.31 Granulometría de PCA 2-Estrato1.....	183
Tabla 3.32 Granulometría de PCA 2-Estrato2.....	184
Tabla 3.33 Granulometría de PCA 3-Estrato1.....	185
Tabla 3.34 Granulometría de PCA 3-Estrato 2.....	186
Tabla 3.35 Granulometría de PCA 4-Estrato1.....	187
Tabla 3.36 Granulometría de PCA 4-Estrato 2.....	188
Tabla 3.37 Hidrometría de PCA 1-Estrato 1.....	189
Tabla 3.38 Hidrometría de PCA 2-Estrato 1.....	190
Tabla 3.39 Hidrometría de PCA 2-Estrato 2.....	191
Tabla 3. 40 Hidrometría de PCA 3-Estrato 1.....	192

Tabla 3. 41 Hidrometría de PCA 3-Estrato 2.	193
Tabla 3. 42 Hidrometría de PCA 4-Estrato 1.	194
Tabla 3. 43 Hidrometría de PCA 4-Estrato 2.	195
Tabla 3. 44 Humedades Higrométricas de PCA.	199
Tabla 3. 45 Límites de consistencia de PCA 1.	200
Tabla 3. 46 Clasificación de Suelos de Campaña Geotécnica.	201
Tabla 3. 47 Ensayo Proctor de PCA 2- Estrato 2.	201
Tabla 3. 48 Ensayo Proctor de PCA 3- Estrato 2.	202
Tabla 3. 49 Ensayo Proctor de PCA 4- Estrato 2.	203
Tabla 3. 50 Ensayo CBR de PCA 2- Estrato 2.	205
Tabla 3. 51 Determinación de CBR de PCA 2- Estrato 2.	206
Tabla 3. 52 Ensayo CBR de PCA 3- Estrato 2.	207
Tabla 3. 53 Determinación de CBR de PCA 3- Estrato 2.	208
Tabla 3. 54 Ensayo CBR de PCA 4- Estrato 2.	209
Tabla 3. 55 Determinación de CBR de PCA 4- Estrato 2.	210
Tabla 3. 56 Resumen de resultados de ensayos realizados en jornada geotécnica	211
Tabla 3.57. Factores de tráfico diario y nocturno de CA04N.	215
Tabla 3.58. Factores de tráfico mensual de CA04N.	215
Tabla 3.59 TPDA histórico anual de CA04N.	216
Tabla 3.60. Tasas de crecimiento y factores de correlación de CA04N	218
Tabla 3.61 Tendencias de crecimiento De CA04N	219

Tabla 3.62 Indicadores de modelos de análisis para CA04N	219
Tabla 3.63 PIB histórico anual de El Salvador.	222
Tabla 3.64 PIB histórico anual de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca de El Salvador.....	223
Tabla 3.65 PIB histórico anual de transporte y almacenaje de El Salvador. ...	224
Tabla 3.66 Tasa de crecimiento poblacional proyectado para el distrito de El Paisnal.	225
Tabla 3.67 Resumen de las tasas de crecimiento.....	225
Tabla 3.68 Variación de volumen de tráfico diario de la vía.	229
Tabla 3.69 Horizonte de análisis.	231
Tabla 3.70 Factores y tasa de crecimiento para tráfico futuro.....	232
Tabla 3.71 Proyección de tráfico futuro para 20 años.....	234
Tabla 3.72 Proyección de tráfico futuro para año 2047.....	235
Tabla 3.73 Datos recopilados en la medición.....	264
Tabla 3.74 Nomenclatura para puntos.	264
Tabla 3.75 Coordenadas de puntos de control.....	268

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Periodos de diseño según el tipo de Carretera.	269
Tabla 4.2. Factor de distribución por dirección.....	270
Tabla 4.2. Factor de distribución por carril.	271
Tabla 4.4 Valores típicos de Desviación Estándar Total.	272

Tabla 4.5 Valores típicos de módulo de elasticidad de varios tipos de materiales.	279
Tabla 4.6 Calidad del drenaje en función del tiempo de evacuación del agua.	281
Tabla 4.7 Valores recomendados del coeficiente de drenaje para base y subbase granulares.....	282
Tabla 4.8 Volumen de tráfico Diario de la Vía.	283
Tabla 4.9 Características de la Vía.	284
Tabla 4.10 Factor de distribución por dirección.....	284
Tabla 4.11 Factor de distribución por carril.....	284
Tabla 4.12 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.	296
Tabla 4.13. Bombeo normal de la calzada.	316

CAPÍTULO V

Tablas 5.1: Áreas y Longitudes de las cuencas principales.	334
Tabla 5. 2: Parámetros de calificación para elegir el tiempo de diseño.....	335
Tabla 5. 3: Tiempo de recurrencia de diseño	336
Tabla 5. 4: Pendiente de las cuencas y subcuencas de interés.	338
Tabla 5.5: Tiempo de concentración para cada cuenca.	339
Tabla 5.6: Curvas IDF, para determinar la intensidad de diseño para un tiempo de concentración.....	340
Tabla 5.7: Intensidad de diseño calculada de las curvas y tablas IDF.....	341

Tabla 5.8: valores de c para diferentes periodos de retornos y diferentes condiciones de suelo.	344
Tabla 5.9: Coeficiente de escorrentía.....	345
Tabla 5.10: Caudales de diseño en el punto de interés de las cuencas.....	345

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

Gráfico 2.1 Relación entre la hora pico y los volúmenes de tránsito promedio diario en arterias rurales.	41
---	----

CAPÍTULO III

Grafica 3.1 Curva granulométrica pozo 2 – estrato 1.....	163
Grafica 3.2 Determinación de Límite Líquido para 25 golpes.	165
Grafica 3.3 Carta de plasticidad para PCA 1	167
Grafica 3.4 Gráfico de relación humedad- densidad.....	176
Gráfico 3.5 Gráfico Esfuerzo-Penetración en CBR.	179
Gráfico 3.6 Gráfico Peso Volumétrico Seco-C.B. R	180
Gráfico 3.7 Curva Granulométrica PCA 1.	196
Gráfico 3.8 Curva Granulométrica PCA 2-Estrato 1.....	196
Gráfico 3.9 Curva Granulométrica PCA 2-Estrato 2.....	197
Gráfico 3.10 Curva Granulométrica PCA 3-Estrato 1.....	197
Gráfico 3.11 Curva Granulométrica PCA 3-Estrato 2.	198
Gráfico 3.12 Curva Granulométrica PCA 4-Estrato 1.....	198

Gráfico 3.13 Curva Granulométrica PCA 4-Estrato 2.....	199
Gráfico 3.14 Límites de Consistencia de PCA 1.....	200
Gráfico 3.15 Relación humedad-densidad PCA 2-Estrato 1.....	202
Gráfico 3.16 Relación humedad-densidad PCA 3-Estrato 2.....	203
Gráfico 3.17 Relación humedad-densidad PCA 4-Estrato 2.....	204
Gráfico 3.18 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 2.....	206
Gráfico 3.19 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 2.....	206
Gráfico 3.20 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 3.....	208
Gráfico 3.21 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 3.....	208
Gráfico 3.22 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 4.....	210
Gráfico 3.23 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 4.....	210
Gráfica 3.24 Tendencia lineal de crecimiento de tráfico de CA04N	220
Gráfica 3.25 Tendencia logarítmica de crecimiento de tráfico de CA04N	220
Gráfica 3.26 Tendencia exponencial de crecimiento de tráfico de CA04N.....	221
Gráfica 3.27 Tendencia potencial de crecimiento de tráfico de CA04N	221
Gráfica 3.28 Variación de volumen de tráfico diario de la vía.....	229
Gráfica 5.1: Curvas IDF, para determinar la intensidad de diseño para un tiempo de concentración.....	340

INTRODUCCIÓN

El progreso económico y social de cualquier comunidad depende en gran medida del desarrollo de su infraestructura vial. El diseño geométrico y estructural de las vías de acceso juega un papel crucial para garantizar la conectividad y la accesibilidad entre distintas áreas, facilitando el transporte de personas, bienes y servicios. En el cantón San Diego, ubicado en el distrito de El Paisnal, dentro del municipio de San Salvador Norte, en el departamento de San Salvador, esta realidad se hace patente.

En el presente trabajo se abordará el diseño geométrico, hidráulico y estructural de una vía de acceso que vincule al cantón San Diego con el resto de la región, con el objetivo de mejorar la infraestructura vial e impulsar el desarrollo socioeconómico local, mejorando así la movilidad y seguridad de los habitantes. El diseño de la vía de acceso contempla aspectos como el flujo de tráfico, la topografía del terreno y elementos estructurales que garanticen movilidad, seguridad y comodidad en la infraestructura vial. Además, se tendrán en cuenta consideraciones ambientales y sociales para minimizar impactos negativos en el entorno natural y cultural de la región, promoviendo un desarrollo sostenible y ofreciendo una solución integral y práctica para mejorar el transporte en el cantón San Diego

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Las carreteras han sido fundamentales para la conectividad y el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia.

En las civilizaciones antiguas, como la romana, se construyeron grandes redes de carreteras como la Vía Apia, Vía Emilia y Vía Augusta, que facilitó el movimiento de tropas, comerciantes y ciudadanos.

Antes y durante la Edad Media, se desarrollaron rutas comerciales que desempeñaron un papel crucial en la interconexión de regiones. La Ruta de la Seda es un ejemplo, fue una red que conectó Asia, Europa y África, favoreciendo el intercambio de bienes, cultura y conocimiento.

Con el desarrollo del automóvil, se construyeron autopistas y carreteras de alta velocidad en todo el mundo para satisfacer la creciente demanda de movilidad, donde jugaron un importante papel en el impulso de la urbanización y desarrollo económico.

En El Salvador, durante la colonia española, se construyeron caminos para conectar las ciudades y facilitar la administración y transporte de bienes. Los caminos eran rudimentarios, esenciales para la comunicación y el comercio entre las colonias.

Después de la independencia, se comenzó a desarrollar su propia infraestructura de transporte. Se mejoraron y ampliaron los caminos existentes para fomentar el comercio interno y la movilidad.

En la primera mitad del siglo XX, se produjo un impulso significativo en el desarrollo de carreteras. Se pavimentaron muchas de las principales rutas para facilitar el transporte de mercancías y personas.

La construcción de carreteras se intensificó durante la segunda mitad del siglo, con el objetivo de mejorar la conectividad y estimular el crecimiento económico.

En las últimas décadas, se han construido autopistas y carreteras de cuatro carriles para mejorar la eficiencia del transporte y reducir los tiempos de viaje.

A pesar de los avances, persisten desafíos en términos de mantenimiento, congestión del tráfico y seguridad vial. La gestión eficiente de la red de carreteras sigue siendo una prioridad para el gobierno, y se buscan soluciones sostenibles para abordar estos problemas.

En los últimos años, el distrito de El Paisnal ha impulsado el desarrollo vial en sus cantones, promoviendo la pavimentación de vías de gran importancia para la zona, como el proyecto de la pavimentación del casco urbano municipal y la pavimentación de calles hacia el cantón La Cabaña, entre otros. Sin embargo, en su mayoría las calles aún son de terracería, lo que representa un gran desafío para la administración municipal y el gobierno.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Salvador, se ha generado un crecimiento importante en cuanto a vías y caminos rurales que comunican entre ciudades y pueblos, facilitando con esto el transporte entre las diferentes poblaciones y mejorando aspectos económicos y sociales. El distrito de El Paisnal, ubicado en San Salvador Norte, enfrenta desafíos significativos en cuanto a su infraestructura vial. A pesar de ser un área de importancia económica ya que cuenta con un banco de arena ubicado en la zona, atractivos turísticos como el balneario La Hacienda y además mantener sus costumbres religiosas y centro de recreación familiar. Actualmente está constituido por 12 cantones y 47 caseríos, de los cuales enfocaremos nuestro estudio en el diseño geométrico y estructura de pavimento en el camino de acceso hacía el cantón San Diego.

Los principales problemas que tiene los habitantes del cantón San Diego con el camino de acceso son:

1. Actualmente tiene anchos irregulares que en ciertos tramos solo permite el paso de un vehículo a la vez, lo cual genera un problema tanto para los habitantes, como para los visitantes y proveedores de diferentes productos de carácter comercial.
2. También se puede mencionar que el camino se vuelve intransitable para ciertos vehículos en la época lluviosa, por el estancamiento del agua y el cual produce el ablandamiento del suelo y posterior hundimiento,

formándose fangales, estos problemas se deben a que el camino no tiene pendientes adecuadas en la superficie de rodadura, y los drenajes superficiales prácticamente no existen, por eso en las partes con pendiente o más altas se erosiona la superficie de rodadura y en las partes planas se estanca el agua, también el cantón cuenta con dos riachuelos que afectan el camino sobre todo en época de invierno convirtiéndose en intransitable para los habitantes del lugar.

3. En época seca debido a la gran cantidad de polvo que se levanta afecta a toda la comunidad, todo esto también implica mayor desgaste de los automóviles, así como mayor cantidad de tiempo y combustible para trasladarse.

Un diseño geométrico, hidráulico y estructural se vuelve una necesidad para mejorar las condiciones de la vía y, por ende, la calidad de vida de los usuarios y la comunidad en general, con esto los habitantes de lugar podrán transportar sus productos de comercio, cultivo y ganadería, y de igual forma para transportar los productos de primera necesidad que los habitantes de la comunidad requieren. Este documento también será representado como un manual en donde se describirá los pasos requeridos para el diseño de un camino rural, donde incluirá el levantamiento topográfico, estudio de suelos, diseño geométrico, análisis hidrológico, propuesta de drenajes y pavimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de diseño geométrico, hidráulico y estructural de vía de acceso a cantón San Diego en el distrito de El Paisnal, municipio de San Salvador Norte, departamento de San Salvador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Generar sección transversal adecuada y el alineamiento geométrico horizontal y vertical, tomando en consideración aspectos de diseño internacional, y teniendo en cuenta factores como, seguridad, viabilidad económica y sostenibilidad.

- Obtener datos geotécnicos e hidrológicos para conocer las características del suelo existentes en la vía de acceso por medio de pruebas de laboratorio, así como las estructuras hidráulicas más adecuadas a las condiciones de la topografía del lugar.
- Generar planos del diseño geométrico propuesto de la vía de acceso al cantón San Diego, bajo lineamientos del MOPT.
- Obtener una curva masa y una tabla resumen de movimientos de tierra, donde se detalle cortes y rellenos.

- Proponer la estructura de pavimento que más se adecue a las condiciones del lugar.
- Proponer el diseño del drenaje longitudinal y transversal de la vía de acceso al cantón San Diego.

1.4 ALCANCES

El trabajo de graduación se enfoca en el diseño geométrico y estructural de la calle que conduce al cantón San Diego, ubicado en el distrito de El Paisnal, en el municipio de San Salvador Norte, departamento de San Salvador, se busca asegurar un diseño óptimo y funcional que beneficie a la comunidad y mejore la accesibilidad a esta área.

Los aspectos que se incluyeron en el proceso de mejora son los siguientes:

- Levantamiento topográfico: Se realizará para obtener información detallada sobre el relieve de los puntos de interés en el proyecto. Esto ayudará a entender la topografía del área y a planificar adecuadamente el diseño de la vía.
- Diseño geométrico: Se llevará a cabo para definir las dimensiones de la calzada, así como las curvas y pendientes necesarias para garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular.
- Estudio de suelos: Será realizado con el fin de identificar el tipo de suelo presente en el área y determinar su idoneidad para el proyecto. Además, se evaluará la necesidad de tratamiento del suelo en caso de que sea necesario para la construcción de la vía.
- Análisis hidrológico: Se realizará para identificar el recorrido de las aguas pluviales y diseñar un sistema de drenaje efectivo que evite problemas de inundaciones y erosión en la vía.

- Diseño de pavimento: Se tomarán en consideración criterios de durabilidad y economía para seleccionar el tipo de pavimento más adecuado para el lugar. Esto garantizará una superficie de rodadura resistente y segura para los usuarios de la vía.

1.5 LIMITACIONES

- El uso de un equipo de estación total es una herramienta común en la realización de levantamiento topográfico, y es fundamental para obtener información detallada sobre la topografía de la calle del cantón San Diego. Sin embargo, es importante asegurarse de que el equipo este completamente operativo, lo cual incluye contar con la batería necesaria para su funcionamiento.
- Al asegurarse de que el equipo estación total esté equipado con una batería funcional y de repuesto, se podrá realizar un levantamiento topográfico preciso y completo de la calle del cantón San Diego, proporcionando la información necesaria para el diseño geométrico y estructural de la vía.
- Se requiere una inversión de capital para la realización de ensayos en laboratorio para el diseño geométrico y estructural de la calle del cantón San Diego.
- Obtener una muestra representativa de los materiales del sitio puede ser un desafío debido al tránsito continuo de vehículo de carga pesada.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La iniciativa de diseño y mejora del camino hacia el cantón San Diego representa una necesidad crítica para promover la conectividad y la integración entre los habitantes de esta comunidad y los cantones vecinos. La deteriorada condición de las calles afecta a todas las viviendas de la zona, limitando el acceso peatonal, servicios básicos y obstaculizando el desarrollo económico y agrícola local.

La implementación de mejoras en la infraestructura vial no solo facilitará el desplazamiento de pasajeros y vehículos de carga, reduciendo los costos operativos para la comercialización de productos agrícolas y construcción, sino que también mejorará significativamente la calidad de vida de los residentes al garantizar un acceso más seguro y eficiente a servicios esenciales.

Asimismo, la modernización de la vía generará nuevas oportunidades de crecimiento comercial para el distrito de El Paisnal y sus alrededores, al facilitar el acceso a la población, sector agrícola y minero. Sin embargo, el mantenimiento actual resulta insuficiente para ofrecer un servicio adecuado.

Esta situación, junto con la falta de información técnica sobre la zona de estudio, dificulta la viabilidad de una reconstrucción completa del camino. Considerando la inversión de recursos económicos, técnicos y de maquinaria a corto plazo, es esencial abordar este problema de manera eficiente para garantizar un desarrollo sostenible y beneficioso para el cantón San Diego y las comunidades circundantes que promoverá un crecimiento económico de la región en su conjunto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 DESARROLLO SOCIOECONÓMICO, CULTURAL Y TURISMO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, CANTÓN SAN DIEGO.

2.1.1 Generalidades.

2.1.1.1 Localización geográfica¹.

El distrito de El Paisnal pertenece al municipio de San Salvador Norte. Se ubica a 39 kilómetros de San Salvador, con una extensión territorial de 125.49 kilómetros cuadrados (FOVIAL, 2021). Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 14° 03' 40" LN (extremo septentrional) y 13° 56' 26" LN (extremo meridional); 89° 08' 25" LWG (extremo oriental) y 89° 17' 33" LWG (extremo occidental) (CNR)., altitud promedio 300 msnm, es uno de los distritos más grandes del departamento de San Salvador, es este distrito predomina el sector rural, actividad agrícola y ganadera.

Limita al norte con Nueva Concepción (Chalatenango), al este con Suchitoto (Cuscatlán) y Aguilares, al sur con Aguilares y Quezaltepeque (La Libertad) y al oeste con San Pablo Tacachico.

2.1.1.2 Organización política del territorio.

El distrito de El Paisnal Se divide en 12 cantones con sus respectivas comunidades, lotificaciones y colonias las cuales son: El Jicarón, El Matazano, El Tronador, La Cabaña, Las Delicias, Las Ventanas, San Francisco Dos Cerros, Natividad, Potrero Grande, San Antonio Grande, San Rafael y San Diego. La cabecera del municipio es la villa de El Paisnal y además de 3 barrios en el área urbana: Barrio El Centro, El Calvario y San José.



Imagen 2.1 Mapa de división administrativa del distrito del Paisnal

Fuente: Plan Estratégico Participativo (PEP) de El Paisnal.

Según Plan Estratégico Participativo² (diciembre de 2021), según datos de la Unidad de Salud del distrito se tiene que la población de El Paisnal es de 13,210 habitantes, resultando una densidad poblacional de 105 personas por Km². Sin embargo, según censo realizado por la DIGESTIC en el año 2007, la población total del municipio es de 14,551 habitantes.

El distrito se caracteriza por ser de tamaño poblacional pequeño y de Tipología 4, tiene aproximadamente una relación promedio de 41 contribuyentes IVA por cada 10,000 habitantes, siendo clasificado como de nivel intermedio-bajo y con un índice de 41 necesidades básicas insatisfechas (INBI). En esta Tipología, se agrupan un total de 91 distritos, equivalentes al 34.73% del total de 262 distritos del país.

De acuerdo con proyecciones de DIGESTYC, se estima que la tasa de población en promedio para el año 2024 será de 140 habitantes por kilómetro cuadrado. Se infiere que una de las principales causas del fenómeno a futuro, será una respuesta de la población a la falta de oportunidades laborales en su lugar de origen y que en busca de mejores expectativas de vida decidirán emigrar, ya sea hacia otras partes del país o fuera de este; otra causa posible será la disminución de la fecundidad debido a programas de control de natalidad impulsados por el Ministerio de Salud.

2.1.1.3 Desarrollo Socioeconómico.

El distrito de El Paisnal presenta un índice de desarrollo humano 0.669 según la clasificación del PNUD en 2011.

El Paisnal se encuentra en tercer lugar con el índice de Pobreza humana IPH¹ más alta, con 16.8, de El Salvador. El Paisnal presenta una pobreza total² de 48.9 %, del departamento de San Salvador el porcentaje de población por debajo de la línea nacional de pobreza extrema del distrito de El Paisnal es de 23.0% y de pobreza relativa es de 25.9 %.

Para aproximarse a la realidad urbana y rural del municipio, se analizó el déficit habitacional a partir de las características físicas de las viviendas y servicios básicos existentes en cada unidad familiar en lo referente a techo, pared, piso, alumbrado, agua y servicio sanitario. Se reporta un déficit habitacional urbano (15.3%) y el rural (63.45%).

La Población sin acceso a agua por cañería es de 0.37%. Con relación a la población sin acceso a electricidad es de 0.22% en el municipio. Se reportaban un total de 4,766 hogares en el municipio, 274 en el área urbana y el resto en el área rural con un promedio de 4.63 personas por hogar. En el diagnóstico de salud del municipio de El Paisnal año 2021, elaborado por el equipo técnico local de la Unidad Comunitaria de Salud Familiar Intermedia del mismo municipio, se

identificaron los siguientes asentamientos humanos en condición de vulnerabilidad y alto riesgo, detallados en la Tabla 2.1.

Comunidad	Tipo de riesgo
San Francisco dos Cerros	Desbordamiento del río Lempa
Valle Nuevo San Rafael	Desbordamiento del río Lempa
Garcitas	Desbordamiento del río Lempa y río Acelhuate, delincuencia
Potrero Grande	Desbordamiento del río Lempa y río Acelhuate
El Tule	Desbordamiento del río Lempa y río Acelhuate, delincuencia
La Joya	Inundación
La Cabaña	Delincuencia
Las Delicias	Delincuencia

Tabla 2.1 Asentamientos humanos de alto riesgo en el municipio de El Paisnal

Fuente: PEP con base a la información proporcionada por MINSAL-OIR

A partir de la información anterior, se puede observar que el tipo de exposición de los asentamientos a las amenazas que son de tipo socio antrópicas y ambientales.

Por otro lado, el municipio cuenta con una infraestructura básica en instituciones públicas, comunitarias/sociales y servicios públicos, en los que se mencionan las siguientes: Unidades de salud, de seguridad y justicia, educación, político administrativo, cultural y comunitaria que brindan servicios y atención a la población de El Paisnal.

Las carreteras principales departamentales que conectan con el municipio son seis, tres de ellas con superficies de concreto y/o asfalto, y tres con superficies

de tierra. Estas carreteras principales se dividen en trece tramos que atraviesan el municipio que pertenecen a la conectividad vial del departamento de San Salvador. En cuanto a la condición de los tramos, en su mayoría presentan una situación regular y dos en mal estado.

	Código	Tramo	Km. Inicio	Km. Final	Long. (Km.)	Categoría Funcional	Superficie	Estado de Condición
Vías Pavimentadas	CA04N	San Salvador (Dv. Diagonal Cipactly) - Apopa (Dv. RN07W)	3.00	12.90	9.90	Especial	Concreto	Regular
		Apopa (Dv. RN07W) - Dv. Tonacatepeque	12.90	13.90	1.00	Especial	Asfalto	Regular
		Apopa (Dv. RN07W) - Dv. Tonacatepeque	13.90	17.04	3.14	Secundaria	Asfalto	Regular
		Dv. Tonacatepeque - Guazapa	17.04	24.60	7.56	Secundaria	Asfalto	Regular
		Guazapa - Aguilares (Dv. El Paisnal)	24.60	34.17	9.57	Secundaria	Asfalto	Regular
		Aguilares (Dv. El Paisnal) - LD. Chalatenango (Entrada puente Colima)	34.17	47.35	13.18	Secundaria	Asfalto	Regular
		LD. La Libertad (Puente Río Sucio) - El Paisnal	8.35	14.99	6.64	Terciaria Modificada	Asfalto	Mala
	SAL29E	El Paisnal - CA04N	14.99	20.04	5.05	Terciaria Modificada	Asfalto	Mala
		CA04N - La Cabaña (Tramo Pavimentado)	00.00	3.23	3.23	Rural Modificada	Asfalto	Regular
	Vías no Pavimentadas	SAL31S	SAL32W - Aguilares	0.00	6.44	6.44	Terciaria	Tierra	Regular
SAL32W		La Cabaña - San Antonio Grande - Dos Cerros (Tramo No Pavimentado)	3.15	15.07	11.92	Rural	Tierra	Regular
		LD. La Libertad (LIB45N) - Caserío El Tronador - SAL29E	1.42	5.10	3.68	Rural	Tierra	Regular
SAL55N		SAL29E - Cantón El Jicarón (Com. Padre Rutilio Grande) - SAL32W (Cantón San Antonio Grande)	5.10	14.50	9.40	Rural	Tierra	Regular

Tabla 2.2 Red vial en el municipio de El Paisnal, San Salvador

Fuente: elaboración con base a la información proporcionada por la Unidad de Acceso a la Información Pública del Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

La exposición a amenazas naturales se relaciona con los siguientes factores: debido a la altimetría de la zona, la carretera se encuentra expuesta a deslizamientos de tierra, deslaves, caída de árboles y taludes sobre la misma;

por lo que se tiene un monitoreo constante de la vía principalmente en la época lluviosa.

La Alcaldía de El Paisnal, reportó 12 estructuras viales que conectan internamente a cantones y caseríos, estas se encuentran detalladas en la Tabla 2.3.

Punto de partida	Lugar	Distancia	Material de las vías
Área Urbana:	Cantón San Rafael	10.08 Kilómetros	Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón Potrero Grande	12.34 Kilómetros	Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón San Diego	9.19 Kilómetros	Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón La Cabaña	7.77 Kilómetros	Asfalto, Concreto hidráulico y Tierra
Área Urbana:	Cantón El Matazano	6.30 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón San Antonio Grande	13.49 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón San Francisco Dos Cerros	18.91 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón Las Delicias	2.21 Kilómetros	Asfalto
Área Urbana:	Cantón Las Ventanas	2.04 Kilómetros	Adoquinado
Área Urbana:	Cantón El Jicarón	6.80 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón Natividad	10.73 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra
Área Urbana:	Cantón El Tronador	5.49 Kilómetros	Adoquinado, Asfalto y Tierra

Tabla 2.3 Conectividad vial interna del municipio, distancia de la cabecera municipal de El Paisnal a cada cantón.

Fuente: Elaborado con base a la información proporcionada por la Unidad de Acceso a la Información Pública de la Alcaldía de El Paisnal.

El Paisnal cuenta con 8 pozos y 10 nacimientos que son utilizados como fuente de abastecimiento, la administración es totalmente municipal y es cobrado a través de taza municipal. Según la información proporcionada por la UAIP- Alcaldía de El Paisnal se brinda actualmente el servicio de agua suministrado de manera municipal a un total de 4,766 viviendas.

Respecto al suministro y distribución de agua potable a empresas privadas, agroindustrias etc. La UAIP-Alcaldía de El Paisnal manifestó que la Municipalidad de El Paisnal, de acuerdo con la Ordenanza de Administración de Sistema de agua Potable de la Alcaldía Municipal de El Paisnal, diario Oficial tomo nº392 número 176 de fecha 22 de septiembre de 2011, en artículo N°15 dice: El Servicio de Agua está establecido para uso doméstico. - por lo tanto, en la base de Contribuyentes del servicio de agua potable no tenemos ninguna empresa industrial pagando el vital líquido (UAIP-Alcaldía El Paisnal, 2021).

Según la información proporcionada por la Unidad de Acceso a la información Pública de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones SIGET, en lo referente a usuarios finales con servicio de energía eléctrica brindados por CAESS fue de 5,015 personas y DELSUR a 65 clientes, reportando un total final de 5,080 usuarios durante el año 2020 (UAIP-SIGET, 2021).

Sin embargo, Sobre la cobertura de los servicios de alumbrado público municipal es de 4,673 viviendas.

En cuanto al manejo de desechos sólidos se basa en la recolección de desechos, la municipalidad brinda cobertura total a 4,680 viviendas en el sistema de recolección de desechos sólidos del municipio, no cuenta con botadero, ni planta de reciclaje; los desechos se trasladan a MIDES. Se cuenta con 9 recolectores contratados los cuales atienden 6 zonas en el municipio (UAIP-Alcaldía El Paisnal, 2021).

El Paisnal tiene 20 centros escolares, 2 en el área urbana y 18 en áreas rurales.

Se encuentran cinco establecimientos de salud públicos disponibles en el municipio, de dos de ellos se tiene la información siguiente: la Clínica empresarial La Cabaña del Instituto Salvadoreño del Seguro Social ISSS, está ubicada en el cantón La Cabaña, frente al ingenio azucarero La Cabaña, ésta brinda servicios médicos exclusivos a trabajadores/as del ingenio afiliados al ISSS. Además, se identificó la clínica municipal El Paisnal que actualmente está sin funcionamiento.

La PNC es la primera ventana de entrada para la atención a la población y a las mujeres cuando ocurren hechos de violencia; por tanto, es indispensable conocer en materia de prevención de la violencia y la violencia contra la mujer los programas que se ejecutan en El Paisnal, desde las competencias de esta institución pública. Mediante respuesta de la UAIP-PNC, se conoce que la PNC del municipio tiene un Plan Operativo Anual (POA) donde establecen las políticas de acción de prevención contra la violencia general y la violencia contra la mujer efectuando charlas y capacitaciones en escuelas y comunidades, así mismo está Drugs Abuse Resistance Education D.A.R. Eiii y el Plan Control Territorial.

El patrimonio cultural e histórico del municipio tiene tres áreas principales, la primera por medio de la memoria histórica al mártir Padre Rutilio Grande que se rescata en el monumento las Tres cruces en el cantón Los Mangos del municipio de Aguilares. Finalmente se conocen dos áreas naturales protegidas: Piedras tontas (cantón El Matazano) y San Francisco Dos Cerros (cantón San Francisco

dos Cerros) y el parque ecológico ubicado en calle al cementerio, a un costado de la Unidad de Salud, frente a la cancha de fútbol en el barrio San José, del área urbana.

En cuanto a la Población Económicamente Activa (PEA) se reportaba un total de 4,709 personas, desagregadas por sexo; 3,184 hombres y 1,525 mujeres (DIGESTYC D. G., VI Censo Población y V Vivienda, 2008). De estas últimas cifras de la PEA, 4,364 personas se encuentran ocupados. Se observan personas ocupadas por sexo se tiene que 2,987 hombres y 1,377 mujeres ocupadas (DIGESTYC D. G., VI Censo Población y V Vivienda, 2008). En cuanto a las personas desocupadas los datos del último censo demuestran que solo habían 345 personas desagregados son 197 hombres y 148 mujeres. En El Paisnal, un total de 2,732 personas reciben un ingreso proveniente del exterior, generando ingresos mensuales por \$89,926.2 dólares en remesas.

La producción local está basada en una producción agropecuaria, los productos agrícolas más cultivados en el municipio son: cereales, caña de azúcar, sandía, yuca, ajonjolí, maicillo y cacahuete. En el rubro pecuario existe la crianza de ganado vacuno y porcino; así como granjas avícolas y pesca artesanal (CNR).

La principal industria del municipio lo constituye la elaboración de productos derivados de la caña de azúcar, como la panela, melaza, azúcar y otros; también tienen las fábricas de productos lácteos, artículos de alfarería y productos orgánicos. En el comercio local existen tiendas, abarroterías, cantinas, pulperías

y otros pequeños negocios. Ventajas comparativas y competitivas del municipio entendiéndose por *ventaja comparativa local*, como aquellas que por naturaleza posee un territorio determinado en comparación de otros, las principales ventajas comparativas con las que cuenta el municipio son:

- Su ubicación geográfica, específicamente los 5 kilómetros de la carretera Troncal del Norte que pertenecen al municipio.
- La cuenca hidrográfica media del río Lempa, en la zona que bordea el territorio del municipio.
- Variados recursos: histórico/culturales, naturales y agrícolas, que en algún momento podrían convertirse en atractivos turísticos (Consultora: C. REGCAM, 2014).

Retomando el punto anterior, el municipio tiene potencial turístico por medio del rescate de la memoria histórica y la promoción del ecoturismo en los parques ecológicos que administra la municipalidad, además cuenta con un turicentro que puede significar una fuente de ingresos municipales.

2.2 DIAGNOSTICO DE LOS HABITANTES Y DEL CAMINO HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO.

2.2.1 Diagnóstico ambiental y socioeconómico

El cantón San Diego tiene una extensión territorial de 8.44 km² y se compone de dos caseríos: Cooperativa El Pital y Parcelación La Fe.

En la comunidad de San Diego, residen aproximadamente 800 habitantes. Los servicios básicos disponibles son el agua potable, energía eléctrica; alumbrado público a lo largo de la vía. La educación se imparte hasta nivel básico y la comunidad no tiene unidad de salud, esto provoca que cuando los habitantes se enferman tengan que trasladarse para ser atendidos, lo cual resulta difícil debido a que el transporte colectivo no circula, y la mayoría no disponen de un vehículo propio, lo que hace que busquen un vehículo particular para transportarse y poder ser atendidos.

El promedio del grupo familiar es de 3 integrantes por hogar, el ingreso promedio es de \$450.00 por grupo familiar. La mayoría de habitantes jóvenes son personas que trabajan fuera de la comunidad, mientras que los adultos mayores se dedican a la agricultura y ganadería.

En su mayoría las viviendas cuentan con letrinas aboneras; sólo una pequeña parte cuenta con letrina tipo lavable, las cuales se construyeron sin una

supervisión ni un estudio que verifique el nivel freático, lo que genera contaminación de los cuerpos de agua cuando están superficiales. Todo esto es debido a que no se cuenta con instalaciones de evacuación ni un sistema de tratamiento de aguas negras y grises.

Las calles de la comunidad, en su mayoría de terracería, lo que ocasiona enfermedades respiratorias en verano y en invierno criaderos de zancudos por el agua estancada y dificultad para los peatones.

Para ingresar a la comunidad se cuenta con un único acceso, el cual constituye la entrada y salida principal. Un beneficio importante es el turismo que se genera a raíz del centro turístico La Hacienda, que hace atractiva la comunidad.

2.2.2 Diagnóstico del camino

- Ubicación del camino

El punto de acceso en estudio se encuentra ubicado sobre la carretera troncal del norte; un desvío sobre esta carretera en el kilómetro 39 desde la carretera que conduce de Aguilares a Tejuela, en dirección sur a norte, a la altura de turicentro La Hacienda.

- Morfología

La región alrededor del cantón San Diego es una zona de cultivo de caña de azúcar, maíz y ganadería. Se encuentra en la cuenca del río Acelhuate que está situado al este, al Suroeste se encuentra las ruinas de Cihuatan.

- Ambiente geológico general

La zona en la que se encuentra el camino a estudiar posee una topografía plana, con suelos variados entre los cuales tenemos metasedimentos y conglomerados. Entre los materiales más representativos en la zona tenemos arena, arcillas, conglomerado, materia orgánica y vegetación. El ambiente es húmedo, donde se encuentra abundante flora y fauna; debido a que cerca del cantón se encuentra una zona protegida que permite una gran cantidad de fauna exótica. Las tierras son ricas en minerales, lo que las hace aptas para el cultivo agrícola, la minería y agroindustria.

- Geología de la zona o geotecnia

La región es un pequeño valle con poco relieve a su alrededor y a la orilla del río Acelhuate; zona de acumulación de elementos sedimentarios y con un suelo aglomerado con una gran cantidad a su alrededor.

Genéticamente rocas ígneas de varios tipos andesíticas y basálticas; esto explica las masas ígneas acumuladas al borde del río Acelhuate y sus alrededores; aglomeración de rocosidades con diámetros de unos cinco centímetros y matriz fina de limos poco compactos (muy duros); actualmente, hay una mina de arena de 22,000 metros cuadrados que está en explotación, propiedad de la cooperativa local, que vende y acarrea el material más grueso para extenderlo a lo largo de tramos de camino hacia Cantón San Diego para aliviar los baches en la vía.

- Sección transversal.

El derecho de vía en el inicio del camino es de 14 m. Ancho de la huella de rodadura 6 m. Ancho para desagüe en el lado izquierdo y derecho hacia el este es de 1.30 m.

El terreno natural a lado izquierdo tiene 1.5 m. de hombro y colinda con la zona verde de la comunidad, al lado derecho se encuentra una vivienda. El tramo desde el acceso a la calle, es de terracería. Pendiente Longitudinal decreciente predominante sobre primer tramo.

$$\text{Pendiente \%} = m = \frac{y}{x} = \frac{1.2}{10}$$

$$\text{Pendiente \%} = 12\%$$

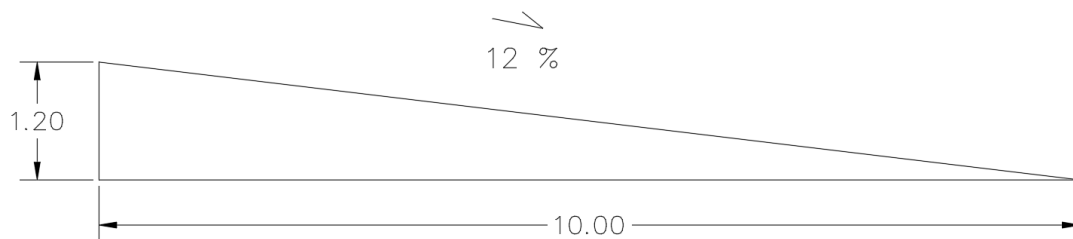


Imagen 2: 2 Sección longitudinal de primer tramo en vía de acceso

Fuente: Elaboración propia en base a visita de campo

La pendiente de este tramo es parcialmente pronunciada y cuando la lluvia cae ocasiona que esta circule por las canaletas, cuando la lluvia es moderadamente fuerte debido a su elevación sirve de canaleta de las zonas aledañas.

Este tramo posee una geometría complicada debido a que desde el inicio se pueden presentar irregularidades de ancho en la vía, teniendo pequeños tramos donde se vuelve más ancho o angosto. En este tramo tenemos una pequeña curva con un radio aproximado de 500 m. antes de llegar a la quebrada La Pita.

El lugar tiene una vegetación de tamaño medio con diversidad de árboles, en su mayoría son árboles de conacaste y ceibo, protegidos por las leyes ambientales y la comunidad.

La descripción del camino solamente se ha hecho de una forma visual, se toman 1.5 Km aproximadamente en un solo tramo conectado por un puente que cruza la quebrada La Pita, con dimensiones de 4 m de ancho y 5 m de largo, las pendientes en este punto de 3° a 7° de inclinación; ancho de sección muy variable, superficie de rodadura de tramos pavimentados y de terracería; baches generados por la erosión del agua, lo cual ha provocado que los cursos de agua invadan el camino; canales drenados de forma natural; esto es un problema al tránsito de los vehículos, durante el invierno principalmente.

El tipo de suelo es variable, pequeños guijarros con arcilla y suelo arenoso suelto, generando hundimiento en la superficie de rodadura a lo largo del camino.

2.3 ESTUDIO PARA LA PROPUESTA TÉCNICA DEL CAMINO HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO

2.3.1 Topografía del camino

Es el estudio y la medición detallada de la superficie y las características del terreno por donde pasa dicho camino. Este proceso implica la recolección de datos sobre la elevación, pendientes, curvas, obstáculos naturales y artificiales, las extensiones de terrenos adyacentes al trazo del camino en estudio dentro de los límites del derecho de vía y el tramo del camino que incluye un proyecto tomando los datos para su representación gráfica en un plano a escala, sus formas y accidentes. Basados en ángulos, distancias horizontales y verticales; posición entre puntos y de objetos sobre la superficie terrestre; también, se establecen puntos por medio de ángulos y distancias previamente determinados (Replanteo).

Este conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano, es el levantamiento topográfico o levantamiento de datos topográficos.

A gran escala, los levantamientos catastrales regionales, locales o muy específicos en ciudades, zonas urbanas y municipios, se hacen para fijar linderos o estudiar las obras urbanas; el objetivo de hacerlos es la obtención de los datos,

distribución con ángulos y distancias con los que se hacen las localizaciones necesarias para definir la posición de los linderos de parcelas y así precisar las superficies. Así mismo en los caminos tenemos, los alineamientos a lo largo y ancho desde donde inician hasta donde estos llegan.

La topografía de la alineación de un camino. En la construcción de caminos es de fundamental importancia que éste tenga una línea regular y lógica en ambos sentidos, longitudinal y transversal. Los aspectos claves para la topografía de la alineación de camino son los siguientes:

- Levantamiento topográfico: Donde se realiza un levantamiento detallado del terreno a lo largo del trazado propuesto del camino. Esto implica la medición de puntos clave, como curvas, intersecciones, puntos de cambio de pendiente, obstáculos naturales y artificiales, entre otros que se puedan encontrar.
- Diseño del trazado: Utilizando la información recopilada durante el levantamiento topográfico, se realiza el diseño del trazado del camino. Esto implica determinar el alineamiento horizontal y vertical del camino. El objetivo es crear un trazado que sea seguro, eficiente y se adapte al terreno de la manera económica.

- **Curvas y peraltes:** Durante el diseño de alineamiento, se tienen en cuenta el diseño de la curva que se presenta en la vía para que tenga una adaptabilidad y proporcione seguridad y comodidad a los usuarios. Se diseñan curvas horizontales y verticales con radios y pendientes adecuadas, y se establecen peraltes para contrarrestar las fuerzas centrífugas en las curvas horizontales y que mantengan el vehículo en la vía.
- **Control de pendientes:** Se controlan las pendientes longitudinales del camino para garantizar una gradiente adecuada que permita un drenaje eficiente de las aguas pluviales y que no genere problemas de seguridad o comodidad para los usuarios.
- **Consideraciones ambientales y de seguridad:** Durante el proceso de diseño de la alineación, se tienen en cuenta las consideraciones ambientales y de seguridad, como la minimización del impacto ambiental, la protección de áreas sensibles, la visibilidad en curvas, protección en curvas y en puente.

2.3.1.1 Técnica de medición topográfica

Estación Total y sus generalidades

El catastro como lo conocemos es básicamente el mismo desde sus inicios, los objetivos para los cuales sirve no han variado en su concepto ni intención, pero si se ha modificado la forma en que se practica, sobre todo en la demanda de nuevas técnicas que provean una mayor calidad, precisión y eficiencia tanto en el trabajo de campo como de gabinete. En lo que concierne al levantamiento de campo urbano el equipo topográfico conocido como Estación Total ha venido destacándose en los últimos años en nuestro país como una de las mejores opciones cuando se pretende atacar esos tres enfoques: calidad, precisión y eficiencia, teniendo como única limitante el costo económico. Sin embargo, hoy en día el catastro es aplicable a tantos propósitos en diversas áreas del desarrollo social y económico en el municipio, si además se implementa un enfoque mancomunado ampliando el escenario el costo se vuelve marginal a cambio de obtener la más fiel representación de la realidad.

La Estación Total surge para reemplazar el instrumento conocido como Teodolito en la Topografía, pero además integra en sí misma otros instrumentos de gran utilidad para medición de distancias y una computadora para los cálculos necesarios con memoria interna para el almacenamiento de datos. Esa versatilidad hizo factible su uso para levantamientos catastrales referenciados con GPS sobre todo en zonas de interés por su potencial desarrollo urbano.

En el estudio de la forma y relieve de la Tierra (Topografía) la ciencia ha ido creando y utilizando instrumentos acordes a sus necesidades, y en la topografía básicamente se miden 2 variables: Ángulos y Distancias (horizontales y verticales). El Teodolito integra una brújula y un compás para mediciones angulares horizontales, más un cálculo matemático (Algoritmo) para medición de distancias de menor precisión. Cuando se requería precisión en las distancias se debía usar una cinta métrica con todas sus limitantes. Para solucionar ese inconveniente surgió el instrumento conocido como Distanciómetro Laser, el cual calcula la distancia midiendo el tiempo que tarda una laser de ida y vuelta al rebotar sobre una superficie. Además, para la medición de Ángulos verticales se utiliza un aparato conocido como Nivel de Precisión. De estos 3 instrumentos se obtienen lecturas que deben anotarse en una libreta de topografía y posteriormente en gabinete, realizar cálculos matemáticos manuales o usando una computadora para obtener una representación gráfica de la medición (Plano topográfico). El avance de la ciencia evolucionó el Teodolito a un Teodolito Electrónico y luego a una Estación Total. Una Estación Total integra 4 equipos en uno solo con el objetivo de facilitar y hacer eficiente los procesos topográficos de campo. Estos aparatos son:

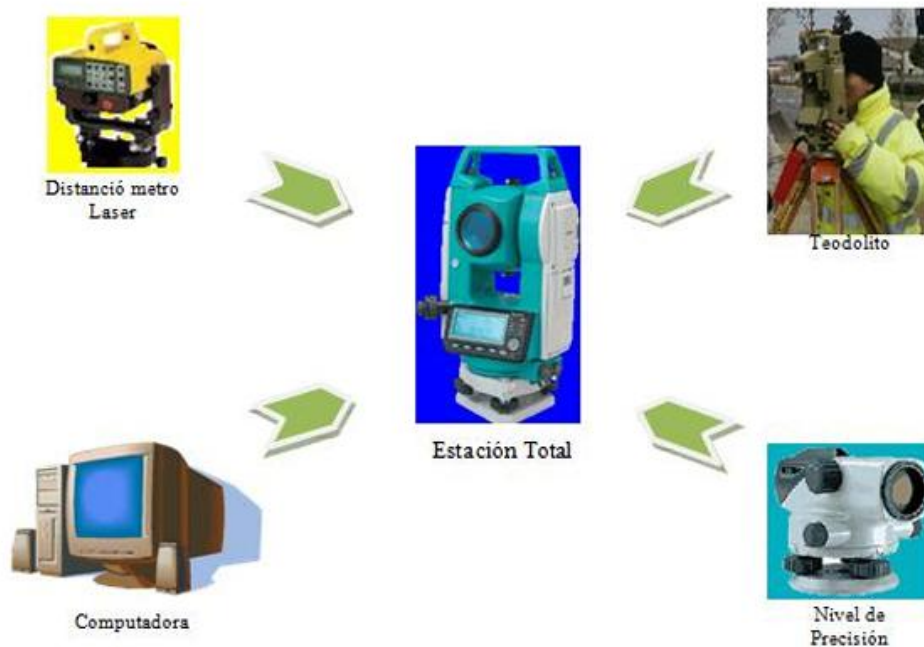


Imagen 2.3 Integración de tecnología en estación total

Fuente: Manual de operación de la estación total M.I Leopoldo Hernández Valencia

Es justo notar que en una medición con Estación Total se obtiene una precisión laser en distancias y una precisión digital en los ángulos, a diferencia del Teodolito y el Nivel que utilizan una precisión óptica para medición de ángulos y distancias. Además, a partir de ambas variables (ángulos y distancias verticales y horizontales) más la ubicación actual la Estación Total calcula y almacena las coordenadas geográficas de cada punto observado (N, E, Z) eliminando la necesidad de realizar cálculos complejos para digitalizar el levantamiento en un software CAD.

Aplicación general

Una Estación Total alcanza su máxima funcionalidad en la Ingeniería de Alta Precisión Topográfica, esto es en la construcción de carreteras, puentes, edificios, redes de tuberías o conductos, represas, etc. En todas estas estructuras la precisión es un requisito indispensable para el funcionamiento óptimo de la obra. En la Ingeniería de la construcción la Estación Total cumple con 2 funciones esenciales:

- Levantamiento: Medición y representación de la realidad física existente en el terreno.
- Replanteo: Trazar sobre el terreno el diseño de una obra ya estudiada y proyectada.

En el tema de Catastro, es factible el uso de una Estación Total en zonas urbanas solamente debido a que el costo económico y el rendimiento se desfasan demasiado en zonas rurales, volviéndose ineficiente su aplicabilidad. Además, es muy probable que en zonas urbanas su uso se vea restringido al levantamiento de los frentes de las propiedades por las limitaciones de visibilidad de los vértices posteriores de los lotes, y lo logra con una precisión inmejorable. En este caso habrá que combinar el método con el uso de la cinta métrica y brújula para la medición de la geometría interna de los predios. De cualquier forma, no se debe olvidar que en catastro la aplicación de la Estación Total cumple una sola función:

- a) Levantamiento: Medición y representación de la realidad física existente en el terreno.

Funcionamiento

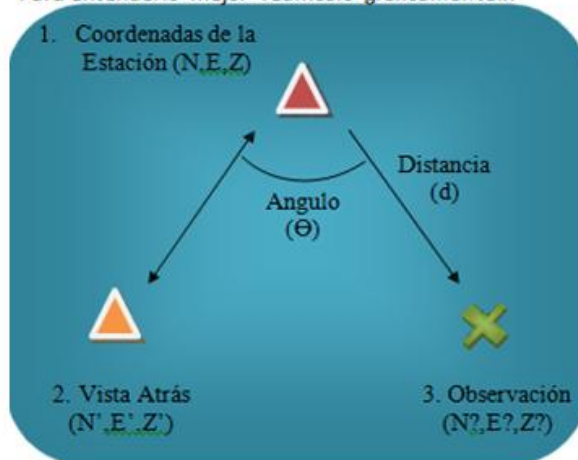
El funcionamiento del aparato se basa en un principio geométrico sencillo y muy difundido entre los técnicos catastrales conocido como Triangulación, que en este caso consiste en determinar la coordenada geográfica de un punto cualquiera a partir de otros dos conocidos. En palabras claras para realizar un levantamiento con Estación Total se ha de partir de 2 puntos con coordenadas conocidas o en su defecto asumidas, y a partir de esa posición se observan y calculan las coordenadas de cualquier otro punto en campo. Se ha difundido universalmente la nomenclatura para estos tres puntos, y es usada por igual en cualquier modelo de Estación Total:

- **Coordenadas de la Estación (Stn Coordinate):** Es la coordenada geográfica del punto sobre el cual se ubica el aparato en campo. A partir del mismo se observarán todos los puntos de interés.
- **Vista Atrás (Back Sight):** Es la coordenada geográfica de un punto visible desde la ubicación del aparato. El nombre tiende a confundir al pensar que este punto se ubica hacia atrás en el sentido que se ejecuta el levantamiento, pero más bien se refiere cualquier punto al que anteriormente se le determinaron sus coordenadas, mediante el mismo aparato o con cualquier otro método aceptable.
- **Observación (Observation):** Es un punto cualquiera visible desde la ubicación del aparato al que se le calcularán las coordenadas geográficas a partir del Stn Coordinate y el Back Sight.

Operacionalmente el proceso sigue también la misma secuencia:

1. Centrado y Nivelación del aparato (Stn Coordinate).
2. Orientación del Levantamiento (Back Sight).
3. Observación (Observation).

Para entenderlo mejor veámoslo gráficamente...



Paso a Paso:

El aparato se ubica en el punto "1" y se orienta hacia el punto "2", ambos con coordenadas conocidas.

El aparato realiza un giro para observar el punto "3" obteniendo un ángulo " Θ " y una distancia "d".

A partir de toda esta información se realiza un cálculo matemático (algoritmo) para obtener las coordenadas del punto "3".

La triangulación no necesariamente debe formar un triángulo perfecto (isósceles) como el de la figura, de hecho la relación podría ser hasta lineal y el principio se aplica por igual.



Imagen 2.4 Explicación gráfica de proceso de observación de puntos con estación total

Fuente: Manual de operación de la estación total M.I Leopoldo Hernández Valencia

2.3.2 ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.3.2.1 Estudio de tránsito para diseño de pavimentos

El diseño de una carretera, o de cualquiera de sus partes, debe basarse en la información real, incluyendo factores relativos al tránsito. El financiamiento, la calidad de las cimentaciones, disponibilidad de materiales, costo del derecho de vía y otros factores, todos tienen importante conexión con el diseño; por otro lado, los volúmenes de tránsito indican la necesidad de mejorar las características geométricas del diseño tales como número de carriles, anchos, alineamientos y pendientes. La información de tránsito sirve para establecer las cargas para el diseño geométrico de la carretera.

Generalmente, los datos de tránsito para un camino o sección de camino están disponibles o pueden obtenerse mediante conteos, ya sean manuales o electrónicos. Los datos colectados por las instituciones estatales o locales incluyen los volúmenes de tránsito por día del año y hora del día, así como también la distribución de los vehículos por tipos y por pesos. Los datos también incluyen información sobre las tendencias, de las cuales el proyectista puede estimar el tránsito que puede esperarse en el futuro.

Volumen

a) Tránsito Promedio Diario Anual.

La unidad general de medida del tránsito sobre una carretera es el volumen del tránsito promedio diario anual (TPDA). El TPDA se define como el volumen total durante un período determinado de tiempo (en

general, días), mayor que un día y menor o igual que un año, dividido por el número de días comprendido en ese período de tiempo. El conocimiento del volumen TPDA es importante para muchos propósitos; por ejemplo, determinación de la utilización anual como justificación para gastos propuestos o para el diseño de los elementos estructurales de una carretera, pero su uso directo en el diseño geométrico de carreteras no es apropiado, excepto para calles y carreteras colectoras con relativamente bajos volúmenes de tránsito, porque no indica la variación en el tránsito que ocurre durante los meses del año, días de la semana y horas del día. La cantidad por la cual el volumen de un día medio es excedido en ciertos días es apreciable y variable. En algunas carreteras, el volumen de algunos días puede ser doble que el TPDA. De este modo, una carretera proyectada para el tránsito en un día promedio podría requerir llevar un volumen mayor que el volumen de diseño durante una considerable parte del año, y durante muchos días el volumen transportado podría ser mayor que el volumen de diseño.

b) Tránsito de hora Pico.

Siendo el TPDA una medida muy genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, se vuelve necesario tomar en cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento de vehículos a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras.

El tránsito de la hora pico recoge la necesidad de referir el diseño no a la hora máxima que se registra en un año ni a la hora promedio sino a una hora intermedia que admita cierto grado de tolerancia a la ocurrencia de demandas horarias extremas que pueden quedar con menores niveles de comodidad para la conducción. Una guía para determinar el tránsito horario más adecuado a usar en el diseño es una curva que muestre la variación de los volúmenes de tránsito horario durante el año.

La Gráfica 2.1 muestra la relación entre los volúmenes horarios más altos y el TPDA en arterias rurales. Esta gráfica fue confeccionada a partir del análisis de datos de conteo de tránsito que cubren un amplio rango de volúmenes y condiciones geográficas. Las curvas de la gráfica fueron preparadas disponiendo todos los volúmenes horarios de un año, expresados como porcentaje del TPDA, en orden descendiente de magnitud. La curva central es el promedio para todas las localizaciones estudiadas y representa una carretera con fluctuación promedio del flujo.

Un examen de estas curvas lleva a la conclusión de que el tránsito horario usado en el diseño debería ser el 30º volumen horario más alto del año, abreviado como 30 VHD. La razonabilidad de 30 VHD como un control de proyecto está indicada por el cambio que resulta de elegir un volumen un poco más alto o bajo. La curva de la Gráfica 2.1 se inclina rápidamente hacia la izquierda del punto que muestra la hora 30ª más alta, indicando volúmenes muchos más altos para la inclusión de solo unas pocas horas más de volúmenes horarios más altos. La curva se

aplana hacia la derecha, indicando muchas horas durante las cuales el volumen no es mucho menor que 30 VHD.

En los caminos rurales con fluctuación promedio en el flujo de tránsito, 30 VHD se aproxima al 15 por ciento del TPDA. Si este volumen es o no demasiado bajo para adecuarse al diseño, puede juzgarse por las 29 horas en el año en que el volumen será excedido.

Esto indica que no resulta práctico ni económico incrementar el diseño al doble, si tal fuere el caso, para reducir las horas de congestionamiento, como tampoco corresponde tolerar un mayor número de horas de congestionamiento para reducir en menor cuantía los requerimientos del diseño.

En carreteras rurales, el valor de la 30 VHD se sitúa normalmente entre el 12 y el 18 por ciento del TPDA, con un término medio bastante representativo del 15 por ciento del TPDA. En carreteras urbanas, este volumen se sitúa entre el 8 y el 12 por ciento del TPDA, siendo válida la práctica de utilizar el 10 por ciento del TPDA como valor de diseño.

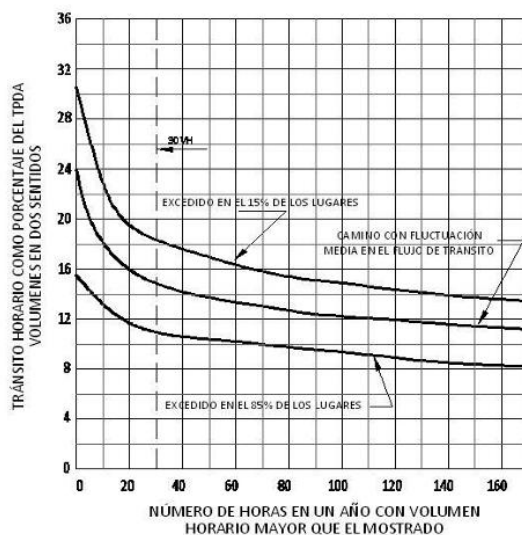


Gráfico 2.1 Relación entre la hora pico y los volúmenes de tránsito promedio diario en arterias rurales.

Fuente: AASHTO, a Policy on Geometric Design f rural Highways and Streets, 2004

Distribución Direccional.

Para carreteras rurales de dos carriles, el valor de VHD es el tránsito total en ambos sentidos de viaje. Sobre carreteras de dos carriles donde se encuentran importantes intersecciones o donde más tarde se proveerán carriles adicionales, el conocimiento del volumen de tránsito horario en cada sentido de viaje es esencial para el diseño.

Para el mismo TPDA, una carretera de carriles múltiples con un alto porcentaje de tránsito en un sentido durante las horas pico, puede requerir más carriles que una carretera que tenga el mismo TPDA, pero con un menor porcentaje de tráfico direccional. Durante las horas de pico sobre la mayoría de las carreteras rurales,

de 55 a 70 por ciento del tránsito es en un sentido, llegando ocasionalmente al 80 por ciento. La distribución direccional del tránsito varía bastante entre dos carreteras de carriles múltiples que lleven igual tránsito; una puede tener una carga de tránsito en un sentido 60 por ciento mayor que la otra durante las horas pico. Por ejemplo, considere un camino rural diseñado para 4,000 vehículos por hora (VPH) para ambos sentidos. Si durante la hora de diseño la distribución por sentidos está igualmente dividida, 2,000 VPH en cada sentido pueden ser adecuados dos carriles en cada sentido. Si el 80 por ciento del VHD es en un sentido, por lo menos tres carriles en cada sentido serán requeridos para los 3,200 VPH; y si el criterio de 1,000 vehículos por carriles es aplicado, serán requeridos cuatro carriles en cada sentido.

Generalmente, la distribución del tránsito por sentidos durante las horas pico es consistente año con año y día a día sobre una carretera rural, excepto sobre algunas carreteras que sirven áreas turísticas. La distribución por sentidos medida para las condiciones actuales puede suponerse para aplicarla al VHD del año futuro, para el cual se diseña la vía, excepto para carreteras urbanas.

La distribución direccional del tránsito sobre vías de carriles múltiples durante la hora de diseño (VHDD) debe determinarse mediante mediciones de campo sobre la vía en consideración o sobre vías paralelas o similares. El VHDD aplicable para usar en carreteras de múltiples carriles puede calcularse mediante la multiplicación del TPMD por el porcentaje de la 30^{a} VHD, que es del TMD, y luego por el porcentaje de tránsito en el sentido predominante durante la hora de

diseño. Así, si el VHD es 15 por ciento del TMD y la distribución por sentidos a esa hora es 60:40, el VHDD es $0.15 \times 0.60 \times \text{TMD}$, o 9 por ciento del TMD. Si el TMD direccional es conocido solo para un sentido, el TMD casi siempre es el doble que el TMD direccional.

Composición del Tránsito.

Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en cuenta que los vehículos pesados como camiones, autobuses y vehículos recreativos tipo vans, pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular; influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante y el diseño geométrico de la carretera y el espesor del pavimento. El efecto total sobre la operación de tránsito de un camión es equivalente a varios vehículos de pasajeros. El número de vehículos de pasajeros equivalentes depende de la pendiente y en carreteras de dos carriles, de la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible. Así, cuanto mayor sea la proporción de camiones en una corriente de tránsito, mayor serán la carga de tránsito y la capacidad requerida.

Por el efecto que tienen en el tránsito, los vehículos pueden agruparse en dos categorías:

1. Vehículos de pasajeros: todos los vehículos de pasajeros, incluyendo paneles, microbuses, pickup y vehículos deportivos/utilitarios.

2. Camiones: todos los buses, camiones de unidad única y combinaciones de camiones, excepto vehículos recreacionales. En esta categoría se sitúan los que tienen 4 toneladas métricas o más de peso y los que tienen llantas dobles en el eje trasero.

En la clase de vehículo de pasajeros, la mayoría de los vehículos tienen características de operaciones similares. En la clase camión, las características de operación varían considerable y particularmente en el tamaño y en la relación peso/potencia. Aunque esta variación puede ser significativa entre dos camiones, el efecto de todos los camiones en una corriente de tránsito puede evaluarse y es similar en la mayoría de las carreteras bajo condiciones comparables. En consecuencia, para el diseño geométrico de una carretera, es esencial tener datos de tránsito respecto de los vehículos de la clase camión. Generalmente, estos datos se expresan, para el mayor tipo de camiones y buses, como un porcentaje de todo el tránsito que se prevé.

Distribución Direccional del Tránsito (D)

La intensidad del tránsito durante la hora pico en una carretera de dos carriles muestra el volumen del tránsito en ambos sentidos de circulación, de ahí que resulte necesario afectarlo por un factor adicional que refleje la desigual distribución a lo largo del día de las corrientes del tránsito en ambas direcciones, que a mayor desbalance hará mayor la necesidad de brindar la capacidad suficiente, por ejemplo, incrementando el número de carriles necesarios. En las horas pico de la mayoría de las carreteras rurales, entre el 55 y el 70 por ciento

del tránsito total se mueve en un solo sentido, por lo que la utilización de un 60 por ciento como factor promedio de distribución direccional parece razonable, a falta de otros elementos de juicio.

En casos extremos como las carreteras a zonas turísticas, se ha llegado a alcanzar hasta un 80 por ciento del total circulando en un solo sentido.

En una carretera de carriles múltiples, es frecuente encontrar que la carga del tránsito en el sentido predominante durante la hora pico alcanza hasta 60 por ciento más vehículos que la corriente de sentido contrario, de ahí la importancia de investigar localmente estos factores al diseñar una carretera o, alternativamente, deducir por inferencia con casos semejantes de la experiencia local, los parámetros a aplicar para la situación más probable.

Al diseñar intersecciones a nivel e intercambios, es necesario cuantificar mediante recuentos volumétricos visuales, de investigaciones de origen y destino o de ambos tipos de estudios de tránsito, los volúmenes de todos los movimientos claves durante la hora de diseño.

Proyección futura de las demandas del Tránsito

Una carretera nueva o la mejora de una carretera existente debe diseñarse para acomodar el tránsito que pueda ocurrir durante el período de diseño, sometida a un mantenimiento razonable.

Es difícil definir el período de diseño de una carretera porque los elementos principales pueden tener diferentes períodos de vida física. Cada segmento está sujeto a variaciones en la estimada expectativa de vida debido a influencias no

fácilmente sujetas al análisis, como la falta de mantenimiento o cambios radicales inesperados en el uso de la tierra, con los resultantes cambios en los volúmenes de tránsito, cargas y demandas.

Se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como base para el diseño. Usualmente, la estimación del tránsito más allá de este período sobre una vía específica no se justifica debido a que no pueden preverse con ningún grado de precisión de los cambios en la economía regional, población y desarrollo de la tierra a lo largo de la carretera. También se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se reduzca dicho período a 10 años.

Para determinar las proyecciones de tránsito de una carretera se utiliza una diversidad de procedimientos, que van desde los más complejos y sofisticados a base de modelos econométricos hasta los que se caracterizan por su extrema simplicidad en el cálculo o dependen solamente del buen juicio y criterio del diseñador. Entre ellos, dos procedimientos son universalmente aceptados, aunque cabe señalar que, a mayor incertidumbre en las estimaciones a futuro, mayor será la conveniencia de complementar los estudios con un análisis de sensibilidad para prever situaciones extremas en las perspectivas a largo plazo. El primero se fundamenta en el análisis de las tendencias históricas del comportamiento del tránsito, conocidas mediante registros de los volúmenes durante un período mínimo de diez años de duración, para desprender de ellas

las hipótesis de crecimiento más probable del tránsito durante los años venideros, en sus diferentes componentes de la corriente vehicular.

El segundo método reconoce que los pronósticos de tránsito guardan estrecha relación con indicadores de las múltiples actividades humanas, cuyos patrones relacionados con la movilidad se consideran invariables en el período de diseño de las obras viales, a menos que se conozcan de antemano factores que pueden influir en su futuro comportamiento.

Bajo este criterio general se busca establecer relaciones razonables de tipo estadístico entre el comportamiento del tránsito (variable dependiente) y el de otros conocidos indicadores socioeconómicos nacionales o locales, que tienen incidencia en el transporte automotor, como los registros de consumo de combustible (gasolina, diésel o ambos) en el transporte, la tenencia de vehículos, el comportamiento del Producto Interno Bruto, el crecimiento de la población económicamente activa, (variables independientes), que permitan obtener proyecciones aceptables acerca de los futuros volúmenes de tránsito por las carreteras.

Velocidad

La velocidad es uno de los factores más importantes para el viajero al seleccionar opciones de itinerarios o de modos de transporte. El atractivo de un sistema de transporte público o de una nueva carretera es evaluado por el viajero en términos de tiempo, conveniencia y dinero ahorrado. Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar en la selección de la ruta

a transitar o la selección de un determinado modo de transporte, ponderándose su importancia en términos de tiempos de recorrido, de costos de viaje, de la combinación de los dos factores anteriores y de la conveniencia de los usuarios. La velocidad de los vehículos sobre un camino o carretera depende, además de la capacidad de los conductores y sus vehículos, de cinco condiciones generales: las características físicas de la carretera, la cantidad de interferencias en los lados de la carretera, las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos y las limitaciones a la velocidad, sean estas establecidas por regulaciones de carácter legales o debidas a dispositivos de control. Aunque cualquiera de ellas puede gobernar la velocidad de viaje, usualmente los efectos de estas condiciones son combinados.

La mayoría de las corrientes de tránsito registran en su comportamiento variaciones de velocidades que se ubican dentro de una distribución estadística normal, esto es, que la mayoría de los valores ocurren dentro de un rango central, con muy pocos valores ubicados en los rangos extremos de arriba y de abajo de la distribución. El diseño, en todo caso, busca satisfacer razonablemente los requerimientos de los usuarios en lo relativo a velocidades, bajo condiciones de seguridad y economía en las operaciones, sin dejarse llevar por incómodos extremos, como sucedería si se pretendiera atender al reducido número de usuarios que reclaman mayores velocidades de lo que se juzga razonable.

a) Velocidad de Operación

La velocidad de operación es la velocidad a la que los conductores son observados operando su vehículo bajo condiciones favorables. El 85 percentil de la distribución de velocidades observadas es la más frecuente medida usada de las velocidades de operación asociadas con una particular localización o característica geométrica.

b) Velocidad de Ruedo

La velocidad a la cual un vehículo viaja en un tramo de una carretera es conocida como la velocidad de ruedo. La velocidad de ruedo es la longitud del tramo de la carretera dividida entre el tiempo requerido para que el vehículo recorra ese tramo. La velocidad de ruedo promedio de todos los vehículos es la más apropiada medida de la velocidad para evaluar el nivel de servicio y costos de los usuarios de la carretera. La velocidad de ruedo promedio es la suma de las distancias recorridas por los vehículos en una sección de la carretera durante un período de tiempo determinado, dividido por la suma de sus tiempos de recorrido.

Una manera de estimar la velocidad de ruedo promedio para una obra existente donde el flujo de tránsito es razonablemente continuo, es medir la velocidad instantánea en una o más localizaciones. El promedio de la velocidad instantánea es el promedio aritmético de la velocidad de todo el tráfico que se ha medido en un punto especificado de la carretera. Para tramos cortos de la carretera, en el cual las velocidades no varían sustancialmente, la velocidad instantánea promedio en una localización

puede considerarse como una aproximación de la velocidad de ruedo promedio. En tramos largos de carreteras rurales, el promedio de la velocidad instantánea medida en varios puntos, donde cada punto represente las características de velocidad del tramo seleccionado de la carretera, puede ser promediado (tomando en cuenta longitudes relativas de los tramos de carretera) para obtener una mejor aproximación de la velocidad de ruedo promedio.

Dependiendo del volumen de tráfico, la velocidad de ruedo promedio en una carretera varía. Por lo tanto, cuando se hace referencia a la velocidad de ruedo, debe indicarse claramente cuando represente las horas pico, horas que estén fuera de las horas pico, o si es un promedio durante el día. Las velocidades de ruedo, durante horas pico o fuera de ellas, son utilizadas en el diseño y en la operación; el promedio de las velocidades de ruedo para un día completo se utiliza en análisis económicos.

El efecto del volumen del tráfico en la velocidad de ruedo promedio puede determinarse usando los procedimientos indicados en el Highway Capacity para autopistas y carreteras de carriles múltiples, existe un amplio margen de volúmenes en los cuales la velocidad no es sensible a estos; este margen se extiende hasta tasas bastante altas. Entonces, como la tasa de volumen por carril indica la capacidad, la velocidad se reduce sustancialmente con el incremento de la tasa de volumen.

Para carreteras de dos carriles, la velocidad se reduce linealmente con el incremento de la tasa de volumen sobre el rango completo de tasas entre cero y la capacidad.

c) Velocidad de Diseño

La velocidad de diseño (también conocida como Velocidad Directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para usar una velocidad de diseño que sea práctica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos.

Una vez seleccionada, todas las características pertinentes de la carretera deben relacionarse con la velocidad de diseño para obtener un diseño equilibrado. Deben usarse valores de diseño arriba de los mínimos donde sea práctico. Algunas características del diseño, tales como curvatura, peralte y distancia de visibilidad, están directamente relacionadas con la velocidad de diseño y varían apreciablemente dentro de ella. Otras características, tales como anchos de carriles y hombros y separaciones a muros o barandas, no están directamente relacionadas con la velocidad

de diseño, pero afectan la velocidad de los vehículos. Por lo tanto, carriles anchos, hombros y distancias laterales grandes deben utilizarse para velocidades altas. Así, cuando se hace un cambio en la velocidad de diseño, en consecuencia, muchos elementos de diseño de la carretera deben cambiar.

La velocidad de diseño elegida debe ser consistente con la velocidad a la que un conductor probablemente conduzca con comodidad en la carretera construida. Donde una condición dificultosa es obvia, los conductores son más audientes en aceptar menores velocidades de operación que donde no hay razón aparente para ello. Una carretera de alta clasificación funcional puede justificar una velocidad de diseño más alta que una vía menos importante en condiciones de topografía similares, particularmente donde los ahorros en la operación del vehículo y otros costos de operación son suficientes para compensar el incremento en los costos de derecho de vía y construcción. Sin embargo, no debe seleccionarse una velocidad de diseño baja donde la topografía es tal que probablemente los conductores viajen a velocidades altas. Los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia de la carretera sino a su percepción de las limitaciones físicas y, por consiguiente, del tránsito.

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- a. Distribuciones de las velocidades
- b. Tendencias de las velocidades.
- c. Tipo de área • Rural • Urbana
- d. Condiciones del terreno plano • Ondulado • Montañoso
- e. Volúmenes de tránsito
- f. Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias.
- g. Condiciones ambientales.

Es deseable que la velocidad de ruedo para un porcentaje alto de conductores sea menor que la velocidad de diseño. Las experiencias indican que la desviación de este objetivo deseado es más evidente y problemática en las curvas horizontales agudas (radios de curva reducidos). En especial, curvas diseñadas con bajas velocidades (relativas a lo que espera el conductor) son frecuentemente sobrepasadas y tienden a producir riesgos en la seguridad. Por lo tanto, es importante que la velocidad de diseño utilizada para el diseño de curvas horizontales sea conservadora respecto a la velocidad esperada en la obra construida.

En autopistas y carreteras arteriales principales, en áreas rurales, debe seleccionarse una velocidad de diseño de 110 KPH. En carreteras colectoras de carriles múltiples, en áreas suburbanas y rurales, las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH y el rango de velocidades de 20 a 60 KPH puede utilizarse en carreteras vecinales.

En las calles arteriales, el límite de la velocidad durante varias horas del día está regulado por la presencia de grandes volúmenes de vehículos y por dispositivos de control de tráfico más que por las características físicas de la calle. En tales casos, la selección de la velocidad de diseño es menos crítica para operaciones eficientes y seguras.

Durante períodos de bajo a moderado volumen de tránsito, las velocidades en calles arteriales están gobernadas por otros factores como señales de velocidad límite, giros a mitad de cuadra y salida de calles o bocacalles, retornos, espaciamiento de los semáforos y tiempo de señal para avance. Cuando se planean mejoras de la calle arterial, la velocidad de diseño debe considerarse con factores tales como límites de velocidad, restricciones físicas y económicas y las probables velocidades de ruedo que pueden obtenerse durante las horas pico. Todos esos factores pueden influir en la selección de la velocidad de diseño apropiada.

Generalmente, el alineamiento horizontal de las calles arteriales no es el factor fundamental para restringir las velocidades. Las mejoras propuestas generalmente están adecuadas al patrón de calles existentes y, comúnmente, los cambios menores al alineamiento horizontal se hacen en las intersecciones.

Donde sea posible, las calles arteriales deben diseñarse y los dispositivos de control regularse para permitir velocidades de marcha de 30 a 75 KPH. Las velocidades más bajas de este rango son aplicables a las calles locales y colectoras a través de las zonas residenciales y a las calles arteriales a través de

las zonas comerciales más concurridas, mientras que las velocidades más altas son las arterias de alta clasificación de las zonas suburbanas alejadas. Para las calles arteriales a través de zonas comerciales más concurridas, generalmente es necesaria la coordinada semaforización para permitir aún las velocidades de 20 a 40 KPH.

Calles arteriales urbanas y carreteras generalmente tienen velocidades de ruedo de 30 a 70 KPH. Entonces, las velocidades de diseño adecuadas para calles y carreteras arteriales deben estar en el rango de 40 a 80 KPH. Como un mínimo deseable, los elementos de una carretera arterial urbana reconstruida deben proyectarse para una velocidad de diseño segura de al menos 50 KPH.

Las velocidades altas en caminos rurales representan un problema de seguridad, por lo que actualmente los proyectistas se concentran en intentos de controlar y reducir la velocidad. Para lograr este objetivo, las velocidades altas son sacrificadas para preservar la seguridad. En este caso, un tratamiento alternativo, especialmente si la carretera presenta volúmenes altos, es proveer instalaciones 2+1, es decir, tres carriles, en donde el carril central sirve como un carril de paso y en el que el derecho de paso se alterna. El uso de este diseño en lugar de la instalación de cuatro carriles aumenta la capacidad y mejora la seguridad.

2.3.3 HIDROLOGIA

Es una ciencia multidisciplinaria que estudia la ocurrencia, circulación y distribución del agua sobre la Tierra. El dominio de la hidrología incluye los

procesos físicos, químicos y las reacciones biológicas del agua en los ambientes naturales y aquellos construidos por el hombre.

Ingeniería hidrológica.

En ingeniería hay proyectos que se refieren al uso de agua y los que se refieren a la defensa contra los daños que ésta ocasiona. La Ingeniería hidrológica, su aplicación usa principios hidrológicos en la solución de problemas de reelección y encausamiento, y los impactos que ésta genera.

Aplicación de la hidrología en la ingeniería civil.

La hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, planeación y la operación de estructuras hidráulicas. Entre estos problemas se pueden mencionar:

- Determinar si el volumen aportado por una cierta corriente es suficiente para:
 - El abastecimiento de agua potable a una población.
 - Satisfacer la demanda de un proyecto.
- Definir la capacidad de diseño de obras tales como:
 - Alcantarillas
 - Puentes
 - Vertedores
 - Sistemas de drenaje

Estos diseños requieren el análisis hidrológico cuantitativo para ejecutar la selección del diseño necesario. El objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de esos diseños.

2.3.3.1 Zonas de humedad del suelo

Existen cuatro zonas de humedad: una zona saturada cerca de la superficie, una zona de transmisión de flujo no saturado y contenido de humedad aproximadamente uniforme, una zona de mojado en la cual la humedad decrece con la profundidad y un frente de mojado en el cual el cambio de contenido de la humedad con la profundidad es tan grande que da la apariencia de una discontinuidad aguda entre el suelo mojado arriba y el suelo seco debajo. Dependiendo de la cantidad de infiltración y de las propiedades físicas del suelo, el frente de mojado puede penetrar en el suelo desde unas pocas pulgadas hasta varios pies.

2.3.3.2 Clases de permeabilidad del suelo

La permeabilidad es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de esta, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. Se usan cm/s y m/día como unidades más habituales (m/día suele utilizarse en hidrogeología con carácter prácticamente general), y cm/s en ingeniería.



Imagen 2.5 Coeficiente de permeabilidad de diferentes tipos de suelos

Fuente: CRUZ ESCOBEDO ENRIQUE. (2017) Tesis de estudio de suelo de Universidad de Alas Peruanas

2.3.3.3 Manejo de aguas lluvias o meteórica

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin; su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa y forma las nubes que, a su vez, pueden ocasionar precipitaciones que caen a tierra. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse, o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes, o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y

otras formas grandes de masa de agua como los lagos. El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo regresa a la atmósfera por transpiración.

La infiltración del agua lluvia y su escurrimiento son problemas del diseño de caminos que se resuelven con obras hidráulicas.

2.3.3.4 Factores que afectan la capacidad de infiltración y determinan el escurrimiento.

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características del terreno (cuencas hidrográficas), y se dividen en dos grandes grupos: los climáticos y los relacionados con la fisiografía.

2.3.3.4.1 Condiciones ambientales y de superficie

- Climáticos

Son aquellos que determinan, de la cantidad de agua precipitada, la destinada al escurrimiento. Entre estos se encuentran la lluvia y otros factores climáticos (temperatura, viento, etc.).

- ✓ Precipitación. Es el elemento climático de más importancia para el escurrimiento, debido a que depende de ella. Varios de los aspectos de este elemento son importantes para el conocimiento del escurrimiento.
 - a) Forma de precipitación. Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no

hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción.

b) Intensidad de la precipitación. Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento.

c) Duración de la precipitación. Entre más dure la precipitación mayor será el escurrimiento, independientemente de su intensidad. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa, puede causar gran escurrimiento superficial, ya que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración.

d) Distribución de la precipitación en el espacio. Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.

e) Dirección del movimiento de la precipitación. La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro lado, si el temporal avanza en sentido

contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

f) Precipitación antecedente y humedad del suelo. Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento.

- ✓ Otras condiciones del clima. Además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues, aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa.

- Fisiográficos

Se relacionan por una parte con la forma y características físicas del terreno y por la otra con los canales que forman el sistema fluvial. Entre los factores fisiográficos se tienen los morfométricos, los físicos y la red de drenaje.

- ✓ Factores morfométricos. Son aquellas particularidades de las formas terrestres que influyen en el agua de la lluvia al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere, por los efectos que produce y por el tiempo que tarda en llegar al punto de desagüe.

a) Superficie. La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se derive el escurrimiento superficial.

- b) Forma. Interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca.
 - c) Pendiente. La pendiente del terreno está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento.
 - d) Orientación. La orientación de la cuenca y la de sus vertientes se relaciona con el tipo de precipitación, los vientos predominantes y la insolación.
 - e) Altitud. Influye principalmente en la temperatura y en la forma de precipitación.
- ✓ Factores físicos. Se refieren a las características físicas del terreno con su estructura y utilización.
- a) Uso y cubierta del suelo. Cuando el terreno es virgen y está cubierto por vegetación, especialmente de bosques, contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes; cuando el terreno está desforestado, el agua corre rápidamente por la superficie.
 - b) Tipo de suelo. Se refiere a la capacidad de infiltración del suelo. Entre más poroso sea y menor contenido de material coloidal posea, tendrá una mayor capacidad de infiltración, lo cual retardará la aparición del escurrimiento superficial.
 - c) Geología. Condiciona el escurrimiento en cuanto a la permeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable, el

sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo.

d) Topografía. A este respecto son importantes las ondulaciones del terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica.

✓ Red de drenaje. Se refiere a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la cuenca. Refleja las condiciones del terreno sobre el que se desarrolla.

a) Densidad hidrográfica. Es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie de esta.

b) Densidad de drenaje. Resulta de dividir la longitud total de las corrientes de agua entre la superficie de la cuenca. Entre mayor sea este índice, más desarrollada estará la red de drenaje. c) Otras características relacionadas con la red de drenaje. Son las que se refieren a la capacidad de almacenamiento de las corrientes y a la capacidad de transporte de estas.

2.3.3.4.2 Características del suelo

- Textura

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen y está relacionada con el tamaño de las partículas de los minerales que lo forman y se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar

la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de las plantas.

- Estructura

La estructura es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

- Permeabilidad

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la piscicultura. Un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. Algunos suelos son tan permeables y la filtración tan intensa que para construir en ellos cualquier tipo de estanque es preciso aplicar técnicas de construcción especiales.

- Porosidad

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos.

Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares.

- Drenaje

El drenaje de un suelo es su mayor o menor rapidez o facilidad para evacuar el agua por escurrimiento superficial y por infiltración profunda.

- Color

El color del suelo depende de sus componentes y puede usarse como una medida indirecta de ciertas propiedades. El color varía con el contenido de humedad. El color rojo indica contenido de óxidos de hierro y manganeso; el amarillo indica óxidos de hierro hidratado; el blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín; y el negro y marrón indican materia orgánica. Cuanto más negro es un suelo, más productivo será, por los beneficios de la materia orgánica.

- Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables. Tal información resulta ser de suma importancia para el crecimiento de las plantas. La mayoría de las últimas pueden penetrar más de un metro, si las condiciones del suelo lo permiten.

- Consistencia

La consistencia: es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto.

Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y mojado.

2.3.2.5 Escurrimiento superficial de aguas lluvias

Cuando la precipitación cae sobre la superficie de la tierra, se distribuye de diferentes maneras; inicialmente la precipitación comienza a rellenar las depresiones del suelo, infiltrarse para recargar la humedad del suelo y agua subterránea, o viajar como flujo subsuperficial hasta alcanzar una corriente de agua. El almacenamiento en las depresiones se satisface en los periodos iniciales de la tormenta, seguido a continuación por la capacidad de humedad del suelo. Eventualmente comienza el flujo superficial o escorrentía, el cual ocurre

solamente después que la intensidad de la precipitación i sobrepase la capacidad de infiltración f ($i > f$).

2.3.2.6 Estimación de caudales

Las obras de drenaje en una carretera abarcan desde pequeñas alcantarillas y cunetas longitudinales hasta obras de drenaje menor y puentes de gran costo o drenaje mayor. Cada una de estas obras requiere de algún tipo de análisis hidrológico cuya extensión y alcance dependerá de la importancia de la obra. Algunos de los procedimientos empleados en la estimación de caudales se presentan a continuación.

2.3.2.6.1 Análisis del punto de interés

Las observaciones y registros de terreno se hacen mediciones de caudal en una estación pluviométrica, medidas de marcas de agua de crecidas importantes, geometría, pendiente y estimación de rugosidad de los cursos de agua; y análisis del comportamiento de obras existentes. Una vez se disponga registros de agua de crecidas, se construyen curvas de frecuencia de crecidas; lo cual se puede abordar por medio de un ajuste gráfico de los puntos observados. La información que se usa para este análisis de frecuencia está constituida por la crecida máxima diaria observada en cada uno de los años de registro. Denominándose a la 65 muestra en este caso, serie anual. Para utilizar este análisis de frecuencia es deseable contar con un mínimo de 20 años de registros. En situaciones de

registros más cortos se recurre al uso de las llamadas series parciales, las cuales se forman seleccionando todas las crecidas mayores que un cierto límite fijado arbitrariamente. Los resultados utilizando series anuales o parciales son prácticamente coincidentes para períodos de retorno mayores que 10 años.

2.3.6.2 Método empírico

Se emplea una ecuación sencilla para la estimación del caudal máximo en m^3/s , en la que se relaciona la lluvia con un periodo de retorno de 10 años, P_{10} , el periodo de retorno Tr y el área de la cuenca A en km^2 :

$$Q = 0.06 \cdot P_{10} \cdot Lo(Tr) \cdot A^{0.75}$$

Dónde:

Q = caudal en m^3 /seg .

P = periodo de retorno de 10 años.

A = área aportante en km^2 .

Tr = periodo de retorno

Los métodos empíricos sólo sirven para dar una idea sobre el orden de magnitud de los caudales máximos y por ello son recomendados para las obras menores o para sitios en donde la información es muy escasa.

2.3.2.6.3 Ajuste gráfico

El método de obtención de la curva de frecuencia de crecidas mediante un ajuste gráfico es un procedimiento sencillo. El procedimiento consiste en ordenar los

datos de las crecidas seleccionadas en orden decreciente en magnitud y asociar a cada crecida un periodo de retorno. Luego se grafican los valores de las crecidas versus periodos de retorno calculados, en un gráfico de probabilidades.

2.3.2.6.4 Análisis regional de crecidas

A menudo la información registrada es escasa, de forma que no es posible aplicar el procedimiento de análisis de frecuencia descrito. En estos casos, combinando estadísticamente información registrada en varias estaciones es posible obtener una curva de frecuencia de crecidas que sea aplicable en toda una región. Así se logra determinar la magnitud de la crecida asociada a un período de retorno dado para un lugar sin registros. Este Procedimiento, permite disminuir los errores de muestreo que pueden ocurrir en los registros individuales, dar a la información un alcance regional y realizar estudios de frecuencia en lugares sin observaciones.

2.3.2.6.5 Hidrogramas unitarios sintéticos

Otros procedimientos para estimar los caudales máximos, suponiendo conocida una lluvia efectiva de diseño son los basados en el hidrograma unitario, los cuales son aplicables a cuencas con superficies menores de 5.000 km² y con escurrimientos permanentes. El hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma resultante de una lluvia efectiva unitaria (1 cm), de intensidad constante, distribución espacial homogénea y de una duración determinada.

El hidrograma unitario calculado a partir de la precipitación y los caudales registrados en una cuenca se aplica exclusivamente a dicha cuenca y al punto o lugar del cauce donde se han medido dichos caudales. Los hidrogramas unitarios sintéticos, sin embargo, se utilizan para calcular hidrogramas unitarios en otros puntos del cauce dentro de la misma cuenca, o bien, en cuencas adyacentes de características similares. Existen tres tipos de hidrogramas unitarios sintéticos:

- Los que relacionan las características del hidrograma unitario con las características de la cuenca: Snyder.
- Los basados en hidrogramas unitarios adimensionales: Soil Conservation Service (SCS).
- Los basados en modelos de almacenamiento y tránsito de la cuenca: Clark.

2.3.2.7 Análisis hidrológico

Los criterios hidrológicos son los que permiten determinar las metodologías más adecuadas según la información disponible, el objeto del estudio y los resultados esperados.

- Período de retorno.

El período de retorno, entendido como un porcentaje de los años de ocurrencia de un evento extremo. Por lo que si un suceso extraordinario se presenta (por término medio) cada T_r años, su probabilidad es el inverso.

Análoga e inversamente, si la probabilidad de que algo suceda es de $x\%$, quiere decir que, en promedio, sucederá x veces en 100 años.

- Caracterización morfométrica y fisiográfica.

Dada la relevancia de la topografía y las geoformas en la respuesta hidrológica y en el estudio del comportamiento del agua en la cuenca, todo estudio hidrológico requiere de una caracterización de la cuenca o zona de estudio. Las principales características se extraen a partir de la topografía disponible.

- Área de la cuenca.

Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km^2 . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para obtener mayor confianza en este valor.

- Perímetro.

Se puede considerar como la línea formada por el parteaguas o divisoria de la cuenca de estudio; este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en m o km.

- Longitud de la corriente o cauce principal.

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en la estimación de este parámetro se tienen en cuenta las irregularidades y curvas del cauce y se expresa generalmente en km.

- Pendiente de la corriente principal.

Representa el desarrollo del perfil del cauce principal y se expresa en grados y/o en porcentaje. Esta característica contribuye a definir la velocidad de la escorrentía superficial de la corriente de agua, en donde a mayor pendiente, mayor velocidad del agua. La pendiente de la corriente principal se asocia al régimen hidráulico de la corriente y a su torrencialidad.

- Pendiente media de la cuenca.

Es el índice que representa la pendiente media de las trayectorias, que sigue el agua que escurre por las laderas hacia el río. La pendiente media se da en porcentaje o m/m. Esta característica controla en buena parte la velocidad de la escorrentía superficial y afecta el tiempo que tarda el agua de lluvia en concentrarse en los cauces que hacen parte de la red de drenaje de la cuenca.

- Tiempo de concentración.

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida.

Definido como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa, siendo este el punto de inflexión del hidrograma después del caudal pico.

- Curvas intensidad - duración - frecuencia IDF.

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia son una de las herramientas más importantes para el diseño hidrológico de caudales máximos, especialmente cuando se utilizan fórmulas empíricas y modelos lluvia escorrentía, como los hidrogramas unitarios y el método racional.

Para obtener estas curvas es necesario realizar un análisis estadístico de los registros de las tormentas (pluviogramas), que se obtienen de los pluviógrafos o pluviómetros electrónicos, por lo que se debe disponer de registros que tengan longitudes de mínimo 10 años de registro cada cinco minutos, en donde sea posible identificar las tormentas de diferentes duraciones.

Aunque existen varios tipos de ecuación que sirven de ajuste para la IDF, una de las más utilizadas es la siguiente ecuación.

$$i = k T r^m (c + d)^n$$

Donde k, m, c, n son parámetros por determinar,

i: es la intensidad de la lluvia en mm/h,

d: es la duración de la lluvia en minutos y

Tr: el periodo de retorno en años.

2.3.2.8 Estudio hidrológico en obras menores

Las obras menores corresponden a aquellas obras hidráulicas menores como las alcantarillas típicas (sean de cajón o normales), los canales longitudinales y las cunetas que atienden a los caudales de diseño registrados sobre las laderas perfiladas y las inter-cuencas. Normalmente se corresponde a cuencas o inter-cuencas de áreas pequeñas que generan caudales que son fácilmente evacuados con obras típicas sencillas. El periodo de retorno a seleccionar por el diseñador para este tipo de obras también va a depender del tipo de vía que se encuentre en diseño, de tal forma que valores entre 20 y 50 años son valores que se pueden recomendar.

Inter-cuencas y laderas perfiladas.

Las inter-cuencas son aquellas zonas que no pertenecen al área drenante de una cuenca pero que aportan caudal de escorrentía directamente durante los eventos de lluvia a los corredores viales, igual manera los taludes perfilados aportan agua por escurrimiento desde la parte superior o corona del talud hacia las cunetas del trazado vial.

Para la estimación de estos caudales se recurre a formulaciones empíricas que relacionan el área tributaria con la precipitación y el tipo o uso del suelo existente; el más utilizado y recomendado en la literatura específica es el método racional.

2.3.4 Estudio geotécnico para carreteras y mecánica de suelos para carreteras

Se define el estudio geotécnico como “el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesaria para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de este u otras obras”.

Es decir, el estudio geotécnico consiste en una evaluación técnica que inspecciona el suelo de un emplazamiento propuesto, teniendo en cuenta el tipo de edificación que se va a construir. Su objetivo es establecer y restringir los requisitos de construcción en dicho terreno, determinando cómo puede utilizarse.

Los ingenieros y geólogos también utilizan la investigación geotécnica para prever los posibles problemas en el emplazamiento y establecer medidas y recomendaciones al respecto.

En definitiva, los objetivos del estudio geotécnico son:

- Definir tanto el tipo como las dimensiones de los cimientos y estructuras de contención, para que las diferentes cargas ejercidas por las estructuras o derivadas de los empujes del terreno no generen una situación de inestabilidad que ponga en peligro la construcción.
- Determinar posibles problemas en la construcción, como pueden ser:

- Caracterización del material que tiene que ser excavado, definiendo su tipo y localización, además del tipo de maquinaria requerida para su excavación.
- Problemas que tienen que ver con el agua, como su influencia en la estabilidad de las construcciones, la profundidad del nivel freático o los peligros derivados de posibles filtraciones, arrastres, heladas, etc.

2.3.3.1 Reconocimiento e investigación de campo

El reconocimiento del terreno tiene como finalidad determinar, no sólo las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, con sus perfiles estratigráficos, sino también y muy especialmente las propiedades físicas (mecánicas) y químicas del suelo, necesarias para el cálculo y diseño de la construcción correspondiente, previendo las posibles sollicitaciones que introducirá la obra en las condiciones del terreno.

Se entiende por reconocimiento el conjunto de las tareas de investigación que comprenden:

- La obtención de muestras del subsuelo, con objeto de identificar los suelos o rocas presentes y contar con material para la realización de ensayos de laboratorio, que reproducen a pequeña escala el comportamiento del terreno ante las sollicitaciones inducidas por la construcción.

- Los ensayos realizados «in situ» que, sobre el terreno, permiten obtener (directa o indirectamente) parámetros geotécnicos del mismo, los cuales fundamentan en conjunción con los ensayos de laboratorio, el cálculo geotécnico (parámetros de resistencia al corte, de deformación, de permeabilidad, etc.)

2.3.3.2 Estudio de mecánica de suelos para carreteras

Un estudio de Mecánica de Suelos en obras de carreteras se realiza con la finalidad de determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo, estudiar la factibilidad técnica del alineamiento horizontal y vertical, clasificar los tipos de materiales para corte, conocer la ubicación del nivel freático, localizar y caracterizar los materiales de cantera.

La Mecánica de suelos en obras de carreteras es de suma importancia tanto para la determinación de las características del suelo como para el diseño estructural del pavimento; esto nos conlleva a realizar una buena ejecución en obra y un buen control en la carretera.

2.4 GEOMETRÍA DE LOS CAMINOS Y DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO.

2.4.1 Clasificación de los caminos y definición de parámetros de diseño según el MOP.

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), utiliza una clasificación de carreteras basada en diferentes criterios como el volumen de tráfico, la función principal de la carretera, la velocidad de diseño, entre otros. El Art. 3 define que “Atendiendo a su importancia y características geométricas, las carreteras se subdividen en: Carreteras Especiales.

Son todas aquellas que reúnen características superiores a las primarias. Las carreteras especiales pueden ser parte de rutas estratégicas o corredores de transporte prioritarios, que tienen un impacto significativo en la economía, el comercio, la seguridad nacional, o el desarrollo regional del país, están sujetas a regulaciones y requerimientos adicionales en términos de mantenimiento, seguridad vial, control de acceso, o restricciones de carga. A continuación, se presenta la tabla 2.4 con los criterios de diseño para las carreteras especiales.

CLASIFICACION ESPECIAL			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	90 k/h	70 k/h	50 k/m
PENDIENTE MAXIMA	3.5%	6.0%	7.0%
RADIO MINIMO	327.46 m	191.07 m	127.45 m
DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES	60.00 m	60.00 m	60.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	160.00 m	130.00 m	100.00 m
ANCHO DE LA VIA	30.60 m	30.60 m	30.60 m
ANCHO DEL PAVIMENTO	7.30 m	7.30 m	7.30 m
ANCHO DE BERMAS	EXTERNO 3.00 m INTERNO 1.00 m		
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	8.50 m	8.50 m	8.50 m
SEPARADOR CENTRAL	8.00 m	8.00 m	8.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	50.00 m	50.00 m	50.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	10.00 m	10.00 m	10.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H20-S16	H20-S16	H20-S16
TIPO DE PAVIMENTO	CONCRETO ASFALTICO		
TRATAMIENTO DE BERMAS	TRATAMIENTO DOBLE SUPERFICIAL		

Tabla 2.4 Clasificación de carreteras especiales.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

Carreteras Primarias

Son aquellas carreteras con superficie de rodamiento única con sección típica de 12.00 m, que se distribuye en dos carriles de 3.65 m y hombros de 2.35 m. A continuación, se presenta la tabla 2.5, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Primarias, establecidas por el MOP:

CLASIFICACION PRIMARIA

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	90 k/h	70 k/h	50 k/m
PENDIENTE MAXIMA	5.0%	6.0%	7.0%
RADIO MINIMO	250.00 m	200.00 m	80.00 m
DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES	60.00 m	60.00 m	60.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	160.00 m	130.00 m	100.00 m
ANCHO DE LA VIA	12.00 m	12.00 m	12.00 m
ANCHO DEL PAVIMENTO	7.30 m	7.30 m	7.30 m
ANCHO DE BERMAS	2.35 m	2.35 m	2.35 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	7.90 m	7.90 m	7.90 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	30.00 m	30.00 m	30.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	10.00 m	10.00 m	10.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H20-S16	H20-S16	H20-S16
TIPO DE PAVIMENTO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE O CONCRETO ASFALTICO		
TRATAMIENTO DE BERMAS	MATERIAL SELECTO COMPACTADO		

Tabla 2.5 Clasificación de carreteras primarias.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

Carreteras Secundarias

Son las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plataforma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes. La sección tipo de diseño de estas carreteras es de 9.50 m, que corresponden a una superficie de

rodamiento de 7.5 m (3.25 m por carril) y hombros de 1.5 m. El derecho de vía de estas carreteras es de 20.00 m.

A continuación, se presenta la tabla 2.6 con los criterios de detalles.

CLASIFICACION SECUNDARIA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	80 k/h	70 k/h	50 k/m
PENDIENTE MAXIMA	5.0%	6.0%	8.0%
RADIO MINIMO	150.00 m	100.00 m	60.00 m
DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES	60.00 m	60.00 m	60.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	130.00 m	100.00 m	80.00 m
ANCHO DE LA VIA	9.50 m	9.50 m	9.50 m
ANCHO DEL PAVIMENTO	6.50 m	6.50 m	6.50 m
ANCHO DE BERMAS	1.50 m	1.50 m	1.50 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	7.40 m	7.40 m	7.40 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	20.00 m	20.00 m	20.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	10.00 m	10.00 m	10.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H15-S12	H15-S12	H15-S12
TIPO DE PAVIMENTO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE		
TRATAMIENTO DE BERMAS	MATERIAL SELECTO COMPACTADO		

Tabla 2.6 Clasificación de carreteras secundarias.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

Carreteras Terciarias y Terciarias Modificadas

Son aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y rodaje mínimo de 6.50 m de rodaje en los puentes. La sección típica de estas carreteras es de un ancho de 8.00 m, que corresponden a una superficie de rodamiento de 6.00 m (3.00 m por carril) y bermas de 1.00 m, con un ancho de derecho de vía de 20.00 m. A continuación, se presentan las tablas 2.7 y 2.8 en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Terciarias y Terciarias Modificadas, establecidas por el MOP:

CLASIFICACION Terciaria			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	60 k/h	50 k/h	40 k/m
PENDIENTE MAXIMA	6.0%	8.0%	10.0%
RADIO MINIMO	150.00 m	100.00 m	40.00 m
DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES	50.00 m	50.00 m	50.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	120.00 m	100.00 m	80.00 m
ANCHO DE LA VIA	6.00 m	6.00 m	6.00 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	6.50 m	6.50 m	6.50 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	20.00 m	20.00 m	20.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	4.00 m	4.00 m	4.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H15-S12	H15-S12	H15-S12
TIPO DE SUSPERFICIE	MATERIAL SELECTO COMPACTADO		

Tabla 2.7 Clasificación de carreteras terciarias.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

CLASIFICACION TERCIARIA MODIFICADA

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	60 k/h	50 k/h	40 k/m
PENDIENTE MAXIMA	6.0%	8.0%	10.0%
RADIO MINIMO	150.00 m	100.00 m	40.00 m
DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES	50.00 m	50.00 m	50.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	130.00 m	100.00 m	80.00 m
ANCHO DE LA VIA	8.00 m	8.00 m	8.00 m
ANCHO DEL PAVIMENTO	6.00 m	6.00 m	6.00 m
ANCHO DE BERMAS	1.00 m	1.00 m	1.00 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	7.40 m	7.40 m	7.40 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	20.00 m	20.00 m	20.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	4.00 m	4.00 m	4.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H15-S12	H15-S12	H15-S12
TIPO DE PAVIMENTO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE/ CARPETA ASFÁLTICA O CONCRETO HIDRÁULICO		
TRATAMIENTO DE BERMAS	MATERIAL SELECTO COMPACTO / TRAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE		

Tabla 2.8 Clasificación de carreteras terciarias modificada.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

Carretera Rural Tipo A Y B y Rural Modificada.

Presentan una sección típica que demarca un ancho de vía de 5.00 m, un derecho de vía de 15.00 m respecto a la clasificación A y B, anteriormente se utilizó el tipo B la cual tenía un ancho de vía de 4.50 m. La rural modificada se refiere a un camino rural con revestimiento asfáltico, pero con las mismas condiciones geométricas. A continuación, se presenta la Tabla 2.9 y 2.10, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Rurales y Rurales Modificadas, establecidas por el MOP:

CLASIFICACION RURAL

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	50 k/h	40 k/h	30 k/m
PENDIENTE MAXIMA	6.0%	8.0%	12.0%
RADIO MINIMO	67.00 m	53.00 m	20.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	90.00 m	60.00 m	45.00 m
ANCHO DE LA VIA	5.00 m	5.00 m	5.00 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	3.00 m	3.00 m	3.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	15.00 m	15.00 m	15.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	4.00 m	4.00 m	4.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H1544	H1544	H1544
TIPO DE SUSPERFICIE	REVESTIDA		

Tabla 2.9 Clasificación de carreteras rurales.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

CLASIFICACION RURAL MODIFICADA

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	50 k/h	40 k/h	30 k/m
PENDIENTE MAXIMA	6.0%	8.0%	12.0%
RADIO MINIMO	67.00 m	53.00 m	20.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	90.00 m	60.00 m	45.00 m
ANCHO DE LA VIA	5.00 m	5.00 m	5.00 m
ANCHO DEL PAVIMENTO	5.00 m	5.00 m	5.00 m
ANCHO DE HOMBRO LATERAL	1.00 m	1.00 m	1.00 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	3.00 m	3.00 m	3.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	15.00 m	15.00 m	15.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO	4.00 m	4.00 m	4.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H1544	H1544	H1544
TIPO DE PAVIMENTO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE / CARPETA ASFÁLTICO O CONCRETO HIDRÁULICO		
TRATAMIENTO DE BERMAS	MATERIAL SELECTO COMPACTO		

Tabla 2.10 Clasificación de carreteras rurales modificadas.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

Camino Vecinal

Son aquellos que no están contenidos en la clasificación descrita anteriormente y que comunican villas, pueblos, cantones o caseríos entre sí o conectan estos con cualquier carretera. A continuación, se presenta la Tabla 2.11, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir los Caminos Vecinales, establecidas por el MOP:

CLASIFICACION VECINAL

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
VELOCIDAD DE DISEÑO	50 k/h	40 k/h	30 k/m
PENDIENTE MAXIMA	7.0%	10.0%	15.0%
RADIO MINIMO CURVAS HORIZONTALES	67.00 m	52.00 m	22.00 m
DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD	90.00 m	60.00 m	45.00 m
ANCHO DE LA VIA	5.00 m	5.00 m	5.00 m
ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES	3.00 m	3.00 m	3.00 m
ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA	15.00 m	15.00 m	15.00 m
CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES	H1544	H1544	H1544
TIPO DE SUSPERFICIE	REVESTIDA		

NOTA:

LA PENDIENTE MAXIMA (15%) NO PODRA TENER UNA LONGITUD MAYOR DE 200 MT., DEBIENDO TENER DESPUES UN DESCANSO NO MENOR DE 300 MT. CON UNA PENDIENTE MAXIMA DE 5%

EL RELLENO DE LA ENTRADA DE TUBERIA DEBE TENER UN MINIMO DE 0.60 M.

Tabla 2.11 Clasificación de camino vecinal.

Fuente: Normas de diseño clasificación de carreteras secciones típicas.

2.4.2 Alineamiento horizontal

Es la proyección sobre un plano horizontal del eje de un camino. Este se compone de tangentes horizontales y curvas circulares, las tangentes se definen por su longitud y su rumbo, las curvas están definidas por su grado de curvatura y por su longitud.

Tangentes.

Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI, y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por A. Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina punto sobre tangente y se le representa por PST.

La longitud mínima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, o bien, porque favorecen los deslumbramientos

durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación a esas curvas.

Curvas Circulares

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

a) Curvas circulares simples.

Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. En el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la imagen 2.7 y se calculan de la siguiente forma:

1.0 Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m.

Se representa con la letra G_c .

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \therefore G_c = \frac{1145.92}{R_c} \quad \text{Ecuación 1}$$

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

2.0 Radio de la curva. Es el radio de la curva circular. Se simboliza como R_c , De la expresión (1) se tiene:

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c} \quad \text{Ecuación 2}$$

3.0 Ángulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simboliza Δ_c . En curvas circulares simples es igual a la deflexión.

4.0 Longitud de curva. Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa L_c .

$$\frac{L_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta_c}{360^\circ} \therefore L_c = \frac{\pi \Delta_c}{180^\circ} R_c \quad \text{Ecuación 3}$$

Considerando la expresión (3):

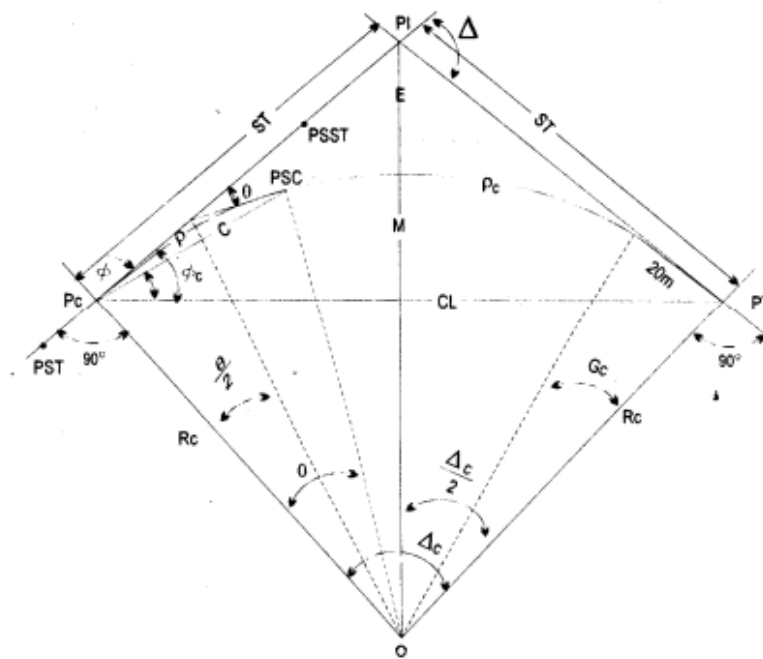
$$L_c = 20 \frac{\Delta_c}{G_c} \quad \text{Ecuación 4}$$

5.0 Sub tangente. Es la distancia entre el PI y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST .

Del triángulo rectángulo PI-0-PT, se tiene:

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta_c}{2} \quad \text{Ecuación 5}$$

6.0 Externa. Es la distancia mínima entre el P/ y la curva. Se representa por E, en el triángulo rectángulo P/-0-PT, se tiene:



PI	Punto de intersección de la prolongación de las tangentes
PC	Punto en donde comienza la curva circular simple
PT	Punto en donde termina la curva circular simple
PST	Punto sobre la tangente
PSST	Punto sobre la subtangente
PSC	Punto sobre la curva circular
O	Centro de la curva circular
Δ	Angulo de deflexión de las tangentes
Δ_c	Angulo central de la curva circular
θ	Angulo de deflexión a un PSC
ϕ	Angulo de una cuerda cualquiera
ϕ_c	Angulo de la cuerda larga
G_c	Grado de curvatura de la curva circular
R_c	Radio de la curva circular
ST	Subtangente
E	Externa
M	Ordenada media
C	Cuerda
CL	Cuerda larga
p	Longitud de un arco
P_c	Longitud de la curva circular

Imagen 2.6: Elementos de la curva simple.

Fuente: Topografía para caminos y vías urbanas.

$$E = Rc \sec \frac{\Delta c}{2} - Rc = Rc \left(\sec \frac{\Delta c}{2} \right) - 1$$

Ecuación 6

7.0 Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva, Se simboliza con la letra M. Del triángulo rectángulo P1-0-PT, se tiene:

$$M = Rc - Rc \cos \frac{\Delta c}{2} = Rc \left(1 - \cos \frac{\Delta c}{2} \right)$$

Ecuación 7

8.0 Deflexión a un punto cualquiera de la curva. Es el Ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado. Se le representa como θ .

$$\frac{\theta}{l} = \frac{Gc}{20} \quad \therefore \quad \theta = \frac{Gcl}{20}$$

Ecuación 8

9.0 Cuerda. Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Se le denomina C. Si esos puntos son el PC y el PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga. En el triángulo PC-0-PSC.

$$C = 2Rc \operatorname{sen} \frac{\theta}{2}$$

Ecuación 9

Para la cuerda larga:

$$CL = 2Rc \operatorname{sen} \frac{\Delta c}{2}$$

Ecuación 10

10.0 Ángulo de la cuerda. Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada. Se representa como ϕ En el triángulo PC-0 PSC.

$$\phi = \frac{\theta}{2} \quad \text{Ecuación 11}$$

y teniendo en cuenta la expresión (8)

$$\phi = \frac{Gcl}{40} \quad \text{Ecuación 12}$$

Para la cuerda larga:

$$\phi_c = \frac{Gcl_c}{40} \quad \text{Ecuación 13}$$

Para fines de trazo se considera que la cuerda C tiene la misma longitud que el arco 1. Para minimizar el error cometido al hacer esta consideración, se toman cuerdas de 20 m en curvas con $G < 8^\circ$; de 10 m en curvas con $8^\circ < G < 22^\circ$, y de 5 m para curvas con $22^\circ < G < 62^\circ$

- b) Curvas circulares compuestas. Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas. En caminos debe evitarse este tipo de curvas,

porque introducen cambios de curvatura peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación.

Curvas de transición

Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobreelevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se definirá aquí como curva de transición a la que liga una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

Se llama curvatura de una curva en un punto A, al límite de las curvaturas medias de los arcos de dicha curva que tienen el mismo extremo A, cuando el segundo extremo tiende a; siendo la curvatura media de un arco el cociente del ángulo de contingencia del arco y de su longitud; así mismo, se llama radio de curvatura de una curva en un punto al valor recíproco de la curvatura en dicho punto.

La aceleración centrífuga de un vehículo que se mueve a velocidad uniforme V vale V^2/R ; para este caso, la aceleración varía de manera continua desde cero para la tangente hasta V^2/R_c , para la curva circular de radio R_c . La curva de

transición debe proyectarse de manera que la variación de la curvatura y, por lo tanto, la variación de la aceleración centrífuga, sean constantes a lo largo de ella. Si la longitud de la curva de transición es le , la variación de la aceleración centrífuga por unidad de longitud vale: $V^2/R le$; en un punto cualquiera de la curva, situado a una distancia l del origen de la transición, la aceleración centrífuga valdrá $V^2l / Rcle$; por otra parte, si la curvatura en el punto considerado es $1/R$ la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá V^2/R , por lo cual:

$$\frac{V^2l}{Rcle} = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ecuación 1}$$

Simplificando: $Rl = Rcle$

Pero: $Rcle = K^2$

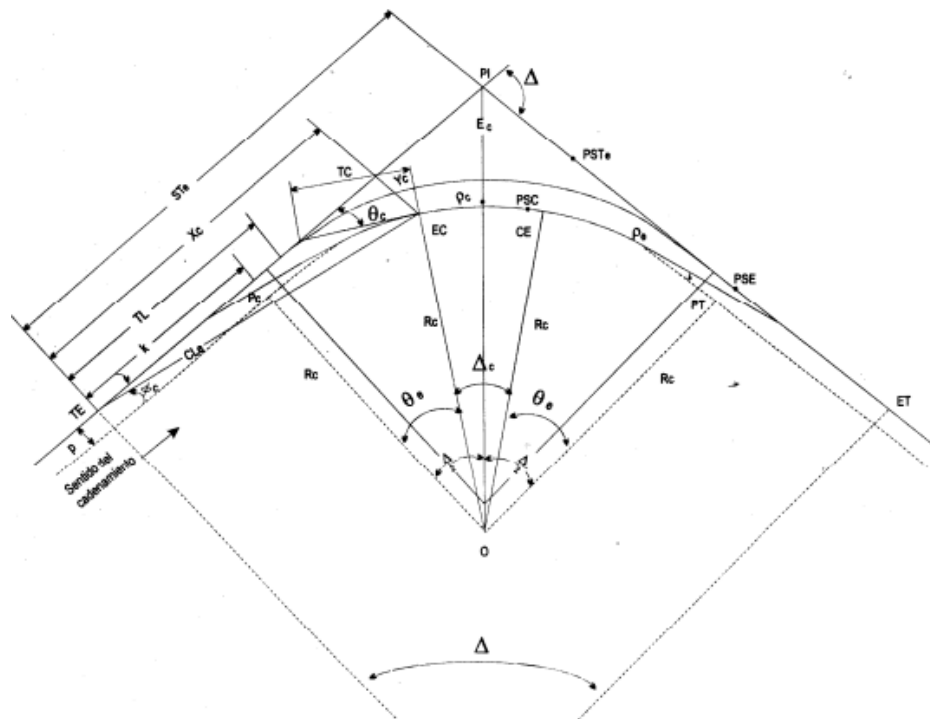
Donde k es una magnitud constante ya que Rc y l también lo son, entonces:

$$Rl = K^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

La expresión anterior es la ecuación de la curva conocida como clotoide o espiral de Euler, que cumple con la condición de que el producto del radio y la longitud a un punto cualquiera es constante, tiene la propiedad de que cuando aumenta o reduce su parámetro K , todas las medidas lineales cambian en la misma proporción, permaneciendo los elementos que determinan su forma sin cambio alguno; lo que significa que todas las clotoides tienen la misma forma, pero difieren entre sí por su longitud.

Como la clotoide de curvatura l/R es proporcional a su longitud se tiene en ella a la curva más apropiada para efectuar transiciones.

- a) Curva circular simple con espirales de transición. Las curvas circulares con espirales de transición constan de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud la curva es simétrica, en caso contrario es asimétrica, En la imagen 2.8, se muestran los elementos de una curva simétrica.



PI	Punto de intersección de las tangentes
TE	Punto donde termina la tangente y empieza la espiral
EC	Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular
CE	Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral
ET	Punto donde termina la espiral y empieza la tangente
PSC	Punto sobre la curva circular
PSE	Punto sobre la curva espiral
PSTe	Punto sobre la subtangente
Δ	Angulo de deflexión de las tangentes
Δ^c	Angulo central de la curva circular
θ_e	Deflexión de la espiral
ϕ^c	Angulo de la cuerda larga
STe	Subtangente
Xc, Yc	Coordenadas del EC o del CE
k, p	Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)
TL	Tangente larga
TC	Tangente corta
CLe	Cuerda larga de la espiral
Ec	Externa
Rc	Radio de la curva circular
P_e	Longitud de la espiral de entrada o salida
P_c	Longitud de la curva circular

Imagen 2.7: Elementos de la curva de transición.

Fuente: Topografía para caminos y vías urbanas.

b) Longitud mínima de la espiral de transición. El cambio gradual de aceleración centrífuga del vehículo, y de la sobreelevación y sobre ancho del camino, es la función de las curvas de transición. La longitud de estas curvas determina el ritmo del cambio.

Existen varios criterios para determinar esta longitud, en la tabla 2.12 se muestran comparativamente las longitudes de transición calculadas según varios criterios para caminos de 2 carriles y sobreelevación de 10%.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h	SHORTT	SMIRNOFF	AASHO				SOP
	$L_e = 0.035 \frac{V^2}{R}$	$l_e = 0.35V (V^2 / R + 127 S)$	$l_e = m a S$				$l_e = 8 VS$
			$m = 1.5625 V + 75$				
			a = 2.75	a = 3.05	a = 3.35	a = 3.65	
30	39	37	34	37	41	44	24
40	47	46	38	42	46	50	32
50	58	56	42	47	51	56	40
60	68	65	46	51	57	62	48
70	77	74	51	56	62	67	56
80	86	82	55	61	67	73	64
90	94	90	59	66	72	79	72
100	102	97	64	71	77	84	80
110	109	104	68	75	83	90	88

Tabla 3-1

Cuadro Comparativo de longitudes mínimas de transición según varios criterios

Tabla 2.12 Longitudes mínimas de transición

Fuente: Topografía para caminos y vías urbanas.

Curvatura máxima para una deflexión y velocidad dadas.

Para determinados valores de la velocidad de proyecto, grado de curvatura y deflexión, ocurre que la suma de las deflexiones de la espiral sobrepasa a la deflexión entre las tangentes traslapándose entonces las espirales. Como es inadmisibles que se traslapen las espirales de transición, habrá un valor de deflexión, abajo del cual no se podrán insertar espirales para una curva de grado dado, o inversamente habrá un valor del grado arriba del cual no se podrán insertar espirales.

Distancia de visibilidad en curvas de alineamiento horizontal.

En las curvas del alineamiento horizontal que parcial o totalmente queden alojadas en corte o que tengan obstáculos en su parte interior que limiten la

distancia de visibilidad, debe tenerse presente que esa distancia sea cuando menos equivalente a la distancia de visibilidad de parada. Si las curvas no cumplen con este requisito deberán tomarse las providencias necesarias para satisfacerlo, ya sea recortando o abatiendo el talud del lado interior de la curva o eliminando el obstáculo.

2.4.3 Alineamiento vertical.

El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de esta, expresándola generalmente en porcentaje.

La curva vertical tiene por objeto suavizar los cambios de las pendientes en el alineamiento vertical, en cuya longitud se efectúa el paso gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características de drenaje adecuadas.

En el alineamiento vertical, todas las distancias se miden horizontalmente y todas las ordenadas desde las tangentes a la curva vertical se miden verticalmente. De esta manera la longitud de una curva es su proyección

horizontal, siendo despreciable el error que resulta de esta suposición en la práctica. Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance del estacionamiento del alineamiento horizontal, siendo positivas aquellas pendientes que implican un aumento de cota y negativas las que producen un descenso de la cota correspondiente. El sistema de cotas o niveles del proyecto se referirán en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia de la topografía con los puntos de nivelación geodésica de los Institutos Geográficos correspondientes en cada país de Centroamérica.

El alineamiento vertical de una carretera está controlado principalmente por la:

- Clasificación Funcional del Camino y Composición del Tránsito
- Topografía del área que atraviesa
- Diseño del alineamiento horizontal y su velocidad de diseño correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

La topografía del terreno atravesado tiene influencia en el alineamiento de calles y carreteras. Para caracterizar sus variaciones, generalmente se clasifican en tres tipos de acuerdo con la pendiente del terreno, así:

- a) Terreno Plano: Es esa condición donde las distancias de visibilidad de diseño vial, en cuanto están gobernadas por las restricciones horizontales y verticales, son generalmente largas o podrían ser así, sin ocasionar mayores dificultades ni grandes gastos de construcción.
- b) Terreno Ondulado: Es la condición donde las pendientes naturales son ascendentes y descendentes y en consecuencia las pendientes de la calle o carretera se elevan y bajan, y donde ocasionalmente las pendientes fuertes provocan algunas restricciones a los alineamientos horizontal y vertical.
- c) Terreno Montañoso: Es aquel que presenta dificultades y altos costos de construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, los cuales se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables.

Las clasificaciones del terreno pertenecen al carácter general de un corredor específico, debido a lo cual, las rutas en valles o zonas montañosas que tienen todas las características de las calles o carreteras que atraviesan un terreno plano u ondulado, deben clasificarse como planas u ondulado. En general, los terrenos ondulados generan pendientes más fuertes causando la reducción de las velocidades de los camiones debajo de las de vehículos de pasajeros; en el terreno montañoso la situación es más grave, resultando en algunos camiones con velocidades muy bajas.

En la tabla 2.18 se muestra una clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P(%)
Llano o Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 30$

Tabla 2.13: Rango de pendientes.

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras.

Curvas parabólicas en alineamiento vertical

Son aquellas que unen las tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida a lo largo de su longitud, estas tangentes generalmente son diferentes. La longitud de las curvas verticales depende, principalmente, de la visibilidad. El largo recomendado de una curva es el que mejor se adapta al terreno natural. Lo que se busca es un camino que opere de una forma segura y confortable para el usuario. Además de dar una apariencia agradable y drenaje adecuado. Ver imagen 2.9

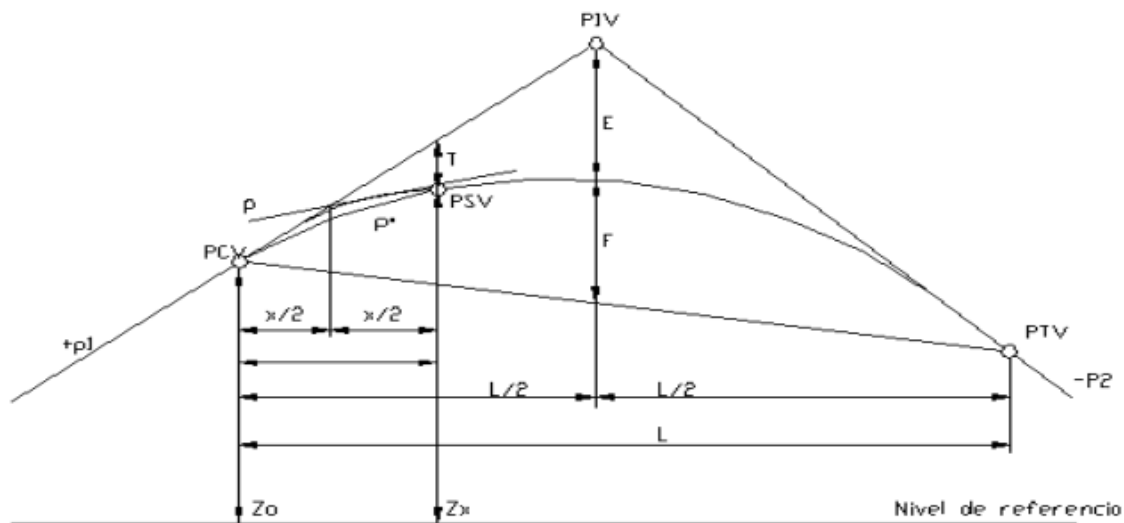


Imagen 2.8. Curvas parabólicas.

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras.

PIV:	PIV: Punto de intersección de las tangentes
PCV:	Punto en donde comienza la curva vertical
PTV	Punto en donde termina la curva vertical
P1	Pendiente de la tangente de entrada en por ciento
P2:	Pendiente de la tangente de salida en por ciento
L	Longitud de la curva
E	Externa
F	Flecha

Tabla 2.14: Elementos que conforman una curva parabólica.

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras.

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia

distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

En la figura siguiente se muestran los diferentes tipos de estas curvas utilizadas en el diseño del alineamiento vertical.

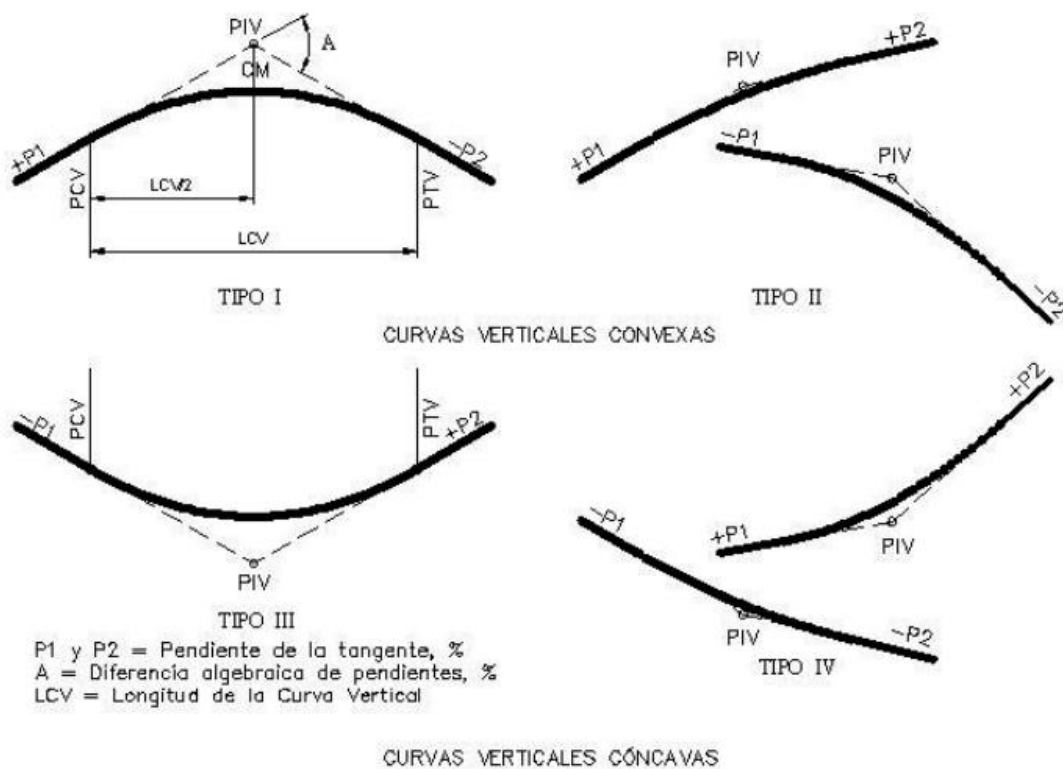


Imagen 2.9: Curvas verticales convexas y curvas verticales cóncavas.

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras.

En el diseño del alineamiento vertical se utiliza la curva parabólica de segundo grado, simétrica. Por simplicidad, para el cálculo se utiliza un sistema referencial de coordenadas con el eje "Y" (eje de ordenadas) centrado en el PIV (Punto de Intersección de las tangentes verticales) de dicha parábola. Puede ser apropiado utilizar curvas verticales asimétricas, en casos donde existan restricciones de diseño, por ejemplo, en rampas de intercambiadores o en ramales de intersecciones importantes, en donde no es posible el desarrollo de curvas verticales simétricas debido a restricciones de espacio.

- a) Curvas Verticales en Cresta: Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.
- b) Curvas Verticales Cóncavas o en Columpio: Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:
 - El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.
 - La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
 - El tercero considera requerimientos de drenaje.
 - El último se basa en consideraciones estéticas.

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.
- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante y se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

2.4.4 Sección transversal.

Es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Los elementos que la integran son: La corona, la subcorona, las cunetas y contra cunetas, los taludes y las partes complementarias.

La corona es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

- a) Rasante: se define como la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está representada por un punto.
- b) Pendiente transversal: es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. De acuerdo con la relación con los elementos del alineamiento horizontal, se presentan tres casos:
 - 1) Bombeo
 - 2) Sobreelevación
 - 3) Transición del bombeo a la sobreelevación

El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el pavimento. El bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad o inseguridad. La tabla N° 2.20 da los valores a emplearse en un proyecto en función de la superficie de rodamiento.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		BOMBEO
MUY BUENA	Superficie de concreto hidráulico o asfalto, tendido con extendedoras mecánicas.	0.010 a 0.020
BUENA	Superficie de mezcla asfáltica tendida con motoconformadoras.	0.015 a 0.030
REGULAR MALA	O Superficie de tierra o grava	0.020 a 0.040

Tabla 2.15: Tipos de superficie de rodamiento
Fuente: Topografía para caminos y vías urbanas.

La sobrelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para neutralizar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

- c) Calzada: esta es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de

ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos., el ancho de esta es variable a lo largo del camino y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical. Normalmente el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal.

2.5 ELEMENTOS ESENCIALES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMINOS

2.5.1 Capacidad portante del suelo

La capacidad portante del suelo se refiere a la capacidad del suelo para soportar cargas sin sufrir una deformación excesiva o fallar. En el contexto del buen funcionamiento de los caminos, la capacidad portante del suelo es crucial, ya que determina la estabilidad y durabilidad de la carretera. Un suelo con una capacidad portante adecuada asegura que la carretera pueda soportar el tráfico vehicular sin hundimientos excesivos, deformaciones permanentes o daños estructurales. Por lo tanto, la evaluación y comprensión de la capacidad portante del suelo son fundamentales en el diseño y construcción de carreteras para garantizar su funcionamiento óptimo y seguro a lo largo del tiempo.

El diseño de cimentaciones adecuadas es crucial para garantizar la estabilidad de la carretera. Se utilizan los datos recopilados en la investigación geotécnica

para seleccionar el tipo de cimentación más apropiado para el suelo del sitio. Las carreteras pueden requerir cimentaciones superficiales, como placas de hormigón, o cimentaciones profundas, como pilotes, para alcanzar capas de suelo más resistentes.

La capacidad portante del suelo depende de varios factores, incluyendo la textura, composición, densidad, contenido de humedad, y estructura del suelo. Se determina mediante pruebas de campo y de laboratorio, como el ensayo de penetración estándar (SPT), el ensayo de placa de carga, o el ensayo CBR (California Bearing Ratio), entre otros. Es fundamental evaluar la capacidad portante del suelo de un sitio antes de realizar cualquier construcción para asegurar que la infraestructura se apoye adecuadamente en el suelo y pueda resistir las cargas esperadas sin sufrir asentamientos o daños estructurales. Esto es especialmente importante en proyectos de ingeniería civil como la construcción de carreteras, puentes, edificios y otras obras de infraestructura.

2.5.2 Superficie de rodadura o capa de rodamiento

La superficie de rodadura, también conocida como capa de rodamiento, es la parte superior de una carretera diseñada específicamente para el tráfico vehicular. Esta capa es la que está en contacto directo con los neumáticos de los vehículos y, por lo tanto, es fundamental para proporcionar una superficie segura, duradera y confortable para la conducción.

La capa de rodamiento se compone típicamente de materiales específicamente diseñados para soportar las cargas y las tensiones generadas por el tráfico vehicular. Estos materiales pueden incluir asfalto, concreto o una combinación de ambos, dependiendo de factores como el volumen de tráfico, las condiciones climáticas, y la disponibilidad de materiales locales.

Las características deseables de una buena capa de rodamiento incluyen:

- Durabilidad: Debe resistir el desgaste causado por el tráfico vehicular y las condiciones climáticas adversas durante un período prolongado de tiempo.
- Textura: Debe proporcionar suficiente agarre para los neumáticos de los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o humedad, para minimizar el riesgo de deslizamiento.
- Regularidad: Debe tener una superficie uniforme y nivelada para garantizar una conducción suave y confortable, así como para minimizar el desgaste irregular de los neumáticos y la fatiga del conductor.
- Drenaje: Debe permitir un drenaje adecuado del agua de lluvia para prevenir el estancamiento de agua en la superficie de la carretera y reducir el riesgo de aquaplaning.

El diseño y la construcción de una capa de rodamiento adecuada son fundamentales para asegurar la seguridad y la eficiencia del tráfico en una

carretera. Se llevan a cabo pruebas y ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia, la durabilidad y otras propiedades de los materiales utilizados en la capa de rodamiento, garantizando así un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

2.5.3 Sistemas de drenaje

Los sistemas de drenaje son elementos esenciales en la infraestructura vial diseñados para gestionar eficientemente el agua de lluvia y evitar la acumulación de agua en la superficie de las carreteras y sus alrededores. Estos sistemas están compuestos por una variedad de elementos y estructuras que trabajan en conjunto para garantizar un flujo adecuado del agua y prevenir problemas como inundaciones, erosión y daños en la carretera.

Los sistemas de drenaje típicamente incluyen cunetas, sumideros, zanjas de drenaje, alcantarillas, bordillos y canalones, así como sistemas de drenaje subterráneo. Las cunetas, ubicadas a lo largo del borde de la carretera, recogen y dirigen el agua hacia los sumideros, que a su vez recolectan el agua de la superficie y la canalizan hacia el sistema de drenaje subterráneo o hacia áreas designadas para su descarga.

Las zanjas de drenaje son canales excavados a lo largo de la carretera para recoger y canalizar el agua hacia áreas designadas para su almacenamiento o descarga. Las alcantarillas, por otro lado, permiten que el agua fluya debajo de

la carretera, evitando la acumulación en la superficie. Los bordillos y canalones ayudan a dirigir el agua hacia las cunetas y sumideros, mientras que los sistemas de drenaje subterráneo incluyen tuberías y sistemas de filtración para gestionar el agua de manera más eficiente.

2.5.3.1 Drenaje superficial y subsuperficial

El drenaje superficial y subsuperficial son dos componentes esenciales de los sistemas de gestión de aguas pluviales en la infraestructura vial. El objetivo principal del drenaje superficial y subsuperficial en las carreteras es garantizar un sistema eficiente y efectivo para manejar el agua de lluvia, minimizando así los riesgos asociados con la acumulación de agua y protegiendo la integridad de la infraestructura vial y la seguridad de los usuarios.

El proceso de recolección y eliminación del agua de lluvia que se acumula en la superficie de la carretera y sus alrededores, se le llama drenaje superficial. Este tipo de drenaje incluye la utilización de cunetas, sumideros, zanjas de drenaje y bordillos para recoger y canalizar el agua hacia puntos de salida designados, evitando así la formación de charcos y la acumulación de agua en la superficie de la carretera.

Por otro lado, el drenaje subsuperficial se refiere al manejo del agua subterránea que puede infiltrarse en el suelo y afectar la estabilidad de la carretera. Este tipo de drenaje implica la instalación de sistemas de drenaje subterráneo, como

alcantarillas y tuberías de drenaje, que permiten que el agua subterránea fluya fuera del área de la carretera, evitando la saturación del suelo y los problemas de erosión.

Tanto el drenaje superficial como el subsuperficial son fundamentales para garantizar la integridad y durabilidad de las carreteras al prevenir problemas como inundaciones, erosión y daños en la infraestructura vial. Su diseño y mantenimiento adecuados son esenciales para garantizar condiciones seguras y funcionales para la conducción y el transporte en las carreteras.

2.5.3.2 Elementos del sistema de drenaje

Un sistema de drenaje en carreteras está compuesto por varios elementos que trabajan en conjunto para gestionar eficazmente el agua de lluvia y prevenir problemas como inundaciones, erosión y daños en la infraestructura vial. Los principales elementos que componen un sistema de drenaje son los siguientes:

- Cunetas: Son canales o zanjas ubicados a lo largo del borde de la carretera que recogen el agua de lluvia que corre por la superficie y la dirigen hacia los sumideros o puntos de salida designados.
- Sumideros: Son estructuras instaladas en la superficie de la carretera que recolectan el agua de lluvia y la conducen hacia el sistema de drenaje subterráneo o hacia zanjas de drenaje para su descarga.

- Zanjas de drenaje: Son canales excavados a lo largo de la carretera que recogen y canalizan el agua hacia áreas designadas para su almacenamiento o descarga. Pueden estar revestidos con materiales como concreto o grava para mejorar el flujo del agua.
- Alcantarillas: Son estructuras diseñadas para permitir que el agua fluya debajo de la carretera, evitando la acumulación en la superficie. Pueden ser tubos de concreto, metal o plástico colocados debajo de la carretera y pueden tener rejillas en los extremos para evitar obstrucciones.
- Bordillos y canalones: Son estructuras elevadas a lo largo del borde de la carretera que dirigen el agua hacia las cunetas y sumideros, evitando la entrada de agua en áreas no deseadas y manteniendo la integridad de la carretera.
- Sistemas de drenaje subterráneo: Incluyen tuberías de drenaje enterradas que recogen y transportan el agua de lluvia lejos de la carretera, así como sistemas de filtración y retención para gestionar el agua de manera más eficiente.

Estos elementos trabajan en conjunto para garantizar un sistema de drenaje eficiente y efectivo que proteja la integridad de la carretera y asegure condiciones seguras para la conducción y el transporte.

2.6 DERECHO DE VIA

El derecho de vía es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de esta, incluyendo dentro de sus límites el diseño balanceado de la(s) calzada(s) con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.

No obstante, la conveniencia de contar con una franja de terreno de ancho uniforme para cada tipo de carretera, en la práctica dicha franja es variable y determinada ad-hoc en función de cada proyecto en particular. Lo cierto es que se requieren ampliaciones cuando el pie de los taludes excede los límites normales de la franja de terreno, cuando se desea diseñar para mayores distancias de visibilidad, cuando se aplican determinadas exigencias para aislar el ruido y otros contaminantes ambientales y, finalmente, en las intersecciones con otras carreteras que de por sí pueden plantear exigencias considerables de espacio físico, como en el caso de la construcción de intercambios o distribuidores de tránsito, que ocupan una o varias hectáreas según el diseño geométrico que se seleccione.

El derecho de vía está regulado por la Ley de Carreteras y Caminos Vecinales. Esta ley establece las disposiciones legales relacionadas con la adquisición, uso y gestión del derecho de vía para la construcción, ampliación y mantenimiento de

carreteras y caminos en el país. La ley regula el uso y la ocupación del derecho de vía, prohibiendo actividades que puedan obstruir o interferir con la construcción y mantenimiento de las vías. Establece restricciones y limitaciones para la edificación y ocupación de terrenos dentro del derecho de vía.

En el derecho de vía se prohíbe, según el artículo 27 de la ley de Carreteras y Caminos Vecinales:

- a) Botar basura, escombros o cualquier material de desecho.
- b) Dejar abandonados cualquier clase de vehículos, partes de las mismas maquinarias o cualquier aparato o artefacto que pueda estorbar el tránsito.
- c) Depositar materiales de construcción, salvo que sea para construir o reparar las carreteras o caminos, leña u otros artículos, lo mismo que secar maíz, arroz u otras semillas.
- d) Instalar aparatos mecánicos para diversión y ventas de golosinas u otra clase de artículos.
- e) Hacer mezcla de concreto u otros semejantes, salvo que sean para construir o reparar los caminos o carreteras.
- f) En general, ejecutar todo acto que pueda originar o constituir un estorbo para el libre tránsito, tales como reunión de personas, construcciones temporales o definitivas destinadas a cualquier objeto.

2.7 MOVIMIENTO DE TIERRA

Los movimientos de tierra son una parte fundamental en el diseño y construcción de carreteras, ya que implican la manipulación del suelo y la topografía del terreno para crear una plataforma adecuada para la vía. Este proceso no solo afecta la eficiencia del proyecto, sino también su costo y durabilidad.

El movimiento de tierra consta de las siguientes fases:

- **Nivelación del Terreno:** Los movimientos de tierra permiten nivelar el terreno para construir una superficie adecuada para la carretera, asegurando una conducción suave y segura. Un adecuado proceso de nivelación garantiza la seguridad y estabilidad de la carretera, así como un correcto drenaje del agua de lluvia.
- **Prevención de Erosión:** La adecuada manipulación del suelo ayuda a prevenir la erosión y la sedimentación, lo que contribuye a la estabilidad y durabilidad de la carretera.
- **Drenaje Efectivo:** Los movimientos de tierra se utilizan para crear pendientes y canales que facilitan el drenaje del agua de lluvia, reduciendo así el riesgo de inundaciones y daños en la carretera.
- **Optimización del Espacio:** Un diseño eficiente de movimientos de tierra puede minimizar el uso de materiales de relleno y reducir el impacto ambiental al optimizar el uso del espacio disponible.

Métodos de Movimientos de Tierra:

- **Excavación y Relleno:** Se utiliza maquinaria pesada para excavar y desplazar el suelo según las especificaciones del diseño vial, llenando las áreas necesarias para crear la plataforma de la carretera.
- **Corte y Relleno:** Este método implica la excavación de áreas elevadas (corte) y el relleno de áreas bajas (relleno) para nivelar el terreno y crear una superficie uniforme para la carretera.
- **Compactación:** Después del relleno, se utiliza maquinaria especializada para compactar el suelo, aumentando su densidad y resistencia para garantizar una base sólida para la carretera.

Cuando se diseña el perfil longitudinal de una vía, se trata de lograr que los volúmenes de corte y de terraplén sean aproximadamente iguales, con ligera ventaja de los cortes. Esto se realiza con la finalidad de lograr que el suelo excavado de los cortes sirva para conformar los terraplenes por lo que es necesario considerar los siguientes aspectos:

- **Análisis del Terreno:** Es crucial realizar un estudio detallado del terreno para comprender su composición y características, lo que ayudará a determinar los métodos de movimientos de tierra más adecuados.
- **Impacto Ambiental:** Se deben considerar los efectos ambientales de los movimientos de tierra, como la erosión del suelo, la pérdida de hábitats naturales y la conservación de recursos hídricos.

- Seguridad: Se deben seguir estrictas medidas de seguridad durante los movimientos de tierra para prevenir accidentes y garantizar la protección de los trabajadores y el público en general.

2.7.1 Diagrama de curva masa

Al diseñar un camino no basta ajustarse a las especificaciones sobre pendientes, curvas verticales, drenaje, etc., para obtener un resultado satisfactorio, sino que también es igualmente importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras.

La curva masa busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos. La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas, el encadenamiento correspondiente.

Como la compensación de volúmenes es compleja y dispendiosa, se han ideado métodos gráficos que dan una buena aproximación con bastante sencillez. Tal como se ilustra en la imagen 2.11, el diagrama de masas es la representación gráfica del volumen de tierra a mover y de las distancias a que hay que transportarlo, en un tramo determinado de la carretera en construcción. Técnicamente es una curva o gráfico, en el que las distancias horizontales (abscisas) representan las estaciones de la carretera y las distancias verticales

(ordenadas) indican las sumas algebraicas de los volúmenes acumulados de los cortes y terraplenes, a partir de un punto origen en el perfil longitudinal de la carretera.

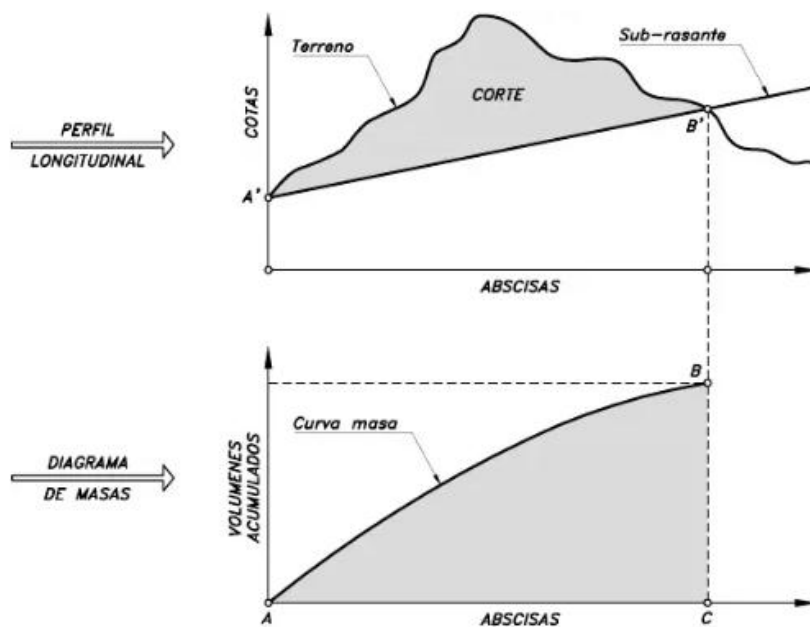


Imagen 2.10: Diagrama de masas.

Fuente: Diseño geométrico de carreteras. Autor James Cárdenas Grisasa.

Los puntos en el diagrama de masas se conectan con segmentos rectos o con una línea continua. En este caso, el valor de la ordenada BC, representa el volumen acumulado de corte entre las abscisas A' y B' respectivamente. Para una correcta interpretación, los volúmenes de corte se consideran positivos (+) y los

de terraplén negativos (-). Cuando se tiene corte y terraplén en la misma abscisa, se utiliza la diferencia entre los dos como ordenada en ese punto; ya que cuando esto sucede, el terraplén se conforma con el corte realizado en esa misma abscisa, moviendo el material en ángulo recto con el eje longitudinal, o en acarreo transversal (es el caso de secciones mixtas). Si sobra material de corte, este se convierte en acarreo longitudinal, que es el que interesa conocer.

En la parte superior de la Figura 5.34 se ha dibujado dos veces el perfil longitudinal del terreno y la subrasante de una carretera, y en la parte inferior su correspondiente diagrama de masas. En ella, se identifican otras propiedades del diagrama de masas, tales como:

- El valor de cualquier ordenada representa el volumen de corte acumulado hasta ese punto, menos el volumen de terraplén también acumulado hasta ese punto.
- La parte ascendente de la curva masa define una zona de corte: el tramo AC representa el corte entre las abscisas A' y C'. A su vez, la parte descendente de la curva masa define una zona de terraplén: el tramo CE representa el terraplén entre las abscisas C' y E'.
- Cualquier punto de la curva masa, situado sobre la línea base, tiene ordenada nula, lo que indica que los volúmenes de corte y terraplén son iguales desde el origen de la curva hasta ese punto. De esta manera, los puntos donde la curva masa corta la línea base, son los límites de los sectores de movimiento de tierra compensado, denominada sección

balanceada. Tal es el caso, de los puntos A y B de la curva masa, con ordenadas nulas, indicando que el corte A'C' servirá para conformar el terraplén C'B'. También los puntos B y D de la curva masa, con ordenadas nulas, indican que el terraplén B'E' se conformará con el corte E'D'.

- En la misma forma que la línea base determina sectores de movimiento de tierra compensado, cualquier línea horizontal como FG, que corte la curva masa en dos puntos (F y G), determina una zona de compensación entre corte y terraplén: el corte F'C' servirá para construir el terraplén C'G', por ser más o menos iguales sus volúmenes. Cualquier línea horizontal que corta la curva masa en dos puntos, recibe el nombre de compensadora.
- Los puntos máximos de la curva masa indican cambios de corte a terraplén en el sentido del abscisado: el punto máximo C de curva masa indica cambio de corte a terraplén en la abscisa C' del perfil longitudinal. A su vez, los puntos mínimos de la curva masa indican cambios de terraplén a corte: el punto mínimo E de curva masa indica cambio de terraplén a corte en la abscisa E' del perfil longitudinal.
- Cuando la curva masa está por encima de una línea horizontal, que establezca compensación, el movimiento del material debe realizarse en el sentido de avance del abscisado, y cuando la curva masa está por debajo de la compensadora, el transporte debe realizarse hacia atrás, esto

es en sentido opuesto al avance del abscisado. Esta característica la muestran las flechas en la figura.

2.8 PAVIMENTO

De acuerdo a la norma AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la ingeniería y el del usuario.

De acuerdo con la ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del

tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

Otras condiciones necesarias para garantizar el apropiado funcionamiento de un pavimento son el ancho de la vía; el trazo horizontal y vertical definido por el diseño geométrico; y la adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aún en condiciones húmedas.

2.8.1 TIPO DE PAVIMENTOS

No siempre un pavimento se compone de las capas; la ausencia o reemplazo de una o varias de esas capas depende de diversos factores, como, por ejemplo, del soporte de la subrasante, de la clase de material a usarse, de la intensidad de tránsito, entre otros.

Por esta razón, pueden identificarse 3 tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan:

- a) Pavimento flexible
- b) Pavimento rígido
- c) Pavimento híbrido

a) Pavimento flexible

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de subbase, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

b) Pavimento rígido

El pavimento rígido o pavimento hidráulico se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase) y esta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

c) Pavimento híbrido

Al pavimento híbrido se le conoce también como pavimento mixto, y es una combinación de flexible y rígido. Por ejemplo, cuando se colocan bloquetas de concreto en lugar de la carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido. El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que las bloquetas producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas, lo que obliga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 km/h. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

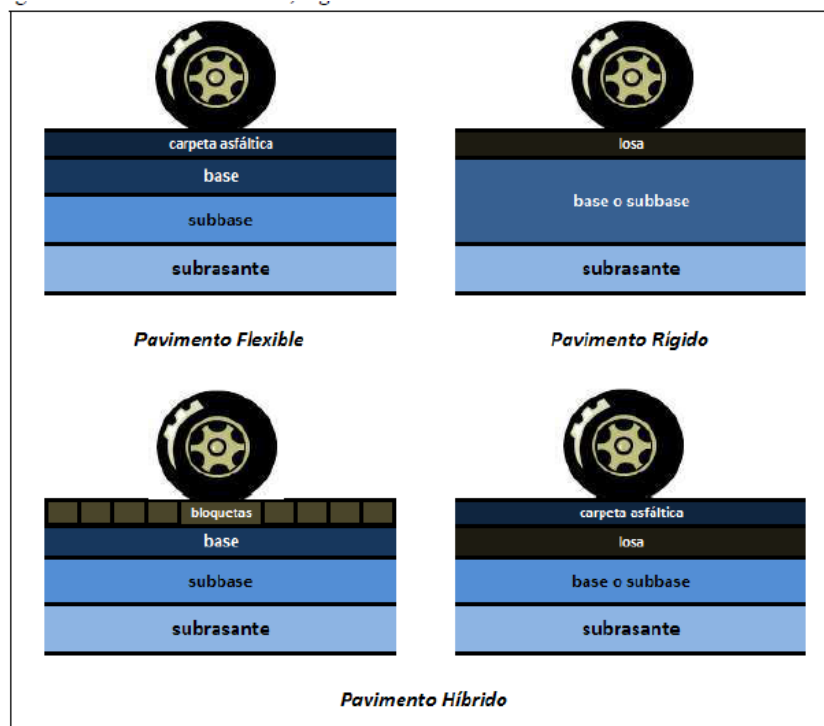
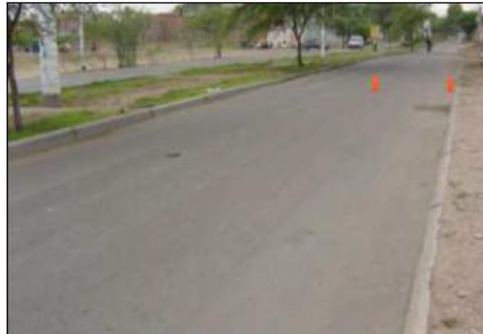


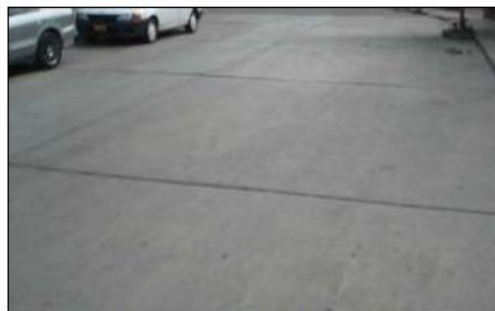
Imagen 2.11: Pavimento flexible, rígido e híbrido.

Fuente: "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla" - Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

En la figura se visualizan los tres principales tipos de pavimentos descritos anteriormente: pavimento flexible, rígido y mixto.



Pavimento flexible o asfáltico.



Pavimento rígido o hidráulico.



Pavimento híbrido o mixto.

Imagen 2.12: Pavimento flexible, rígido e híbrido.

Fuente: Cruz Serrano, Erick Nill; De Paz De Paz, Santos Mardoqueo y Serrano Guandique, Vladimir Otoniel (2019) Propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento de 3 kilómetros de vía de acceso del Cantón Copapayo municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán.

2.8.2 PARTES QUE COMPONEN UN PAVIMENTO

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie, evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a las que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance.

Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Estas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural.

Subbase

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica. Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

Subrasante

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma como se reparten las cargas.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie, donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En los pavimentos rígidos, las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la

subrasante. En cambio, los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforman más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.

2.9 MÉTODOS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DEL SUELO DE SUBRASANTE

2.9.1 Restitución del suelo de subrasante.

La restitución de suelos consiste en el mejoramiento de sus características físicas y mecánicas a través de la mezcla de suelos con mejores propiedades, para poder lograr un suelo con características apropiadas. Para ello, se evalúan aspectos técnicos y económicos, debido a los altos costos asociados con la explotación y el acarreo del material de una fuente alternativa.

Los detalles del proceso de compactación y la maquinaria utilizada en cada operación deben ajustarse a la obra particular que se desarrolle, con base en planos y especificaciones de proyecto.

2.9.2 Estabilización de suelos.

Cuando el suelo para cimentar presenta deficiencias físicas y mecánicas tales como carencia de capacidad soportante, asentamientos, variaciones de volumen, marcada permeabilidad o que resulten cuestionables las propiedades físicas y mecánicas ante agentes intemperizantes, se dan tratamientos para corregir esas deficiencias del suelo, generalmente con métodos mecánicos, mejorando sus

condiciones físicas y mecánicas; esta actividad constituye la estabilización de suelos.

2.9.3 Estabilización con aditivos.

La estabilización de los suelos consiste en propiciar propiedades de incomprensibilidad y resistencia indispensables, sin tener que sustituirlo. Los métodos de estabilización varían de acuerdo con la función o efecto que se desee obtener, siendo estos: a) retenedores de humedad, b) resistencia a la humedad, c) cementación, d) relleno, e) estabilización mecánica, f) alteración físico – química, g) secantes o batidores del nivel freático. Hay agentes químicos que se agregan al suelo que se quiere tratar, los cuales deben satisfacer condiciones como: a) compatibilidad con el tipo de suelo, b) ser permanentes, c) fácil de manejar y preparar, y d) costo acorde con el tipo de obra a realizar.

2.9.4 Estabilización con suelo - cemento

Su utilización viene desde el año 1917, cuando recién se había introducido el cemento al país; se empleó con modestos resultados, siendo hasta el año 1932 que el Departamento de Caminos Estatales de Carolina del Sur de Estados Unidos de América desarrolló estudios más serios y completos, motivando mayor interés en su uso. A todo esto, le siguieron investigaciones en diversos países, tales como Estados Unidos de América, Alemania, Argentina e Inglaterra, desde mediados del siglo pasado, desarrollando la tecnología moderna del suelo

cemento con análisis acordes con el tipo de suelo de cada lugar, en la construcción de caminos y viviendas de bajo costo. La técnica suelo-cemento es apoyada por la Asociación del Cemento Portland en Estados Unidos de América, cuyas publicaciones han hecho que sea conocida internacionalmente como alternativa confiable y eficiente para la estabilización de suelos.

Suelo cemento es una mezcla destinada a mejorar las condiciones de estabilidad del suelo, en la cual, mediante análisis de laboratorio, se establece el contenido de cemento necesario para alcanzar requisitos mínimos de resistencia y durabilidad. Esto se logra cuando a los suelos se les mezcla cemento y agua en proporciones específicas, bajo determinadas condiciones; la mezcla resultante se compacta vigorosamente, para obtener las propiedades establecidas de este material, lo cual resulta de la hidratación del cemento y la energía de compactación. Cuando los suelos solo necesitan aumentar el valor relativo de soporte y disminuir su plasticidad, se hace una mezcla con pequeñas cantidades de cemento (3% a 8% por peso de suelo seco). El porcentaje de cemento es el factor que modifica el suelo y se ha logrado establecer que la mayoría de estos suelos utilizados para elaborar suelo cemento se modifican convenientemente con el 14% o menos de cemento, pero también es cierto que más del 50% de los mismos suelos requieren solamente el 10% de cemento; por lo tanto, es necesario identificar correctamente el suelo para llegar a un resultado económico. La forma de establecer los contenidos de cemento para la construcción de

caminos de bajo costo está basada en hacer varias mezclas de prueba para obtener datos de laboratorio; a partir de estos ensayos y sus resultados, así como el de los pavimentos que se encuentran en servicio, se decide la correspondiente mezcla a aplicar. Este criterio permite obtener un contenido de cemento mínimo para producir un suelo cemento resistente y durable, es decir, adecuado para la construcción de caminos.

2.9.5 Estabilización con cal.

La estabilización de suelos con cal es un tipo de estabilización química en la que el principal aditivo es la cal. Los principales efectos son los siguientes:

- La cal hace que el suelo arcilloso se desmenuce más fácilmente.
- Reduce la plasticidad del suelo;
- Favorece el secado de suelos muy húmedos;
- Favorece la compactación de suelos con humedades muy altas;
- Mejora la estabilidad del suelo al efecto del agua lluvia, haciendo impermeable la superficie.
- Reduce la influencia perniciosa de la materia orgánica.

El suelo estabilizado con aditivos consiste en seleccionar el estabilizador, la cantidad y el método de aplicación; así mismo, la extensión de suelo a ser estabilizado. Al estabilizar suelos plásticos con cal, se combaten los cambios de

volumen, y se eleva la resistencia del suelo debido a la acción cementante de la cal.

La metodología para dosificar mezclas de suelo-cal es similar a la del suelo-cemento, al igual que lo son las pruebas de laboratorio que se utilizan actualmente para dar una idea de la calidad de las mezclas obtenidas. Un buen criterio para preparar mezclas para estudio en el laboratorio es agregar suelo, 1% de cal por cada 10% de fracción fina que este contenga.

2.9.6 Estabilidad de suelos con emulsión asfáltica.

Uno de los aditivos utilizados en la estabilización de suelos es el asfalto. Este proceso se realiza a temperatura ambiente, con productos asfálticos que presenten una consistencia adecuada bajo esta condición. Los productos asfálticos que tienen esta característica son las emulsiones asfálticas y el asfalto espumado. Las emulsiones asfálticas son muy utilizadas debido a su satisfactorio comportamiento con los agregados pétreos.

En la estabilización de materiales granulares donde ya existe aporte friccional, el asfalto cumple dos funciones. La primera es la de impermeabilización, creando una membrana que previene o dificulta la entrada del agua, reduciendo la tendencia del material a perder resistencia y módulo en presencia de agua. La otra es la adhesión, brindando al agregado la cohesión de la cual carece, aumentando la resistencia al corte y a la flexión, así como el módulo elástico.

El diseño de mezclas con emulsiones asfálticas aplica métodos que tienen la durabilidad como criterio de comportamiento de la mezcla después de compactada y curada. La mayoría de los métodos incluyen la determinación de la pérdida de capacidad resistente de la mezcla después de un periodo de inmersión en agua, comparando la resistencia inicial con la resistencia después de la inmersión.

2.10 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Las técnicas de tratamiento superficial incluyen cualquier aplicación de una capa de asfalto o mezcla asfáltica con o sin agregado sobre una superficie de carretera. El espesor de tales aplicaciones varía comúnmente en el rango de 8 mm a 25 mm. Su propósito es el de sellar el pavimento y mejorar o proteger las características de la superficie de la carretera, pero generalmente no provee incremento en la capacidad estructural del pavimento.

Las funciones de las técnicas de tratamiento superficial pueden ser resumidas de la siguiente forma:

- Proveer una nueva superficie de desgaste.
- Sellado de grietas en la superficie.
- Impermeabilización de la superficie.
- Mejoramiento de la fricción y drenaje de la superficie del pavimento.
- Reducción del envejecimiento del pavimento.

- Mejoramiento de la apariencia superficial.
- Demarcación de los hombros, diferenciándolos de los carriles de tránsito.

Todas las técnicas de tratamiento superficial proveen una nueva superficie de desgaste, sin embargo; aquellas aplicaciones que incluyen agregados, especialmente los agregados de mayor tamaño, son frecuentemente aplicados para mejorar específicamente las características de desgaste del pavimento.

Las Técnicas de Tratamiento Superficial se clasifican por su composición (las cuales pueden ser solo de asfalto o una combinación de asfalto, agregado, modificadores), y por su uso.

2.10.1 TIPO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

1. TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (CHIP SEAL)

Un tratamiento superficial simple implica el riego de un ligante asfáltico, el cual puede ser cemento asfáltico, asfalto rebajado o emulsión asfáltica, seguido de un inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado.

USO:

- Como medida provisoria, previo a la aplicación de una mezcla asfáltica.

- Para corregir desprendimientos en la superficie y oxidación de pavimentos.
- Para proveer una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.
- Como un procedimiento de mantenimiento preventivo o provisorio, particularmente adecuado para tráfico liviano y medio.
- Los tratamientos simples se pueden aplicar a continuación de un sellado de fisuras.
- El tratamiento superficial es aplicado para resistir la acción abrasiva del tráfico.

Los procesos constructivos y control de calidad de los materiales de un Tratamiento Superficial Simple deberán cumplir con lo estipulado en Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highways Projects (FP 96), SECTION 409). ASPHALT SURFACE TREATMENT.

2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL MÚLTIPLE (DOBLE, TRIPLE, CUÁDRUPLE)

Un tratamiento superficial múltiple consiste en una aplicación alterna de capas de ligante asfáltico y agregados, considerando que el tamaño del agregado en la primera aplicación es mayor y disminuye en cada una de

las aplicaciones sucesivas, pudiéndose alcanzar espesores de hasta 25 mm.

USO

- Provee nivelación a la superficie tratada.
- Provee una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.
- Proporciona una superficie de sellado muy resistente al desgaste.

Los procesos constructivos y control de calidad de los materiales de un Tratamiento Superficial Múltiple deberán cumplir con lo estipulado en Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highways Projects (FP 96), SECTION 409. ASPHALT SURFACE TREATMENT.

3. SELLO CON LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEAL)

Un sello con lechada asfáltica consiste en una mezcla de emulsión diluida con agregado fino en un mezclador especial en el sitio de trabajo y colocada sobre la superficie del pavimento. El espesor de la lechada asfáltica es generalmente menor a 9.5 mm, produciéndose una mínima pérdida de altura del cordón.

USO

- Es una técnica de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- Corrige irregularidades superficiales menores. Sella fisuras superficiales.
- Evita el desprendimiento de agregados.
- Mejora la resistencia al deslizamiento para velocidades inferiores a 64 km/h. Se recomienda para el tratamiento de calles urbanas.
- Impermeabiliza la superficie del pavimento.
- Reduce el deterioro por oxidación.
- Proporciona una superficie de sellado muy resistente al desgaste.

Los procesos constructivos y control de calidad de los materiales de una lechada asfáltica deberán cumplir con lo estipulado en Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highways Projects (FP 96), SECTION 410.) SLURRY SEAL.

4. MICRO-AGLOMERADO (MICRO-SURFACING).

Consiste en una mezcla de asfalto emulsificado modificado con polímeros, agregados bien graduados, material de relleno (filler), aditivos y agua, utilizando camiones autopropulsados con compartimientos para su colocación, los cuales son diseñados específicamente para esta actividad.

USO:

- Ofrece protección al pavimento subyacente.
- Mejora los valores de fricción superficial.
- Puede aplicarse para el relleno de ahuellamientos. Existen equipos especiales que permiten rellenar huellas hasta de 40 mm (1 ½") en una sola pasada.
- Puede aplicarse para realizar reperfilados menores en el pavimento.
- El Micro-Aglomerado puede ser empleado para el recapado general de calles y carreteras de tráfico medio y pesado.

5. CAPE SEAL

Es una combinación de tratamiento superficial simple o múltiple y lechada asfáltica (Slurry Seal). Inicialmente se aplica el tratamiento superficial y entre cuatro y diez días después se aplica la lechada asfáltica. Se emplean a menudo debido al color del tratamiento superficial ya terminado.

VENTAJAS:

- Provee un tratamiento superficial de alta durabilidad.
- Provee un tratamiento superficial altamente flexible.
- La lechada asfáltica liga los agregados gruesos para prevenir pérdidas, impidiendo la excesiva abrasión del tráfico.
- Provee una superficie densa y confortable.
- Incrementa la vida de servicio en carreteras de alto volumen de tráfico.

6. RIEGO PULVERIZADO (FOG SEAL).

Es una ligera aplicación de emulsión asfáltica de rotura lenta diluida en agua, distribuida sobre una superficie asfáltica existente.

Esta aplicación sella y rejuvenece la superficie asfáltica, dependiendo del tipo de emulsión usada y la condición de la superficie del pavimento existente.

El riego pulverizado (Fog Seal) ha sido usado más frecuentemente como una actividad de mantenimiento en la conservación de hombros.

USO:

- Renovación de viejas superficies asfálticas.
- Sellar pequeñas fisuras y vacíos superficiales.
- Recubrir partículas de agregado en la superficie.
- Prevenir el desprendimiento de partículas de agregado.

7. SELLADO CON ARENA (SAND SEAL).

Usualmente consiste en la aplicación de un riego de emulsión asfáltica de rápido rompimiento (rapid-setting) con una ligera cubierta de agregado fino (tal como arena limpia o recebo). Esta aplicación tiene la misma función que un riego pulverizado (Fog Seal) pero proporciona una mejor superficie friccionante. Sin embargo, la apariencia de la superficie del sellado de

arena no proporciona la misma delineación que un riego pulverizado. Los espesores típicos oscilan entre 2 mm y 5 mm.

USO

- Renovación de viejas superficies asfálticas.
- Sellar pequeñas fisuras y vacíos superficiales.
- Recubrir partículas de agregado en la superficie.
- Impedir la pérdida de material de la vieja superficie.
- Desarrollar una textura superficial resistente al deslizamiento.
- Relleno de pequeños vacíos debido a la pérdida de agregado fino de la superficie.

ALGUNOS DAÑOS TÍPICOS EN PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.

A continuación, se presentan algunos daños típicos en pavimentos con superficie asfáltica, con el objeto de ejemplificar los problemas que se mencionan en la Tabla 2 del numeral 8 de este documento.



Imagen 2.13: Daños típicos de superficie de pavimentos.

Fuente: Cruz Serrano, Erick Nill; De Paz De Paz, Santos Mardoqueo y Serrano Guandique, Vladimir Otoniel (2019) Propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento de 3 kilómetros de vía de acceso del Cantón Copapayo municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán.

CAPÍTULO III: ESTUDIOS PRELIMINARES

3.1 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

El estudio geológico y geotécnico es fundamental para garantizar la seguridad y viabilidad de proyectos de construcción, al identificar riesgos naturales, evaluar la estabilidad del terreno y optimizar el diseño estructural. Dichos estudios permiten prevenir fallos, reducir costos y asegurar el cumplimiento normativo, proteger el medio ambiente y minimizar los riesgos asociados al suelo.

Localización:

El proyecto se ubica a la altura de kilómetro 37 $\frac{1}{2}$ de la carretera Troncal del Norte, la vía de acceso principal a cantón San Diego se encuentra al lado oriental de la carretera, en dirección San Salvador-Chalatenango, sobre las riberas de río Acelhuate.

Morfología:

La zona se encuentra en el valle del río Acelhuate, en el lado oriente del río, en el área perteneciente a la desaparecida Hacienda San Diego. La zona posee poco relieve, teniendo una superficie bastante plana con cotas de 300 y 295 más o menos.

Geomorfología:

La zona se encuentra sobre depósitos de arena bastante abundantes con una morfología bastante plana. Se presume que fue parte del cauce del río Acelhuate, con el paso del tiempo este se desplazó hacia donde se encuentra actualmente, por lo que se encuentra un banco de sedimentos rocosos y arenosos. Donde de manera visual se notan arenas y gravas mal gradadas.

3.1.1 Geología de la zona

La zona es un valle a la ribera del río Acelhuate; zona de acumulación de sedimentos productos del arrastre del cauce del río, donde se depositó en grandes cantidades. Su estructura estratigráfica muestra la acumulación similar a la que se encuentra en la mayoría de ríos y quebradas de la zona.

Las rocas más grandes son provenientes de sedimentos también llamados cantos rodados de aproximadamente $\frac{3}{4}$ de pulgada.

3.1.2 Estudio geotécnico

Este estudio pretende definir la naturaleza de los materiales existentes en la vía, de forma que el diseño se realice de manera correcta, siguiendo las normas internacionales y procesos de calidad.

Como parte de esta campaña geotécnica se tienen como objetivo los siguientes puntos:

- Realización de Pozos a Cielo Abierto (PCA) para conocer la estratigrafía de la zona de estudio, realizándose a aproximadamente 500 metros.

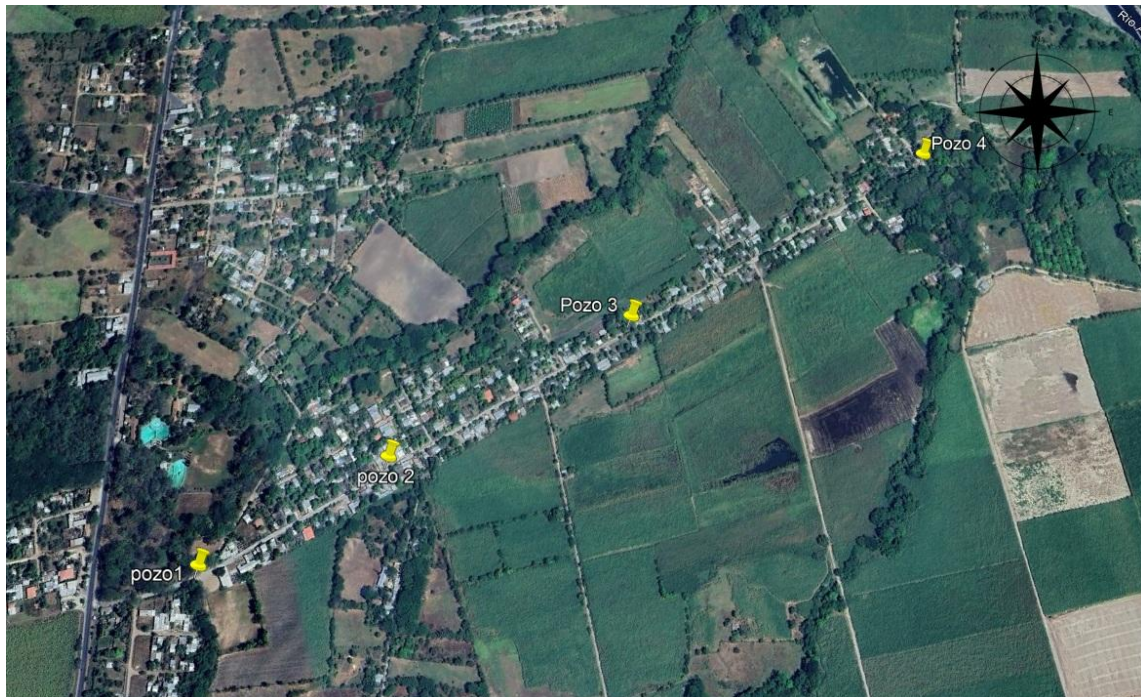
- Definir las características físicas y mecánicas básicas del suelo en la zona de estudio.

Localización de muestreo

La localización de los Pozos de Cielo Abierto (PCA) se realizó aproximadamente cada 500 m, debido a obras de construcción que se realizan en el tramo inicial de la vía por parte de DOM, el PCA 1 se trasladó a aproximadamente 100 m después del inicio del tramo en estudio.

La profundidad de los PCA se realizó según los Términos De Referencia (TDR) que es de 1.5 metro como mínimo.

A continuación, se muestra la distribución de los Pozos a Cielo Abierto:



*Imagen 3.1 Ubicación de Pozos a Cielo Abierto a lo largo de la Vía.
Fuente: Elaboración propia.*

En este Proyecto se realizaron 4 Pozos a Cielo Abierto a cada 250 m aproximadamente, tratando de distribuirlos a lo largo de la vía de estudio, se presenta la ubicación en el siguiente cuadro:

N° de PCA	Latitud	Longitud	Estación	Lateral	Localización	Profundidad
PCA 1	14.00359	89.166928	0+170	derecho	sobre la vía existente	1.5
PCA 2	14.004369	89.163853	0+500	izquierdo	sobre la vía existente	1.5
PCA 3	14.005259	89.159652	1+000	izquierdo	sobre la vía existente	1.5
PCA 4	14.0066	89.154339	1+575	derecho	sobre la vía existente	1.5

Tabla 3.1 Ubicación de Pozos de Cielo Abierto (PCA) en la Vía.

Fuente: Elaboración Propia.

Se incluyen además las fichas técnicas de cada uno de los PCA (Tablas 3.2 a 3.5)

PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR		Técnico:
		Fecha:
		05/08/2024
HOJA DE REGISTRO DE POZO A CIELO ABIERTO		
PCA	1	
Estación	0+170	
Lateral	Derecho	
Espesor	Capa	
0-1.50	1	
		Tipo de capa
		Grava arenosa con arcilla

Tabla 3.2 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 1

Fuente: Elaboración Propia.

PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR		Técnico:
		Fecha:
		05/08/2024
HOJA DE REGISTRO DE POZO A CIELO ABIERTO		
PCA	2	
Estación	0+500	
Lateral	Izquierdo	
Espeor	Capa		Tipo de capa
0-0.55	1	Grava Arenosa color oscuro con materia organica
0.55-1.5	2	Arena con gran cantidad de pomez

Tabla 3.3 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 2

Fuente: Elaboración Propia.

PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR		Técnico:
		Fecha:
		05/08/2024
HOJA DE REGISTRO DE POZO A CIELO ABIERTO		
PCA	3	
Estación		
Lateral		
Espeor	Capa		Tipo de capa
0-0.63	1	Balastro
0.63-1.50	2	Arena limpia con gran cantidad de pomez

Tabla 3.4 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 3

Fuente: Elaboración Propia.

PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR		Técnico:
		Fecha:
		05/08/2024
HOJA DE REGISTRO DE POZO A CIELO ABIERTO		
PCA		
Estación	1+575	
Lateral	Derecho	
Espesor	Capa	
0-0.70		Balastro
0.7-1.5		limo arenoso con gran cantidad de pomez

Tabla 3.5 Ficha de registro de exploración geotécnica de PCA 4

Fuente: Elaboración Propia.

Los ensayos de laboratorio a realizar por PCA son los siguientes según requerimientos en Términos De Referencia (TDR) de FOVIAL para el diseño de una vía:

Ensayos de Clasificación de Suelos	
Análisis granulométrico	AASHTO T 88-10 (ASTM D422-63)
Límites de Consistencia de Atterberg	AASHTO T89-13 y T90-00 (ASTM D4318-17)
Gravedad Específica de los sólidos del suelo	AASHTO T 100-15 (ASTM D854-10)
Determinación de Contenido de humedad	AASHTO T265-15 (ASTM D2216-05)
Ensayo Relación Densidad Humedad	AASHTO T 99-01(ASTM D-698)
CBR de suelos compactados en laboratorio	AASHTO T193-13 (ASTM D1883-16)
Clasificación de suelos	AASHTO M145-91 (D2487-11)

Tabla 3.6 Ensayos a realizar y referencia a normativa correspondiente

Fuente: Elaboración Propia.

La preparación de muestras para los ensayos se realizó mediante la norma ASTM C 702, la cual describe el método de reducción de muestras de agregado a tamaño de prueba, en la cual se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se procedió al cuarteo de material siguiendo la norma ASTM C 702 para obtener una muestra representativa para la humedad natural de suelo.
2. Luego se procedió al secado al sol de la muestra de cada PCA, hasta que se encontrara en un estado óptimo de trabajo.
3. Se procedió al cuarteo de forma manual hasta obtener una muestra representativa.
4. Se procedió a pesar las cantidades necesarias para realizar los diferentes ensayos, siempre teniendo un porcentaje de excedente en caso de fallo de alguna prueba.

A continuación, se muestra un peso aproximado necesario para la realización de los ensayos para cada PCA:

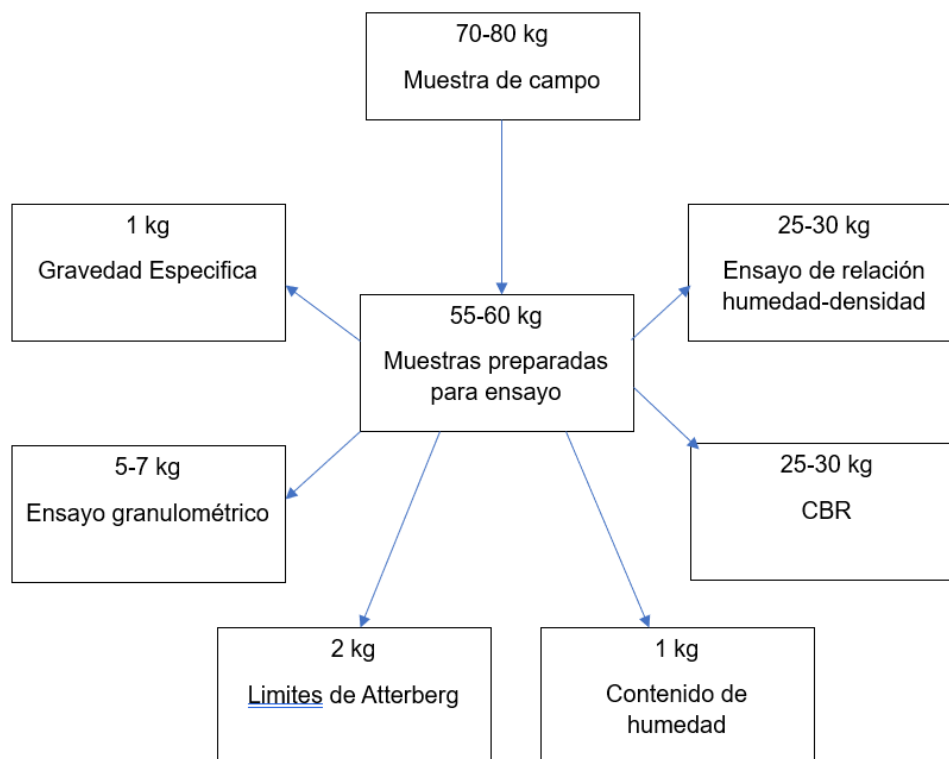


Imagen 3.2 Cantidades recomendadas para cada ensayo de laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2.3 Resumen de ensayos realizados

Se realizará demostración de desarrollo para PCA-1

Ensayo N.º 1

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO EN EL LABORATORIO, POR MASA (BASADA EN ASTM D 2216-05)

Equipo

- Recipientes para humedad.
- Horno con control de temperatura controlada.

- Balanza con precisión de 0.01 g.
- Misceláneos (Espátula, pala, cuchillo, cucharones).

Fórmula empleada para determinar humedad:

$$w = \frac{(M_{h+r} - M_{s+r})}{(M_{s+r} - M_r)} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Dónde:

- W: contenido de agua, %
- M_{h+r}: masa del suelo húmedo más recipiente, g
- M_{s+r}: masa del suelo seco más recipiente, g
- M_r: masa del recipiente, g
- M_w: masa de agua, g, y,
- M_s: masa del suelo seco, g

Tamaño máximo de la partícula (100% pasando)	Tamaño nominal de la malla	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba, para contenido de humedad reportada al ± 0.1%	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba, para contenido de humedad reportada al ± 1%
2 mm o menos	No 10	20 g	20 g*
4.75 mm	No 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8 pulg	500 g	50 g
19.0 mm	¼ pulg	2.5 kg	250 g
37.5 mm	½ pulg	10 kg	1 kg
75.0 mm	3 pulg	50 kg	5 kg

Tabla 3.7 Masa mínima de muestra para la determinación del contenido de humedad.

*Los valores no puede ser menores a 20 g

Fuente: Norma ASTM D 2216.

Tabla de resultados

Pozo	1		2				3				4			
Estrato	Unico		1		2		1		2		1		2	
No de recipiente	kz	1-5	N-51	20-1	50-2	2m	1-3	50-3	n-50	n-6	20-2	M-6	C-33	20-1-4
Recipiente+Suelo Humedo	552	480	441	413	299	460	330.1	324	350	341	476	485	458	339
Recipiente+suelo Seco	511	443	409	381	275	423	302	300	309	299	434	442	387	300
Masa de Agua	41.0	37.0	32.0	32.0	24.0	37.0	28.1	24.0	41.0	42.0	42.0	43	71	39.0
Masa del recipiente	155.1	155.1	206	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	124.6	141.4	155.1
Masa del Suelo Seco	355.9	287.9	203.0	225.9	119.9	267.9	146.9	144.9	153.9	143.9	278.9	317.4	245.6	144.9
Contenido de Humedad	11.52%	12.85%	15.76%	14.17%	20.02%	13.81%	19.13%	16.56%	26.64%	29.19%	15.06%	13.55%	28.91%	26.92%
Contenido de Humedad Promedio	12.19%		14.96%		16.91%		17.85%		27.91%		14.30%		27.91%	

Tabla 3.8 Tabla con datos para la determinación del contenido de humedad.

Fuente: Elaboración Propia.

Ejemplo de cálculo:

PCA-1

$$W1 = \frac{552 - 511}{511 - 155.1} = \frac{41}{355.9} \times 100 = 11.52\%$$

$$W2 = \frac{480 - 433}{433 - 155.1} = \frac{37}{287.9} \times 100 = 12.85\%$$

$$W_{prom} = \frac{w1 + w2}{2} = \frac{11.52 + 12.85}{2} = 12.19\%$$

Ensayo N°2**GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (Método del
matraz volumétrico más agua)****Referencias: ASTM D 854-10**

Material y Equipo

- Muestra de suelo

- Picnómetro o matraz volumétrico

- Agua destilada
- Termómetro (legibilidad de 0.1 °C)
- Balanza (con una legibilidad de 0.01 g)
- Baño de María
- Embudo
- Misceláneos (pipetas, franelas, cepillo, horno de secado, espátulas, tamiz No 4 (4.75 mm))

Determinación de la gravedad específica.

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice un picnómetro de 250 ml	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice un picnómetro de 500 ml
SP, SP- SM	60 ± 10	100 ± 10
SP- SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Tabla 3.9 Masa recomendada para espécimen de ensayo

Fuente: Norma ASTM D 854-10

- Método: B
- Método de remoción de aire: baño maría.

Tabla de datos:

Pozo	1
Estrato	1
Matraz	M-1
Temperatura de ensayo (Te)°C	24.00
Densidad del agua a temperatura e ensayo	0.99730
Masa de matraz+suelo+agua a Te	723.09
Masa de matraz+ agua a Te	662.50
No. Recipiente	N°2
Masa de recipiente	108.22
Masa de solidos del suelo+ recipiente	210.40
Masa de solidos del suelo	102.18
Gravedad especifica a temperatura de ensayo	2.46
Coficiente de temperatura	0.99909
Gravedad especifica a temperatura de 20°c	2.45

Tabla 3.10 Datos para determinación de gravedad específica.

Fuente: Elaboración Propia.

Cada matraz posee una carta de calibración se agregará en los anexos para cada uno.

Cálculo de Gravedad específica (Gs) a temperatura de ensayo (Matraz M-1)

$$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)} = \frac{108.55}{723.09 - (662.50 - 102.18)} = 2.46$$

Cálculo de la terminación de la gravedad específica a 20 °C (matraz m-1)

El coeficiente de temperatura de toma de la tabla No 3.10

$$G_{20^{\circ}C} = K G_{st} = 0.99909 * 2.46 = 2.45$$

Temperature (°C)	Density (g/mL) ^c	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^c	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^c	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^c	Temperature Coefficient (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99944
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99941
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99938
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99935
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99932
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99841
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99838
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99835
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99832
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

Tabla 3. 11: Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) a diferentes temperaturas

Fuente: Norma ASTM D854.

Ensayo No 3

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS.

Referencias: ASTM D422-63 (Re aprobada en 2007)

Material y Equipo

- Muestra de suelo
- Balanza (precisión de 0.1 g)
- Hidrómetro (151H o 152H)

- Probetas de 1000 ml

- Termómetro (precisión de 0.5 °C)

- Juego de tamices (ver tablas No 5.1 y 5.2)

- Beaker de capacidad de 250 ml

- Agua destilada o desmineralizada

- Cronómetro

- Mortero y pistilo

- Vibrador eléctrico (Rop-Tap)

- Varilla de vidrio (agitador)

- Pissetas

- Agente defloculante (hexametáfosfato de sodio)

- Franelas, charolas, cucharón

Determinación de la Granulometría.

Pozo 1

1. Determinación de la humedad higroscópica.

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{141.68 - 141.50}{141.50 - 92.4} \times 100 = 37\%$$

2. Determinación de la masa seca que pasa el tamiz N° 10 corregida por humedad higroscópica.

$$M_{sh} = \frac{M_h}{1 + \frac{\omega}{100}} = \frac{49.10}{1 + \frac{37}{100}} = 35.84$$

3. Determinación de la masa seca total del ensayo.

$$M_t = M_g + M_{sh}$$

Tamizado de la fracción retenida en la N°10, referido a la muestra total.

1. Análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz N°10

Malla No. (1)	Abertura, mm (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)
			Parcial (4)	Acumulado (5)	
x_1	y_1	m_1	$R_1 = (m_1/m_t) \times 100$	$Ra_1 - R_1$	$P_1 = 100 - Ra_1$
x_2	y_2	m_2	$R_2 = (m_2/m_t) \times 100$	$Ra_2 - Ra_1 - R_2$	$P_2 = 100 - Ra_2$
x_3	y_3	m_3	$R_3 = (m_3/m_t) \times 100$	$Ra_3 - Ra_2 - R_3$	$P_3 = 100 - Ra_3$
:	:	:	:	:	:
No. 10	2.00	m_{10}	$R_{10} = (m_{10}/m_t) \times 100$	$Ra_{10} - Ra_n + R_{10}$	$P_{10} = 100 - Ra_{10}$
Pasa No. 10		m_{10}			

Tabla 3. 12 Procedimiento para cálculo de granulometría.

Fuente: Elaboración Propia.

1.1 Porcentaje de fracción que se retiene en el tamiz N°10

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{masa retenida}}{\text{masa seca total}} \times 100 = \frac{681.20}{6286.90} \times 100 = 10.80 \%$$

1.2 Porcentaje de la fracción que pasa el tamiz N°10

$$\% \text{ pasa} = \frac{\text{masa pasa}}{\text{masa seca total}} \times 100 = \frac{180.00}{6286.90} \times 100 = 2.90 \%$$

1.3 Porcentaje acumulado en cada tamiz

$$\begin{aligned} \% \text{ acumulado} &= \% \text{ acumulado anterior} + \% \text{ retenido} = 97.1 + 2.9 \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10

Muestra Inicial 6287.10 g

Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa
			Parcial	Acumulado	
1 1/2	40	102.00	1.6	1.6	98.4
1	25	1375.30	21.9	23.5	76.5
3/4	19.1	1207.00	19.2	42.7	57.3
3/8	9.52	1812.80	28.8	71.5	28.5
4	4.75	928.60	14.8	86.3	13.7
10	1.9	681.20	10.8	97.1	2.9
pasa 10		180.00	2.9	100	0.00
Total		6286.90			

Tabla 3. 13 Granulometría para agregado gruesos

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La masa del material que pasa la malla N°10 es la corregida por humedad higroscópica más el material perdido por lavado de la fracción gruesa.

Análisis por Hidrometría

Lecturas del hidrómetro para corrección por menisco (Cm) y corrección por defloculante (Cd)

N° de hidrómetro	2	Corrección por menisco, Cm	-1
		Corrección por defloculante,	
GS de los solidos	2.45	Cd	4
Masa Seca	99.63 g	Factor de corrección (a)	1.05

Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (Ct)
26.2	1.72
26.5	1.83
28.3	2.67
28.7	2.89
25.7	2.60

Tabla 3. 14 Temperaturas para hidrometría.

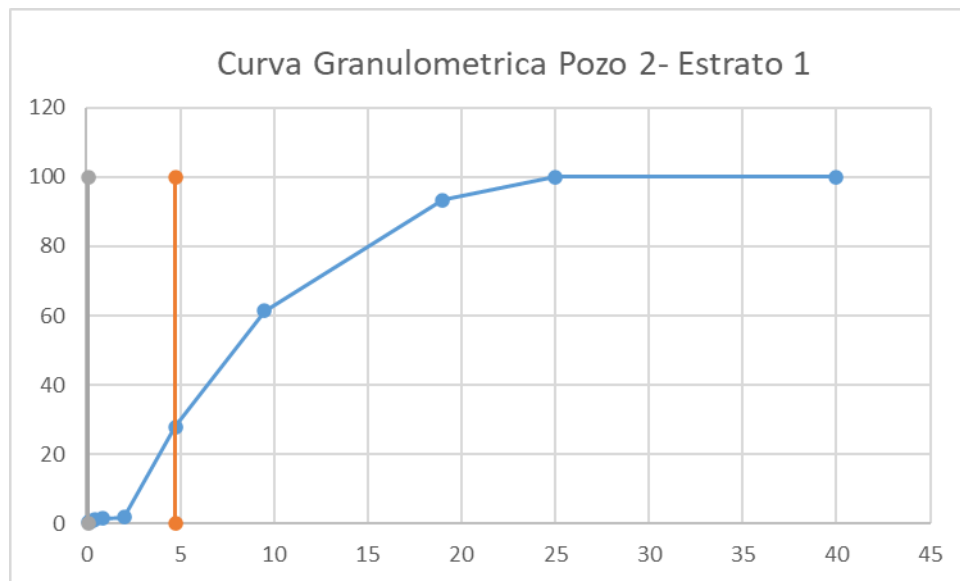
Fuente: Elaboración Propia.

Fecha	Tiempo transcurrido(t), min	T(°C)	lectura real de hidrómetro	Lectura corregida del hidrómetro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco(R)	L(cm)	(L/T) ^1/2	K	% que pasa (referido al % que pasa No. 200)	D(mm)
	2	26.2	30	27.72	29.21	26.72	11.4	2.387467277	0.01354	8.7	0.0323
	5	26.2	24	21.72	22.89	20.72	12.4	1.574801575	0.01354	6.8	0.0213
	15	26.2	19	16.72	17.62	15.72	13.2	0.938083152	0.01354	5.2	0.0127
	30	26.2	16	13.72	14.46	12.72	13.7	0.675771164	0.01354	4.3	0.0091
	60	26.5	13	10.83	11.41	9.825	14.2	0.486483984	0.013495	3.4	0.0066
	250	28.3	9	7.67	8.08	6.665	14.8	0.243310501	0.013225	2.4	0.0032
	370	28.7	7	5.89	6.20	4.885	15.2	0.202684684	0.013165	1.8	0.0027
	1440	25.7	7	5.60	5.90	4.595	15.2	0.102740233	0.013615	1.7	0.0014

Tabla 3. 15 Datos de hidrometría de PCA-1.

Fuente: Elaboración Propia.

Para este tipo de suelo se determinó la siguiente gráfica que muestra la curva granulométrica del suelo:



Gráfica 3.1 Curva granulométrica pozo 2 – estrato 1

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo N° 4

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Referencias: ASTM D4318-17

Material y Equipo

- Recipientes para contenido de humedad (resistentes al calor y la corrosión).
- Placa de vidrio

- Copa de Casagrande
- Ranurador plano (plástico o metálico).
- Balanza con precisión de 0.01 g
- Calibrador
- Espátula y recipiente para mezclado
- Bolsas plásticas, franelas, cepillo, piseta, horno de secado

MÉTODO DE MÚLTIPLES PUNTOS

TABLA DE DATOS

	Limite Líquido			
Muestra	1	2	3	4
N° de golpes	17	23	27	29
N° de recipiente	0-0001	1	2	
Masa de recipiente	21.09	19.74	31.72	21.08
masa de suelo humedo+recipiente	25.38	24.01	34.35	22.5
masa de suelo seco+recipiente	24.44	23.4	34.15	22.43
masa de agua	0.94	0.61	0.2	0.07
masa de suelo seco	3.35	3.66	2.43	1.35
contenido de agua %	28.1	16.7	8.2	5.2

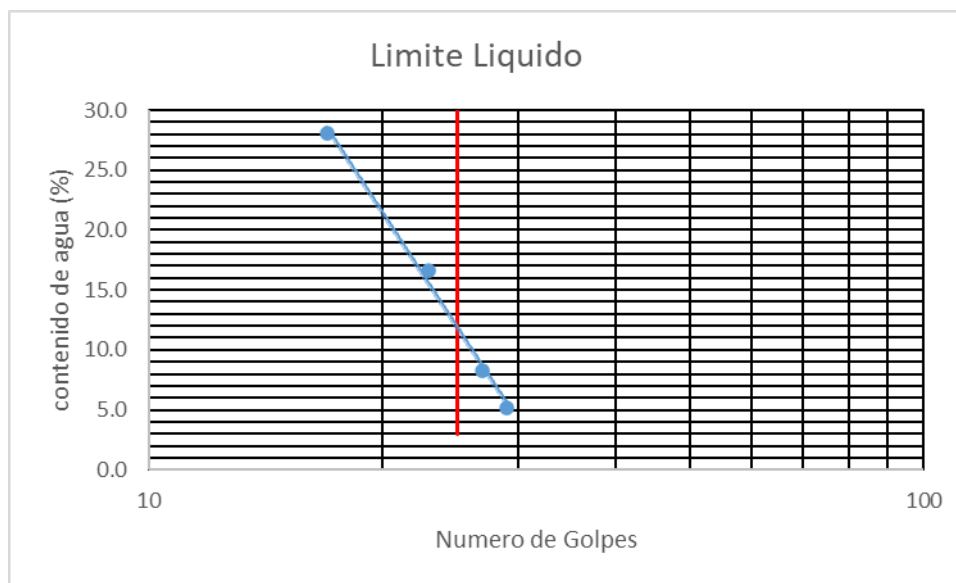
Tabla 3. 16 Datos de Limite Líquido (LL) de PCA-1.

Fuente: Elaboración Propia.

Determinación de límite líquido (LL)

1. Construir la curva de fluidez en papel semilogarítmico, graficando los contenidos de humedad en el eje de las ordenadas en escala aritmético, y el número de golpes en el eje de las abscisas en escala logarítmica.
2. Trazar una línea recta me una los puntos.

3. Seleccionar el número de 25 golpes e interceptarlo con la línea resta que une los puntos graficados, ubicar el contenido de humedad en el eje de las ordenadas.
4. Registrar en contenido de humedad como el límite líquido (LL).



Grafica 3.2 Determinación de Límite Líquido para 25 golpes.

Fuente: Elaboración Propia.

Donde el Límite Líquido para 25 golpes es: 12

Determinación del límite plástico

1. Calcular el promedio de los contenidos de humedad del ensayo de límite plástico, registrar este valor al entero más cercano siendo este el valor de límite plástico (LP).

	Limite Plastico	
Muestra	1	2
N° de recipiente	19	65
Masa de recipiente	18.1	11.86
masa de suelo humedo+recipiente	19.73	14.75
masa de suelo seco+recipiente	19.57	14.46
masa de agua	0.16	0.29
masa de suelo seco	1.47	2.6
contenido de agua %	10.88	11.15
contenido de agua promedio %	11.02	

Tabla 3. 17 Datos de Límite Plástico (LP) de PCA-1.

Fuente: Elaboración Propia.

Donde el Límite Plástico (LP) tiene un valor de: 11

Determinación del Índice de Plasticidad (IP):

Se determina de la siguiente manera:

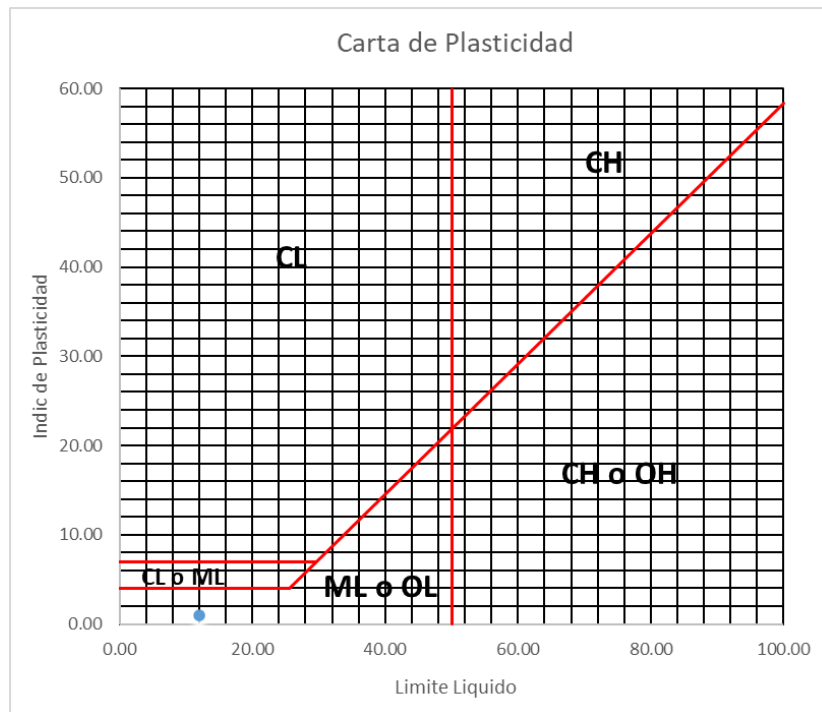
$$IP = LL - LP = 12 - 11 = 1$$

Tabla de resultados finales obtenidos en ensayo:

LL	12.00	%
LP	11.00	%
IP	1.00	%

Tabla 3. 18 Límites de consistencia de PCA-1.

Fuente: Elaboración Propia.



Grafica 3.3 Carta de plasticidad para PCA 1

Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de suelo fino para PCA-1: ML o OL

Para este estudio se realizó solamente los límites de consistencia al material de PCA 1 debido a que es el suelo que presento mayor cantidad de plasticidad al tacto. Sin embargo, el resto de las muestras no poseen plasticidad al tacto.

CLASIFICACION DE SUELOS

Sistema de Clasificación de Suelos de la AASHTO. Designación M 145

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	A-7-6
% pasante #10	50% máx						51% mín				
#40	30% máx	50% máx									
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx		10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40							N.P.				
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín		40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Tabla 3. 19 Clasificación de suelos de la AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia.

Del resultado de la curva granulométrica y del ensayo de límites para el PCA N°1 se presentan a continuación los porcentajes que pasa cada malla y los límite líquido e índice de plasticidad.

Tamiz	% que pasa
4	13.70
10	2.90
40	2.03
200.0	0.9
Propiedades Plásticas	
LL	12.0
IP	1.00

Tabla 3. 20 Datos necesarios para determinar clasificación AASHTO

Fuente: Elaboración Propia.

- Malla N°10

El porcentaje que pasa en la malla n°10 es de 2.9% lo que nos da una breve orientación de que podría ser un suelo A-1a, ya que el máximo permitido para esta malla es el 15% lo cual cumple.

- Malla N°40

El porcentaje que pasa en esta malla es de 2.03% lo cual cumple con los requisitos para pertenecer al grupo A-1a y A-1b, ya que cumple con los criterios de ambos ya que del primero es de 30% máximo que pasa y del segundo 50% máximo que pasa.

- Malla N°200

El porcentaje que pasa en esta malla es mínimo ya que es 0.9% de la muestra total. Lo cual cumple con los criterios de A-1a y A-1b.

- Valores para Límite Líquido

Ninguno de los dos subgrupos posee restricción en cuanto a límite líquido del suelo el cual es 12%.

- Valores para índice de plasticidad.

Se cumplen los requisitos para ambos subgrupos ya que IP máximo es 6% y en del suelo presente es del 1%. Por lo que su índice de grupo es 0.

La clasificación del suelo según AASHTO según cumplimiento de criterios es: A-1a (0) (Fragmento de agregados pétreos de arena y grava).

Sistema de Clasificación Unificada de Suelos. Basado en ASTM D 2487

Se clasifican en dos grandes grupos: suelos de grano grueso y suelos de grano fino, como se puede observar en la siguiente tabla.

Grupos	Descripción	Símbolos (prefijos)
Suelos de grano grueso	Grava y arenas en estado natural > 50 % retenido en malla No 200	G: Suelo de grava o grava
		S: Suelo arenoso o arena
Suelos de grano fino	≥ 50% que pasa la malla No 200	M: Limo inorgánico
		C: Arcilla inorgánica
		O: Limos orgánicos y Arcillas orgánicas
		Pt: turba, lodo, suelos altamente orgánicos

Tabla 3. 21 Clasificación según el tipo de grano del suelo.

Fuente :Norma ASTM D 2487

Otros símbolos

W: Bien graduado
P : Mal graduado
L : Baja plasticidad (con limite liquido < 50)
H: Alta plasticidad (con limite liquido > 50)

Tabla 3. 22 Simbología de tipo de suelo

Fuente :Norma ASTM D 2487

Los valores a utilizar son los siguientes:

Tamiz	% que pasa
4	13.70
10	2.90
40	2.03
200.0	0.9
Propiedades Plásticas	
LL	12.0
IP	1.00

Tabla 3. 23 Datos necesarios para determinar clasificación SUCS

Fuente: Elaboración Propia.

- Porcentaje de Grava

$$\% \text{ Gravas} = 100 - \% \text{ que pasa N}^\circ 4 = 100 - 13.70 = 86.30\%$$

- Porcentaje de Finos

$$\% \text{ Finos} = \% \text{ pasa N}^\circ 200 = 0.9\%$$

- Porcentaje de Arenas

$$\% \text{ Arenas} = 100\% - (\text{Gravas} + \text{Arenas}) = 100\% - (86.30\% + 0.9\%) = 10.8\%$$

Se debe tener especial atención a la graduación del suelo en el análisis granulométrico con el coeficiente de uniformidad (Cu) propuesto por Allen Hazen y el coeficiente de curvatura (Cc). Para suelos con él %Finos <5%

Para que los suelos gruesos sean considerados como bien graduados depende del tipo de suelo:

- **Gravas:** $Cu > 6; 1 \leq Cc \leq 3$
- **Arenas:** $Cu > 4; 1 \leq Cc \leq 3$

Esto permite clasificar el suelo en 4 tipos diferentes:

- **GW:** Gravas bien graduadas.
- **GP:** Gravas mal graduadas.
- **SW:** Arenas bien graduadas.
- **SP:** Arenas mal graduadas.

Cuando el porcentaje de fino es mayor o igual a un 12%, este suelo fino debe ser clasificado a través de la carta de plasticidad. Generando 4 tipos de suelos diferentes:

- **GC:** Gravas arcillosas.
- **GM:** Gravas limosas.
- **SC:** Arenas arcillosas.
- **SL:** Arenas limosas.

Cuando los suelos gruesos con $5\% \leq \% \text{Finos} < 12\%$. Esta clasificación se debe realizar a través de una combinación de las 2 anteriores, debido a que hay que tener en consideración la graduación del suelo y la clasificación del suelo fino.

Esto Hace que el suelo pueda ser clasificado en 8 categorías:

- **GW-GC:** Gravas bien graduadas arcillosa.
- **GP-GC:** Gravas mal graduadas arcillosa.
- **GW-GM:** Gravas bien graduadas limosa.
- **GP-GM:** Gravas mal graduadas limosa.
- **SW-SC:** Arenas bien graduadas arcillosa.
- **SP-SC:** Arenas mal graduadas arcillosa.
- **SW-SM:** Arenas bien graduadas limosa.
- **SP-SM:** Arenas mal graduadas limosa.

En el caso de PCA-1 debido a que contiene una cantidad de finos menor al 5%

Se tratará con los valores de $C_u > 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$.

Para determinar C_u y C_c se utilizan las siguientes formulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

D_{10} : tamaño de partícula cuando el pasante es el 10%

D_{30} : tamaño de partícula cuando el pasante es el 30%

D_{60} : tamaño de partícula cuando el pasante es el 60%

Estos valores se encuentran interpolando los valores obtenidos en la granulometría mediante la siguiente fórmula debido a las características logarítmicas de la curva de granulometría:

$$X = 10^{(y_0 - y_1) \left[\frac{\text{Log}(X_2) - \text{Log}(X_1)}{Y_2 - Y_1} \right] + \text{Log}(x_1)}$$

Donde se obtienen los siguientes valores para distintos tamaños de partícula:

$$D_{60} = 19.83$$

$$D_{30} = 9.87$$

$$D_{10} = 4.01$$

Estos valores se introducen en las siguientes fórmulas de C_u y C_c , los cuales dan los siguientes resultados:

$$C_u = 4.945$$

$$C_c = 1.2247$$

Lo que no cumple con los criterios para una grava bien gradada antes mencionados por lo que la clasificación de suelo es la siguiente:

(GW) Grava Bien Gradada

Ensayo N°5

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

Referencias: AASHTO T 180-01(ASTM D-698)

Material y equipo:

- Muestra de suelo:
- Representativa de campo y en condición “secada al aire” o a una temperatura no excedente de 60 °C.
- Nota: La masa de la muestra requerida para la ejecución de los métodos A y C deberá ser de aproximadamente 35 lbm (16 Kg) y para los métodos B y D de 65 lbm (29 Kg) en condición seca; por lo que una muestra traída de campo debería tener una masa húmeda de al menos 50 lbm (23 Kg) y 100 lbm (45Kg) respectivamente.
- Martillo de compactación; de 10 lb. con un diámetro de 2.0”, con una caída de 18”.
- Moldes con anillos metálicos; con diámetros de 4” y/o 6”
- Extractor de muestras
- Regla enrazadora (0.01” x 10”)

- Balanza (precisión de 0.1 y 1 g)
- Horno de secado
- Tamices; $\frac{3}{4}$ "y No 4
- Cuchillo, palas, espátula, bandejas, guantes de hule, probeta de 500 ml, brocha, cucharon, mortero y pistilo, vernier.

Ejemplo:

Datos preliminares para Pozo 3-estrato 2

- Cantidad de agua a agregar (C_w) para 24% de humedad (w_2)

$$C_w = k * w_2 - w_1 + w_1 = 5000 * (0.14 - 0.011) (1 + 0.011) = 632.06 \text{ ml}$$

- Tiempo de reposo de la muestra humedad

Clasificación	Mínimos Períodos de tiempo (horas)
GW, GP, SW, SP	No Requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 3. 24 Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos.

Fuente: ASSTHO T 180- 01

- Peso volumétrico húmedo (γ_h)

$$\gamma_h = (M_{sh} + m - M_m) / V_m = ((8948.8 - 5972.9) / 1000) * 0.0020446 = 1455.49 \text{ Kg/m}^3$$

- Peso volumétrico seco (γ_d)

$$\gamma_d = (\gamma_h / (1 + (w/100))) = ((1455.49 / (1 + (15.28/100))) = 1262.57 \text{ Kg/m}^3$$

Pozo	3	Fecha	
Estrato	2	No. De golpes	56
metodo de ensayo	8	No de molde	1
Masa de martillo	10	D inferior	
No de capas	5	D superior	
altura de molde		Gs	2.41
humedad del suelo		descripcion de suelo	SP

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

No de muestra	14	16	18	20	22
No de tara	2 A3	20-1-1-1 M+6	XY	13-1-1-1 N4	A-4
Masa de tara(Mt)	79.4	79	92.9	124.8	77.9
Masa de suelo humedo+tara(Mh+t)	232.8	257.9	639.3	640.8	333.4
Masa de suelo seco+tara(Ms+t)	212.8	233.8	557	566.4	288.6
Masa de agua	20	24.1	82.3	74.4	44.8
Masa de suelo seco(Ms)	133.4	154.8	464.1	441.6	210.7
Contenido de agua	14.99	15.57	17.73	16.85	21.26
Promedio de contenido de agua	15.28	17.29	21.72	22.17	22.24

DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD-HUMEDAD

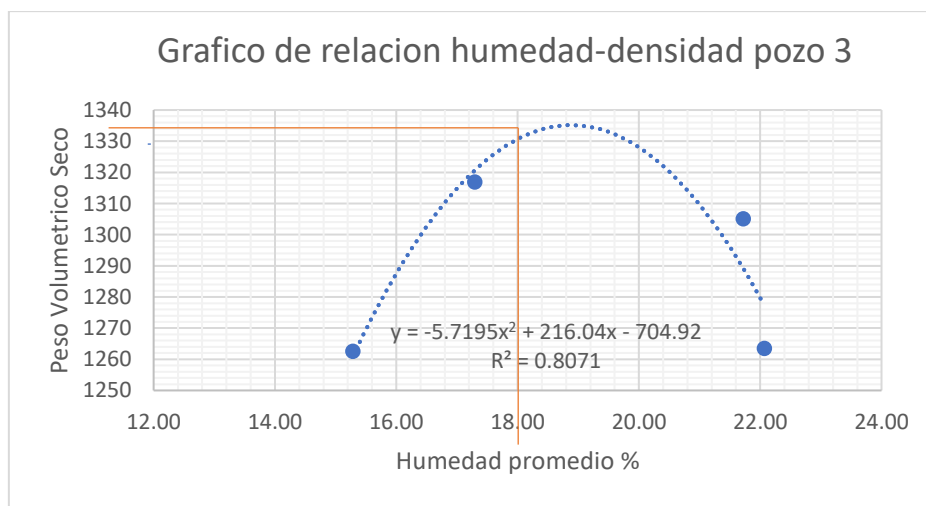
No de muestra	14	16	18	20	22
Masa de volumen de muestra de ensayo	5250	5580.5	5660	5562.8	5507.7
humedad del ensayo	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
Volumen de agua a agregar	816	979	1106	1199	1297
Masa de Molde	5972.9	5972.9	5972.9	5972.9	5972.9
Masa de suelo humedo+molde	8948.8	9131	9220.7	9126.2	9283.5
Volumen del molde	0.0020446	0.0020446	0.0020446	0.0020446	0.0020446
Peso Volumetrico humedo	1455.49	1544.61	1588.48	1542.26	1619.19
Humedad promedio	15.28	17.29	21.72	22.07	22.24
Peso Volumetrico Seco	1262.566217	1316.905307	1305.052721	1263.470153	1324.610308

Observaciones:

Humedad optima	18.89
Peso Vol. Seco maximo	1335.17

Tabla 3.25 Valores Obtenidos en ensayo de compactación de suelos en laboratorio.

Fuente:Elaboración Propia.



Gráfica 3.4 Gráfico de relación humedad- densidad

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo No 6**ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)****Referencia: AASHTO T193-11 (ASTM D1883-07e2)****MATERIAL Y EQUIPO**

- Molde: de 6 in. de diámetro interno y una altura de 7 in., extensión y una base perforada con agujeros de 1/16 in. de diámetro.
- Disco espaciador: de altura 2.416 in. construido de metal sólido.
- Martillo de compactación: tal como se especifica en la Norma ASTM D1557 ó AASHTO T-180.
- Placa y vástago: el vástago ajustable para medir el hinchamiento de la muestra y la placa con perforaciones de 1/16 in. de diámetro.
- Pesas: de forma anular con un peso de 2.27 Kg. ó partidas de 1.135 Kg. en peso, montadas sobre la placa antes mencionada.
- Máquina de carga.
- Pistón de penetración de 1.954 in. de diámetro.
- Trípode.
- Deformímetro.
- Horno de Secado.

Ejemplo:

Para la muestra de pozo 3 se tomó una muestra aproximada de 5000 g. y se agregó la cantidad de agua necesaria para llegar al contenido de humedad

óptimo del suelo según su Peso Volumétrico Máximo que es **1335.17 kg/ m3**.

Proyecto: Propuesta de diseño geométrico, hidráulico y estructural de Canton San Diego											
Ubicación: Canton San Diego, Distrito de El Paisnal, San Salvador Norte											
Tipo de Suelo:		SP									
Pozo:		3									
Profundidad:		1.5									
Estacion:		1+000									
Fecha:											
COMPACTACION											
Molde No./No de Golpes		6-56			5-25			4-12			
% Agua Agregada											
Agua Agregada (ml)											
Peso Suelo Humedo + molde (kg)		10.348			10.32523			9.9944			
Peso molde (Kg)		7.0286			7.17603			7.0669			
Peso del Suelo Humedo (Kg)		3.3194			3.1492			2.9275			
Volumen del Molde (m3)		0.0021031			0.0020887			0.0020982			
Contenido de Agua (%)		18.89			18.89			18.89			
Peso Volumetrico Humedo (Kg/m3)		1578.33			1507.76			1395.23			
Peso Volumetrico Seco (Kg/m3)		1327.56			1268.20			1173.55			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)		10.6536			10.6977			10.4361			
Saturada + Molde Despues Penetrac. (Kg)		10.638			10.6823			10.4102			
Peso Muestra Sat. Despues Penetrac.		3.6094			3.50627			3.3433			
Peso volumetrico Humedo (Saturado) (Kg/m3)		1716.22			1678.72			1593.40			
Peso volumetrico Seco (Saturado) (Kg/m3)		1326.74			1271.29			1184.17			
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA											
Tara No.		2		13-1		N5V		12		13-9	4
Peso Suelo Humedo + Tara		474.7		450.7		352		319.2		395.8	457.7
Peso Suelo Seco + Tara		383.1		367.9		286.6		253.1		312.9	361.9
Peso de Tara		79.1		78.2		78.9		50.4		78.3	78.3
Peso de Agua		91.6		82.8		65.4		66.1		82.9	95.8
Peso de Suelo Seco		304		289.7		207.7		202.7		234.6	283.6
Contenido de Agua (%)		30.13		28.58		31.49		32.61		35.34	33.78
Promedio Contenido de agua (%)		29.36				32.05				34.56	
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO											
56			25			12					
Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.					
Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)			
09/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	0	5		
10/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	0	5		
11/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	0	5		
12/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	0	5		
PENETRACION											
Penetracion en pulg.	56			25			12				
	No de Golpes			No de Golpes			No de Golpes				
	Tipo		Tipo		Tipo		Tipo				
	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2			
0.025	0.113	8.46780352	0.162	12.13968292	0.237	17.7599065					
0.05	0.363	27.2018821	0.48	35.96943088	0.655	49.08328589					
0.075	0.795	59.5743699	1	74.93631433	1.145	85.80207991					
0.1	1.537	115.1771151	1.698	127.2418617	1.63	122.1461924					
0.15	3.995	299.3705758	3.121	233.876237	2.404	180.1468997					
0.2	6.235	467.2279199	4.23	316.9806096	3.04	227.8063956					
0.25	7.82	586.0019781	5.116	383.3741841	3.563	266.998088					
0.3	8.996	674.1270837	5.785	433.5065784	4.038	302.5928373					
0.4	10.945	820.1779604	7	524.5542003	4.92	368.6866665					
0.5	12.7	951.691192	8.135	609.6069171	5.725	429.0103996					

Tabla 3.26 Datos obtenidos en Laboratorio para Ensayo CBR.

Fuente:Elaboración Propia.

penetracion	carga estandar	lbs/in2	%	lbs/in2	%	lbs/in2	%
0.1	1000	115.177115	12	127.2418617	13	122.1461924	12
0.2	1500	467.22792	31	316.9806096	21	227.8063956	15
promedio			21		17		14

Peso Volumetrico Seco	C.B.R
1184.17	14
1271.29	17
1326.74	21

Densidad Maxima Seca	1335.17
Humedad Optima	18.89
Densidad al 95 %	1268.41576
Valor de CBR de diseño	16.75

Tabla 3.27 Datos obtenidos por cálculos para Ensayo CBR.
Fuente:Elaboración Propia.

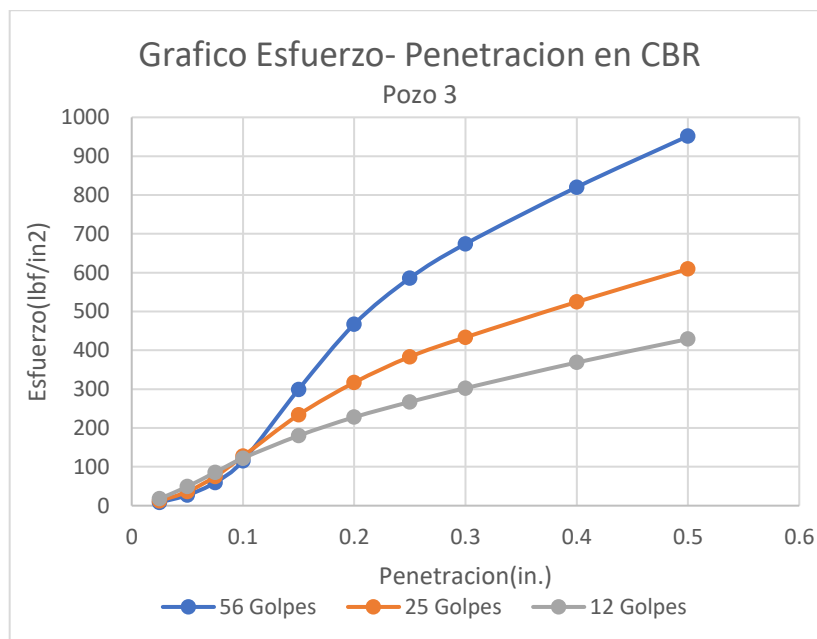


Gráfico 3.5 Gráfico Esfuerzo-Penetración en CBR.
Fuente:Elaboración Propia.

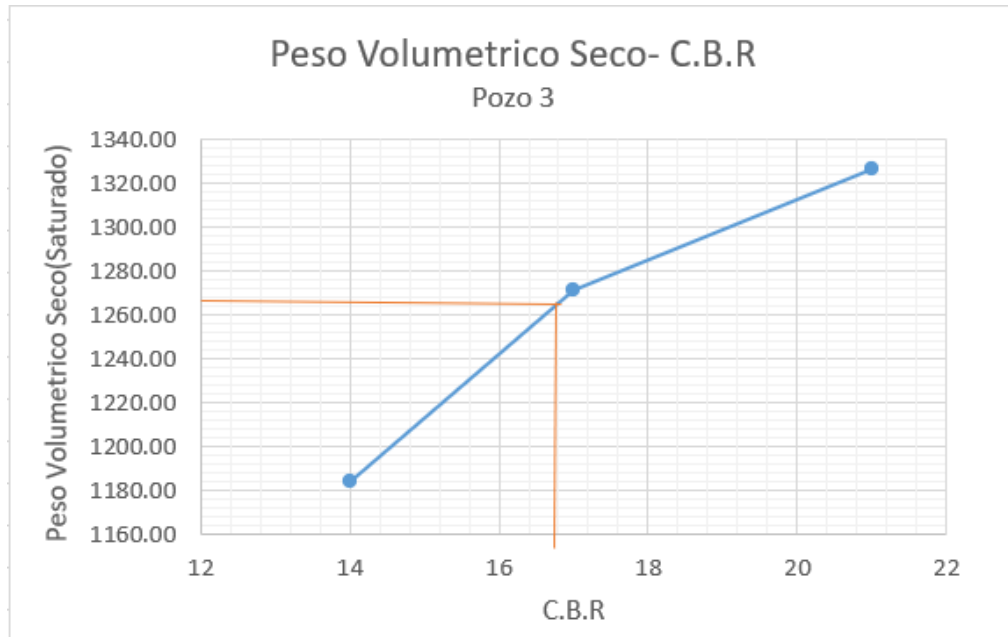


Gráfico 3.6 Gráfico Peso Volumétrico Seco-C.B. R

Fuente:Elaboración Propia.

Resultado de ensayos realizados en campaña Geotécnica.

- Contenido de Humedad Natural

Pozo	1		2				3				4			
Estrato	Unico		1		2		1		2		1		2	
No de recipiente	kz	1--5	N-51	20--1	50-2	2m	1--3	50-3	n-50	n-6	20--2	M-6	C-33	20--1-4
Recipiente+Suelo Humedo	552	480	441	413	299	460	330.1	324	350	341	476	485	458	339
Recipiente+suelo Seco	511	443	409	381	275	423	302	300	309	299	434	442	387	300
Masa de Agua	41.0	37.0	32.0	32.0	24.0	37.0	28.1	24.0	41.0	42.0	42.0	43	71	39.0
Masa del recipiente	155.1	155.1	206	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	155.1	124.6	141.4	155.1
Masa del Suelo Seco	355.9	287.9	203.0	225.9	119.9	267.9	146.9	144.9	153.9	143.9	278.9	317.4	245.6	144.9
Contenido de Humedad	11.52%	12.85%	15.76%	14.17%	20.02%	13.81%	19.13%	16.56%	26.64%	29.19%	15.06%	13.55%	28.91%	26.92%
Promedio de Humedad	12.19%		14.96%		16.91%		17.85%		27.91%		14.30%		27.91%	

Tabla 3.28 Contenido de Humedad de PCA de Campaña Geotécnica

Fuente: Elaboración Propia.

- Gravedad Específica

Pozo	1		3		2		4		4		2		3	
Estrato	1--2		2		2		2		1		1		1	
Matraz	M-1		4A		7A		3A		M-5		M-1		7A	
Temperatura de ensayo (Te)°C	24.00		24.00		24.00		24.00		24.00		23.80		23.80	
Densidad del agua a temperatura e ensayo	0.99730		0.99730		0.99730		0.99730		0.99730		0.99735		0.99735	
Masa de matraz+suelo+agua a Te	723.09		736.21		736.69		747.44		756.92		719.92		740.13	
Masa de matraz+ agua a Te	662.50		676.50		675.60		690.65		696.55		660.30		675.53	
No. Recipiente	N°2		N°-6-1		0-1		20--1--1		M+6		4		C-33	
Masa de recipiente	108.22		113.80		110.15		93.08		125.24		121.24		141.97	
Masa de solidos del suelo+ recipiente	210.40		215.66		211.06		193.20		227.78		218.97		247.87	
Masa de solidos del suelo	102.18		101.86		100.91		100.12		102.54		97.73		105.90	
Gravedad especifica a temperatura de ensayo	2.46		2.42		2.53		2.31		2.43		2.56		2.56	
Coefficiente de temperatura	0.99909		0.99909		0.99909		0.99909		0.99909		0.99914		0.99914	
Gravedad especifica a temperatura de 20°C	2.45		2.41		2.53		2.31		2.43		2.56		2.56	

Tabla 3.29 Gravedad Especifica de PCA de Campaña Geotécnica

Fuente: Elaboración Propia.

- Granulometría

Proyecto:						
descripcion del suelo:	Suelo bien proporcionado con Gravas, arenas y finos					
Pozo:	1					
Estrato:	1					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	6287.10		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulado		
1 1/2	40	102.00	1.6	1.6	98.4	
1	25	1375.30	21.9	23.5	76.5	
3/4	19.1	1207.00	19.2	42.7	57.3	
3/8	9.52	1812.80	28.8	71.5	28.5	
4	4.75	928.60	14.8	86.3	13.7	
10	1.9	681.20	10.8	97.1	2.9	
pasa 10		180.00	2.9	100	0.00	
Total		6286.90				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	99.63		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a la masa total
			Parcial	Acumulado		
10	2	-				2.90
20	0.84	13.81	13.86	13.86	86.14	2.4980
40	0.425	16.03	16.09	29.95	70.05	2.0314
50	0.3	10.30	10.34	40.29	59.71	1.7316
100	0.149	16.87	16.93	57.22	42.78	1.2406
200	0.075	13.11	13.16	70.38	29.62	0.8590
pasa 200		29.51	29.62	100.00	0.00	0.0000
Total		99.63				

Tabla 3.30 Granulometría de PCA 1-Estrato1.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	2					
Estrato:	1					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	1642.4		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulad o		
1 1/2	40	0	0.00	0.00	100.00	
1	25	0	0.00	0.00	100.00	
3/4	19	107.9	6.57	6.57	93.43	
3/8	9.5	526.5	32.06	38.63	61.37	
4	4.75	549	33.43	72.06	27.94	
10	2	430	26.18	98.24	1.76	
pasa 10		28.9	1.76	100.00	0.00	
		1642.3				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	99.11		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a
			Parcial	Acumulad o		
10	2	0	0.00	0.00	100.00	1.76
20	0.85	17.39	17.55	17.55	82.45	1.45
40	0.425	18.51	18.68	36.22	63.78	1.12
50	0.3	11.75	11.86	48.08	51.92	0.91
100	0.15	16.95	17.10	65.18	34.82	0.61
200	0.075	9.77	9.86	75.04	24.96	0.44
pasa 200		24.74	24.96	100.00	0.00	0.00
		99.11				

Tabla 3.31 Granulometría de PCA 2-Estrato1.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	2					
Estrato:	2					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	507.68		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulado		
1 1/2	40	-				
1	25	-				
3/4	19	-				
3/8	9.5	34.7	6.84	6.84	93.16	
4	4.75	77.82	15.33	22.16	77.84	
10	2	381.2	75.09	97.25	2.75	
pasa 10		13.96	2.75	100.00	0.00	
		507.68				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	94.47		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a la masa total
			Parcial	Acumulado		
10	2				100	2.75
20	0.85	12.57	12.78	12.78	87.22	2.40
40	0.425	36.24	36.83	49.61	50.39	1.39
50	0.3	20.81	21.15	70.76	29.24	0.80
100	0.15	20.29	20.62	91.38	8.62	0.24
200	0.075	4.54	4.61	96.00	4.00	0.11
pasa 200		3.94	4.004471999	100	0	0
		98.39				

Tabla 3.32 Granulometría de PCA 2-Estrato2.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	3					
Estrato:	1					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	2007.7				g	
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulado		
2		0.00	0	0	100	
1 1/2	40	0.00	0	0	100	
1	25	0.00	0	0	100	
3/4	19	359.10	17.89	17.89	82.11	
3/8	9.5	477.60	23.79	41.67	58.33	
4	4.75	408.40	20.34	62.02	37.98	
10	2	644.60	32.11	94.12	5.88	
Pasa 10		118.00	5.88	100.00	0.00	
		2007.70				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	100.00				g	
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a la masa total
			Parcial	Acumulado		
10	2	0.00	0.00	0.00	100	5.88
20	0.85	8.28	8.28	8.28	91.72	5.39
40	0.425	16.97	16.97	25.25	74.75	4.40
50	0.3	12.96	12.96	38.21	61.79	3.63
100	0.15	23.56	23.56	61.77	38.23	2.25
200	0.075	12.81	12.81	74.58	25.42	1.49
Pasa 200		25.42	25.42	100.00	0.00	0.00
		100.00				

Tabla 3.33 Granulometría de PCA 3-Estrato1.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	3					
Estrato:	2					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	641.1		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulad o		
1 1/2	40	-	0	0	100	
1	25	-	0	0	100	
3/4	19	-	0	0	100	
3/8	9.5	66.9	10.44	10.44	89.56	
4	4.75	163.1	25.44	35.88	64.12	
10	2	355.5	55.46	91.34	8.66	
pasa 10		55.5	8.66	100.00	0.00	
		641				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	98.65		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a
			Parcial	Acumulad o		
10	2	0	0	0	100	8.66
20	0.85	18.37	18.62	18.62	81.38	7.05
40	0.425	23.71	24.03	42.66	57.34	4.97
50	0.3	12.78	12.95	55.61	44.39	3.84
100	0.15	22.17	22.47	78.08	21.92	1.90
200	0.075	9.18	9.31	87.39	12.61	1.09
pasa 200		12.44	12.61	100.00	0.00	0.00
		98.65				

Tabla 3.34 Granulometría de PCA 3-Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	4					
Estrato:	1					
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	3010.2		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulado		
1 1/2	40	0	0.0	0.0	100	
1	25	280.5	9.3	9.3	90.7	
3/4	19	275.8	9.2	18.5	81.5	
3/8	9.5	640.7	21.3	39.8	60.2	
4	4.75	669.2	22.2	62.0	38.0	
10	2	1105.6	36.7	98.7	1.3	
pasa 10		38.2	1.3	100.0	0.0	
		3010				
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	97.54		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a la masa total
			Parcial	Acumulado		
10	2	0	0	0	100	1.3
20	0.85	14.46	14.82	14.82	85.18	1.11
40	0.425	20.23	20.74	35.56	64.44	0.84
50	0.3	12.65	12.97	48.53	51.47	0.67
100	0.15	19.2	19.68	68.22	31.78	0.41
200	0.075	10	10.25	78.47	21.53	0.28
pasa 200		21	21.52962887	100.00	0.00	0.00
		97.54				

Tabla 3.35 Granulometría de PCA 4-Estrato1.

Fuente: Elaboración Propia.

Pozo:	4					
Estrato:	2					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ N°						
Muestra Inicial	3018.45		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	
			Parcial	Acumulado		
1 1/2	40	0	0	0	100	
1	25	280.5	9.29	9.29	90.71	
3/4	19	275.8	9.14	18.43	81.57	
3/8	9.5	640.7	21.23	39.66	60.34	
4	4.75	669.2	22.17	61.83	38.17	
10	2	1105.6	36.63	98.46	1.54	
pasa 10		46.6	1.54	100.00	0.00	
		3018.4				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°10						
Muestra Inicial	96.4		g			
Malla No.	Abertura(mm)	Masa retenida, g	% Retenido		% que pasa	% que pasa referido a
			Parcial	Acumulado		
10	2	0	0.00	0.00	100.00	1.54
20	0.85	14.46	15.00	15.00	85.00	1.31
40	0.425	20.24	21.00	36.00	64.00	0.99
50	0.3	12.65	13.12	49.12	50.88	0.78
100	0.15	19.2	19.92	69.04	30.96	0.48
200	0.075	10.1	10.48	79.51	20.49	0.32
pasa 200		19.75	20.49	100.00	0.00	0.00
		96.4				

Tabla 3.36 Granulometría de PCA 4-Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

		N° de hidrometro	2		Correccion por menisco,Cm	-1					
		GS de los solidos	2.41		Correccion por defloculante, Cd	4					
		Masa Seca	98.65 g		Factor de correccion (a)	1.066					
	Pozo:	3			Temperatura (°C)						
	Estrato:	2			26.5	1.83					
					26.6	1.86					
	GS de los solidos				26.7	1.9					
					27.3	2.15					
					28.6	2.83					
					28.9	2.995					
					26.2	1.72					
Fecha	Tiempo transcurrido(t), min	T(°C)	lectura real de hidrometro	Lectura corregida del hidrometro(Rc)	% que pasa	Hidrometro corregido por menisco(R)	L(cm)	(L/T) ^{1/2}	K	% que pasa(referido al % que pasa No. 200)	D(mm)
	2	26.5	13	10.83	11.7030826	9.83	14.2	2.664582519	0.013679	1.47578659	0.03644882
	5	26.5	10	7.83	8.46123144	6.83	14.7	1.71464282	0.013679	1.066981441	0.0234546
	15	26.6	9	6.86	7.41303291	5.86	14.8	0.993310962	0.013664	0.934801109	0.0135726
	30	26.7	8	5.9	6.37564055	4.9	15	0.707106781	0.013649	0.803983461	0.0096513
	60	27.3	7	5.15	5.56517777	4.15	15.2	0.503322296	0.01355	0.701782174	0.00682002
	250	28.6	5	3.83	4.13876327	2.83	15.5	0.248997992	0.0134066	0.521907908	0.00333822
	1440	26.2	5	2.72	2.93927835	1.72	15.5	0.103749163	0.013724	0.370650002	0.00142385
Observaciones:											

Tabla 3. 41 Hidrometría de PCA 3-Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

			N° de hidrometro	2		Correccion por menisco, Cm	-1				
			GS de los solidos	2.43		Correccion por defloculante, Cc	4				
			Masa Seca	97.54 g		Factor de correccion (a)	1.058				
	Pozo:		4		Temperatura (°C)	Correccion por temperatura					
	Estrato:		1		27.1	2.05					
					27.4	2.2					
	GS de los solidos				27.5	2.25					
					27.8	2.4					
					29.7	3.575					
					27.3	2.15					
Fecha	Tiempo transcurrido (t), min	T(°C)	lectura real de hidrometro	Lectura corregida del hidrometro(Rc)	% que pasa	Hidrometro corregido por menisco(R)	L(cm)	(L/T) ^{1/2}	K	% que pasa(referido al % que pasa No.	D(mm)
	2	27.1	17	15.05	16.32	14.05	13.5	2.59807621	0.01363	3.51	0.03542217
	5	27.1	14	12.05	13.07	11.05	14	1.67332005	0.01363	2.81	0.02281405
	15	27.4	11	9.2	9.98	8.2	14.5	0.98319208	0.01356	2.15	0.01333405
	30	27.5	9	7.25	7.86	6.25	14.8	0.70237692	0.01354	1.69	0.00951299
	60	27.8	8	6.4	6.94	5.4	15	0.5	0.01349	1.49	0.006745
	250	29.7	6	5.575	6.05	4.575	15.3	0.24738634	0.01353	1.30	0.00334813
	1440	27.3	5	3.15	3.42	2.15	15.5	0.10374916	0.01327	0.74	0.00137675
Observaciones:											

Tabla 3. 42 Hidrometría de PCA 4-Estrato 1.

Fuente: Elaboración Propia.

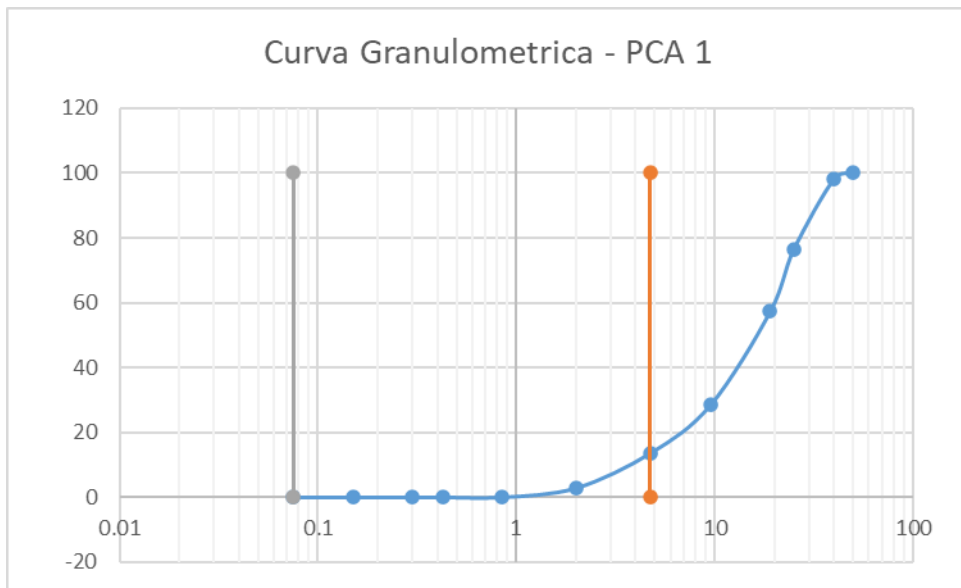


Gráfico 3.7 Curva Granulométrica PCA 1.

Fuente:Elaboración Propia.

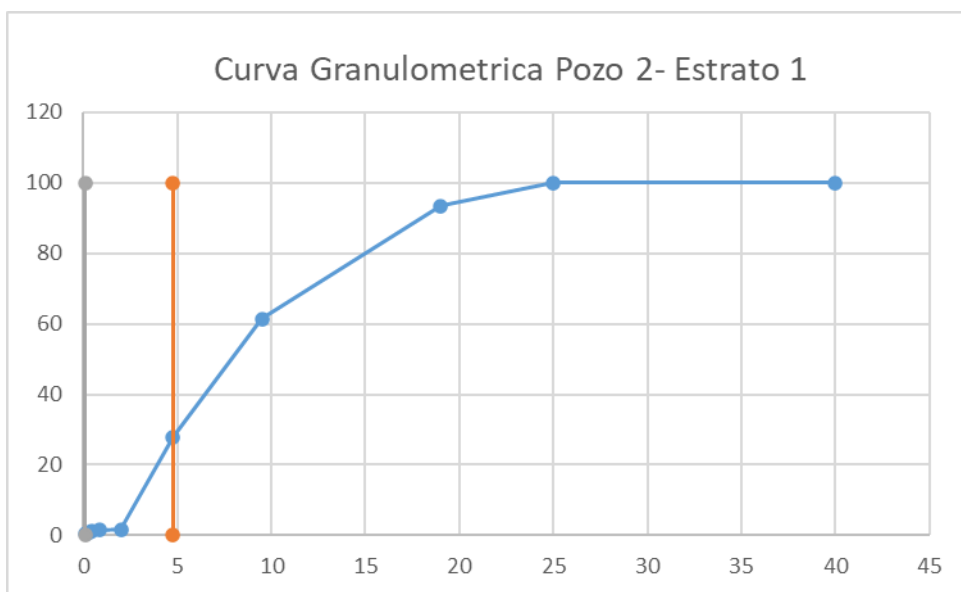


Gráfico 3.8 Curva Granulométrica PCA 2-Estrato 1.

Fuente:Elaboración Propia.

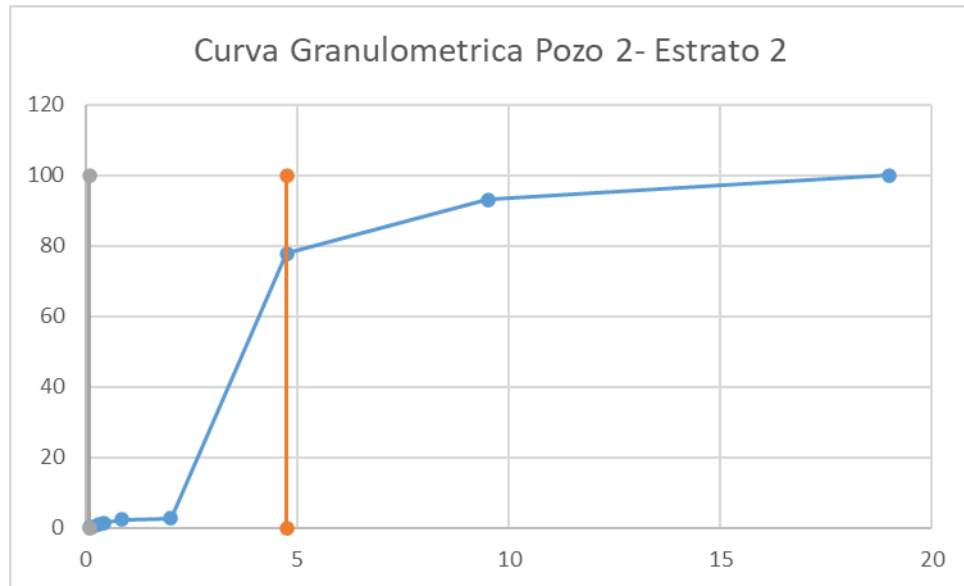


Gráfico 3.9 Curva Granulométrica PCA 2-Estrato 2.

Fuente:Elaboración Propia.

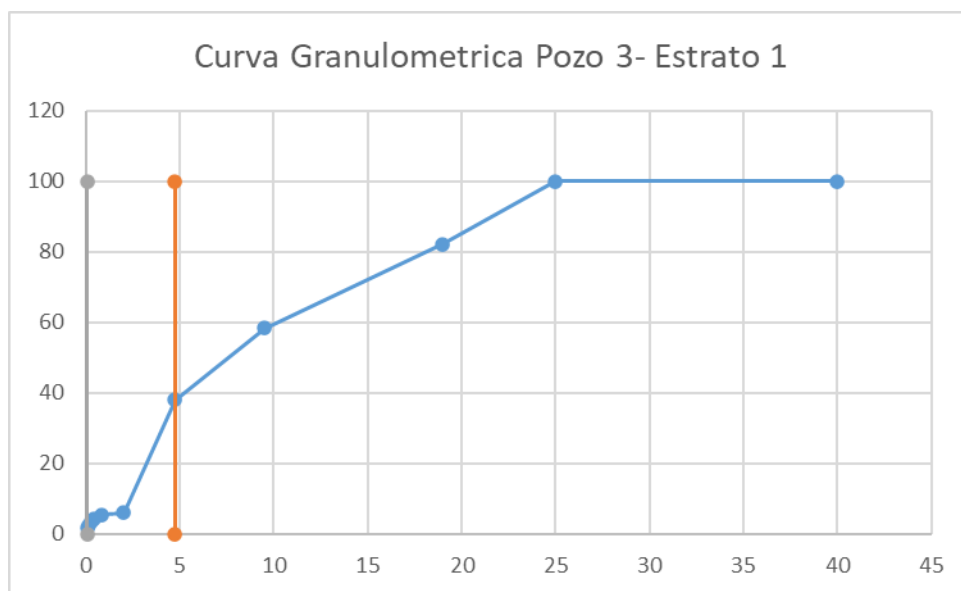


Gráfico 3.10 Curva Granulométrica PCA 3-Estrato 1.

Fuente:Elaboración Propia.

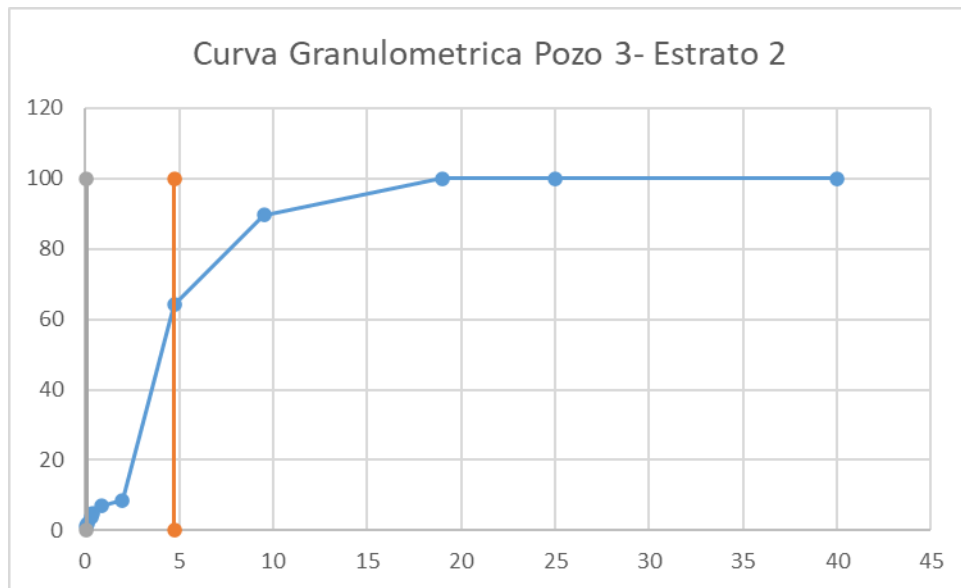


Gráfico 3.11 Curva Granulométrica PCA 3-Estrato 2.

Fuente:Elaboración Propia.

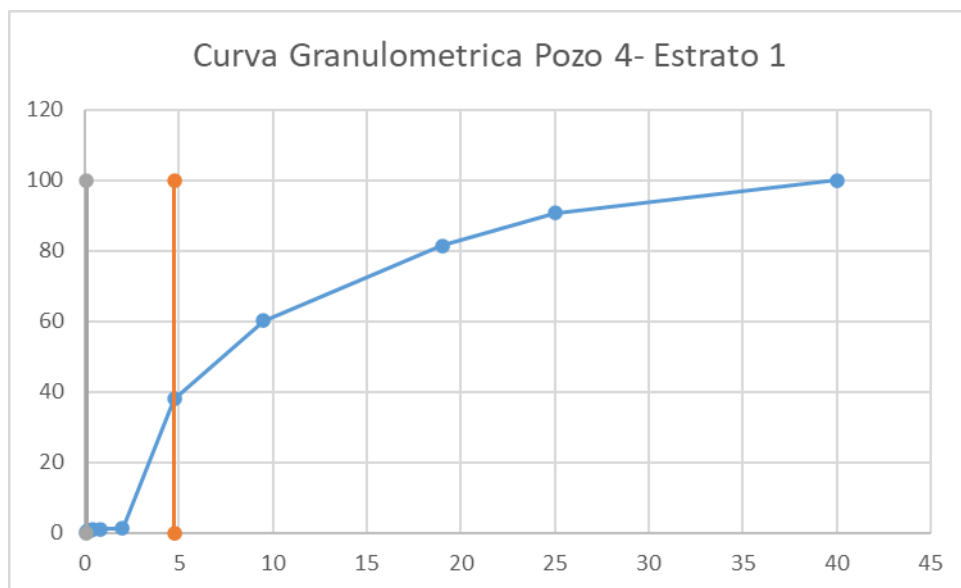


Gráfico 3.12 Curva Granulométrica PCA 4-Estrato 1.

Fuente:Elaboración Propia.

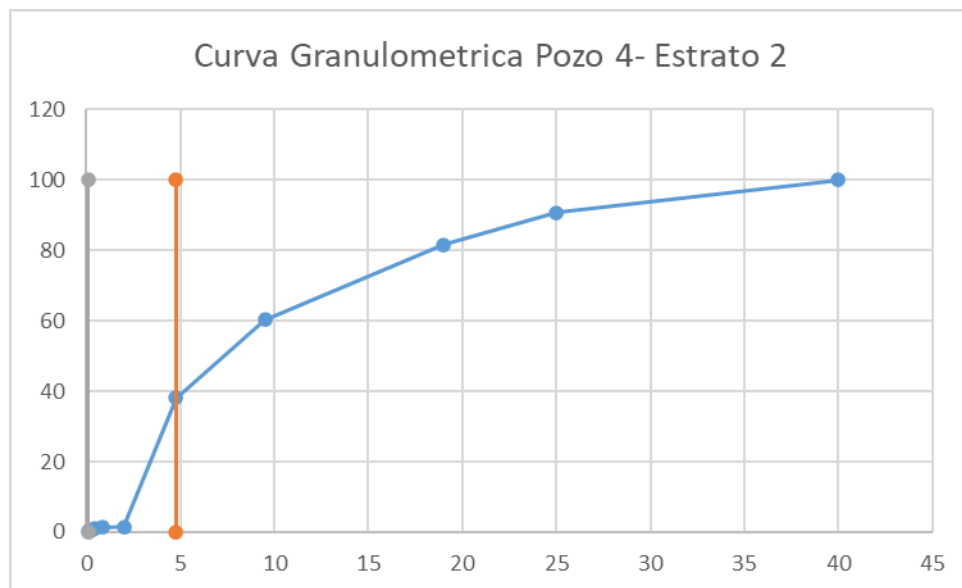


Gráfico 3.13 Curva Granulométrica PCA 4-Estrato 2.

Fuente:Elaboración Propia.

- Humedad Higrométrica

Pozo	1		2		3		4	
Estrato	unico	1	2	1	2	1	2	
No de recipiente		0-1	N4	0-1		N3		
Masa del recipiente	92.4	109.75	121.13	109.74	108.10	107.82	113.70	
Recipiente+Suelo Humedo	141.68	168.01	171.95	207.90	149.50	220.35	187.40	
Recipiente+suelo Seco	141.5	167.49	171.13	207.62	148.94	217.58	184.75	
Masa de Agua	0.2	0.5	0.8	0.3	0.6	2.8	2.7	
Masa del Suelo Seco	49.1	57.7	50.0	97.9	40.8	109.8	71.1	
Contenido de Humedad	0.37	0.90	1.64	0.29	1.37	2.52	3.73	

Tabla 3. 44 Humedades Higrométricas de PCA.

Fuente: Elaboración Propia.

- Clasificación de suelos

POZO	ESTRATO	CLASIFICACION SUCS		AASHTO
1	1	GRAVA BIEN GRADADA	GW	A-1a(0)
2	1	GRAVA MAL GRADADA	GP	A-1a(0)
	2	ARENA MAL GRADADA	SP	A-1a(0)
3	1	GRAVA MAL GRADADA	GP	A-1a(0)
	2	ARENA MAL GRADADA	SP	A-1a(0)
4	1	GRAVA MAL GRADADA	GP	A-1a(0)
	2	GRAVA MAL GRADADA	GP	A-1a(0)

Tabla 3. 46 Clasificación de Suelos de Campaña Geotécnica.

Fuente: Elaboración Propia.

- Ensayo de compactación Proctor- AASHTO T180(Método B)

Pozo	2				Fecha				
Estrato	2				No. De golpes				
metodo de ensayo					No de molde				
Masa de martillo					D inferior				
No de capas					D superior				
altura de molde					Gs				
humedad del suelo					descripcion de suelo				
DETERMINACION DE LA HUMEDAD									
No de muestra	18		20		14		16		
No de tara	N2	4	N2	N-6-1	4	C33	C33	N-6-1	
Masa de tara(Mt) g	113.2	120.7	113.2	113.2	120.7	141.4	141.4	113.2	113.2
Masa de suelo humedo+tara(Mh+t) g	255.6	275.9	295.8	344.2	341.3	402	286.2	219	219
Masa de suelo seco+tara(Ms+t) g	232.1	251.8	310.4	269.2	313.1	368.6	263	204.3	204.3
Masa de agua g	23.5	24.1	-14.6	75	28.2	33.4	23.2	14.7	14.7
masa de suelo seco(Ms) g	118.9	131.1	197.2	156	192.4	227.2	121.6	91.1	91.1
Contenido de agua %	19.76	18.38	-7.40	48.08	14.66	14.70	19.08	16.14	16.14
Promedio de contenido de agua %	19.07		20.34		14.68		17.61		
DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD-HUMEDAD									
No de muestra	18		20		14		16		
Masa de volumen de muestra de ensayo g	5330.3		5301.3		5331.2		5201.9		
humedad del ensayo %							20		
Volumen de agua a agregar ml			1060		746		1699		
Masa de Molde g	5971.9		5972.9		5972.9		5972.9		
masa de suelo humedo+molde g	9112		9073.1		8981.4		9114.1		
Volumen del molde g	0.0020446		0.0020446		0.0020446		0.0020446		
Peso Volumetrico humedo Kg/m3	1535.80		1516.29		1471.44		1536.34		
Humedad promedio %	19.07		20.34		14.68		17.61		
Peso Volumetrico Seco Kg/m3	1289.79		1260.04		1283.09		1306.33		
Humedad de saturacion %									
Observaciones:									
							Humedad optima	17.05	
							Peso Vol. Seco maximo	1307.79	

Tabla 3. 47 Ensayo Proctor de PCA 2- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

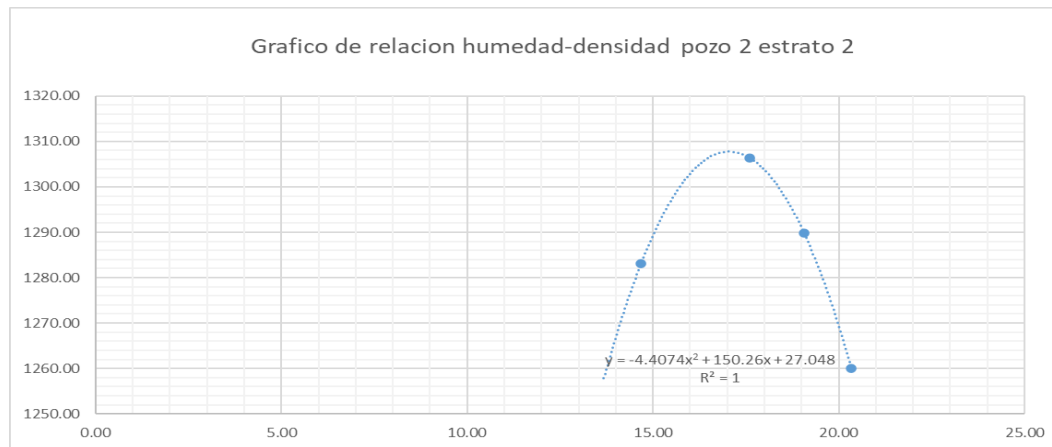


Gráfico 3.15 Relación humedad-densidad PCA 2-Estrato 1.

Fuente:Elaboración Propia.

Pozo	3		Fecha									
Estrato	2		No. De golpes	56								
metodo de ensayo	B		No de molde	1								
Masa de martillo	10		D inferior									
No de capas	5		D superior									
altura de molde			Gs	2.41								
humedad del suelo			descripcion de suelo	SP								
DETERMINACION DE LA HUMEDAD												
No de muestra	14		16		18		20		22			
No de tara	2	A3	20-1-1-1	M+6	XY	13-1-1-1	N4	A-4	20-1-1-1	M+6		
Masa de tara(Mt)	g	79.4	79	92.9	124.8	77.9	78.3	78.3	78.1	92.9	124.8	
Masa de suelo humedo+tara(Mh+t)	g	232.8	257.9	639.3	640.8	333.4	405.6	320.1	432.3	252.1	404.3	
Masa de suelo seco+tara(Ms+t)	g	212.8	233.8	557	566.4	288.6	346.2	276.1	368.7	222.6	354.4	
Masa de agua	g	20	24.1	82.3	74.4	44.8	59.4	44	63.6	29.5	49.9	
masa de suelo seco(Ms)	g	133.4	154.8	464.1	441.6	210.7	267.9	197.8	290.6	129.7	229.6	
Contenido de agua	%	14.99	15.57	17.73	16.85	21.26	22.17	22.24	21.89	22.74	21.73	
Promedio de contenido de agua	%	15.28		17.29		21.72		22.07		22.24		
DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD-HUMEDAD												
No de muestra	14		16		18		20		22			
Masa de volumen de muestra de ensayo	g	5250		5580.5		5660		5562.8		5507.7		
humedad del ensayo	%	1.57		1.57		1.57		1.57		1.57		
Volumen de agua a agregar	ml	816		979		1106		1199		1297		
Masa de Molde	g	5972.9		5972.9		5972.9		5972.9		5972.9		
masa de suelo humedo+molde	g	8948.8		9131		9220.7		9126.2		9283.5		
Volumen del molde	g	0.0020446		0.0020446		0.0020446		0.0020446		0.0020446		
Peso Volumetrico humedo	Kg/m3	1455.49		1544.61		1588.48		1542.26		1619.19		
Humedad promedio	%	15.28		17.29		21.72		22.07		22.24		
Peso Volumetrico Seco	Kg/m3	1262.566217		1316.905307		1305.052721		1263.470153		1324.610308		
Observaciones:												
										Humedad optima		18.89
										Peso Vol. Seco maximo		1335.17

Tabla 3. 48 Ensayo Proctor de PCA 3- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

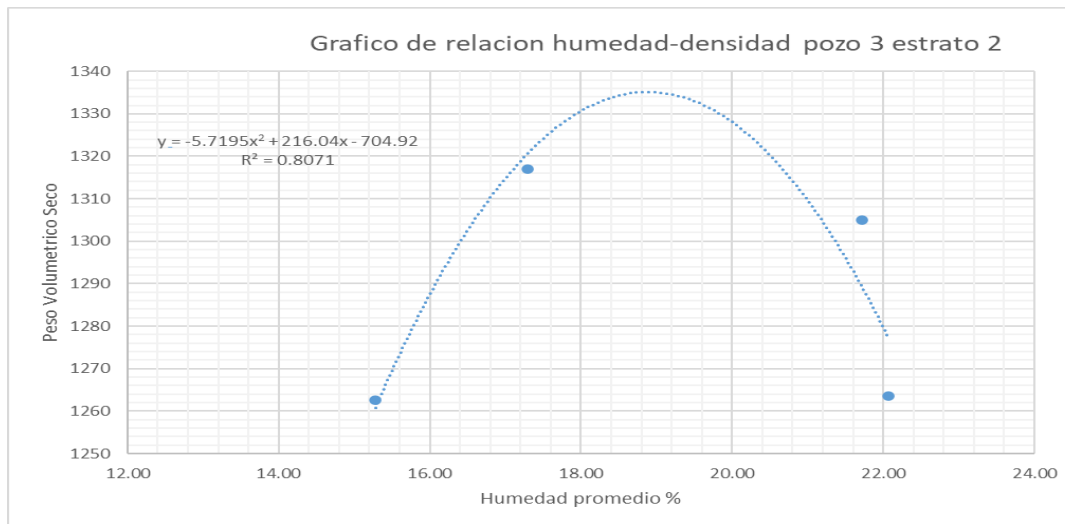


Gráfico 3.16 Relación humedad-densidad PCA 3-Estrato 2.

Fuente:Elaboración Propia.

Pozo	4	Fecha			
Estrato	2	No. De golpes			
metodo de ensayo		No de molde			
Masa de martillo		D inferior			
No de capas		D superior			
altura de molde		Gs			
humedad del suelo		descripcion de suelo			
DETERMINACION DE LA HUMEDAD					
No de muestra	14	18	22	24	30
No de tara	M-6	20--1--1	4 N2	N2	13B
				C-33	N-6-1
Masa de tara(Mt)	g	124.6	92.7	120.9	107.5
		107.5	107.5	74.8	141.4
Masa de suelo humedo+tara(Mh+t)	g	657.4	608.4	417	483.1
		657.2	577.6	577.4	508.5
Masa de suelo seco+tara(Ms+t)	g	588.1	535.5	371.6	422.1
		558.7	487.1	491.8	430.1
Masa de agua	g	69.3	72.9	45.4	61
		98.5	90.5	85.6	78.4
masa de suelo seco(Ms)	g	463.5	442.8	250.7	314.6
		451.2	412.3	350.4	316.9
Contenido de agua	%	14.95	16.46	18.11	19.39
		21.83	21.95	24.43	24.74
Promedio de contenido de agua	%	15.71	18.75	21.89	24.58
		29.41			
DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD-HUMEDAD					
No de muestra	14	18	22	24	30
Masa de volumen de muestra de ensayo	g	5288	5012	5142.1	5130.6
		5142.1	5130.6	5142.1	5142.1
humedad del ensayo	%	9.04	9.04	9.04	9.04
Volumen de agua a agregar	ml	241	412	611	704
Masa de Molde	g	5972.9	5972.9	5972.9	5972.9
		5973.9	5973.9	5973.9	5973.9
masa de suelo humedo+molde	g	8781.5	8825.7	8945.6	9022.2
		8945.6	8945.6	9022.2	8945.6
Volumen del molde	g	0.0020446	0.0020446	0.0020446	0.0020446
		0.0020446	0.0020446	0.0020446	0.0020446
Peso Volumetrico humedo	Kg/m3	1373.67	1395.29	1453.93	1491.39
		1453.93	1491.39	1453.44	1453.44
Humedad promedio	%	15.71	18.75	21.89	24.58
		29.41			
Peso Volumetrico Seco	Kg/m3	1187.190102	1174.981932	1192.815804	1197.093236
		1123.108332			
Humedad de saturacion	%				
Observaciones:					
				Humedad optima	22.68
				Peso Vol. Seco maximo	1198.86

Tabla 3. 49 Ensayo Proctor de PCA 4- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

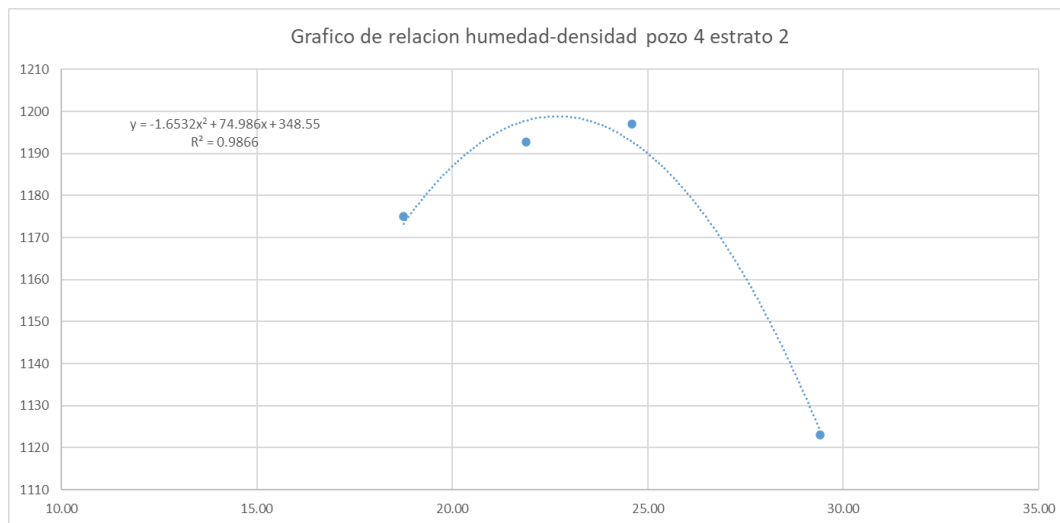


Gráfico 3.17 Relación humedad-densidad PCA 4-Estrato 2.

Fuente:Elaboración Propia.

- Ensayo C.B.R

Proyecto:							
Ubicación:							
Tipo de Suelo:							
Pozo:	2						
Profundidad:	1.5						
Estacion:	0+500						
Fecha:							
COMPACTACION							
Molde No./No de Golpes	3--56	2--25	1--12				
Peso Suelo Humedo + molde (kg)	9.5623	9.29	9.1126				
Peso molde (Kg)	6.3721	6.2557	6.274				
Peso del Suelo Humedo (Kg)	3.1902	3.0343	2.8386				
Volumen del Molde (m3)	0.002092	0.002086	0.002096				
Contenido de Agua (%)	17.05	17.05	17.05				
Peso Volumetrico Humedo (Kg/m3)	1524.73	1454.66	1354.31				
Peso Volumetrico Seco (Kg/m3)	1302.63	1242.77	1157.04				
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	9.9324	9.7579	9.591				
Saturada + Molde Despues Penetrac. (Kg)	9.9191	9.7322	9.5647				
Peso Muestra Sat. Despues Penetrac.	3.547	3.4765	3.2907				
Peso volumetrico Humedo (Saturado) (kg/m3)	1695.26	1666.65	1570.01				
Peso volumetrico Seco (Saturado) (Kg/m3)	1294.91	1246.52	1160.36				
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA							
Tara No.	A-4	A-3	XY-8	13-B	D-1	N-1	
Peso Suelo Humedo + Tara	379.8	467.2	526.1	624.5	425.3	595.5	
Peso Suelo Seco + Tara	310.3	373.2	413.4	485.5	343.4	465.4	
Peso de Tara	77.9	78.8	77.7	74.7	107.3	103.2	
Peso de Agua	69.5	94	112.7	139	81.9	130.1	
Peso de Suelo Seco	232.4	294.4	335.7	410.8	236.1	362.2	
Contenido de Agua (%)	29.91	31.93	33.57	33.84	34.69	35.92	
Promedio Contenido de agua (%)	30.92		33.70		35.30		
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO							
56			25			12	
Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.	
Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg) Defor. (Pulg.)
09/09/2024	0	0	0	0	0	0	0
10/09/2024	0	0	0	0	0	0	0
11/09/2024	0	0	0	0	0	0	0
12/09/2024	0	0	0	0	0	0	0
PENETRACION							
Penetracion en pulg.	No de Golpes 56		No de Golpes 25		No de Golpes 12		
	Tipo		Tipo		Tipo		
	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	
0.025	0.059	4.42	0.104	7.79	0.195	14.61	
0.05	0.15	11.24	0.215	16.11	0.27	20.23	
0.075	0.298	22.33	0.375	28.10	0.3	22.48	
0.1	0.568	42.56	0.598	44.81	0.57	42.71	
0.15	1.598	119.75	1.18	88.42	0.99	74.19	
0.2	3.12	233.80	1.888	141.48	1.58	118.40	
0.25	4.766	357.15	2.645	198.21	2.035	152.50	
0.3	6.02	451.12	3.32	248.79	2.43	182.10	
0.4	8.17	612.23	4.57	342.46	2.995	224.43	
0.5	9.975	747.49	5.6	419.64	3.27	245.04	

Tabla 3. 50 Ensayo CBR de PCA 2- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

DETERMINACION DE CBR							
penetracion	carga estandar	lbs/in2	%	lbs/in2	%	lbs/in2	%
0.1	1000	42.56	4	44.81	4	42.71	4
0.2	1500	233.80	16	141.48	9	118.40	8
promedio			10		7		6
	Peso Volumetrico Seco	C.B.R			Densidad Maxima Seca	1307.79	
	1160.36	6			Humedad Optima	17.05	
	1246.52	7			Densidad al 95 %	1242.40	
	1294.91	10			Valor de CBR de diseño	4.98	

Tabla 3. 51 Determinación de CBR de PCA 2- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

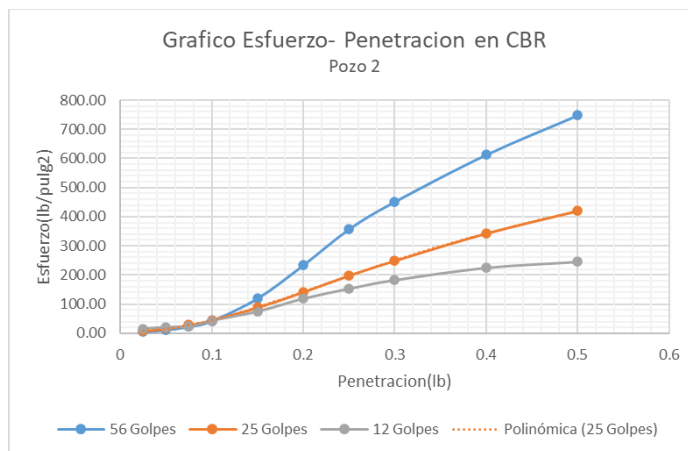


Gráfico 3.18 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 2.

Fuente:Elaboración Propia.



Gráfico 3.19 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 2.

Fuente:Elaboración Propia.

Proyecto:	Propuesta de diseño geométrico, hidráulico y estructural de Canton San Diego							
Ubicación:	Canton San Diego, Distrito de El Paisnal, San Salvador Norte							
Tipo de Suelo:	SP							
Pozo:	3							
Profundidad:	1.5							
Estacion:	1+000							
Fecha:								
COMPACTACION								
Molde No./No de Golpes	6--56		5--25		4--12			
% Agua Agregada								
Agua Agregada (ml)								
Peso Suelo Humedo + molde (kg)	10.348		10.32523		9.9944			
Peso molde (Kg)	7.0286		7.17603		7.0669			
Peso del Suelo Humedo (Kg)	3.3194		3.1492		2.9275			
Volumen del Molde (m3)	0.0021031		0.0020887		0.0020982			
Contenido de Agua (%)	18.89		18.89		18.89			
Peso Volumetrico Humedo (Kg/m3)	1578.33		1507.76		1395.23			
Peso Volumetrico Seco (Kg/m3)	1327.56		1268.20		1173.55			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	10.6536		10.6977		10.4361			
Saturada + Molde Despues Penetrac. (Kg)	10.638		10.6823		10.4102			
Peso Muestra Sat. Despues Penetrac.	3.6094		3.50627		3.3433			
Peso volumetrico Humedo (Saturado) (Kg/m3)	1716.22		1678.72		1593.40			
Peso volumetrico Seco (Saturado) (Kg/m3)	1326.74		1271.29		1184.17			
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA								
Tara No.	2 13--1		NSV		12 13--9			
Peso Suelo Humedo + Tara	474.7		450.7		352 319.2			
Peso Suelo Seco + Tara	383.1		367.9		286.6 253.1			
Peso de Tara	79.1		78.2		78.9 50.4			
Peso de Agua	91.6		82.8		65.4 66.1			
Peso de Suelo Seco	304		289.7		207.7 202.7			
Contenido de Agua (%)	30.13		28.58		31.49 32.61			
Promedio Contenido de agua (%)	29.36		32.05		34.56			
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO								
56			25			12		
Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.		
Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
09/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	5
10/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	5
11/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	5
12/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	5
PENETRACION								
Penetracion en pulg.	No de Golpes 56		No de Golpes 25		No de Golpes 12			
	Tipo		Tipo		Tipo			
	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2		
0.025	0.113	8.46780352	0.162	12.1396829	0.237	17.7599065		
0.05	0.363	27.2018821	0.48	35.9694309	0.655	49.0832859		
0.075	0.795	59.5743699	1	74.9363143	1.145	85.8020799		
0.1	1.537	115.1771151	1.698	127.241862	1.63	122.146192		
0.15	3.995	299.3705758	3.121	233.876237	2.404	180.1469		
0.2	6.235	467.2279199	4.23	316.98061	3.04	227.806396		
0.25	7.82	586.0019781	5.116	383.374184	3.563	266.998088		
0.3	8.996	674.1270837	5.785	433.506578	4.038	302.592837		
0.4	10.945	820.1779604	7	524.5542	4.92	368.686667		
0.5	12.7	951.691192	8.135	609.606917	5.725	429.0104		

Tabla 3. 52 Ensayo CBR de PCA 3- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

DETERMINACION DE CBR							
penetracion	carga estandar	lbs/in2	%	lbs/in2	%	lbs/in2	%
0.1	1000	115.177115	12	127.241862	13	122.146192	12
0.2	1500	467.22792	31	316.98061	21	227.806396	15
promedio			21		17		14
	Peso Volumetrico Seco	C.B.R					
	1184.17	14		Densidad Maxima Seca		1335.17	
	1271.29	17		Humedad Optima		18.89	
	1326.74	21		Densidad al 95 %		1268.41576	
				Valor de CBR de diseño		16.75	

Tabla 3. 53 Determinación de CBR de PCA 3- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

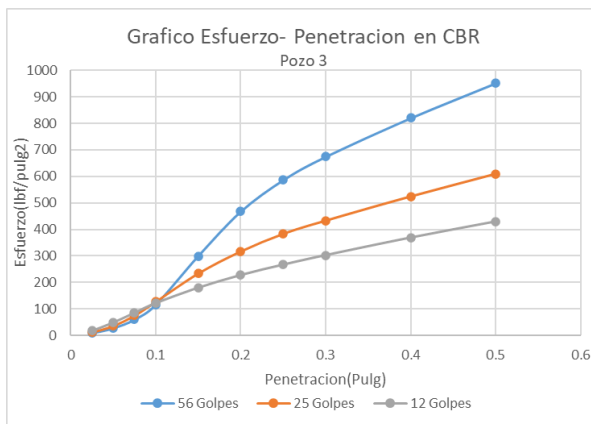


Gráfico 3.20 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 3.

Fuente:Elaboración Propia.



Gráfico 3.21 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 3.

Fuente:Elaboración Propia.

Proyecto:								
Ubicación:								
Tipo de Suelo:								
Pozo:	4							
Profundidad:	1.5							
Estacion:	1+567							
cha:								
COMPACTACION								
Molde No./No de Golpes	3--56		2--25		1--12			
% Agua Agregada								
Agua Agregada (ml)								
Peso Suelo Humedo + molde (kg)	9.4491		9.1667		9.0682			
Peso molde (Kg)	6.3721		6.2557		6.274			
Peso del Suelo Humedo (Kg)	3.077		2.911		2.7942			
Volumen del Molde (m3)	0.0020923		0.0020859		0.0020960			
Contenido de Agua (%)	17.05		17.05		17.05			
Peso Volumetrico Humedo (Kg/m3)	1470.62		1395.55		1333.13			
Peso Volumetrico Seco (Kg/m3)	1256.41		1192.27		1138.94			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	97.893		9.5634		9.5468			
Saturada + Molde Despues Penetrac. (Kg)	9.7833		9.5587		9.5354			
Peso Muestra Sat. Despues Penetrac.	3.4112		3.303		3.2614			
Peso volumetrico Humedo (Saturado) (g/m3)	1630.35		1583.48		1556.04			
Peso volumetrico Seco (Saturado) (g/m3)	1184.71		1134.41		1092.43			
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA								
Tara No.	N5V	A-4	N2	12	13--1	N4		
Peso Suelo Humedo + Tara	423.1	472.6	496	348.6	460.5	411.6		
Peso Suelo Seco + Tara	327.8	366.2	375.2	265.9	347.2	311.8		
Peso de Tara	78.9	78.2	79.1	50.4	78.3	78.3		
Peso de Agua	95.3	106.4	120.8	82.7	113.3	99.8		
Peso de Suelo Seco	248.9	288	296.1	215.5	268.9	233.5		
Contenido de Agua (%)	38.29	36.94	40.80	38.38	42.13	42.74		
Promedio Contenido de agua (%)	37.62		39.59		42.44			
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO								
56			25			12		
Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.			Sobrecarga de 10 Lb.		
Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect.(u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
09/09/2024	0	5	0	0	5	0	0	5
10/09/2024	5.1	5	0	5.3	5	0	5.5	5
11/09/2024	5.2	5	0	5.3	5	0	5.5	5
12/09/2024	5.2	5	0	5.3	5	0	5.5	5
PENETRACION								
Penetracion en pulg.	No de Golpes 56		No de Golpes 25		No de Golpes 12			
	Tipo		Tipo		Tipo			
	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2	Lect. (0.0001")	Lb/pulg2		
0.025	0.15	11.240	0.350	26.228	0.170	12.739		
0.05	0.8	59.949	1.093	81.905	0.485	36.344		
0.075	2.23	167.108	1.998	149.723	0.850	63.696		
0.1	3.91	293.001	3.014	225.858	1.260	94.420		
0.15	6.52	488.585	4.820	361.193	2.003	150.097		
0.2	7.658	573.862	6.012	450.517	2.570	192.586		
0.25	8.63	646.700	6.830	511.815	3.050	228.556		
0.3	9.49	711.146	7.440	557.526	3.490	261.528		
0.4	11.33	849.028	8.705	652.321	4.330	324.474		
0.5	13.13	983.914	9.880	740.371	5.230	391.917		

Tabla 3. 54 Ensayo CBR de PCA 4- Estrato 2.

Fuente: Elaboración Propia.

DETERMINACION DE CBR							
penetracion	carga estandar	lbs/in2	%	lbs/in2	%	lbs/in2	%
0.1	1000	293.001	29	225.858	23	94.420	9
0.2	1500	573.862	38	450.517	30	192.586	13
promedio			34		26		11
Peso Volumetrico Seco		C.B.R	Densidad Maxima Seca		1198.86		
1092.43		11	Humedad Optima		22.68		
1134.41		26	Densidad al 95 %		1138.91		
1184.71		34	Valor de CBR de diseño		26.5		

Tabla 3. 55 Determinación de CBR de PCA 4- Estrato 2.
Fuente: Elaboración Propia.

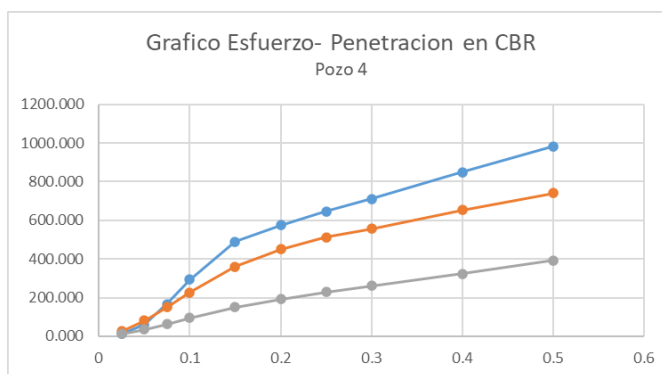


Gráfico 3.22 Relación Esfuerzo-Penetración PCA 4.
Fuente:Elaboración Propia.



Gráfico 3.23 Peso Volumétrico Seco- CBR PCA 4.
Fuente:Elaboración Propia.

- Resumen de resultados de ensayos realizados en jornada geotécnica.

RESUMEN DE JORNADA GEOTECNICA "PROPUESTA DE DISEÑO GEOMETRICO,HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE VIA DE ACCESO DE CANTON SAN DIEGO"																				
PCA N°	Estacion	Estrato	Profundidad	Lateral	Contenido de humedad natural %	% QUE PASA				Grava %	Arena %	Fino %	Limite Liquido %	Limite Plastico %	Indice Plastico %	Densidad Seca Kg/m3	CBR %	Humedad Optima %	CLASIFICACION	
						N° 4	N°10	N°40	N°200										ASTM	AASHTO
1	0+170	1	1.5	DER	12.19	13.7	2.9	2.03	0.859	86.30	13.70	0.0022	12	11	1	NP	NP	NP	GW	A-1a(0)
2	0+500	1	0	IZQ	14.96	27.94	1.76	1.12	0.44	72.06	27.50	0.44	NP	NP	NP	NP	NP	NP	GP	A-1a(0)
		2	1.5	IZQ	16.91	77.84	2.75	1.39	0.11	22.16	77.73	0.11	NP	NP	NP	1307.79	4.98	17.05	SP	A-1a(0)
3	1+000	1	0	IZQ	17.85	37.98	5.88	4.4	1.49	62.02	36.49	1.49	NP	NP	NP	NP	NP	NP	GP	A-1a(0)
		2	1.5	IZQ	27.91	64.12	8.66	4.97	1.09	35.88	63.03	1.09	NP	NP	NP	1335.17	19.75	18.89	SP	A-1a(0)
4	1+575	1	0	DER	14.3	38	1.3	0.84	0.28	62.00	37.72	0.28	NP	NP	NP	NP	NP	NP	GP	A-1a(0)
		2	1.5	DER	27.91	38.17	1.54	0.99	0.3155	61.83	37.86	0.32	NP	NP	NP	1198.86	26.5	22.68	SP	A-1a(0)

Tabla 3. 56 Resumen de resultados de ensayos realizados en jornada geotécnica

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 ESTUDIO DE TRÁFICO

3.2.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

El estudio de tráfico se dividió en tres fases, las cuales se describen a continuación:

- Obtención de información: Se realizó la obtención de información tanto de campo como de datos proporcionados por la Unidad de Acceso a la Información Pública de MOPT, entre los cuales son aforos vehiculares, aforos peatonales, factores de expansión, datos de TPDA histórico, etc.
- Procesamiento y análisis de la información: Se procesó la información recopilada en campo, la información recopilada por medio de OIR MOPT y se realizó un análisis con todos los datos.
- Resultados: Se presenta el TPDA actual y TPDA proyectado para el proyecto.

3.2.2 PUNTO DE AFORO

Para la obtención de datos se identificó un único punto de aforo vehicular, ya que es la única entrada y salida de vehículos, se realizó el conteo de manera manual, durante un periodo de 12 horas continuas en periodos de 15 minutos, el cual se

realizó el jueves 11 de abril de 2024, entre las 6:00 AM y las 6 PM, se recopilaban datos de aforo vehicular y aforo peatonal.

Se tomó en cuenta la clasificación vehicular de MOPT para realizar el conteo vehicular:




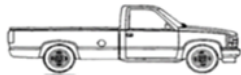






LIVIANO		CARGA	
		C2 	C3 
PICK UP 		C4 	T3S2 
COLECTIVO		T3S3 	T3S4 
AB 	MB 		

Imagen 3.3 Clasificación vehicular utilizada por el MOPT.

Fuente: Clasificación vehicular MOPT

El punto de aforo, tanto manual, se describe a continuación:

- Punto único: En el desvío de Cantón San Diego, sobre el kilómetro 38 ½ de la Carretera Troncal del Norte.

A continuación, se muestra una ilustración de la ubicación del punto:



Imagen 3.4. Ubicación de punto de aforo.

Fuente: Cantón San Diego vista desde Google Earth

3.2.3 INFORMACIÓN PROPORCIONADA Y RECOPIADA

La información proporcionada y recopilada se presenta a continuación:

3.2.3.1 INFORMACIÓN PROPORCIONADA

Proceso para adquirir la información:

- Se descargó el formato de solicitud proporcionado por la Unidad de Acceso a la Información de MOPT (OIR MOPT).
- Se rellenó la solicitud con datos personales y la información requerida para este proyecto los cuales son: Tránsito Promedio Diario Anual Histórico Y Factores De Expansión De Tránsito Diario, Nocturno Y Mensuales.

- Se envió en formato PDF adjuntado con copia de ambos lados del Documento Único de Identidad y se envió a la dirección de correo de Unidad de Acceso a la Información oir@mop.gob.sv.
- La información se recibió en aproximadamente 15 días hábiles después de enviada la solicitud.
- A continuación, se presenta la información proporcionada por la OIR.

El MOPT, a través de la Dirección de Planificación de la Obra Pública, proporcionó los factores de expansión que se utilizaron para este estudio, así como los datos históricos de TPDA de la vía en estudio o, en su defecto, de las más cercanas a esta. Esta información corresponde a la estación CA04N Aguilares-Límite Departamental Chalatenango (Puente Colima), cuyos factores de expansión nocturno y diurno se presentan a continuación:

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
FACTOR NOCTURNO	1.278	1.275	1.256	1.271	1.205	1.267	1.175
FACTOR DIARIO	1.015	1.004	1.008	1.039	1.004	1.138	0.792

Tabla 3.57. Factores de tráfico diario y nocturno de CA04N.

Fuente: Dirección de Planificación de la Obra Pública

También se proporcionaron factores mensuales de la estación permanente SALIPC001 GUAZAPA Km 22+600 CA04N, San Salvador.

FACTOR MENSUAL	FACTORES MENSUALES ESTACION PERMANENTE DE: SALIPC001 GUAZAPAKm 22+600 CA04N, San Salvador											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0.9264	0.9276	0.9549	0.9756	0.9692	0.9951	1.0295	1.0159	1.0309	1.0648	1.1134	1.0303

Tabla 3.58. Factores de tráfico mensual de CA04N.

Fuente: Dirección de Planificación de la Obra Pública

Para el cálculo del TPDA del punto aforado se utilizó los factores de expansión nocturno y diurno de la estación permanente SALIPC001 GUAZAPA Km 22+600 CA04N, San Salvador, utilizando toda la semana conforme al día aforado; así mismo para el factor de expansión mensual se tomó el valor correspondiente al mes de abril, mes en que se realizó el aforo. También se nos proporcionó el TPDA histórico, tanto de la vía en estudio como de otras vías dentro de la zona de influencia del proyecto, cuyos datos se presentan a continuación:

CODIGO	TRAMO	AÑO	EST.	AUTO	PICK-UP	M-BUS	BUS	C2	C3	T3-S2	T3-S3	TPDA
CA04N	Aguilares (Desvío El Paisnal)- Limite Departamental Chalatenango (Puente Colima)	2005	SALIPC001 GUAZAPA km 22+600	1553.00	2979.00	26.00	451.00	926.00	139.00	83.00	26.00	6183
		2009	CA04N, San Salvador	2965.00	3821.00	135.00	484.00	1055.00	89.00	232.00	103.00	8884
		2010	CA04N, San Salvador	2694.00	3463.00	111.00	431.00	959.00	114.00	184.00	298.00	8254
		2015	CA04N, San Salvador	3783.00	3419.00	47.00	433.00	1138.00	148.00	213.00	169.00	9350

Tabla 3.59 TPDA histórico anual de CA04N
Fuente: Dirección de Planificación de la Obra Pública

3.2.3.1.1 TASAS DE CRECIMIENTO

Para la zona y vía en estudio, se tiene que definir la tasa de crecimiento del tráfico normal. Algunos de los aspectos que intervienen para que un tráfico crezca en una zona determinada pueden ser los desarrollos de uso de suelo, tipo de vía, origen y destino de los usuarios, mejorar en la vía, como es el presente caso, etc. Para determinar la tasa de crecimiento que se han tomado para el cálculo de las proyecciones de tráfico, se han considerado las siguientes variables:

- TPDA histórico de la zona
- PIB nacional
- PIB transporte nacional

- PIB agrícola
- Censo demográfico

A continuación, se presenta el análisis de las variables descritas anteriormente:

3.2.3.1.2 TPDA HISTÓRICO DE LA ZONA

En este apartado se presenta el análisis de la información de los datos del TPDA histórico proporcionados por el MOPT. La información corresponde al tramo de vía dentro de la red vial nacional que están cercanas al desarrollo del proyecto. Para identificar un factor real acorde a la zona y las vías de conexión se utilizó el análisis de tendencias lineal, logarítmica, exponencial y potencial de cada vía.

A continuación, se presentan los cálculos para cada análisis realizado:

- Tasa lineal

$$tasa\ lineal = \left(\frac{X_{20\ lineal}}{X_{11\ lineal}} \right)^{\frac{1}{9}} - 1$$

$$tasa\ lineal = \left(\frac{12420}{9739} \right)^{\frac{1}{9}} - 1 = 0.0274 \times 100 = 2.74\%$$

- Tasa logarítmica

$$tasa\ logaritmica = \left(\frac{X_{20\ logaritmica}}{X_{11\ logaritmica}} \right)^{\frac{1}{9}} - 1$$

$$tasa\ logaritmica = \left(\frac{12401}{9732} \right)^{\frac{1}{9}} - 1 = 0.0273 \times 100 = 2.73\%$$

- Tasa exponencial

$$tasa\ exponencial = \left(\frac{X_{20\ exponencial}}{X_{11\ exponencial}} \right)^{\frac{1}{9}} - 1$$

$$tasa\ exponencial = \left(\frac{14036}{9895} \right)^{\frac{1}{9}} - 1 = 0.0396 \times 100 = 3.96\%$$

- Tasa potencial

$$tasa\ potencial = \left(\frac{X_{20\ potencial}}{X_{11\ potencial}} \right)^{\frac{1}{9}} - 1$$

$$tasa\ potencial = \left(\frac{13999}{9893} \right)^{\frac{1}{9}} - 1 = 0.0394 \times 100 = 3.94\%$$

En base a los cálculos realizados, se presenta el análisis de tendencias de crecimiento con respecto al TPDA Histórico del año 2005, 2009, 2010 y 2015, para identificar el factor de crecimiento real de la zona y las vías de conexión, donde se llegará a tomar aquel factor que esté acorde con la zona y cuyo coeficiente de correlación indique un mejor ajuste entre los datos y el modelo.

CODIGO	TRAMO								
		LINEAL		LOGARITMICA		EXPONENCIAL		POTENCIAL	
		R	TASA	R	TASA	R	TASA	R	TASA
CA04N	Aguilares (Desvío El Paisnal)- Límite Departamental Chalatenango (Puente Colima)	0.7689	2.74%	0.7695	2.73%	0.7222	3.96%	0.723	3.94%

Tabla 3.60. Tasas de crecimiento y factores de correlación de CA04N

Fuente: Dirección de Planificación de la Obra Pública

Tomando como base la tabla 3.2.6, se observa que el coeficiente de correlación más cercano a 1.000 corresponde a la tendencia logarítmica, a la cual le

corresponde una tasa de 2.73%, de la cual se presentan a continuación los detalles del análisis realizado:

X	AÑO	TPDA HISTORICO MOPT	VARIACION ANUAL	TENDENCIA			
				LINEAL Y=A+BX	LOGARÍ TMICA	EXPONE NCIAL	POTENCI AL
1	2005	6183		6760	6751	6709	6700
2	2006			7057	7050	6975	6966
3	2007			7355	7348	7251	7243
4	2008			7653	7647	7539	7530
5	2009	8884		7951	7945	7837	7829
6	2010	8254	-7.09%	8249	8243	8148	8139
7	2011			8547	8541	8471	8462
8	2012			8845	8839	8806	8797
9	2013			9143	9137	9155	9145
10	2014			9441	9434	9518	9507
11	2015	9350		9739	9732	9895	9883
12	2016			10037	10029	10287	10274
13	2017			10334	10326	10694	10680
14	2018			10632	10623	11118	11101
15	2019			10930	10920	11558	11539
16	2020			11228	11216	12016	11994
17	2021			11526	11513	12492	12467
18	2022			11824	11809	12987	12959
19	2023			12122	12105	13501	13469
20	2024			12420	12401	14036	13999

Tabla 3.61 Tendencias de crecimiento De CA04N

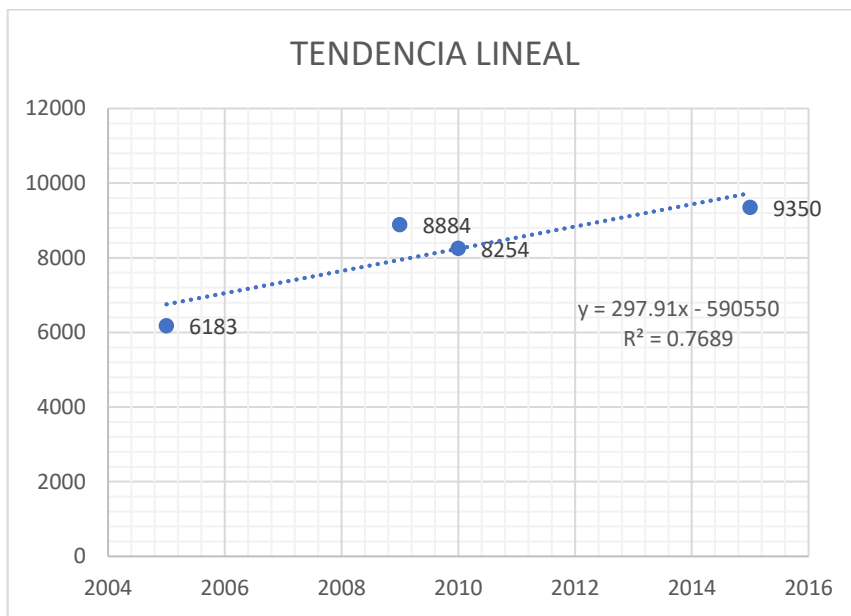
Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

INDICADORES DE MODELO DE ANALISIS DE SERIES HISTORICAS DE EL SALVADOR	LINEAL Y=A+BX	LOGARÍ TMICA Y=A+B*	EXPONE NCIAL Y=A*e^	POTENCIA L Y=AX^B
TASA DE CRECIMIENTO(%)	2.74%	2.73%	3.96%	3.94%
CONSTANTE A	297.91	599050	1x10^-30	7x10^-255
CONSTANTE B	-6E+05	-5x10^6	0.0389	78.126
COEFICIENTE DE CORRELACION R2	0.7689	0.7695	0.7222	0.7228

Tabla 3.62 Indicadores de modelos de análisis para CA04N

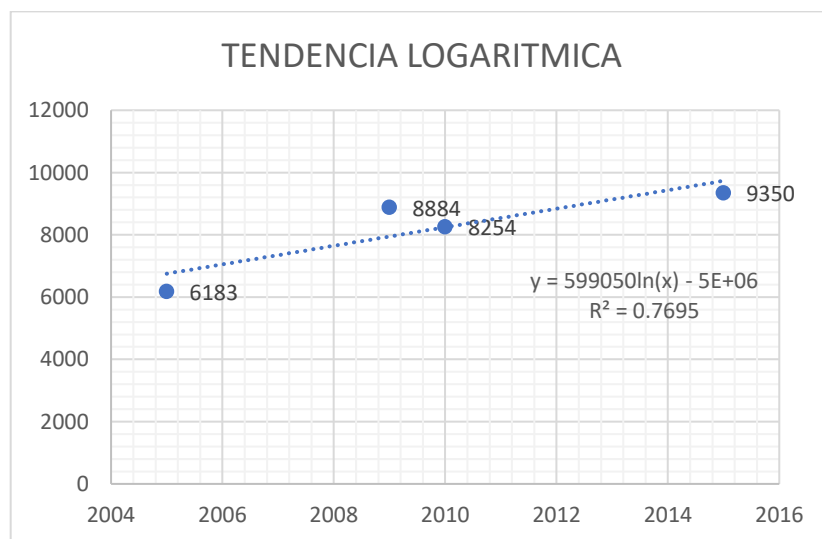
Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

A continuación, se presentan las gráficas de cada una de las tendencias analizadas:



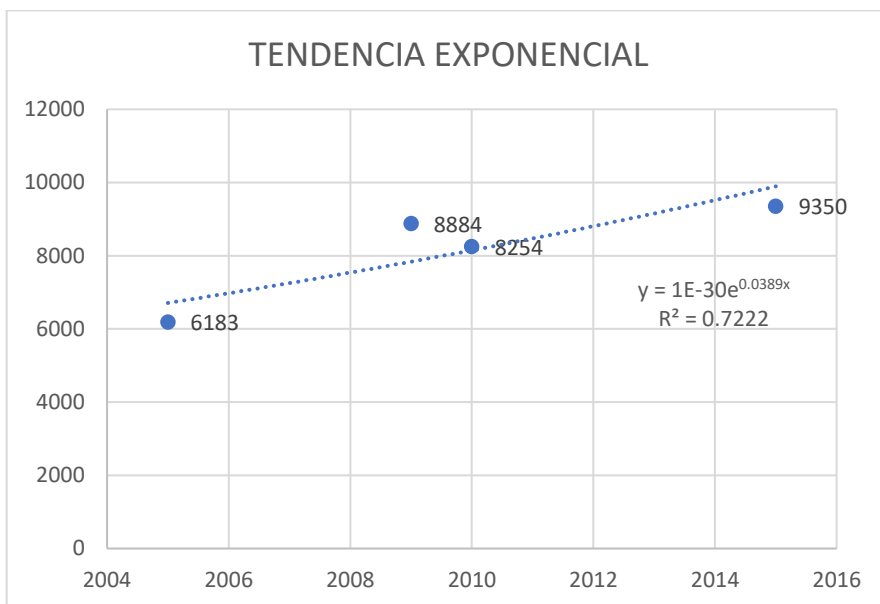
Gráfica 3.24 Tendencia lineal de crecimiento de tráfico de CA04N

Fuente: Elaboración propia, gráfica realizada en Microsoft Office Excel



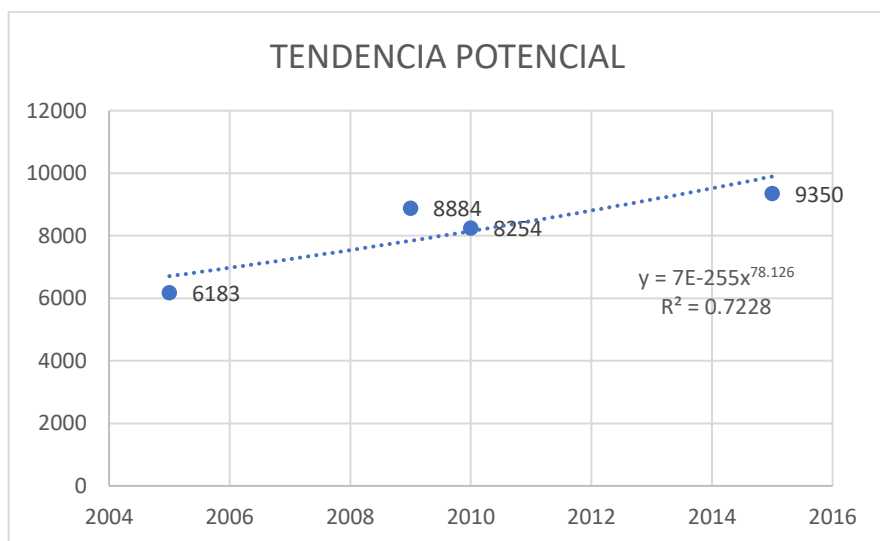
Gráfica 3.25 Tendencia logarítmica de crecimiento de tráfico de CA04N

Fuente: Elaboración propia, gráfica realizada en Microsoft Office Excel



Gráfica 3.26 Tendencia exponencial de crecimiento de tráfico de CA04N

Fuente: Elaboración propia, gráfica realizada en Microsoft Office Excel



Gráfica 3.27 Tendencia potencial de crecimiento de tráfico de CA04N

Fuente: Elaboración propia, gráfica realizada en Microsoft Office Excel

3.2.3.1.3 PIB NACIONAL

El PIB es un referente para identificar las condiciones macroeconómicas de nuestro país. El PIB ha experimentado una serie de variantes, sobre todo en los últimos años, debido a la crisis económica que nos afecta. En el año 2009 se puede observar un decrecimiento de la economía. A continuación, se presentan los datos de los años desde 2005 hasta 2022.

AÑO	PIB NACIONAL (MILLONES DE DOLARES)	TASA DE CRECIMIENTO
2005	14698	-
2006	15999.89	8.86
2007	17011.75	6.32
2008	17,986.89	5.73
2009	17601.62	-2.14
2010	18447.92	4.81
2011	20283.78	9.95
2012	21386.15	5.43
2013	21990.96	2.83
2014	22593.47	2.74
2015	23438.24	3.74
2016	24191.43	3.21
2017	24979.19	3.26
2018	26020.85	4.17
2019	26881.14	3.31
2020	24563.02	-7.29
2021	29043.14	16.54
2022 (p)	31988.92	10.14

Tabla 3.63 PIB histórico anual de El Salvador.

Fuente: Estadísticas de Banco Central de Reserva de El Salvador

3.2.3.1.4 PIB AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA

Dentro del PIB existe también una subdivisión de PIB Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca, la cual registra todo lo referente a estas dependencias y sus

movimientos dentro de nuestro país. Es por ello que es una variable por tomar en cuenta para el análisis del estudio de tráfico, ya que la zona de estudio se encuentra relacionada con este rubro.

AÑO	PIB AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA (MILLONES DE DÓLARES)	TASA DE CRECIMIENTO %
2005	907.11	0
2006	967.38	6.64
2007	1189.65	22.98
2008	1275.29	7.2
2009	1173.78	-7.96
2010	1287.98	9.73
2011	1486.84	15.44
2012	1393.17	-6.3
2013	1234.42	-11.39
2014	1325.53	7.38
2015	1296.08	-2.22
2016	1386.69	6.99
2017	1347.13	-2.85
2018	1335.59	-0.86
2019	1389.42	3.58
2020	1334.48	-3.54
2021	1397.63	4.73
2022 (p)	1495.72	7.02
2023 (e)	1566.57	4.74

Tabla 3.64 PIB histórico anual de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca de El Salvador.

Fuente: Estadísticas de Banco Central de Reserva de El Salvador

3.2.3.1.5 PIB TRANSPORTE Y ALMACENAJE

Dentro del PIB existe una subdivisión de PIB Transporte, Almacenamientos y comunicaciones, de esta se ha seleccionado solo la parte del PIB de Transporte y Almacenamiento, la cual registra todo lo referente a transporte de carga y sus movimientos que tengan como origen nuestro país, no lo que va de paso, es por ello por lo que es una variable por tomar en cuenta para el análisis del estudio de

tráfico ya que la zona de estudio presenta un volumen de tránsito de carga pesada.

AÑO	PIB TRANSPORTE Y ALMACENAJE (MILLONES DE)	TASA DE CRECIMIENTO %
2005	680.24	0
2006	756.48	11.21
2007	794.12	4.98
2008	832.39	4.82
2009	749.12	-10
2010	784.95	4.78
2011	882.21	12.39
2012	922.12	4.52
2013	986.6	6.99
2014	927.38	-6
2015	1050.88	13.32
2016	1173.99	11.71
2017	1179.62	0.48
2018	1143.98	-3.02
2019	1217	6.38
2020	1045.61	-14.08
2021	1245.72	19.14
2022 (p)	1366.44	9.69
2023 (e)	1390.44	1.76

Tabla 3.65 PIB histórico anual de transporte y almacenaje de El Salvador.

Fuente: Estadísticas de Banco Central de Reserva de El Salvador

3.2.3.1.6 CENSO DEMOGRÁFICO

Para realizar un análisis del crecimiento poblacional de la zona se ha sustraído del documento Estimaciones y Proyecciones de Población Municipal 2005 – 2024, publicado por la DIGESTYC, los datos concernientes al municipio de El Paisnal. A continuación, se presentan los datos poblacionales de este municipio.

AÑO	POBLACION	TASA DE CRECIMIENTO (%)
2005	16212	-
2006	16089	-7.8
2007	15959	-8.2
2008	15821	-8.6
2009	15678	-9
2010	15532	-9.3
2011	15384	-9.6
2012	15233	-9.8
2013	15080	-10
2014	14927	-10.2
2015	14776	-10.2
2016	14634	-8.9
2017	14500	-8.8
2018	14373	-8.7
2019	14256	-8.6
2020	14148	-8.5
2021	13952	-9.2
2022	13809	-9.3
2023	13667	-9.3
2024	13525	-9.3

Tabla 3.66 Tasa de crecimiento poblacional proyectado para el distrito de El Paisnal.

Fuente: Estadísticas de Banco Central de Reserva de El Salvador

3.2.3.1.7 RESUMEN DE FACTORES

A continuación, se presenta un resumen de las tasas de crecimiento determinadas por cada uno de los factores analizados, tomando como base el crecimiento promedio de los últimos 10 años de cada tabla:

RESUMEN DE FACTORES.	
	%
TPDA HISTORICO	2.73%
PIB NACIONAL	4.37%
PIB SILVICULTURA	1.23%
PIB DE TRANSPORTE	4.22%
CENSO DEMOGRAFICO	-9.18%

Tabla 3.67 Resumen de las tasas de crecimiento.

Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

3.2.3.2 INFORMACIÓN RECOPILADA

Respecto a las características físicas de la vía en estudio, se tomaron las dimensiones de las secciones de la vía.

3.2.3.2.1 SECCIÓN DE LA VÍA

Considerando que la vía de estudio cuenta con un tramo pavimentado, para las características físicas se consideraron esas dimensiones.

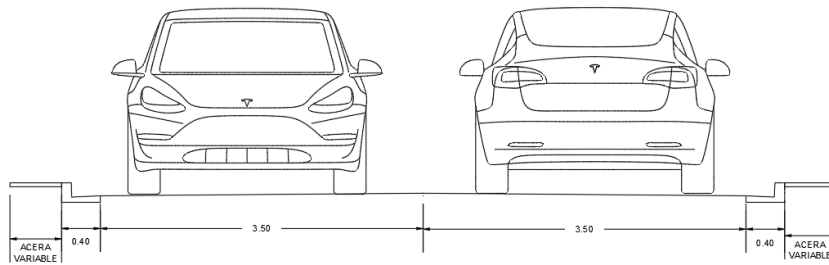


Imagen 3.5 Sección transversal de la vía.

Fuente: Elaboración propia, diseño realizado en AutoCAD

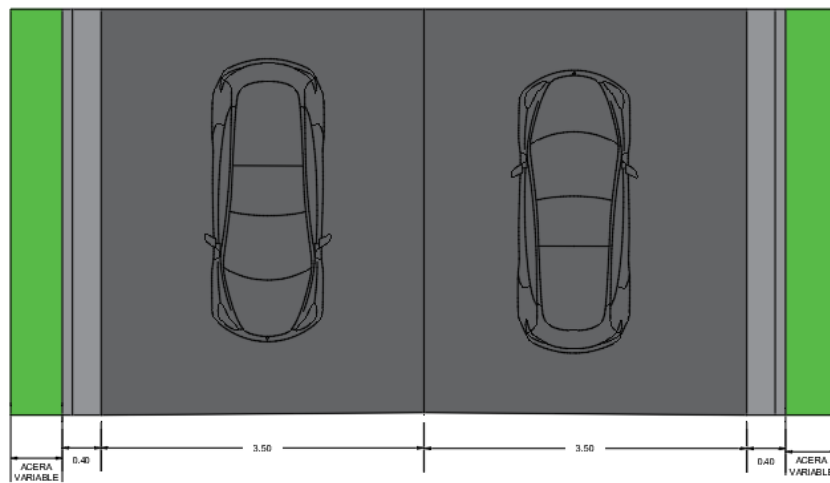


Imagen 3.6 Sección en planta de la vía.

Fuente: Elaboración propia, diseño realizado en AutoCAD

La sección correspondiente a la vía de acceso a cantón San Diego, está compuesta por dos carriles, uno por sentido de circulación, contando con un ancho de rodadura total de 7.00 metros, 3.50 metros por carril, así como una canaleta de 0.40 metros en ambos lados.

3.2.3.2.2 RESULTADO DE AFORO VEHICULAR

A continuación, se muestra el punto de aforo de la vía y las direcciones que se tomaron en cuenta.



Imagen 3.7 Direcciones en las que se realizó el conteo peatonal y vehicular.

Fuente: Cantón San Diego vista desde Google Earth

Se presentan los resultados obtenidos durante las 12 horas de conteo vehicular donde la mayor carga vehicular y peatonal fue a las 12 pm y 6 pm:

A continuación se presentan los cálculos para TPD, TPDM y TPDA.

Tránsito promedio diario:

$$TPD = \text{total de vehículo} \times \text{factor nocturno}$$

$$TPD = 599 \times 1.271 = 761$$

Tránsito promedio diario mensual:

$$TPDM = TPD \times \text{factor diario}$$

$$TPD = 761 \times 1.09 = 791$$

Tránsito promedio diario anual:

$$TPDA = TPDM \times \text{factor mensual}$$

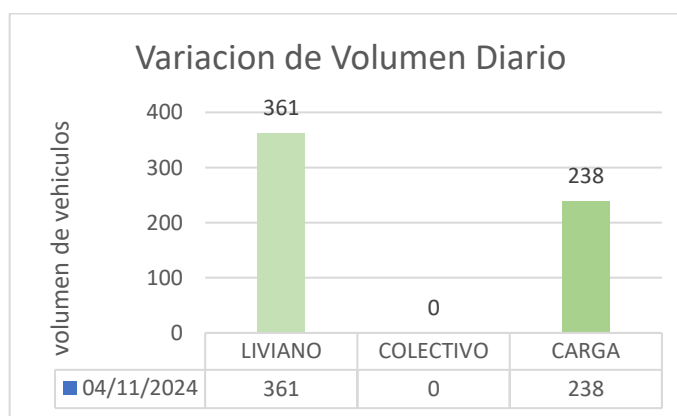
$$TPD = 791 \times 0.9756 = 772$$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla resumen.

FECHA	AUTO	PICKUP	MB	AB	C2	C3	T3S2	T3S3	TOTAL	FN	TPD	FD	TPDM	FM	TPDA
22/04/2024	180	181	0	0	162	69	1	6	599	1.271	761	1.039	791.0	0.9756	772
TOTAL	180	181	0	0	162	69	1	6	599						
%	30.05%	30.22%	0.00%	0.00%	27.05%	11.52%	0.17%	1.00%	100.00%						
TPDA	232	233	0	0	209	89	1	8	772						

Tabla 3.68 Variación de volumen de tráfico diario de la vía.

Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel



Grafica 3.28 Variación de volumen de tráfico diario de la vía.

Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

3.2.4 GENERACIÓN Y ATRACCIÓN DE TRÁFICO

3.2.4.1 TRÁFICO GENERADO

Se ha considerado que, ante una mejora, el resultado neto es un incremento del tráfico. La mayor parte de este tipo de tráfico se desarrolla dentro de los primeros años a partir de la puesta en servicio de la mejora o de la nueva obra. Para la mayoría de las carreteras rurales, el tráfico generado, tal como ha sido definido, puede llegar a alcanzar entre un 5% y un 25%. Dado que los factores del PIB nacional y PIB de transporte y almacenaje son menores al 5%, se tomará un aumento del 0%.

3.2.4.2 TRÁFICO ATRAÍDO

El tráfico atraído se puede dar por nuevas “atracciones” dentro de la zona de influencia, como lo son fuentes de empleo, restaurantes, centros comerciales, inversión de atención al cliente en general. Este tráfico según la AASHTO no debería ser mayor al 5%. Esta tasa la relacionamos con el PIB de transporte y almacenaje, y dado que es menor a 5%, porque consideramos que, sin un PIB de transporte más alto, un tráfico atraído mayor a 5% no se podría dar, tomando en cuenta que el PIB transporte a nivel nacional se identificó en 4.22% anual, se propone un único factor de tráfico atraído de 0% anual, este factor se incluirá para los años de estudio.

- Horizonte de análisis.

Se ha estimado que la nueva vía tenga su apertura para el año 2027, el cual sería el año base de análisis, además, se tiene, según los Términos de Referencia, un horizonte de 20 años, por lo que se tendrá el siguiente horizonte para el análisis:

ACCIÓN	AÑO
Estudio y Autorizaciones	-
Diseño	2024
Licitación	-
Construcción	-
Año de Apertura	2027
Año de Análisis	2047

Tabla 3.69 Horizonte de análisis.

Fuente: Elaboración propia, realizado en Microsoft Office Excel

3.2.5 PROYECCIÓN

El crecimiento vehicular normal es aquel que experimenta la vía conforme a la influencia de diferentes factores, como económicos, poblacionales, etc., es decir, todas las vialidades experimentan un crecimiento normal del tráfico, aunque dentro del área de influencia del proyecto no se tenga un cambio que la afecte, por ejemplo, un cambio de uso de suelo, el mejoramiento de la misma vía o una adición de una nueva vía que conecte con la misma, entre otros. Los factores que se utilizaron para la determinación del tráfico normal son los siguientes:

CLASIFICACIÓN	FACTOR DE	TASA DE
VEHICULAR	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO
PARTICULARES Y PICK UP	PIB NACIONAL	4.37%
AB Y MB	CENSO DEMOGRAFICO	-9.18%
CARGA	PIB TRANSPORTE NACIONAL	4.22%

Tabla 3.70 Factores y tasa de crecimiento para tráfico futuro.

Fuente: Elaboración propia, realizado en Microsoft Office Excel

El cálculo de proyección se realiza mediante la siguiente formula:

$$Tf = Ti * (1 + Tc)^t$$

Donde:

Tf: Tráfico futuro en el año de estudio.

Ti: Tráfico inicial realizado en el conteo.

Tc: Tasa de crecimiento determinada por el PIB.

t: Año de estudio para tráfico futuro.

El cálculo para la proyección de tráfico futuro, partiendo desde el año de diseño hasta el año de ejecución con un horizonte de 20 años, es el siguiente:

$$\text{Proyección de Tráfico Futuro}_{\text{auto } 2047} = 232 \times (1 + 4.37\%)^{23} = 620$$

$$\text{Proyección de Tráfico Futuro}_{\text{pick up } 2047} = 233 \times (1 + 4.37\%)^{23} = 624$$

$$\text{Proyección de Tráfico Futuro (carga)}_{\text{C2 } 2047} = 209 \times (1 + 4.22\%)^{23} = 539$$

Proyección de Tráfico Futuro (carga) $C3_{2047} = 89 \times (1 + 4.22\%)^{23} = 230$

Proyección de Tráfico Futuro (carga) $T3S2_{2047} = 1 \times (1 + 4.22\%)^{23} = 3$

Proyección de Tráfico Futuro (carga) $T3S3_{2047} = 8 \times (1 + 4.22\%)^{23} = 20$

PROYECCIÓN									
CRECIMIENTO VEHICULAR ANUAL									
LIVIANO					4.37%				
COLECTIVO					-9.18%				
CARGA					4.22%				
AÑO	LIVIANO		COLECTIVO		CARGA				TOTAL
	AUTO	PICKUP	MB	AB	C2	C3	T3S2	T3S3	
2024	232	233	0	0	209	89	1	8	772
2025	242	243	0	0	218	93	1	8	805
2026	253	254	0	0	227	97	1	8	840
2027	264	265	0	0	236	101	1	9	876
2028	275	277	0	0	246	105	2	9	914
2029	287	289	0	0	257	109	2	10	953
2030	300	301	0	0	267	114	2	10	994
2031	313	315	0	0	279	119	2	10	1037

2032	327	328	0	0	290	124	2	11	1082
2033	341	343	0	0	303	129	2	11	1128
2034	356	358	0	0	315	134	2	12	1177
2035	371	373	0	0	329	140	2	12	1227
2036	387	390	0	0	343	146	2	13	1280
2037	404	407	0	0	357	152	2	13	1336
2038	422	424	0	0	372	158	2	14	1393
2039	441	443	0	0	388	165	2	14	1453
2040	460	462	0	0	404	172	2	15	1516
2041	480	483	0	0	421	179	3	16	1581
2042	501	504	0	0	439	187	3	16	1649
2043	523	526	0	0	457	195	3	17	1720
2044	546	549	0	0	477	203	3	18	1795
2045	569	573	0	0	497	212	3	18	1872
2046	594	598	0	0	518	220	3	19	1953
2047	620	624	0	0	539	230	3	20	2037

Tabla 3.71 Proyección de tráfico futuro para 20 años.

Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

Donde la proyección estimada de tráfico futuro en 20 años para la vía puesta en servicio en el año 2027 sería la siguiente:

PROYECCIÓN									
AÑO	LIVIANO		COLECTIVO		CARGA				TOTAL
	AUTO	PICK UP	MB	AB	C2	C3	T3S2	T3S3	
2047	620	624	0	0	539	230	3	20	2037

Tabla 3.72 Proyección de tráfico futuro para año 2047.

Fuente: Elaboración propia, cálculos realizados en Microsoft Office Excel

3.3 TOPOGRAFÍA

Aplicación de técnicas de medición con GPS.

Para el levantamiento topográfico se utilizaron dos técnicas de medición, la primera es un levantamiento topográfico con la técnica de medición RTK y la segunda técnica que se utilizó es un levantamiento fotogramétrico, los cuales se describen a continuación.

1. Verificación de Antena Base

En esta etapa se procedió a solicitar los permisos de utilización de base GNSS ubicado en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, que está conectada a la red geodésica de CNR donde se proporcionan las coordenadas geodésicas SIRGAS ES-2007.



Imagen 3.8 Ubicación de antena base GNSS de Escuela de Ingeniería Civil.

Fuente: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.

2. Levantamiento topográfico de vía

Para esta etapa de proyecto se utilizaron dos equipos GNSS, de marca CARLSON y una estación fija GNSS.

Procedimiento:

Se utilizó la técnica de medición rápida RTK NTRIP; para el desarrollo de esta técnica se planificó el uso de la estación base GNSS UES_1, se colocaron monumentaciones auxiliares en la zona de cantón San Diego en caso de ser necesario la utilización de otros métodos de medición. Las actividades del levantamiento se definieron en los siguientes pasos:

- Reconocimiento de campo.

- Medición u observaciones satelitales.
- Trabajo de oficina o postproceso de datos.

Reconocimiento de campo.

En esta actividad se hizo un recorrido de la vía y realizando una distribución de puntos a medir en la vía, tomando en cuenta los laterales, centro de la vía, colindancias, postes y árboles.

Se realizó una distribución lineal de 20 metros a lo largo de la vía para poder tener facilidad de toma de datos con los receptores GPS.



Imagen 3.9 Ruta de distribución de puntos a cada 20 metros.

Fuente: Elaboración Propia.

Medición u observaciones satelitales.

Esta actividad se realizó con dos receptores GNSS de doble frecuencia marca CARLSON; se empleó la técnica de medición rápida RTK NTRIP con tiempos de observación breves que oscilan entre uno y dos minutos.



Imagen 3. 10 Equipo utilizado en la medición
Fuente: Manual de operación GPS marca Carlson

Se tomaron las mediciones con los siguientes parámetros:

1. Intervalo de Grabación: 15 ó 30 segundos.
2. Máscara: 15°
3. Mínimo de Satélites: 4
4. Tiempo mínimo de Observación: 1 ó 2 minutos.
5. Se procedió a tomar los datos de coordenadas a una distancia de 20 metros y en las curvas cada 10 metros de la vía.



Imagen 3.11 Medición de la vía.

Fuente: Elaboración propia

Trabajo de oficina o postproceso de datos.

A continuación, se presentan los datos recopilados en la medición:

PUNTO	Coordenadas cónicas conformal de LAMBERT SIRGAS-ES2007		Elevación	coordenadas geográficas WGS-84	
	Este (X)	Norte(Y)		Z	Longitud X	Latitud Y
CALLE 1	481793.567	320076.811	274.0728	89° 10' 06.65388557"W	14° 00' 12.92507028"N
CALLE 2	481812.684	320074.696	272.9647	89° 10' 06.01680061"W	14° 00' 12.85668930"N
CALLE3	481815.471	320078.694	272.522	89° 10' 05.92401931"W	14° 00' 12.98684691"N
CALLE4	481834.808	320072.935	270.9365	89° 10' 05.27947148"W	14° 00' 12.79990162"N

CALLE6	481836.371	320075.254	272.0323	89° 10'	14° 00'	05.22745311"W	12.87539184"N
CALLE7	481850.938	320072.581	271.335	89° 10'	14° 00'	04.74194379"W	12.78873991"N
CALLE8	481858.389	320071.815	271.3597	89° 10'	14° 00'	04.49365064"W	12.76398113"N
CALLE9	481852.482	320075.576	271.3513	89° 10'	14° 00'	04.69058427"W	12.88622926"N
CALLE10	481867.886	320071.818	270.0821	89° 10'	14° 00'	04.17716741"W	12.76430426"N
CALLE11	481869.315	320073.85	271.2724	89° 10'	14° 00'	04.12959772"W	12.83045919"N
CALLE12	481875.549	320070.169	271.0278	89° 10'	14° 00'	03.92177235"W	12.71080520"N
CALLE13	481875.792	320073.188	271.104	89° 10'	14° 00'	03.91374144"W	12.80905894"N
CALLE14	481882.207	320070.101	270.9654	89° 10'	14° 00'	03.69987158"W	12.70875671"N
CALLE15	481882.756	320072.754	271.0435	89° 10'	14° 00'	03.68165824"W	12.79508858"N
CALLE16	481889.856	320069.888	270.8303	89° 10'	14° 00'	03.44497980"W	12.70198969"N
CALLE17	481890.108	320072.652	271.1682	89° 10'	14° 00'	03.43666298"W	12.79193641"N
CALLE18	481896.738	320069.648	270.6399	89° 10'	14° 00'	03.21564374"W	12.69434617"N
CALLE19	481897.212	320072.546	270.6448	89° 10'	14° 00'	03.19992536"W	12.78865490"N
CALLE20	481904.059	320072.592	270.5842	89° 10'	14° 00'	02.97172892"W	12.79028742"N
CALLE21	481904.714	320068.932	271.2212	89° 10'	14° 00'	02.94984327"W	12.67120630"N
CALLE22	481911.717	320069.347	270.5596	89° 10'	14° 00'	02.71648020"W	12.68488169"N
CALLE23	481912.103	320071.604	271.373	89° 10'	14° 00'	02.70367609"W	12.75833419"N
CALLE24	481925.739	320073.22	270.8365	89° 10'	14° 00'	02.24929138"W	12.81122603"N
CALLE25	481925.854	320071.037	270.4117	89° 10'	14° 00'	02.24540182"W	12.74019928"N

CALLE26	481932.782	320071.207	270.5061	89° 10'	14° 00'	02.01454568"W	12.74589097"N
CALLE27	481932.712	320073.427	270.6218	89° 10'	14° 00'	02.01692316"W	12.81812595"N
CALLE28	481943.772	320072.109	270.9467	89° 10'	14° 00'	01.64831690"W	12.77547677"N
CALLE29	481944.3	320074.332	270.9503	89° 10'	14° 00'	01.63079321"W	12.84782612"N
CALLE30	481952.598	320071.79	273.4693	89° 10'	14° 00'	01.35420675"W	12.76529965"N
CALLE31	481952.631	320075.127	272.9675	89° 10'	14° 00'	01.35319430"W	12.87388299"N
CALLE32	481956.808	320073.975	270.34	89° 10'	14° 00'	01.21395910"W	12.83650877"N
CALLE33	481963.081	320074.703	270.6685	89° 10'	14° 00'	01.00493985"W	12.86032913"N
CALLE34	481963.257	320076.737	270.6515	89° 10'	14° 00'	00.99912851"W	12.92651090"N
CALLE35	481977.101	320075.873	270.6395	89° 10'	14° 00'	00.53774817"W	12.89870988"N
CALLE36	481976.704	320078.446	270.6975	89° 10'	14° 00'	00.55104736"W	12.98241722"N
CALLE37	481985.643	320078.748	270.7745	89° 10'	14° 00'	00.25316922"W	12.99246852"N
CALLE38	481985.976	320076.576	270.7435	89° 10'	14° 00'	00.24202205"W	12.92178509"N
CALLE39	481995.108	320076.441	270.8795	89° 09'	14° 00'	59.93769892"W	12.91761134"N
CALLE40	481994.393	320079.952	270.9445	89° 09'	14° 00'	59.96160014"W	13.03181358"N
CALLE41	482000.694	320076.862	271.6775	89° 09'	14° 00'	59.75154960"W	12.93143622"N
CALLE42	482000.239	320079.583	271.8235	89° 09'	14° 00'	59.76677493"W	13.01994828"N
CALLE43	482006.338	320081.862	273.2525	89° 09'	14° 00'	59.56359982"W	13.09424536"N
CALLE44	482005.625	320079.089	270.2735	89° 09'	14° 00'	59.58728598"W	13.00399869"N
CALLE45	482025.132	320086.607	273.3905	89° 09'	14° 00'	58.93741390"W	13.24907925"N

CALLE46	482025.086	320084.235	270.9005	89° 09'	14° 00'	58.93888878"W	13.17189573"N
CALLE47	482044.121	320088.986	270.8775	89° 09'	14° 00'	58.30467168"W	13.32691356"N
CALLE48	482043.571	320091.759	270.9135	89° 09'	14° 00'	58.32304388"W	13.41713507"N
CALLE49	482063.242	320093.792	271.0425	89° 09'	14° 00'	57.66759970"W	13.48370297"N
CALLE50	482062.485	320096.586	271.1395	89° 09'	14° 00'	57.69286045"W	13.57460317"N
CALLE51	482081.748	320098.346	270.9935	89° 09'	14° 00'	57.05100280"W	13.63231736"N
CALLE52	482081.08	320101.398	271.0795	89° 09'	14° 00'	57.07332689"W	13.73161136"N
CALLE53	482099.998	320106.064	271.1755	89° 09'	14° 00'	56.44299600"W	13.88385291"N
CALLE54	482100.386	320103.218	271.1655	89° 09'	14° 00'	56.43002084"W	13.79125564"N
CALLE55	482119.378	320107.637	271.0485	89° 09'	14° 00'	55.79720482"W	13.93548730"N
CALLE56	482118.734	320110.709	271.1675	89° 09'	14° 00'	55.81873278"W	14.03543915"N
CALLE57	482137.784	320115.223	270.9655	89° 09'	14° 00'	55.18402915"W	14.18274657"N
CALLE58	482138.444	320112.519	270.9095	89° 09'	14° 00'	55.16197318"W	14.09476616"N
CALLE59	482156.507	320119.658	271.0325	89° 09'	14° 00'	54.56017721"W	14.32746917"N
CALLE60	482156.878	320117.01	271.0795	89° 09'	14° 00'	54.54777995"W	14.24131096"N
CALLE61	482176.319	320121.538	271.0405	89° 09'	14° 00'	53.90000316"W	14.38907527"N
CALLE62	482175.583	320124.428	271.1405	89° 09'	14° 00'	53.92459924"W	14.48310952"N
CALLE63	482193.681	320125.829	270.9695	89° 09'	14° 00'	53.32153188"W	14.52908423"N
CALLE64	482193.031	320128.798	270.9335	89° 09'	14° 00'	53.34326381"W	14.62566821"N
CALLE65	482212.958	320130.716	271.0155	89° 09'	14° 00'	52.67927135"W	14.68852545"N

CALLE66	482212.449	320133.591	271.1205	89° 09'	52.69629568"W	14° 00'	14.78206695"N
CALLE67	482231.235	320138.489	270.9095	89° 09'	52.07038065"W	14° 00'	14.94186124"N
CALLE68	482231.998	320135.723	270.8885	89° 09'	52.04488452"W	14° 00'	14.85188515"N
CALLE69	482251.425	320140.537	270.7455	89° 09'	51.39760320"W	14° 00'	15.00896647"N
CALLE70	482250.6	320143.232	270.8285	89° 09'	51.42513378"W	14° 00'	15.09664071"N
CALLE71	482270.484	320149.176	270.7105	89° 09'	50.76264866"W	14° 00'	15.29049752"N
CALLE72	482271.231	320145.496	270.7145	89° 09'	50.73769503"W	14° 00'	15.17075761"N
CALLE73	482291.636	320150.585	270.4606	89° 09'	50.05781829"W	14° 00'	15.33679162"N
CALLE74	482291.145	320152.944	270.4702	89° 09'	50.07423080"W	14° 00'	15.41355972"N
CALLE75	482309.867	320158.442	270.6201	89° 09'	49.45045451"W	14° 00'	15.59286437"N
CALLE76	482310.33	320156.287	270.5817	89° 09'	49.43499977"W	14° 00'	15.52274659"N
CALLE77	482334.004	320165.257	270.4065	89° 09'	48.64625326"W	14° 00'	15.81513901"N
CALLE78	482334.525	320162.495	270.175	89° 09'	48.62882871"W	14° 00'	15.72530064"N
CALLE79	482342.653	320163.601	270.2396	89° 09'	48.35802366"W	14° 00'	15.76145879"N
CALLE80	482342.379	320164.612	270.2508	89° 09'	48.36716743"W	14° 00'	15.79435290"N
CALLE81	482358.768	320168.757	270.0132	89° 09'	47.82108890"W	14° 00'	15.92960234"N
CALLE82	482358.346	320171.286	270.089	89° 09'	47.83520898"W	14° 00'	16.01185482"N
CALLE83	482369.299	320173.661	269.9864	89° 09'	47.47026794"W	14° 00'	16.08937687"N
CALLE84	482369.837	320171.639	270.1239	89° 09'	47.45230039"W	14° 00'	16.02360468"N
CALLE85	482391.326	320176.305	270.3637	89° 09'	46.73628587"W	14° 00'	16.17591235"N

CALLE86	482390.604	320178.987	270.2774	89° 09'	14° 00'	46.76040663"W	16.26316273"N
CALLE87	482412.774	320181.438	270.078	89° 09'	14° 00'	46.02166123"W	16.34339147"N
CALLE88	482412.39	320183.925	270.07	89° 09'	14° 00'	46.03451723"W	16.42430746"N
CALLE89	482413.957	320187.409	269.9219	89° 09'	14° 00'	45.98239324"W	16.53772405"N
CALLE90	482433.228	320186.018	270.2235	89° 09'	14° 00'	45.34016827"W	16.49287684"N
CALLE91	482432.724	320188.498	270.2135	89° 09'	14° 00'	45.35702964"W	16.57357218"N
CALLE92	482453.47	320191.053	270.0136	89° 09'	14° 00'	44.66573008"W	16.65716878"N
CALLE93	482452.784	320193.501	270.0237	89° 09'	14° 00'	44.68864236"W	16.73680263"N
CALLE94	482452.005	320196.585	270.4197	89° 09'	14° 00'	44.71466148"W	16.83715201"N
CALLE96	482487.079	320199.057	270.2064	89° 09'	14° 00'	43.54591820"W	16.91834227"N
CALLE97	482486.861	320201.171	270.1804	89° 09'	14° 00'	43.55320376"W	16.98713467"N
CALLE98	482484.881	320205.32	270.068	89° 09'	14° 00'	43.61928255"W	17.12207269"N
CALLE99	482493.549	320203.34	270.1691	89° 09'	14° 00'	43.33038906"W	17.05784864"N
CALLE100	482494.139	320200.68	270.1714	89° 09'	14° 00'	43.31067127"W	16.97129812"N
CALLE200	482494.139	320200.68	270.1714	89° 09'	14° 00'	43.31067127"W	16.97129812"N
CALLE201	482495.625	320207.003	270.2528	89° 09'	14° 00'	43.26129659"W	17.17710072"N
CALLE202	482517.124	320204.238	271.5101	89° 09'	14° 00'	42.54480041"W	17.08758200"N
CALLE203	482515.827	320204.86	269.6334	89° 09'	14° 00'	42.58803941"W	17.10779284"N
CALLE204	482514.596	320211.096	269.4712	89° 09'	14° 00'	42.62919826"W	17.31067573"N
CALLE205	482536.526	320210.112	269.3336	89° 09'	14° 00'	41.89836580"W	17.27914064"N

CALLE206	482536.118	320212.481	269.556	89° 09'	14° 00'	41.91202189"W	17.35622307"N
CALLE207	482534.995	320215.84	269.4175	89° 09'	14° 00'	41.94952044"W	17.46550670"N
CALLE208	482556.22	320215.902	269.7877	89° 09'	14° 00'	41.24218831"W	17.46797191"N
CALLE209	482555.701	320218.21	269.7717	89° 09'	14° 00'	41.25955198"W	17.54307029"N
CALLE210	482555.117	320220.507	269.6515	89° 09'	14° 00'	41.27906483"W	17.61778981"N
CALLE211	482571.04	320218.719	269.5759	89° 09'	14° 00'	40.74840715"W	17.55995789"N
CALLE212	482570.967	320221.201	269.7045	89° 09'	14° 00'	40.75088866"W	17.64071805"N
CALLE213	482570.259	320223.914	269.6477	89° 09'	14° 00'	40.77453301"W	17.72899713"N
CALLE214	482596.257	320229.903	269.5784	89° 09'	14° 00'	39.90830895"W	17.92443701"N
CALLE215	482596.871	320227.168	269.6145	89° 09'	14° 00'	39.88777669"W	17.83544327"N
CALLE216	482597.762	320224.343	269.5634	89° 09'	14° 00'	39.85804158"W	17.74354981"N
CALLE217	482639.18	320239.226	269.3532	89° 09'	14° 00'	38.47812298"W	18.22871297"N
CALLE218	482639.84	320236.164	269.5127	89° 09'	14° 00'	38.45608067"W	18.12909295"N
CALLE219	482640.288	320233.869	269.3656	89° 09'	14° 00'	38.44108023"W	18.05442249"N
CALLE220	482660.562	320238.597	268.6606	89° 09'	14° 00'	37.76556957"W	18.20872040"N
CALLE221	482660.249	320241.401	269.4206	89° 09'	14° 00'	37.77606916"W	18.29996266"N
CALLE222	482676.771	320244.473	268.1607	89° 09'	14° 00'	37.22555463"W	18.40027459"N
CALLE223	482677.103	320241.974	268.3859	89° 09'	14° 00'	37.21443205"W	18.31896037"N
CALLE224	482696.068	320246.665	269.0745	89° 09'	14° 00'	36.58254515"W	18.47201852"N
CALLE225	482695.649	320249.358	268.9732	89° 09'	14° 00'	36.59657453"W	18.55963040"N

CALLE226	482714.643	320251.099	268.9468	89° 09'	14° 00'	35.96363218"W	18.61669876"N
CALLE227	482714.135	320253.612	268.8721	89° 09'	14° 00'	35.98063004"W	18.69844195"N
CALLE228	482734.976	320255.943	268.8835	89° 09'	14° 00'	35.28616372"W	18.77476407"N
CALLE229	482733.999	320258.653	268.7845	89° 09'	14° 00'	35.31875839"W	18.86292034"N
CALLE230	482751.761	320260.014	268.8003	89° 09'	14° 00'	34.72689636"W	18.90758007"N
CALLE231	482751.074	320262.494	268.7338	89° 09'	14° 00'	34.74985846"W	18.98825863"N
CALLE232	482771.186	320264.507	268.6309	89° 09'	14° 00'	34.07968162"W	19.05421341"N
CALLE233	482770.599	320267.036	268.5027	89° 09'	14° 00'	34.09927229"W	19.13646581"N
CALLE234	482789.312	320268.815	268.657	89° 09'	14° 00'	33.47572434"W	19.19475628"N
CALLE235	482788.574	320271.351	268.6298	89° 09'	14° 00'	33.50036046"W	19.27725923"N
CALLE236	482806.866	320275.07	268.4132	89° 09'	14° 00'	32.89089811"W	19.39869511"N
CALLE237	482807.666	320273.481	268.3614	89° 09'	14° 00'	32.86419681"W	19.34698513"N
CALLE238	482826.804	320278.422	268.3275	89° 09'	14° 00'	32.22654206"W	19.50817864"N
CALLE239	482826.187	320280.316	268.4588	89° 09'	14° 00'	32.24713166"W	19.56980397"N
CALLE240	482845.215	320285.031	268.0686	89° 09'	14° 00'	31.61315066"W	19.72361483"N
CALLE241	482846.06	320282.693	268.0579	89° 09'	14° 00'	31.58492336"W	19.64756011"N
CALLE242	482865.811	320287.488	268.8588	89° 09'	14° 00'	30.92686035"W	19.80400865"N
CALLE243	482865.316	320290.054	268.8941	89° 09'	14° 00'	30.94339238"W	19.88749631"N
CALLE244	482884.158	320294.847	268.8371	89° 09'	14° 00'	30.31559431"W	20.04385332"N
CALLE245	482884.76	320292.7	268.808	89° 09'	14° 00'	30.29549251"W	19.97402455"N

CALLE246	482904.156	320297.298	268.867	89° 09'	14° 00'	29.64924154"W	20.12404785"N
CALLE247	482903.785	320299.438	268.8059	89° 09'	14° 00'	29.66163852"W	20.19366031"N
CALLE248	482922.303	320304.36	268.6773	89° 09'	14° 00'	29.04463996"W	20.35421026"N
CALLE249	482922.924	320301.939	268.7557	89° 09'	14° 00'	29.02388909"W	20.27546620"N
CALLE250	482941.834	320309.949	268.6066	89° 09'	14° 00'	28.39390805"W	20.53651745"N
CALLE251	482941.733	320307.332	268.629	89° 09'	14° 00'	28.39720989"W	20.45135103"N
CALLE252	482959.483	320311.586	268.6489	89° 09'	14° 00'	27.80579286"W	20.59015091"N
CALLE253	482958.609	320314.019	268.6938	89° 09'	14° 00'	27.83496501"W	20.66930285"N
CALLE254	482977.066	320318.253	268.2456	89° 09'	14° 00'	27.22001685"W	20.80746663"N
CALLE255	482977.6	320315.535	268.2036	89° 09'	14° 00'	27.20214887"W	20.71903383"N
CALLE256	482988.432	320316.96	268.1861	89° 09'	14° 00'	26.84121878"W	20.76563275"N
CALLE257	482987.293	320319.502	268.3209	89° 09'	14° 00'	26.87921423"W	20.84832908"N
CALLE258	482996.559	320323.002	268.3105	89° 09'	14° 00'	26.57051886"W	20.96240640"N
CALLE259	482997.057	320319.888	268.2451	89° 09'	14° 00'	26.55384866"W	20.86109388"N
CALLE260	482996.346	320329.131	264.1751	89° 09'	14° 00'	26.57774067"W	21.16182024"N
CALLE261	483015.417	320328.346	266.7636	89° 09'	14° 00'	25.94217801"W	21.13668962"N
CALLE262	483016.218	320324.932	266.6143	89° 09'	14° 00'	25.91543066"W	21.02561533"N
CALLE263	483054.711	320337.017	266.9109	89° 09'	14° 00'	24.63293221"W	21.41968636"N
CALLE264	483054.923	320333.741	266.9252	89° 09'	14° 00'	24.62580617"W	21.31306388"N
CALLE265	483074.31	320341.493	266.9069	89° 09'	14° 00'	23.97989494"W	21.56574659"N

CALLE266	483074.516	320338.668	266.9914	89° 09'	14° 00'	23.97296874"W	21.47382509"N
CALLE267	483093.287	320346.274	267.0443	89° 09'	14° 00'	23.34761192"W	21.72170127"N
CALLE268	483094.037	320343.36	267.0237	89° 09'	14° 00'	23.32253198"W	21.62690510"N
CALLE269	483093.008	320349.481	266.7701	89° 09'	14° 00'	23.35697570"W	21.82606088"N
CALLE270	483113.693	320348.045	266.3607	89° 09'	14° 00'	22.66763267"W	21.77975317"N
CALLE271	483112.601	320350.419	266.3228	89° 09'	14° 00'	22.70404787"W	21.85698738"N
CALLE272	483134.024	320352.764	267.0217	89° 09'	14° 00'	21.99020646"W	21.93373764"N
CALLE273	483133.444	320356.044	267.2766	89° 09'	14° 00'	22.00960903"W	22.04047275"N
CALLE274	483154.189	320357.845	266.8346	89° 09'	14° 00'	21.31831305"W	22.09950045"N
CALLE275	483153.251	320360.588	266.6544	89° 09'	14° 00'	21.34964410"W	22.18871879"N
CALLE276	483173.659	320362.865	266.3828	89° 09'	14° 00'	20.66958863"W	22.26325672"N
CALLE277	483173.174	320365.769	266.6024	89° 09'	14° 00'	20.68580706"W	22.35772667"N
CALLE278	483191.569	320367.473	266.5371	89° 09'	14° 00'	20.07285475"W	22.41357034"N
CALLE279	483192.809	320369.805	265.339	89° 09'	14° 00'	20.03157921"W	22.48946433"N
CALLE280	483211.262	320374.461	266.3833	89° 09'	14° 00'	19.41674752"W	22.64136383"N
CALLE281	483214.355	320371.789	266.9693	89° 09'	14° 00'	19.31361036"W	22.55450425"N
CALLE282	483218.692	320376.484	266.4982	89° 09'	14° 00'	19.16917266"W	22.70734315"N
CALLE283	483232.424	320379.609	266.1291	89° 09'	14° 00'	18.71163985"W	22.80932899"N
CALLE284	483232.799	320378.435	266.0547	89° 09'	14° 00'	18.69911453"W	22.77112634"N
CALLE285	483252.243	320381.718	265.6151	89° 09'	14° 00'	18.05121488"W	22.87836645"N

CALLE286	483251.464	320382.928	266.6125	89° 09'	14° 00'	18.07721074"W	22.91771250"N
CALLE287	483255.123	320385.867	270.4108	89° 09'	14° 00'	17.95532914"W	23.01341806"N
CALLE288	483256.938	320386.495	263.2304	89° 09'	14° 00'	17.89487179"W	23.03389059"N
CALLE289	483274.044	320388.91	262.7209	89° 09'	14° 00'	17.32485283"W	23.11284382"N
CALLE290	483277.858	320392.288	262.1773	89° 09'	14° 00'	17.19784189"W	23.22284687"N
CALLE291	483282.234	320389.205	265.9842	89° 09'	14° 00'	17.05193391"W	23.12262087"N
CALLE292	483295.702	320391.056	266.0523	89° 09'	14° 00'	16.60316766"W	23.18310964"N
CALLE293	483314.685	320398.386	266.466	89° 09'	14° 00'	15.97071339"W	23.42204659"N
H1	481869.036	320070.019	271.1538	89° 10'	14° 00'	04.13880607"W	12.70578948"N
H2	481876.636	320068.751	271.359	89° 10'	14° 00'	03.88551932"W	12.66470261"N
H3	481881.926	320068.654	271.318	89° 10'	14° 00'	03.70920871"W	12.66166641"N
H4	481889.702	320068.797	270.9682	89° 10'	14° 00'	03.45009970"W	12.66647964"N
H5	481896.791	320068.456	270.8417	89° 10'	14° 00'	03.21385654"W	12.65556741"N
H6	481904.51	320067.95	271.0522	89° 10'	14° 00'	02.95659529"W	12.63926467"N
H7	481910.955	320066.801	270.8697	89° 10'	14° 00'	02.74181082"W	12.60200715"N
H8	481926.036	320069.48	270.5602	89° 10'	14° 00'	02.23929739"W	12.68954671"N
H9	481932.933	320069.579	270.5856	89° 10'	14° 00'	02.00945600"W	12.69292418"N
H10	481945.329	320069.339	271.7472	89° 10'	14° 00'	01.59637362"W	12.68537248"N
H11	481951.414	320070.454	273.3325	89° 10'	14° 00'	01.39362168"W	12.72180405"N
H12	481966.281	320073.564	270.4405	89° 10'	14° 00'	00.89825604"W	12.82333628"N

H13	481967.09	320072.106	270.5685	89° 10'	14° 00'	00.87127970"W	12.77592246"N
H14	481977.319	320072.719	270.7605	89° 10'	14° 00'	00.53040723"W	12.79608033"N
H15	481986.283	320074.483	270.7985	89° 10'	14° 00'	00.23173981"W	12.85367815"N
H16	481995.112	320074.65	270.9765	89° 09'	14° 00'	59.93753425"W	12.85933410"N
H17	482001.401	320075.681	271.9905	89° 09'	14° 00'	59.72798544"W	12.89302360"N
H18	482005.895	320077.518	269.9095	89° 09'	14° 00'	59.57826883"W	12.95287625"N
H19	482025.688	320082.506	271.1325	89° 09'	14° 00'	58.91877440"W	13.11563963"N
H20	482044.79	320087.278	271.0815	89° 09'	14° 00'	58.28232509"W	13.27134552"N
H21	482063.427	320092.952	271.0105	89° 09'	14° 00'	57.66139874"W	13.45638415"N
H22	482081.862	320097.603	271.0685	89° 09'	14° 00'	57.04717010"W	13.60814672"N
H23	482100.864	320101.992	271.2445	89° 09'	14° 00'	56.41403371"W	13.75138334"N
H24	482119.74	320106.67	271.2505	89° 09'	14° 00'	55.78513260"W	13.90403670"N
H25	482138.667	320111.272	271.1925	89° 09'	14° 00'	55.15450663"W	14.05418853"N
H26	482291.95	320149.589	270.7989	89° 09'	14° 00'	50.04733851"W	15.30440602"N
H27	482157.09	320115.554	271.3545	89° 09'	14° 00'	54.54066854"W	14.19392267"N
H28	482176.625	320120.099	271.1775	89° 09'	14° 00'	53.88977969"W	14.34224873"N
H29	482194.212	320124.491	271.1595	89° 09'	14° 00'	53.30380948"W	14.48557843"N
H30	482213.473	320129.084	271.3595	89° 09'	14° 00'	52.66205213"W	14.63545284"N
H31	482232.219	320134.116	271.0915	89° 09'	14° 00'	52.03747323"W	14.79960644"N
H32	482251.697	320139.274	271.2315	89° 09'	14° 00'	51.38850023"W	14.96786277"N

H33	482271.315	320144.359	271.1135	89° 09' 50.73486993"W	14° 00' 15.13376916"N
H34	482317.139	320156.322	271.0682	89° 09' 49.20808532"W	14° 00' 15.52403631"N
H35	482335.644	320160.69	270.3589	89° 09' 48.59151123"W	14° 00' 15.66659578"N
H36	482343.287	320161.683	270.4489	89° 09' 48.33684592"W	14° 00' 15.69905003"N
H37	482359.169	320167.122	270.2931	89° 09' 47.80771883"W	14° 00' 15.87640018"N
H38	482370.593	320170.077	270.2872	89° 09' 47.42707188"W	14° 00' 15.97280850"N
H39	482391.596	320175.269	270.5624	89° 09' 46.72727489"W	14° 00' 16.14220141"N
H40	482413.113	320180.19	270.1599	89° 09' 46.01035281"W	14° 00' 16.30281630"N
H41	482413.607	320188.397	270.0234	89° 09' 45.99407239"W	14° 00' 16.56986486"N
H42	482433.354	320185.065	270.2729	89° 09' 45.33595793"W	14° 00' 16.46188297"N
H43	482453.563	320190.067	270.0588	89° 09' 44.66258874"W	14° 00' 16.62509391"N
H44	482451.564	320198.149	270.0484	89° 09' 44.72941273"W	14° 00' 16.88803327"N
H45	482487.191	320197.73	270.1678	89° 09' 43.54214607"W	14° 00' 16.87517851"N
H46	482485.138	320205.838	270.1652	89° 09' 43.61074982"W	14° 00' 17.13893351"N
H47	482494.416	320199.383	270.2195	89° 09' 43.30139797"W	14° 00' 16.92911416"N
H48	482495.465	320208.262	270.0027	89° 09' 43.26666675"W	14° 00' 17.21805402"N
H49	482516.134	320204.102	269.6815	89° 09' 42.57776849"W	14° 00' 17.08313503"N
H50	482514.161	320212.257	269.6954	89° 09' 42.64371376"W	14° 00' 17.34846674"N
H51	482536.662	320209.206	269.9123	89° 09' 41.89380673"W	14° 00' 17.24967306"N
H52	482534.516	320216.555	269.6829	89° 09' 41.96549550"W	14° 00' 17.48874207"N

H53	482556.514	320214.379	269.9056	89° 09' 41.23238353"W	14° 00' 17.41844097"N
H54	482554.895	320221.274	270.1004	89° 09' 41.28648001"W	14° 00' 17.64274236"N
H55	482570.96	320216.628	269.786	89° 09' 40.75100303"W	14° 00' 17.49193016"N
H56	482569.834	320225.098	269.7183	89° 09' 40.78871901"W	14° 00' 17.76749448"N
H57	482595.725	320230.912	269.7155	89° 09' 39.92604673"W	14° 00' 17.95726376"N
H58	482600.028	320223.422	269.6819	89° 09' 39.78248793"W	14° 00' 17.71362105"N
H59	482625.223	320237.863	269.5489	89° 09' 38.94319821"W	14° 00' 18.18406847"N
H60	482632.558	320238.726	269.6121	89° 09' 38.69879283"W	14° 00' 18.21231246"N
H61	482639.018	320240.406	269.5329	89° 09' 38.48356448"W	14° 00' 18.26710218"N
H62	482640.213	320233.099	269.6784	89° 09' 38.44355576"W	14° 00' 18.02938863"N
H63	482660.899	320237.449	268.9982	89° 09' 37.75430704"W	14° 00' 18.17136972"N
H64	482677.296	320240.813	268.5017	89° 09' 37.20797464"W	14° 00' 18.28119006"N
H65	482696.492	320245.635	269.7104	89° 09' 36.56836941"W	14° 00' 18.43851909"N
H66	482715.062	320249.815	269.1155	89° 09' 35.94963079"W	14° 00' 18.57494081"N
H67	482735.377	320254.742	268.9803	89° 09' 35.27276735"W	14° 00' 18.73569669"N
H68	482752.353	320258.879	269.0243	89° 09' 34.70715318"W	14° 00' 18.87067412"N
H69	482771.452	320263.238	268.597	89° 09' 34.07077593"W	14° 00' 19.01292394"N
H70	482789.49	320267.687	268.6608	89° 09' 33.46976770"W	14° 00' 19.15807242"N
H71	482807.889	320272.082	268.574	89° 09' 32.85671127"W	14° 00' 19.30146141"N
H72	482828.057	320277.654	268.3571	89° 09' 32.18476957"W	14° 00' 19.48320590"N

H73	482846.308	320281.743	268.2944	89° 09' 31.57666131"W	14° 00' 19.61664689"N
H74	482866.242	320286.624	269.0187	89° 09' 30.91247519"W	14° 00' 19.77592700"N
H75	482885.864	320291.405	268.925	89° 09' 30.25867717"W	14° 00' 19.93190699"N
H76	482904.45	320296.397	268.9995	89° 09' 29.63940438"W	14° 00' 20.09473329"N
H77	482923.317	320301.049	268.8341	89° 09' 29.01078639"W	14° 00' 20.24650840"N
H78	482940.821	320305.874	269.2204	89° 09' 28.42758659"W	14° 00' 20.40388319"N
H79	482959.63	320310.611	268.8551	89° 09' 27.80089283"W	14° 00' 20.55842202"N
H80	482977.062	320315.359	268.373	89° 09' 27.22006696"W	14° 00' 20.71330526"N
H81	482988.694	320316.373	268.213	89° 09' 26.83245828"W	14° 00' 20.74653471"N
H82	483016.268	320323.935	266.8175	89° 09' 25.91372940"W	14° 00' 20.99319131"N
H83	483055.326	320332.855	266.9494	89° 09' 24.61235379"W	14° 00' 21.28424941"N
H84	483074.742	320337.999	267.1405	89° 09' 23.96542951"W	14° 00' 21.45203527"N
H85	483094.277	320342.259	267.0539	89° 09' 23.31450687"W	14° 00' 21.59107500"N
H86	483092.167	320351.107	267.1858	89° 09' 23.38501359"W	14° 00' 21.87892543"N
H87	483113.823	320346.994	266.7926	89° 09' 22.66324773"W	14° 00' 21.74558025"N
H88	483134.264	320351.833	267.0058	89° 09' 21.98216844"W	14° 00' 21.90346195"N
H89	483154.503	320356.488	266.6009	89° 09' 21.30782647"W	14° 00' 22.05534843"N
H90	483173.767	320361.237	266.7083	89° 09' 20.66594777"W	14° 00' 22.21029531"N
H91	483193.337	320366.046	266.8201	89° 09' 20.01389278"W	14° 00' 22.36716469"N
H92	483212.929	320369.987	266.932	89° 09' 19.36108907"W	14° 00' 22.49580975"N

H93	483220.171	320373.04	266.3517	89° 09'	14° 00'	19.11981146"W	22.59532627"N
H94	483232.834	320377.179	266.1557	89° 09'	14° 00'	18.69792782"W	22.73026463"N
H95	483252.402	320381.507	263.5307	89° 09'	14° 00'	18.04593172"W	22.87149429"N
H96	483252.318	320382.225	262.8848	89° 09'	14° 00'	18.04873310"W	22.89487179"N
H97	483255.825	320383.297	268.6977	89° 09'	14° 00'	17.93188007"W	22.92982714"N
H98	483256.342	320383.199	268.5545	89° 09'	14° 00'	17.91466913"W	22.92663288"N
H99	483256.071	320384.527	269.6222	89° 09'	14° 00'	17.92372529"W	22.96984221"N
H100	483282.475	320388.513	265.9924	89° 09'	14° 00'	17.04391450"W	23.10010567"N
H101	483296.116	320390.177	265.813	89° 09'	14° 00'	16.58934579"W	23.15454583"N
H102	481835.622	320071.051	272.3779	89° 10'	14° 00'	05.25230833"W	12.73860042"N
H103	481793.824	320074.358	273.0622	89° 10'	14° 00'	06.64527062"W	12.84525800"N
H104	481815.198	320072.323	272.1583	89° 10'	14° 00'	05.93295153"W	12.77952831"N
H105	481852.548	320070.527	271.2838	89° 10'	14° 00'	04.68825401"W	12.72195118"N
H106	481858.51	320070.123	271.4747	89° 10'	14° 00'	04.48956903"W	12.70892141"N
P	482031.586	320084.634	271.1575	89° 09'	14° 00'	58.72227720"W	13.18500885"N
P1	482166.812	320125.513	271.9782	89° 09'	14° 00'	54.21691459"W	14.51821518"N
P2	482196.639	320125.689	270.6079	89° 09'	14° 00'	53.22295549"W	14.52461101"N
P3	482196.313	320133.352	270.5821	89° 09'	14° 00'	53.23399754"W	14.77392721"N
P4	482234.988	320142.836	270.9819	89° 09'	14° 00'	51.94540365"W	15.08338523"N
P5	482274.125	320153.276	270.6703	89° 09'	14° 00'	50.64142809"W	15.42398168"N

P6	482341.873	320161	270.4059	89° 09' 48.38393438"W	14° 00' 15.67680115"N
P7	482359.133	320167.58	270.2933	89° 09' 47.80890888"W	14° 00' 15.89130876"N
P8	482382.92	320182.737	270.1091	89° 09' 47.01656561"W	14° 00' 16.38500137"N
P9	482401.656	320178.243	270.4394	89° 09' 46.39210252"W	14° 00' 16.23918766"N
P10	482449.183	320189.134	270.4164	89° 09' 44.80854507"W	14° 00' 16.59463550"N
P11	482504.542	320209.909	270.1981	89° 09' 42.96419499"W	14° 00' 17.27185448"N
P12	482497.881	320200.323	271.4728	89° 09' 43.18597680"W	14° 00' 16.95978327"N
P13	482578.846	320219.554	269.7894	89° 09' 40.48827227"W	14° 00' 17.58730484"N
P14	482595.461	320230.761	269.6365	89° 09' 39.93486098"W	14° 00' 17.95231532"N
P15	482626.457	320229.857	269.6316	89° 09' 38.90191412"W	14° 00' 17.92359799"N
P16	482638.313	320232.907	269.4052	89° 09' 38.50689451"W	14° 00' 18.02308028"N
P17	482701.808	320247.13	269.1093	89° 09' 36.39127658"W	14° 00' 18.48727679"N
P18	482751.801	320258.984	268.998	89° 09' 34.72552394"W	14° 00' 18.87407555"N
P19	482851.701	320283.526	268.1382	89° 09' 31.39698165"W	14° 00' 19.67480253"N
P20	482901.908	320296.074	268.808	89° 09' 29.72411150"W	14° 00' 20.08417526"N
P21	483007.275	320322.732	268.3071	89° 09' 26.21340398"W	14° 00' 20.95383277"N
P22	482994.501	320326.163	268.2223	89° 09' 26.63914637"W	14° 00' 21.06521503"N
P23	483107.447	320345.932	266.9218	89° 09' 22.87572877"W	14° 00' 21.71088895"N
P24	483148.807	320355.628	266.9801	89° 09' 21.49761464"W	14° 00' 22.02725121"N
P25	483162.27	320359.123	266.5754	89° 09' 21.04906476"W	14° 00' 22.14124271"N

P26	483189.034	320365.955	266.3649	89° 09'	14° 00'	20.15729318"W	22.36413256"N
P27	483219.851	320372.488	266.8954	89° 09'	14° 00'	19.13046011"W	22.57734827"N
P28	483219.836	320372.761	266.4774	89° 09'	14° 00'	19.13099585"W	22.58624409"N
P29	483274.547	320385.512	265.8827	89° 09'	14° 00'	17.30804763"W	23.00227063"N
PZ	482342.448	320168.388	270.3857	89° 09'	14° 00'	48.36496357"W	15.91720536"N
PZ1	482922.384	320303.6	268.6928	89° 09'	14° 00'	29.04193071"W	20.32950514"N
H107	482943.174	320313.832	268.481	89° 09'	14° 00'	28.34934482"W	20.66286564"N
CALLE294	481854.406	320077.461	271.4971	89° 10'	14° 00'	04.62651569"W	12.94759597"N
CALLE295	481876.13	320075.151	271.6298	89° 10'	14° 00'	03.90252349"W	12.87293089"N
CALLE296	481883.042	320076.019	271.1641	89° 10'	14° 00'	03.67220673"W	12.90132836"N
CALLE297	481889.951	320075.808	271.0745	89° 10'	14° 00'	03.44194487"W	12.89463242"N
CALLE298	481897.02	320076.194	270.8476	89° 10'	14° 00'	03.20639832"W	12.90733977"N
CALLE299	481911.526	320075.477	271.2653	89° 10'	14° 00'	02.72296736"W	12.88433812"N
CALLE300	481924.536	320075.668	271.5769	89° 10'	14° 00'	02.28944051"W	12.89086725"N
CALLE301	481931.997	320076.06	271.5784	89° 10'	14° 00'	02.04079766"W	12.90377842"N
CALLE302	481939.101	320076.68	271.5459	89° 10'	14° 00'	01.80410349"W	12.92409705"N
CALLE303	481946.412	320077.457	271.5629	89° 10'	14° 00'	01.56047819"W	12.94955497"N
CALLE304	481954.046	320078.139	271.575	89° 10'	14° 00'	01.30609696"W	12.97193543"N
CALLE305	481964.495	320080.055	271.32	89° 10'	14° 00'	00.95792659"W	13.03451300"N
CALLE306	481980.097	320083.073	271.592	89° 10'	14° 00'	00.43808194"W	13.13306798"N

CALLE307	481986.978	320086.182	271.3987	89° 10'	14° 00'	00.20883317"W	13.23438698"N
CALLE308	481996.342	320084.212	271.4394	89° 09'	14° 00'	59.89676297"W	13.17049313"N
CALLE309	481998.886	320083.784	271.5315	89° 09'	14° 00'	59.81197294"W	13.15661405"N
CALLE310	482004.158	320084.39	271.5188	89° 09'	14° 00'	59.63628830"W	13.17644178"N
CALLE311	482021.451	320088.859	271.8231	89° 09'	14° 00'	59.06012564"W	13.32227742"N
CALLE312	482042.793	320095.193	271.1993	89° 09'	14° 00'	58.34905257"W	13.52884669"N
CALLE313	482061.906	320098.869	272.4765	89° 09'	14° 00'	57.71222773"W	13.64889943"N
CALLE314	482080.286	320103.618	272.4673	89° 09'	14° 00'	57.09981737"W	13.80382685"N
CALLE315	482099.568	320109.305	271.3581	89° 09'	14° 00'	56.45739320"W	13.98931514"N
CALLE316	482118.25	320114.004	271.3256	89° 09'	14° 00'	55.83493397"W	14.14264427"N
CALLE317	482137.272	320118.389	271.3417	89° 09'	14° 00'	55.20114372"W	14.28573404"N
CALLE318	482155.602	320122.782	271.2213	89° 09'	14° 00'	54.59042050"W	14.42908120"N
CALLE319	482175.124	320127.449	271.0965	89° 09'	14° 00'	53.93996749"W	14.58138978"N
CALLE320	482192.619	320131.917	271.0273	89° 09'	14° 00'	53.35707466"W	14.72715462"N
CALLE321	482215.404	320136.453	273.1074	89° 09'	14° 00'	52.59788106"W	14.87527563"N
CALLE322	482230.584	320140.84	272.3534	89° 09'	14° 00'	52.09211836"W	15.01834916"N
CALLE323	482249.762	320146.587	270.6034	89° 09'	14° 00'	51.45314926"W	15.20578711"N
CALLE324	482269.763	320151.491	270.6118	89° 09'	14° 00'	50.78673479"W	15.36579949"N
CALLE325	482290.217	320157.077	270.5857	89° 09'	14° 00'	50.10523965"W	15.54801626"N
CALLE326	482308.839	320161.924	270.3362	89° 09'	14° 00'	49.48478427"W	15.70614884"N

CALLE327	482328.331	320166.149	270.5279	89° 09'	14° 00'	48.83535237"W	15.84403821"N
CALLE328	482348.032	320171.901	270.4143	89° 09'	14° 00'	48.17893008"W	16.03164482"N
CALLE329	482368.736	320177.483	269.9106	89° 09'	14° 00'	47.48911599"W	16.21372843"N
CALLE330	482377.213	320179.481	270.1338	89° 09'	14° 00'	47.20667740"W	16.27894150"N
CALLE331	482389.634	320182.409	270.0804	89° 09'	14° 00'	46.79281855"W	16.37449624"N
CALLE332	482657.013	320243.576	269.3016	89° 09'	14° 00'	37.88394537"W	18.37064839"N
CALLE333	482676.24	320248.068	269.1024	89° 09'	14° 00'	37.24332314"W	18.51725372"N
CALLE334	482694.318	320252.3	268.937	89° 09'	14° 00'	36.64099466"W	18.65532798"N
CALLE335	482723.175	320258.966	268.8927	89° 09'	14° 00'	35.67949913"W	18.87287736"N
CALLE336	482731.849	320261.364	268.8942	89° 09'	14° 00'	35.39047266"W	18.95107074"N
CALLE337	482750.669	320265.204	268.8214	89° 09'	14° 00'	34.76341150"W	19.07642727"N
CALLE338	482769.444	320269.772	268.9098	89° 09'	14° 00'	34.13783919"W	19.22549680"N
CALLE339	482787.941	320274.043	268.3181	89° 09'	14° 00'	33.52151096"W	19.36486004"N
CALLE340	482806.578	320277.87	268.1098	89° 09'	14° 00'	32.90055396"W	19.48977202"N
CALLE341	482825.402	320283.287	268.1497	89° 09'	14° 00'	32.27337015"W	19.66644737"N
CALLE342	482844.222	320288.083	268.0716	89° 09'	14° 00'	31.64630572"W	19.82292849"N
CALLE343	482863.936	320293.372	268.9589	89° 09'	14° 00'	30.98944311"W	19.99543429"N
CALLE344	482883.016	320297.299	268.8042	89° 09'	14° 00'	30.35371807"W	20.12364043"N
CALLE345	482902.572	320302.26	268.5565	89° 09'	14° 00'	29.70214304"W	20.28547559"N
CALLE346	482921.686	320307.988	268.4901	89° 09'	14° 00'	29.06529066"W	20.47224847"N

CALLE347	482940.478	320313.181	268.4286	89° 09' 14° 00'	28.43917682"W	20.64164794"N
CALLE348	482958.219	320317.563	268.4485	89° 09' 14° 00'	27.84804570"W	20.78458988"N
CALLE349	482976.348	320321.143	268.4089	89° 09' 14° 00'	27.24398698"W	20.90149223"N
CALLE350	482990.156	320324.512	267.2862	89° 09' 14° 00'	26.78392209"W	21.01138433"N
CALLE351	483014.159	320330.491	266.9588	89° 09' 14° 00'	25.98415367"W	21.20644595"N
CALLE352	483033.675	320334.804	266.8744	89° 09' 14° 00'	25.33390253"W	21.34722432"N
CALLE353	483053.556	320340.234	266.819	89° 09' 14° 00'	24.67149865"W	21.52432021"N
CALLE354	483073.145	320345.308	267.0096	89° 09' 14° 00'	24.01878755"W	21.68985484"N
CALLE355	483112.62	320352.574	265.9485	89° 09' 14° 00'	22.70346806"W	21.92711904"N
CALLE356	483132.692	320358.039	266.8834	89° 09' 14° 00'	22.03468561"W	22.10536888"N
CALLE357	483152.505	320363.849	266.2841	89° 09' 14° 00'	21.37456805"W	22.29482242"N
CALLE358	483171.932	320368.689	266.3861	89° 09' 14° 00'	20.72726257"W	22.45273057"N
CALLE359	483192.469	320372.309	266.5488	89° 09' 14° 00'	20.04296356"W	22.57094127"N
CALLE360	483212.193	320377.395	266.3882	89° 09' 14° 00'	19.38576552"W	22.73686904"N
CALLE361	483231.743	320382.688	266.2563	89° 09' 14° 00'	18.73440347"W	22.90950544"N
CALLE362	483249.73	320386.342	267.5075	89° 09' 14° 00'	18.13506563"W	23.02876093"N
CALLE363	483272.178	320391.017	266.0655	89° 09' 14° 00'	17.38708511"W	23.18136434"N
CALLE364	483300.101	320397.451	266.0369	89° 09' 14° 00'	16.45669969"W	23.39130795"N
CALLE365	483300.399	320395.414	266.085	89° 09' 14° 00'	16.44674864"W	23.32502902"N
CALLE366	483329.998	320405.646	265.8491	89° 09' 14° 00'	15.46056864"W	23.65858643"N

CALLE367	483330.877	320402.008	265.8647	89° 09'	14° 00'	15.43121181"W	23.54021497"N
CALLE368	483331.588	320397.588	265.8327	89° 09'	14° 00'	15.40741683"W	23.39642056"N
CALLE369	483331.744	320395.665	265.9186	89° 09'	14° 00'	15.40219706"W	23.33384160"N
CALLE370	481798.552	320091.984	273.7158	89° 10'	14° 00'	06.48812531"W	13.41888824"N
CALLE371	481796.17	320083.951	273.6836	89° 10'	14° 00'	06.56732937"W	13.15745474"N
CALLE372	481800.196	320096.129	274.1725	89° 10'	14° 00'	06.43344706"W	13.55381608"N
CALLE373	481816.389	320082.278	272.9235	89° 10'	14° 00'	05.89350794"W	13.10346803"N
CALLE374	481836.671	320078.473	270.8231	89° 10'	14° 00'	05.21752084"W	12.98012865"N
H108	481854.559	320078.47	271.8466	89° 10'	14° 00'	04.62143059"W	12.98045082"N
H109	481876.254	320076.245	271.9636	89° 10'	14° 00'	03.89841339"W	12.90853136"N
H110	481883.129	320077.022	271.3461	89° 10'	14° 00'	03.66933751"W	12.93398320"N
H111	481889.744	320076.748	271.3122	89° 10'	14° 00'	03.44886481"W	12.92520135"N
H112	481897.19	320076.869	271.1167	89° 10'	14° 00'	03.20073223"W	12.92932372"N
H113	481911.569	320076.496	271.3221	89° 10'	14° 00'	02.72155473"W	12.91748982"N
H114	481924.397	320076.769	271.6548	89° 10'	14° 00'	02.29409476"W	12.92667977"N
H115	481931.983	320077.072	271.5848	89° 10'	14° 00'	02.04131765"W	12.93670428"N
H116	481939.183	320077.827	271.5492	89° 10'	14° 00'	01.80139417"W	12.96145041"N
H117	481946.329	320078.3	271.4867	89° 10'	14° 00'	01.56326030"W	12.97699323"N
H118	481954.001	320079.065	271.3617	89° 10'	14° 00'	01.30763131"W	13.00206225"N
H119	481964.402	320081.083	271.3476	89° 10'	14° 00'	00.96106618"W	13.06795121"N

H120	481979.988	320084.194	271.5365	89° 10'	14° 00'	00.44175351"W	13.16951893"N
H121	482004.112	320085.324	271.927	89° 09'	14° 00'	59.63783946"W	13.20685169"N
H122	482021.568	320089.575	271.8966	89° 09'	14° 00'	59.05623987"W	13.34555519"N
H123	482042.58	320095.418	272.4202	89° 09'	14° 00'	58.35616249"W	13.53617618"N
H124	482061.557	320100.328	272.5073	89° 09'	14° 00'	57.72389813"W	13.69636597"N
H125	482080.399	320105.57	271.4123	89° 09'	14° 00'	57.09609660"W	13.86734223"N
H126	482099.472	320110.427	271.4405	89° 09'	14° 00'	56.46062142"W	14.02582498"N
H127	482117.9	320114.869	271.4463	89° 09'	14° 00'	55.84662729"W	14.17076638"N
H128	482137.441	320119.213	271.5987	89° 09'	14° 00'	55.19553081"W	14.31256621"N
H129	482155.428	320123.514	271.1207	89° 09'	14° 00'	54.59623902"W	14.45290236"N
H130	482175.009	320128.06	271.1753	89° 09'	14° 00'	53.94381709"W	14.60127504"N
H131	482192.498	320132.678	271.174	89° 09'	14° 00'	53.36111430"W	14.75193037"N
H132	482215.117	320137.35	273.1414	89° 09'	14° 00'	52.60747559"W	14.90444694"N
H133	482230.228	320142.596	270.8019	89° 09'	14° 00'	52.10403185"W	15.07549596"N
H134	482249.645	320147.586	270.8791	89° 09'	14° 00'	51.45706763"W	15.23829421"N
H135	482269.509	320152.77	270.6459	89° 09'	14° 00'	50.79524159"W	15.40741120"N
H136	482289.943	320158.156	270.6174	89° 09'	14° 00'	50.11441170"W	15.58312624"N
H137	482308.623	320163.238	270.4429	89° 09'	14° 00'	49.49202547"W	15.74889377"N
H138	482328.169	320168.342	270.8552	89° 09'	14° 00'	48.84077731"W	15.91541215"N
H139	482347.722	320173.479	270.3296	89° 09'	14° 00'	48.18932636"W	16.08299748"N

H140	482368.618	320178.691	269.9589	89° 09' 47.49309226"W	14° 00' 16.25305243"N
H141	482376.51	320181.193	269.7041	89° 09' 47.23015978"W	14° 00' 16.33464247"N
H142	482389.928	320182.401	271.5077	89° 09' 46.78304099"W	14° 00' 16.37422613"N
H143	482656.835	320244.516	269.454	89° 09' 37.88990470"W	14° 00' 18.40123442"N
H144	482676.112	320249.257	269.32	89° 09' 37.24761175"W	14° 00' 18.55592027"N
H145	482694.246	320253.611	269.4939	89° 09' 36.64339313"W	14° 00' 18.69797854"N
H146	482722.339	320260.128	269.1831	89° 09' 35.70738412"W	14° 00' 18.91066956"N
H147	482731.614	320262.36	268.9046	89° 09' 35.39833598"W	14° 00' 18.98349725"N
H148	482750.577	320266.598	269.1438	89° 09' 34.76648153"W	14° 00' 19.12178463"N
H149	482769.349	320271.087	268.741	89° 09' 34.14102408"W	14° 00' 19.26827050"N
H150	482787.805	320275.09	268.7625	89° 09' 33.52606953"W	14° 00' 19.39890915"N
H151	482806.666	320278.272	268.1339	89° 09' 32.89760361"W	14° 00' 19.50285135"N
H152	482825.154	320284.09	268.4311	89° 09' 32.28164565"W	14° 00' 19.69257084"N
H153	482844.135	320289.803	268.302	89° 09' 31.64922614"W	14° 00' 19.87889042"N
H154	482862.858	320294.751	269.208	89° 09' 31.02540056"W	14° 00' 20.04028565"N
H155	482882.664	320299.442	269.0713	89° 09' 30.36550534"W	14° 00' 20.19335089"N
H156	482901.922	320304.158	268.9171	89° 09' 29.72381893"W	14° 00' 20.34721091"N
H157	482921.365	320309.201	268.58	89° 09' 29.07599776"W	14° 00' 20.51173417"N
H158	482940.282	320314.124	268.606	89° 09' 28.44572904"W	14° 00' 20.67230523"N
H159	482957.92	320318.611	268.6223	89° 09' 27.85803932"W	14° 00' 20.81869410"N

H160	482976.465	320321.672	268.4682	89° 09' 27.24009290"W	14° 00' 20.91870460"N
H161	482989.886	320324.828	267.1274	89° 09' 26.79291995"W	14° 00' 21.02167066"N
H162	483013.998	320331.125	266.9903	89° 09' 25.98952941"W	14° 00' 21.22708525"N
H163	483032.316	320336.484	266.9987	89° 09' 25.37920716"W	14° 00' 21.40186418"N
H164	483053.351	320341.926	267.1939	89° 09' 24.67836696"W	14° 00' 21.57937506"N
H165	483072.695	320346.289	267.0188	89° 09' 24.03382155"W	14° 00' 21.72174325"N
H166	483112.204	320355.814	266.8958	89° 09' 22.71742127"W	14° 00' 22.03253976"N
H167	483132.736	320360.47	266.2721	89° 09' 22.03329192"W	14° 00' 22.18446880"N
H168	483152.097	320365.18	266.6173	89° 09' 21.38818326"W	14° 00' 22.33813621"N
H169	483171.96	320369.774	266.454	89° 09' 20.72636623"W	14° 00' 22.48802943"N
H170	483192.118	320373.336	266.5554	89° 09' 20.05469598"W	14° 00' 22.60437092"N
H171	483212.048	320379.158	267.1908	89° 09' 19.39064554"W	14° 00' 22.79420942"N
H172	483231.512	320384.125	266.3188	89° 09' 18.74214236"W	14° 00' 22.95625583"N
H173	483250.682	320388.247	268.1799	89° 09' 18.10338153"W	14° 00' 23.09077091"N
H174	483328.579	320406.166	265.8617	89° 09' 15.50787741"W	14° 00' 23.67547380"N
H175	481816.707	320082.959	273.3949	89° 10' 05.88292674"W	14° 00' 13.12565385"N
H176	481836.751	320079.061	271.0656	89° 10' 05.21487527"W	14° 00' 12.99926665"N
P30	482048.762	320096.312	272.441	89° 09' 58.15016599"W	14° 00' 13.56540507"N
P31	482094.096	320108.946	271.5747	89° 09' 56.63974525"W	14° 00' 13.97750117"N
P32	482137.183	320118.648	271.6077	89° 09' 55.20411552"W	14° 00' 14.29416940"N

P33	482316.833	320164.829	270.4373	89° 09' 14° 00' 49.21845555"W 15.80085170"N
P34	482723.008	320259.831	269.1388	89° 09' 14° 00' 35.68507348"W 18.90102323"N
P35	482764.489	320269.646	269.0973	89° 09' 14° 00' 34.30294910"W 19.22127692"N
P36	482813.403	320280.912	268.3992	89° 09' 14° 00' 32.67316819"W 19.58890257"N
P37	482863.671	320294.566	269.1661	89° 09' 14° 00' 30.99832367"W 20.03426711"N
P38	482903.352	320303.933	268.7646	89° 09' 14° 00' 29.67616662"W 20.33991050"N
P39	483024.541	320333.597	267.0108	89° 09' 14° 00' 25.63824930"W 21.30775236"N
P40	483068.109	320345.406	267.1277	89° 09' 14° 00' 24.18664213"W 21.69292058"N
P41	483144.502	320362.827	266.8608	89° 09' 14° 00' 21.64125591"W 22.26141166"N
P42	483209.111	320375.934	266.839	89° 09' 14° 00' 19.48845713"W 22.68926803"N
P43	483321.292	320396.708	266.0733	89° 09' 14° 00' 15.75052167"W 23.36757448"N
P44	483321.292	320396.708	266.0733	89° 09' 14° 00' 15.75052167"W 23.36757448"N

Tabla 3.73 Datos recopilados en la medición.

Fuente: Elaboración propia

Las nomenclaturas para los puntos son los siguientes:

Punto	Descripción
Calle	Calle
H	Hombro
P	Poste
Pz	Pozo aguas negras

Tabla 3.74 Nomenclatura para puntos.

Fuente: Elaboración propia

La segunda técnica de medición que se implementó es un levantamiento fotogramétrico aéreo, donde por medio de un dron se tomaron capturas de imágenes desde diferentes ángulos para luego reconstruir la forma y las características del terreno.

Para realizar el levantamiento se consideraron los siguientes parámetros:

1. Se realizaron dos vuelos con una duración de recorrido de aproximadamente 12 minutos.
2. Se utilizaron once puntos de control para realizar los vuelos.
3. Elevación de vuelo: 100 metros.

Con la información recolectada se procede a calcular las curvas de nivel a cada 0.50 m por las características del terreno y el trazo del diseño de carretera.

A continuación, se presentan los reportes de cada vuelo realizado.

Reporte de primer vuelo.

Project	SAN DIEGO 1
Processed	2024-09-08 21:54:46
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.34 cm / 0.92 in
Area Covered	0.294 km ² / 29.4302 ha / 0.11 sq. mi. / 72.7613 acres

Quality Check



Images	median of 67182 keypoints per image	
Dataset	325 out of 325 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	3.25% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 14664.6 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.009 m	

Preview



Imagen 3.12 Reporte y Fotografía de Primer Vuelo.

Fuente: Elaboración propia

Reporte de segundo vuelo.

Project	SAN DIEGO 2 OK
Processed	2024-09-09 23:42:40
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.37 cm / 0.93 in
Area Covered	0.217 km ² / 21.7073 ha / 0.08 sq. mi. / 53.6677 acres

Quality Check



Images	median of 64580 keypoints per image	
Dataset	207 out of 208 images calibrated (99%), all images enabled	
Camera Optimization	3.94% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 14766.9 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.064 m	

Preview



Imagen 3.13 Reporte y Fotografía de Segundo Vuelo.

Fuente: Elaboración propia

PUNTO	ESTE (x)	NORTE (y)	ELEVACIÓN (z)
PT1	482634.733	320286.154	265.4596
PT2	482526.502	320214.751	266.8131
PT3	482412.845	320181.223	267.2516
PT4	482387.998	320192.735	267.0583
PT5	482199.66	320130.228	267.7003
PT6	481979.41	320113.48	266.8876
PT7	481985.547	320054.217	267.5553
PT8	482706.681	320248.41	265.8642
PT9	483000.045	320305.913	264.0337
PT10	483175.581	320370.433	263.322
PT11	483357.847	320450.709	262.2916

Tabla 3.75 Coordenadas de puntos de control.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DEL ACCESO VIAL

4.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA CALLE QUE CONDUCE HACIA EL CANTÓN SAN DIEGO

4.1.1 Criterio de diseño.

La metodología aplicada es la de la Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO-93).

4.1.1.1 Periodo de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncal suburbanas	15 - 30 años
Troncal Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 - 20 años
Colectores Rurales	

Tabla 4.1 Periodos de diseño según el tipo de carretera.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Para la vía del cantón San Diego se ha considerado un periodo de diseño de 20 años, de acuerdo con la clasificación del tipo de carretera.

4.1.1.2 Tránsito.

En el método AASHTO, el diseño de pavimentos se basa en la capacidad para soportar un número determinado de cargas a lo largo de su vida útil. El tránsito está compuesto por diversos tipos de vehículos y número de ejes. Para calcular los ESAL's de diseño (Equivalent Single Axial Load), se convierte el total de cargas esperadas durante el periodo de análisis en un número de repeticiones equivalentes a un eje simple de ruedas duales con una carga estándar de 18,000 libras.

Para el estudio de tránsito que se realizó para el proyecto de la vía del cantón San Diego, se obtuvo un total de 599 vehículos con un tránsito promedio diario de 762 vehículos.

4.1.1.3 Factor de distribución por dirección.

Es el factor distribución; en la mayoría de los casos este valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Según la guía para el diseño de pavimento AASHTO, el factor de distribución por dirección en función del número de carriles en ambas direcciones será de 50%.

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LD¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Tabla 4.2. Factor de distribución por dirección.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

Proyección de tráfico futuro.

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril; en este caso se toma el 100% por ser de dos carriles.

NÚMERO DE CARRILES EN UNA SOLA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE ESAL EN CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tabla 4.2. Factor de distribución por carril.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

4.1.1.4 Confiabilidad (R)

Este valor representa el nivel de confianza en que el diseño estructural de un pavimento logrará cumplir su ciclo de vida útil en condiciones satisfactorias. El factor de confiabilidad de diseño considera los posibles cambios en el tráfico y el desempeño anticipado, ofreciendo un nivel de garantía predefinido de que la serviciabilidad se mantendrá en estándares adecuados para los usuarios durante todo el periodo de diseño.

En la siguiente tabla se presentan valores recomendados de confiabilidad según la guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	CONFIABILIDAD (%) – R_{TOTAL}	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria principal	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 4.3. Valores recomendados de confiabilidad.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

El nivel de confiabilidad que se utilizará será de 80% debido a que es una vía rural con tránsito promedio diario de 791 vehículo, de los cuales 238 son vehículos de carga pesada, por lo que se requerirá una mayor estructura del pavimento.

4.1.1.5 Desviación estándar

Este parámetro está ligado directamente con la confiabilidad, considerando posibles variaciones en el comportamiento de la estructura y de la predicción del tráfico.

El intervalo para pavimentos flexibles se encuentra entre 0.40 y 0.50, por ende, se recomienda usar un valor promedio de 0.45.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	TIPO DE PAVIMENTO
0.30 - 0.40	Rígido
0.40 - 0.50	Flexible

Tabla 4.4 Valores típicos de desviación estándar total.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

4.1.1.6 Serviciabilidad

La serviciabilidad es la condición de los pavimentos para brindar confort al usuario y condiciones de manejo seguro en un determinado periodo; esta varía entre 0 y 5, siendo 0 un índice de serviciabilidad clasificado como intransitable y 5 una vía en perfectas condiciones.

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial (P_o) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomiendan por experiencia son:

Para pavimentos flexibles

Serviciabilidad inicial (P_o) = 4.2

Serviciabilidad final (P_t) = 2.0 para caminos de tránsito menor.

4.1.2 Propiedades de los materiales para el diseño estructural.

4.1.2.1 Módulo resiliente efecto de la subrasante, subbase y base.

El módulo de resiliencia ha sustituido al CBR como variable clave para caracterizar tanto la subrasante como la base de los suelos. Este módulo es una

medida de la propiedad elástica de los suelos, que además toma en consideración el comportamiento no lineal de los mismos.

En el diseño de pavimentos flexibles, el módulo de resiliencia se puede utilizar directamente, mientras que, para el diseño de pavimentos rígidos, se puede convertir en un módulo de reacción de la subrasante, conocido como valor k.

En el método de AASHTO, es necesario emplear los valores promedio obtenidos en los ensayos de laboratorio, ya que se debe considerar la incertidumbre relacionada con la confiabilidad (R).

4.1.3 Subrasante

Los resultados del CBR del suelo de la subrasante, obtenidos en laboratorio, fueron inferiores al 35%. Por lo que se propone sustituir o tratar el material, se optará por tratarlo para tener un valor de CBR de 60%.

4.1.4 Coeficiente de aporte estructural

Los coeficientes de aporte estructural influyen directamente en el valor del Número Estructural Propuesto; estos se obtienen por medio de figuras que correlacionan valores de CBR, confiabilidad o módulo resiliente. La Imagen 4.1 permite obtener el valor del coeficiente estructural para la carpeta asfáltica

usando como valor de entrada el Módulo Elástico (Resiliente) de la carpeta asfáltica.

A continuación, se presentan los posibles coeficientes estructurales que se pueden utilizar para el cálculo del número estructural.

4.1.4.1 Carpeta asfáltica (para tratamiento superficial)

Para el caso en estudio, solo se hará un tratamiento superficial, por lo cual se dará un valor mínimo de 1 pulgada de espesor.

Se presentan las características siguientes que podrían ser utilizadas para la determinación de la estructura de la vía:

Tratamiento superficial

Coeficiente estructural: $\alpha_1 = 0.4$

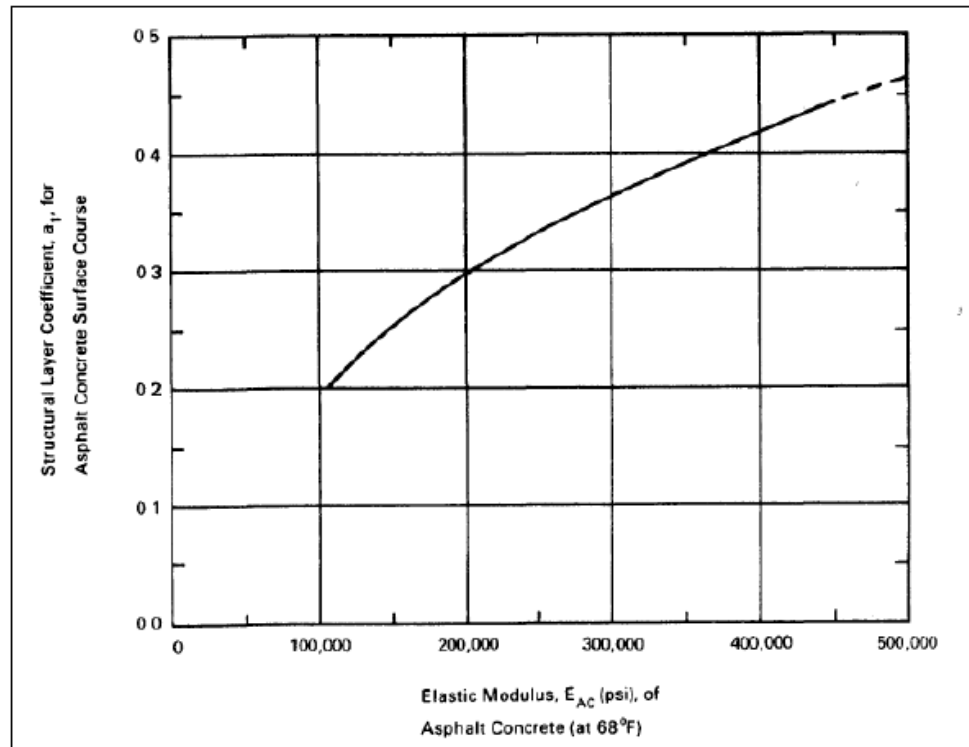


Imagen 4.1. Estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el módulo elástico.

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento -1993

4.1.4.2 Base de Suelo-Cemento

Para el suelo-cemento, una resistencia a la compresión a los 7 días de 400 psi, el coeficiente estructural es: $\alpha_2 = 0.2$

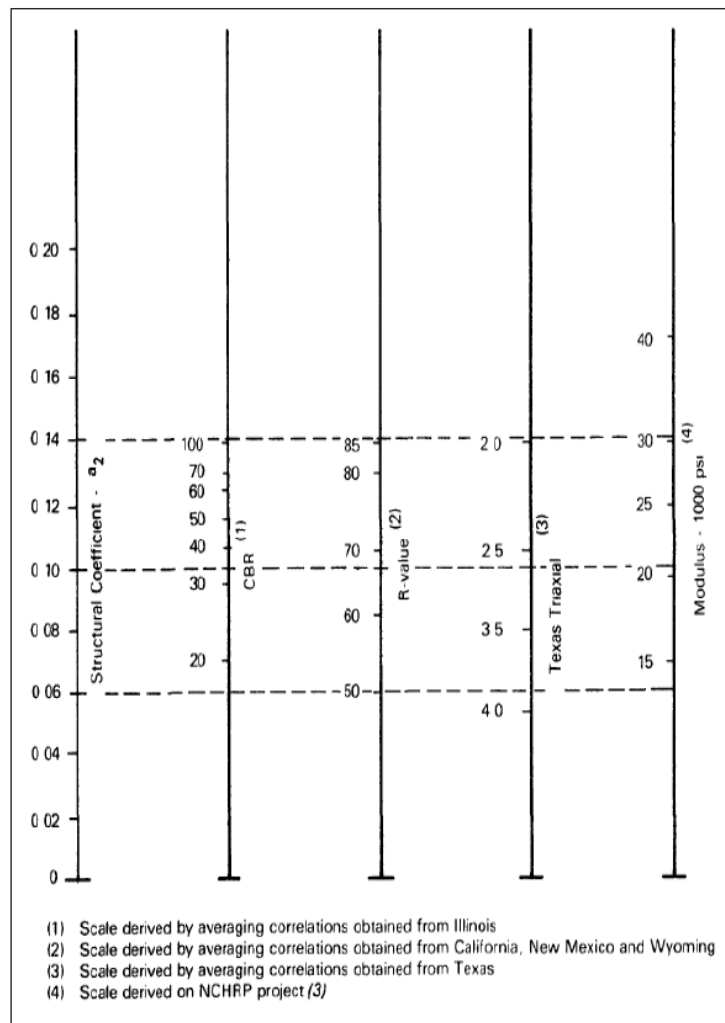


Imagen 4.2. Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con cemento con los parámetros de resistencia de la base.

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento -1993

4.1.5 Subrasante de balastro

El último coeficiente de aporte pertenece a la capa de subrasante, la cual es una capa de suelo granular no tratada. Para un CBR = 60%, el coeficiente estructural:

$$a_3 = 0.13$$

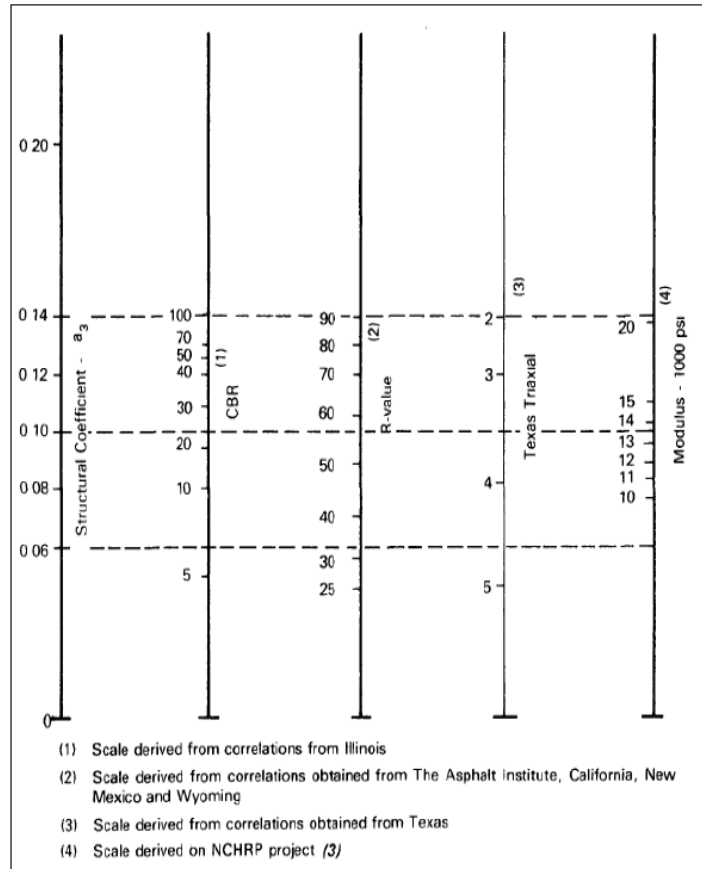


Imagen 4.3. Variación del coeficiente estructural de capa de subbase con diferentes parámetros de resistencia.

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento -1993

4.1.5.1 Módulo de elasticidad de materiales de base y subbase.

Se presentan rangos de valores de módulo de resiliencia para diferentes tipos de materiales usualmente empleados como bases y subbases en estructuras de pavimentos; en la tabla se muestran estos valores:

TIPO DE SUBBASE O BASE	MÓDULO DE RESILIENCIA (PSI)
Subbases granulares tratadas con cemento	1,000,000 - 2,000,000
Subbase tratada con cemento	500,000 - 1,000,000
Bases asfálticas	350,000 - 1,000,000
Subbases estabilizadas con asfalto	40,000 - 300,000
Estabilización con cal	20,000 - 70,000
Materiales granulares sin tratar	15,000 - 45,000
Suelos finos y subrasantes naturales	3,000 - 40,000

Tabla 4.5. Valores típicos de módulo de elasticidad de varios tipos de materiales.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

4.1.6 Característica del drenaje del pavimento.

4.1.6.1. Coeficiente de drenaje.

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil, y por lo tanto lo es también en el diseño de este. Es muy importante evitar que exista presencia de agua en la estructura de soporte, dado que, en caso de presentarse esta situación, afectará en gran medida la respuesta estructural del pavimento. Para evitar que el agua penetre en la estructura de soporte deben considerarse los siguientes aspectos:

- Mantener perfectamente selladas las juntas del pavimento.
- Sellar las juntas entre pavimento y acotamiento o cuneta.
- Utilizar cunetas, bordillos, lavaderos, contracunetas, subdrenajes, etc.

Tener agua atrapada en la estructura del pavimento produce efectos nocivos en el mismo, como pueden ser:

- Reducción de la resistencia de materiales granulares no ligados.
- Reducción de la resistencia de la subrasante.
- Expulsión de finos.
- Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.

El valor del coeficiente de drenaje utilizado en el diseño de pavimento está dado por variables que son:

a) La calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento y

b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

4.1.6.2. Determinación del nivel de saturación.

En la capa de rodadura o carpeta asfáltica, el método de diseño no considera relevantes los efectos por drenaje; por tal motivo, la ecuación para obtener el

Número Estructural Propuesto solo considera coeficientes de drenaje para las capas de base granular y subbase granular.

Las tablas 3 y 4 muestran valores recomendados en la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993”, en función de la calidad de drenaje que la estructura poseerá y al tiempo de exposición de la estructura a niveles de saturación.

La guía AASHTO 93 relaciona el tiempo en que tarda el agua en ser evacuada con la calidad del drenaje de acuerdo con la tabla 4.6.

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Tabla 4.6. Calidad del drenaje en función del tiempo de evacuación del agua.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

Se presentan los valores de coeficientes de drenaje, m , en función de la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo durante el año que la estructura de pavimento podría estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

La vía en estudio y, por las condiciones del clima en nuestro país, se toma un porcentaje de tiempo en que la estructura estará expuesta a niveles de humedad acercándose a la saturación de más del 25%, con calidad buena $m = 1.0$.

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACIÓN			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	4

Tabla 4.7 Valores recomendados del coeficiente de drenaje para base y subbase granulares.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

4.1.7 Cálculo de ESAL's para pavimento flexible por el método AASHTO-93

El método AASHTO es una técnica empleada en el diseño de pavimentos para garantizar que puedan soportar el tráfico durante su vida útil. En este método, se proyectan los pavimentos para resistir una cantidad específica de cargas a lo largo de su vida útil. Dado que el tránsito está compuesto por una variedad de vehículos con diferentes configuraciones de ejes y pesos, se utiliza el concepto de ESALs (Equivalent Single Axle Loads) para simplificar y estandarizar el análisis de cargas.

¿Qué es una ESAL? El ESAL (Carga Equivalente de Eje Simple) es una medida que convierte las cargas de los vehículos en un equivalente de una carga estándar de eje simple de 80 kN (18 kips). Esta conversión es esencial para evaluar el impacto acumulado del tráfico en el pavimento, ya que diferentes configuraciones de ejes tienen efectos variados sobre su deterioro.

Proceso para determinar ESAL's

Recopilación de información de la vía

Primero, se realiza un conteo del tráfico para obtener datos sobre el número y tipo de vehículo que utiliza la vía.

TIPO DE VEHÍCULO	AUTO	PICKUP	MB	AB	C2	C3	T3S2	T3S3
TOTAL	180	181	0	0	162	69	1	6

Tabla 4.8. Volumen de tráfico diario de la vía.

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se deben de contar con los siguientes datos:

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA	
Pavimento flexible	
Vía de una calzada, dos carriles y un carril por sentido	
Factor direccional	0.50
Factor carril	1.00
PIB transporte	4.22%
Factor de corrección estacional	0.9756
Periodo de diseño	20

Tabla 4.9. Características de la vía.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LD¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Tabla 4.10. Factor de distribución por dirección.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

Factor de distribución por carril

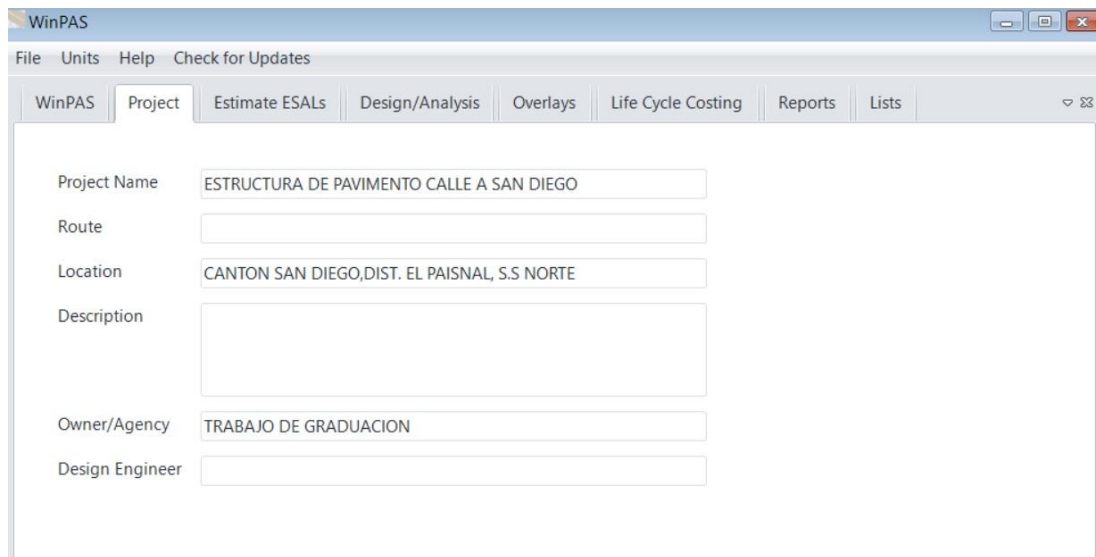
NÚMERO DE CARRILES EN UNA SOLA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE ESAL EN CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tabla 4.11. Factor de distribución por carril.

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

Cálculo por medio del software WinPAS 12

En la pestaña Project se agrega el nombre y la localización del proyecto.



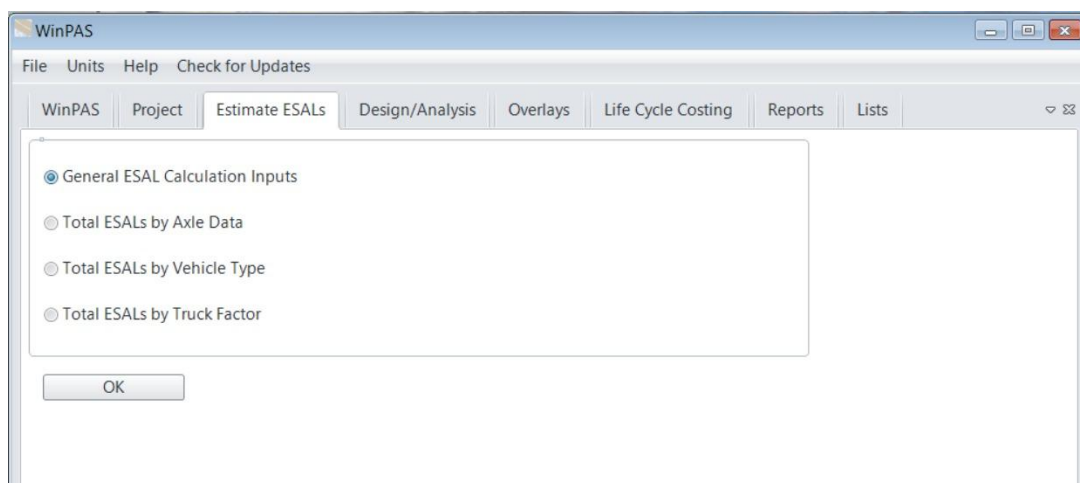
The screenshot shows the WinPAS software interface with the 'Project' tab selected. The main window contains several input fields for project information:

- Project Name: ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CALLE A SAN DIEGO
- Route: (empty)
- Location: CANTON SAN DIEGO, DIST. EL PAISNAL, S.S NORTE
- Description: (empty)
- Owner/Agency: TRABAJO DE GRADUACION
- Design Engineer: (empty)

Imagen 4.4. Creación de proyecto en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Seleccionar la pestaña Estimate ESAL's.



The screenshot shows the WinPAS software interface with the 'Estimate ESAL's' tab selected. The main window displays a dialog box with four radio button options for selecting the calculation method:

- General ESAL Calculation Inputs
- Total ESALs by Axle Data
- Total ESALs by Vehicle Type
- Total ESALs by Truck Factor

An 'OK' button is located at the bottom of the dialog box.

Imagen 4.5. Selección de cálculo de ESAL en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Se coloca el espesor estimado de la estructura en la celda Estimated concrete thickness.

General ESAL Calculation Inputs

General Pavement and Traffic Inputs

Estimated Concrete Thickness: 4 inches

Estimated Asphalt Structural Number: 3.00

Terminal Serviceability: 2.00

Design Life: 20 years

Annual Traffic Growth Rate: 4.22 %

Traffic Input By (M/D/Y): Day

Traffic Input As

Design Lane

Total Traffic

1-way 2-way

Design Lane Distribution: 100.00 %

Directional Distribution: 50.00 %

Buttons: Save and Close, Help

Imagen 4.6. Insertar los datos solicitados en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Help

Help Screen for the Estimated Concrete Pavement's Thickness

The conversion of axle data to 18 kip equivalent single axle loadings requires an estimate of the predicted pavement thickness. The thickness may range from 2.5 inches to 20 inches. The following ranges are suggested as a starting point:

Interstate Highways	10 to 15 inches (250 to 380 mm)
Principal Arterials	8 to 10 inches (200 to 250 mm)
Collector Streets	7 to 9 inches (180 to 223 mm)
Local Roads	6 to 8 inches (150 to 200 mm)
Parking Areas	4 to 6 inches (100 to 150 mm)

Estimated Concrete Thickness: 4 inches

*Imagen 4.7. Ingreso del valor estimado de espesor de estructura en WinPAS.
Fuente: Software WinPAS 12*

Se coloca el número estructural, serviciabilidad final, periodo de diseño, factor de distribución por carril y distribución por dirección.

General ESAL Calculation Inputs

General Pavement and Traffic Inputs

Estimated Concrete Thickness 4 inches

Estimated Asphalt Structural Number 3.00

Terminal Serviceability 2.00

Design Life 20 years

Annual Traffic Growth Rate 4.22 %

Traffic Input By (M/D/Y) Day

Traffic Input As

Design Lane

Total Traffic

1-way 2-way

Design Lane Distribution 100.00 %

Directional Distribution 50.00 %

Save and Close Help

*Imagen 4.8. Ingreso del valor de diferentes parámetros en WinPAS.
Fuente: Software WinPAS 12*

Luego se selecciona Total ESAL's by Vehicle Type

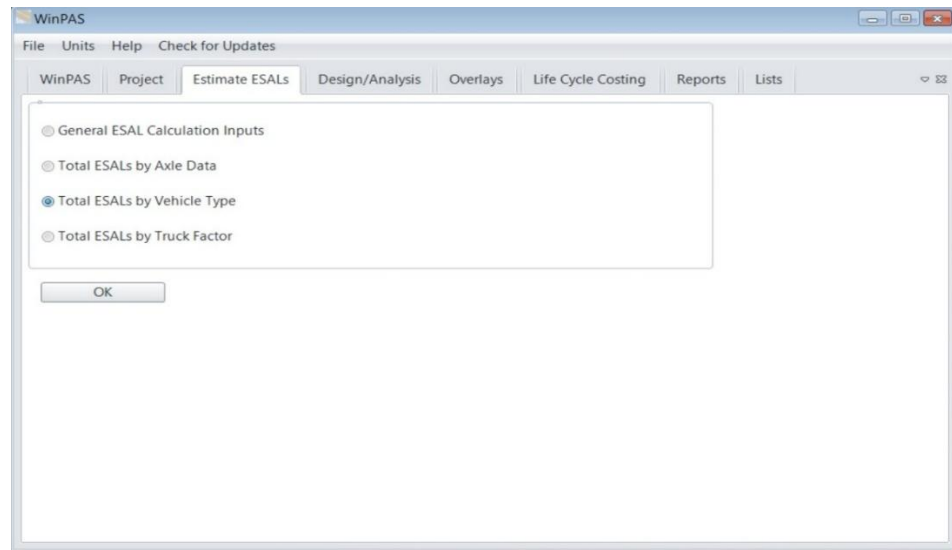


Imagen 4.9. Selección de cálculo de ESALs según tipo de vehículo en WinPAS.

Fuente: *Software WinPAS 12*







Introducimos los tipos de ejes a sus pesos en kips y el TPDA para el tipo de vehículo y nos da como resultado los ESAL's de diseño.

Total ESALs by Vehicle Type

Estimated Rigid Thickness **5.00** Design Life **20** years
 Estimated Asphalt SN **3.00** Annual Growth Rate **4.22** %
 Terminal Serviceability **2.00** Traffic Input By (M/D/Y) **Day**

Save and Close
Help

Vehicle Load and Volume Data

Vehicle	Axle Load kips	Axle Type	Number	Vehicle	Axle Load kips	Axle Type	Number
P 	2.2	Single	232	SU3 	13.2	Single	209
	2.2	Single			23.8	Single	
	0	Single			0	Single	
SU 	2.2	Single	233	WB-50 	11	Single	89
	6.6	Single			22	Tandem	
	0	Single			0	Single	
BUS, SU2 	8.8	Single	0	WB-60 	11	Single	8
	17.6	Single			19.8	Tandem	
	0	Single			44	Tandem	
					0	Single	
					0	Single	

Total Rigid ESALs **4,730,436** Total Flexible ESALs **4,502,515**

Imagen 4.10. Ingreso de pesos de ejes en kips en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Ahora seleccionaremos la pestaña de Design/Evaluation y seleccionaremos la opción Asphalt Pavement Design/Analysis.

WinPAS

File Units Help Check for Updates

WinPAS Project Estimate ESALs Design/Analysis Overlays Life Cycle Costing Reports Lists

Concrete Pavement Design/Analysis
 Asphalt Pavement Design/Analysis
 Both Concrete and Asphalt Design/Analysis

OK

Imagen 4.11. Seleccionar el tipo de pavimento en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Luego introducimos los valores, nos ubicamos en las casillas de módulo de resiliencia de la subrasante y damos en el botón help, luego colocamos el valor de CBR = 60 para que el software lo convierta a módulo de resiliencia equivalente para la subrasante. Finalmente damos Solve For.

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs	
Asphalt Structural Number	2.4
Calculate Asphalt Structural Number	
Total Flexible ESALs	4,502,515
Reliability	65.00 %
Overall Standard Deviation	0.45
Subgrade Resilient Modulus	24,001.9 psi
Initial Serviceability	4.20
Terminal Serviceability	2.00

Asphalt Pavement Design/Analysis	
Subgrade Resilient Modulus:	Solve For
24,001.9 psi	

*Imagen 4.12. Ingresar dato de módulo de resiliencia y CBR en WinPAS.
Fuente: Software WinPAS 12*

Para el número estructural SN = 2.24

Asphalt Design Inputs

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs

Asphalt Structural Number 2.4

Calculate Asphalt Structural Number

Total Flexible ESALs 4,502,515

Reliability 65.00 %

Overall Standard Deviation 0.45

Subgrade Resilient Modulus 24,001.9 psi

Initial Serviceability 4.20

Terminal Serviceability 2.00

Save and Close

Help

Asphalt Pavement Design/Analysis

Subgrade Resilient Modulus: 24,001.9 psi

Solve For

Imagen 4.13. Obtención de SN en WinPAS.

Fuente: Software WinPAS 12

Nos vamos a la pestaña “Calculate Asphalt Structural Number”, luego introducimos los valores de los coeficientes estructurales, coeficientes de drenaje y los espesores de cada capa, verificando que el número estructural sea mayor o igual al número estructural de diseño encontrado en el paso anterior.

WinPAS 12
 Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
 American Concrete Pavement Association

ESAL Data by Vehicle Type

Project Name: ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CALLE A SAN DIEGO
 Route: CANTON SAN DIEGO, DIST. EL PAISNAL, S.S. NORTE
 Location:
 Owner/Agency: TRABAJO DE GRADUACION
 Design Engineer:

Traffic Factor

Estimated Rigid Thickness	4.00 inches
Estimated Structural Number	3.0
Terminal Serviceability	2.0
Design Life	20 years
Annual Growth Rate	4.22 percent
Traffic Input by	Day

Traffic Input by

Total Traffic	2-way
Design Lane Distribution	100.00 percent
Directional Distribution	50.00 percent








Vehicle	Axle Load	Axle Type	Number	Vehicle	Axle Load	Axle Type	Number
	2.20	Single	232		13.20	Single	209
	2.20	Single			23.80	Single	
	0.00	Single			0.00	Single	
	2.20	Single	233		11.00	Single	89
	6.60	Single			22.00	Tridem	
	0.00	Single			0.00	Single	
	8.80	Single	0		11.00	Single	8
	17.60	Single			19.80	Tandem	
	0.00	Single			44.00	Tandem	
					0.00	Single	8
					0.00	Single	
Total Rigid ESALs			4,687,792	Total Flexible ESALs			4,433,066

Imagen 4.15. Valor de Esals para pavimento flexible

Fuente: Software WinPAS 12

WinPAS

Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
 American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CALLE A SAN DIEGO
 Route: CANTON SAN DIEGO, DIST. EL PAISNAL, S.S. NORTE
 Location:
 Owner/Agency: TRABAJO DE GRADUACION
 Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	2.40	Subgrade Resilient Modulus	24,001.90 psi
Total Flexible ESALs	4,502,515	Initial Serviceability	4.20
Reliability	65.00 percent	Terminal Serviceability	2.00
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	3.00	1.20
Cement Treated Agg. Base	0.20	1.00	6.00	1.20
			Σ SN	2.40

Imagen 4.16. Valor del número estructural

Fuente: Software WinPass 12

4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico de carreteras es un aspecto crucial en la planificación y construcción de infraestructuras viales. Este proceso implica la creación de un diseño que asegure la seguridad, comodidad y eficiencia en el tránsito que debe ir acompañada del buen criterio y juicio explícito del diseñador y que el diseño de una carretera debe ser consistente, o sea, que deben evitarse los cambios

abruptos en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio.

Un elemento importante en el diseño es la velocidad y se emplea como parámetro de cálculo de la mayoría de los diversos componentes del proyecto. La velocidad de diseño para el camino que conduce a San Diego estará definida en función de la clasificación y su orografía, que se clasifica como terciaria modificada, con una orografía plana.

Teniendo la clasificación y las condiciones de la topografía los dirigimos a la tabla 2.9 del cap. II, para tener una velocidad de diseño de 50 km/h, que servirá para obtener el radio mínimo y tener un control en civil 3d. Otro parámetro para considerar es la tasa de peralte máximo y el coeficiente de fricción lateral permisibles, para el diseño de curvas en caminos rurales y calles urbanas, que se han tomado del Exhibit 3.12 de la AASHTO. Los valores varían en 0.28 a 30 KPH hasta 0.14 a 80 KPH y la tasa de peralte máximo se postula en el capítulo 3 de Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales (SIECA). Lo siguiente "Se considera tasa máxima de 0.04(4%) en áreas rurales planas".

Teniendo la velocidad de diseño y la tasa de peralte máximo permisible se puede obtener el radio mínimo de la tabla 4.13.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	28°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	08°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	08°14'
80	0.14	280.0	280	04°08'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°28'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	598.8	597	01°55'

Tabla 4.12 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.

Fuente: Manual Centro Americano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales (SIECA).

Los parámetros de diseño a considerar son los siguientes:

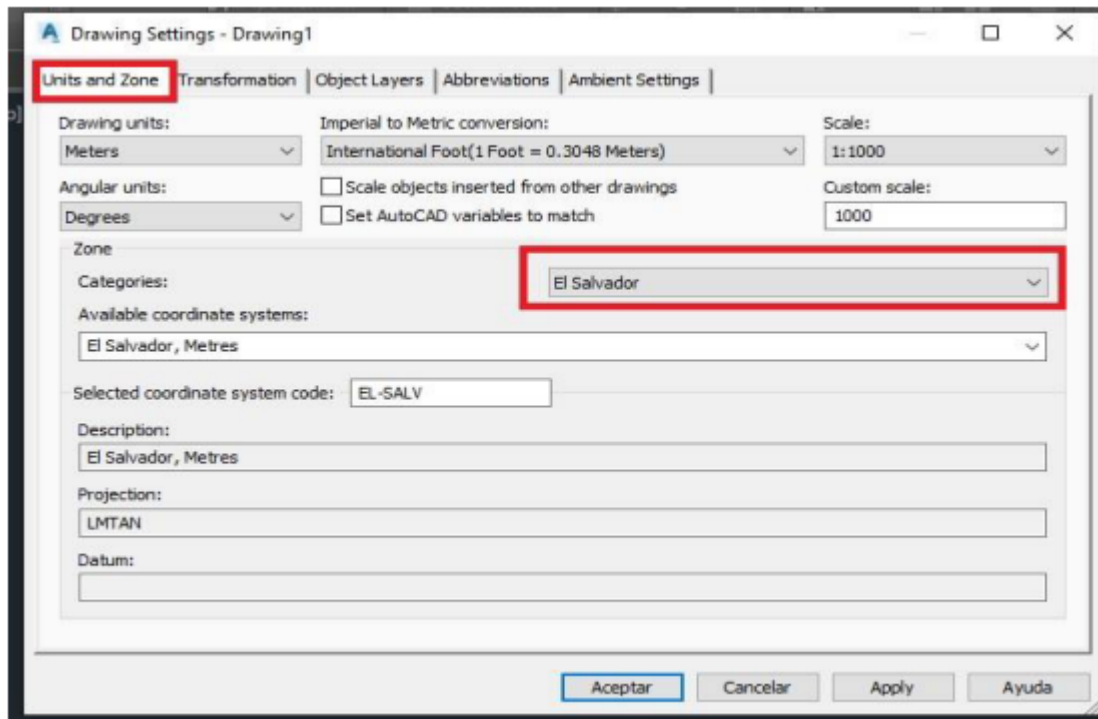
- Referencia: Normas SIECA
- Clasificación: Terciaria modificada
- Velocidad de proyecto: 50 km/h
- Radio mínimo (m): 86

- Factor fricción máximo: 0.19
- Peralte máximo: 4%

Todos los parámetros de diseño antes mencionados, Civil 3d lleva un control, y genera una advertencia al no cumplir con los parámetros de diseño mínimos.

4.2.1 Georreferenciación de proyecto (configuración regional)

En el proceso de revisión topográfica es indispensable conocer la ubicación del proyecto con respecto a una base cartográfica o sistema de coordenadas preestablecido en cada país. Para acceder a la configuración regional damos clic en el botón de AutoCAD (menú inicio), clic en “Drawing Utilities” y clic en “Drawing Settings”. Se inicia la ventana “Drawing Settings” que contiene la siguiente pestaña: Units and zone (unidades y huso): corresponde a las configuraciones regionales donde se localiza el proyecto. En El Salvador se utiliza el sistema de referencia. SIRGAS-ES 2007 basado en el elipsoide WGS-84.



*Imagen 4.17 Ventana de la georreferenciación de Civil 3D
Fuente: Elaboración propia.*

4.2.2 Superficie de curvas de nivel en civil 3D.

4.2.2.1. Importación de puntos

El levantamiento topográfico se realizó con equipo GNSS, se utilizó la técnica RTK NTRIP, apoyándonos de una estación base ubicada en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, también se utilizó un rover para realizar la medición del eje de la vía y calzada.

Para poder importar esos puntos, la información se guarda en el formato ***.csv**, **txt**. Esto se realiza dirigiéndose a la pestaña “Prospector”, luego hacer clic derecho en la opción “**Punto**” seleccionar “**Crear**”, para abrir la herramienta de creación de puntos.

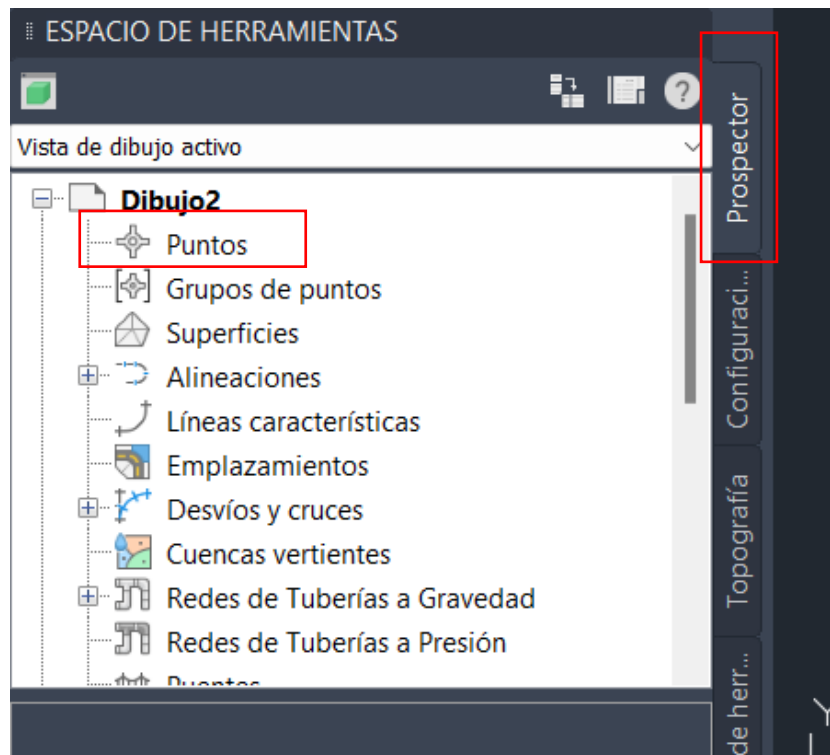


Imagen 4.18 Pestaña de propiedades de elementos de civil.

Fuente: Elaboración propia.

Se desplegará una barra de herramientas, luego en la parte derecha de la barra seleccionar la opción Importar puntos.

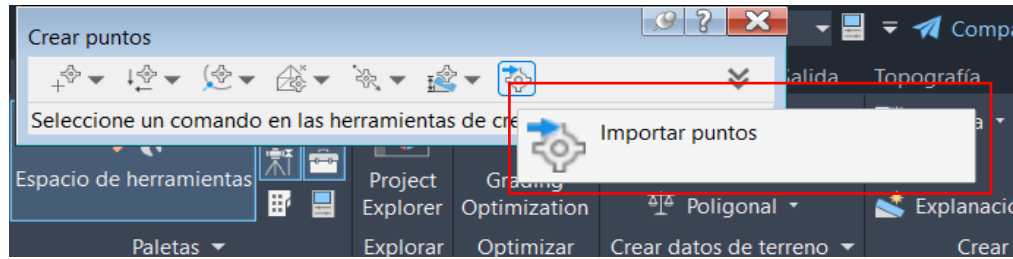


Imagen 4.19 Herramientas de importación de puntos.

Fuente: Elaboración propia.

Se abre una ventana en la que se selecciona el formato de las coordenadas como ya se mencionó Eje: PNEZD. Luego en la parte superior derecha de la ventana se da clic en la opción “Añadir puntos”.

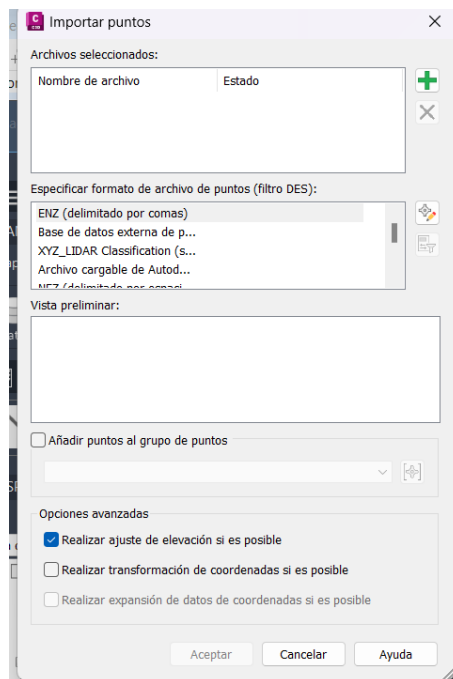


Imagen 4.20 Ventana de importación de puntos

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo visualización de los puntos, se comienza con la unión de puntos a través de una polilínea para identificar el eje de la vía.



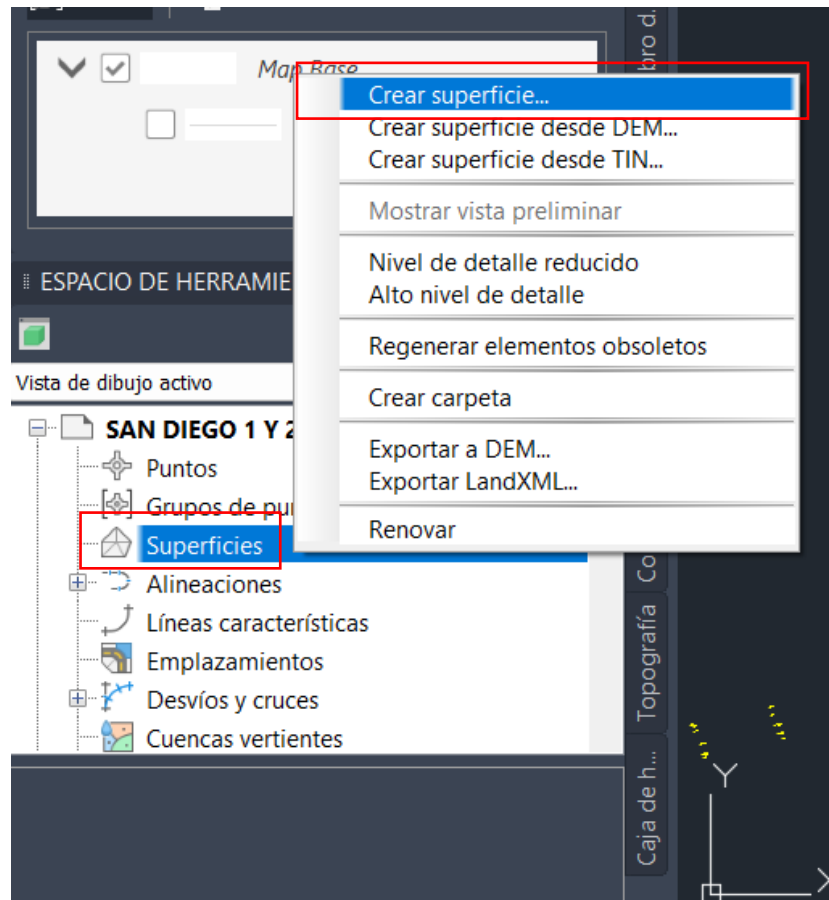
Imagen 4.21 Visualización de puntos cantón San Diego.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Creando una superficie a partir de curvas de nivel en Civil 3d

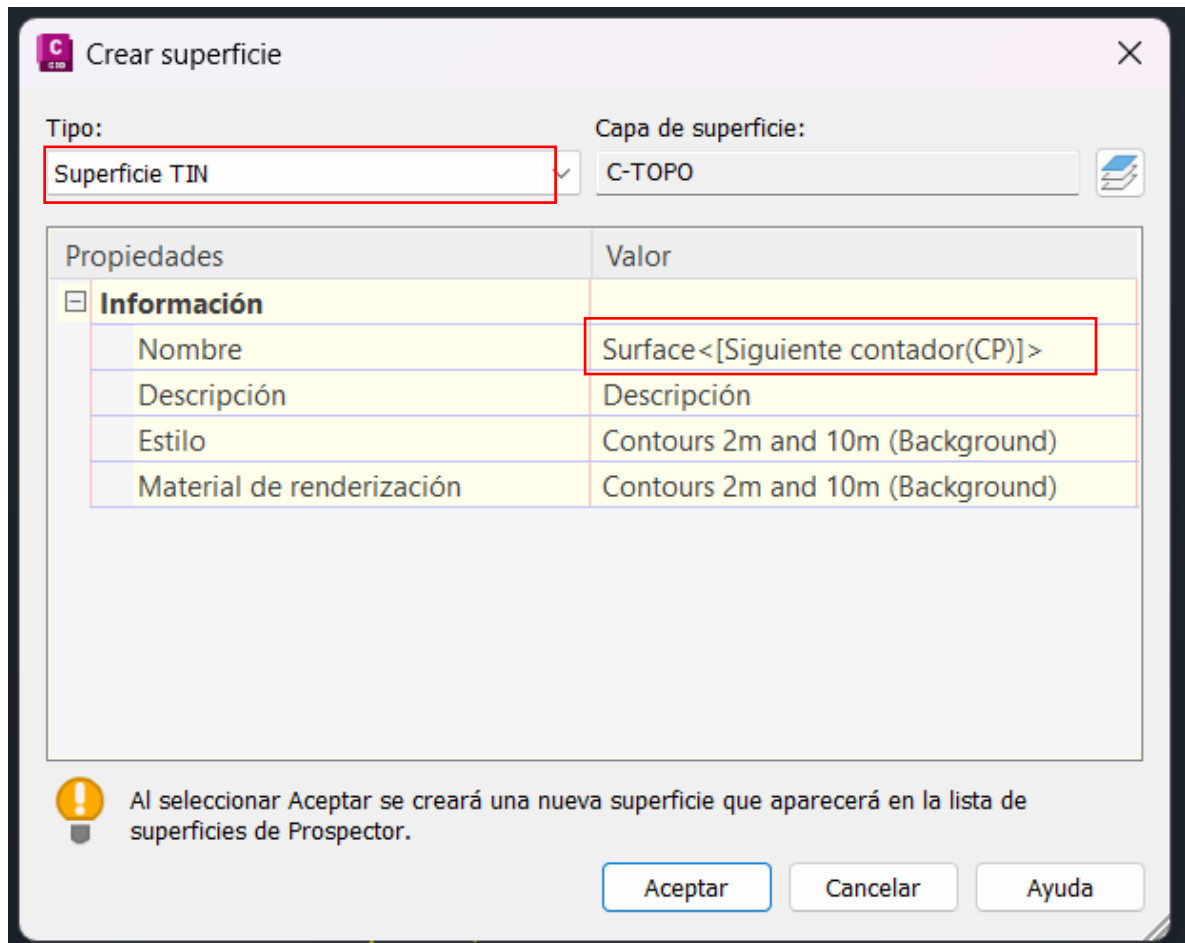
Para el trazo de las curvas de nivel del cantón San Diego, se realizó un levantamiento topográfico con equipo GNSS, utilizando la técnica de medición RTK NTRIP. Con los datos obtenidos se realizó el post procesamiento de datos para realizar las curvas de nivel por medio del programa Civil 3D.

Para la creación de la superficie a partir de puntos, nos dirigimos a la ficha de **“Espacio de herramientas”**, damos clic derecho sobre Superficie, luego en crear superficie.



*Imagen 4.22 Creación de superficie a partir de puntos.
Fuente: Elaboración propia.*

En la ventana de creación de superficie asignamos el nombre a la superficie, en este caso “San Diego”, colocamos una descripción. Se secciona un estilo de curvas previamente configurado y damos clic en el botón “aceptar”.



*Imagen 4.23 Ventana para la creación de la superficie.
Fuente: Elaboración propia.*

La superficie creada, ahora aparece el símbolo «+» a la izquierda de la rama superficies para indicarnos que existen objetos en ella.

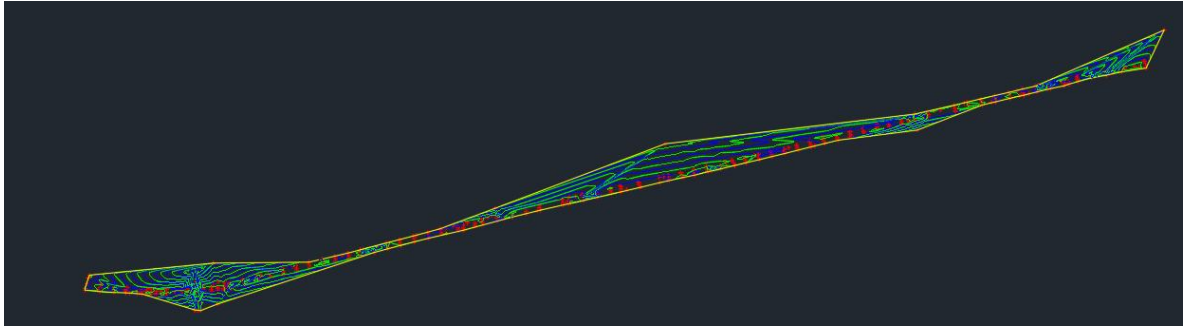


Imagen 4.24 Visualización de superficie en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Alineamiento Horizontal.

Los alineamientos horizontales en AutoCAD CIVIL 3D, son la base para la modelación de tuberías, canales y vías. El programa ofrece diversas maneras para crear alineamientos horizontales. Se crea el alineamiento de la siguiente manera (semiautomática) mediante la herramienta “Alineamiento”.

Antes de iniciar con el alineamiento, creamos una polilínea sobre el eje de la vía. Para crear el alineamiento horizontal, nos dirigimos al grupo de botones, botón “Inicio”, sección “Crear Diseño”, desplegamos la opción “Alineamiento” y seleccionamos “Crear alineamiento a partir de objetos”.

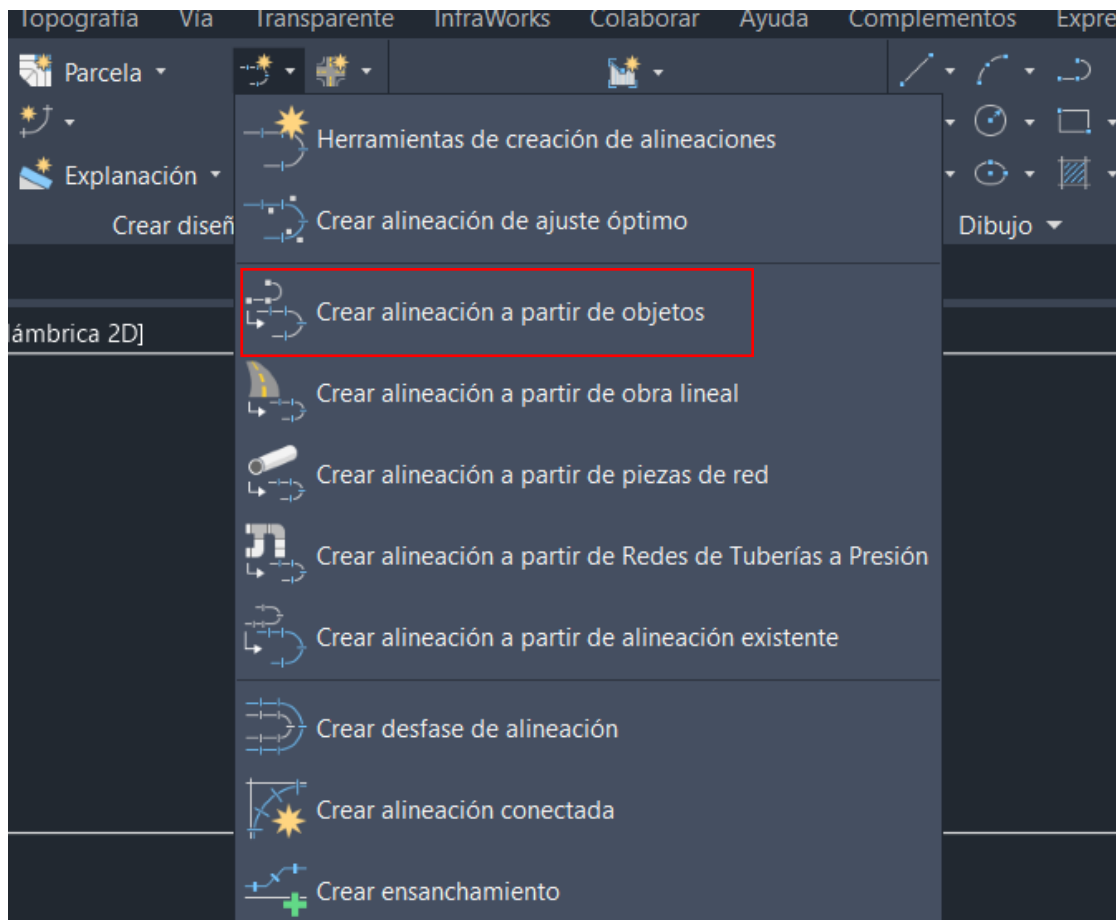


Imagen 4.25. Creación de alineamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionamos la opción “Crear Alineamiento a partir de Objetos”, luego identificamos la polilínea del eje de la vía y nos muestra la siguiente ventana, donde colocamos el nombre, para nuestro caso “Eje San Diego”, seleccionamos el tipo de alineamiento que será para esta ocasión “Eje”. Esta opción nos indica que nosotros en las curvas de nivel estamos trazando el eje central del camino. En la parte inferior de la ventana se encuentran dos pestañas la primera pestaña

“generalidades”, sirve para darle estilo a las etiquetas del alineamiento horizontal como los estacionamientos.

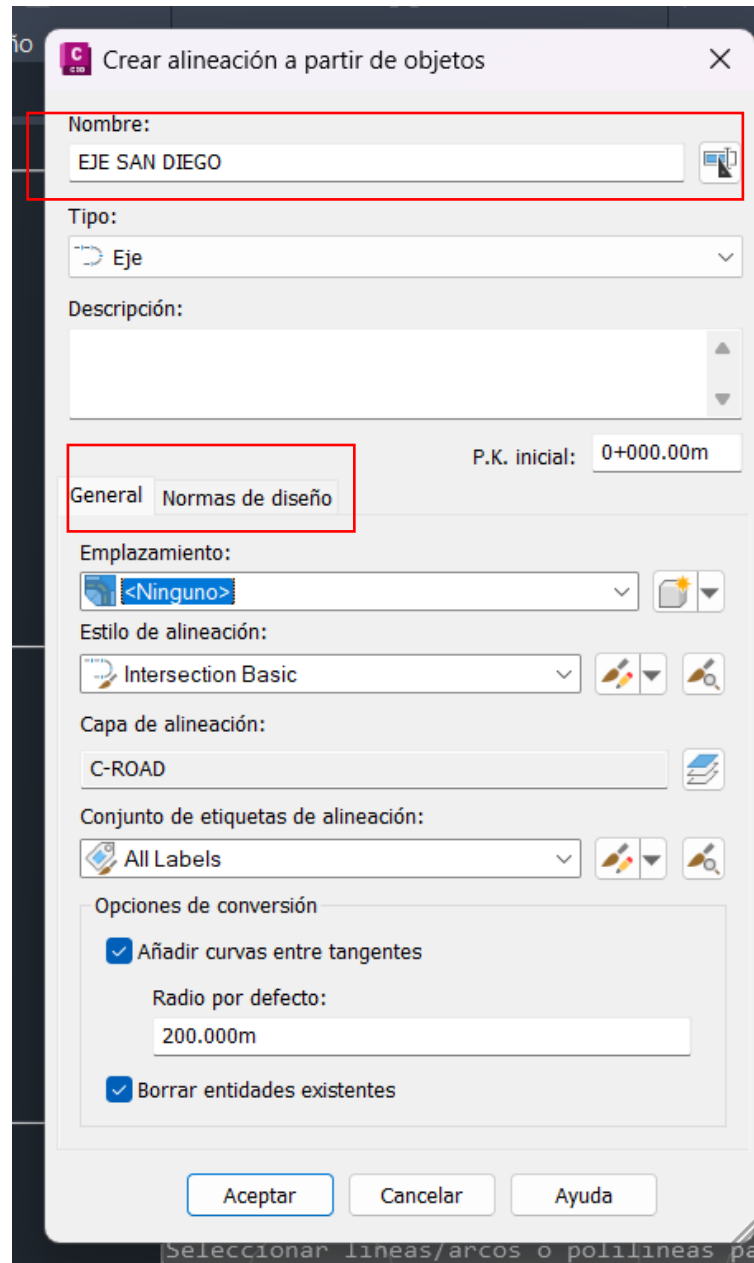


Imagen 4.26. Ventana de alineamientos.

Fuente: Elaboración propia.

En la pestaña “Normas de diseño” de la ventana de creación de alineamiento, en la primera casilla los pide que coloquemos la velocidad de diseño que anteriormente, los ha dado un valor de 50 km/h. A continuación, se selecciona la opción “usar criterio de base”, que servirá para poder escoger la normativa con la cual se registrará nuestro alineamiento horizontal. Al activar la opción “usar diseño según normas”, se mostrará una tabla dónde están dos columnas la primera columna tiene las propiedades del alineamiento, en la columna vale se selecciona la norma con que se basará.

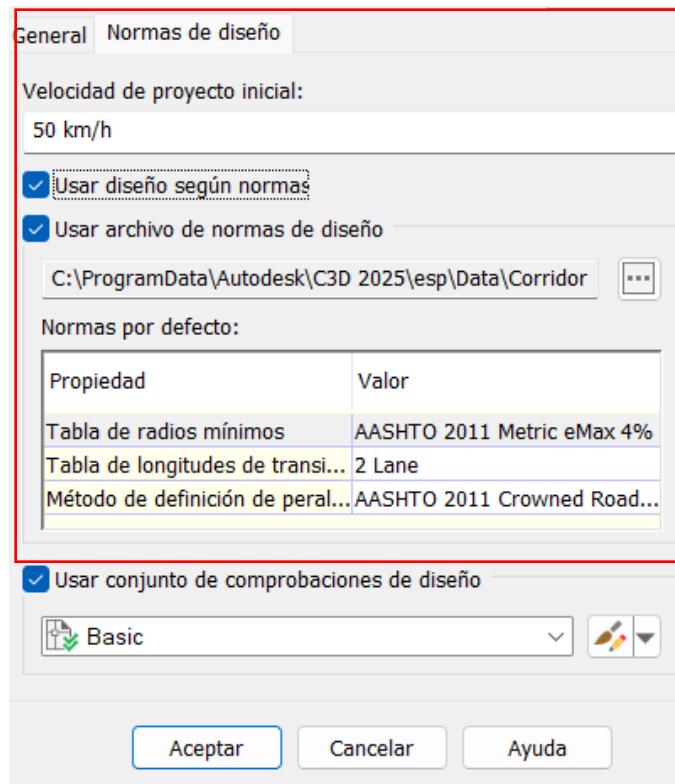


Imagen 4.27. Ventana de normas de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo las configuraciones selecciona “ok”.

Civil 3d mostrará una advertencia si el trazo del alineamiento está incumpliendo los parámetros.

Se podrá visualizar todos las curvas y sus respectivos radios, para corregir los radios que son más pequeños que el mínimo permitido, dar clic en la fila (seleccionarla) y el programa señala cuál es la curva en el alineamiento. Si alguna curva aparece un símbolo amarillo, el radio de la curva no cumple con el radio mínimo. Y en ese caso se observa que no hay ningún radio a corregir.



N°	Velocidad de proyecto	Número	Índice de grupo de curvas	Índice de subentidad de grupo de curvas
1	50 km/h	1		
2	50 km/h	2		
3	50 km/h	3		
4	50 km/h	4		
5	50 km/h	5		

Imagen 4.28. Verificar diseño

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Alineamiento Vertical

Para el alineamiento vertical, necesitamos crear una vista donde se muestre el perfil longitudinal del terreno, con el fin de más adelante proyectar la rasante. Al igual que el trazado en planta, el trazado vertical obedece a condiciones

particulares del proyecto, en donde podemos encontrar proyección a solo corte, terraplén, trazado mixto o a nivel del perfil longitudinal. Para generar la vista de perfil longitudinal, nos dirigimos a los botones de grupo, botón **“Inicio”** sección **“Crear diseño”**, desplegamos la opción **“Perfil”** y seleccionamos la herramienta **“Crear perfil de superficie”**.

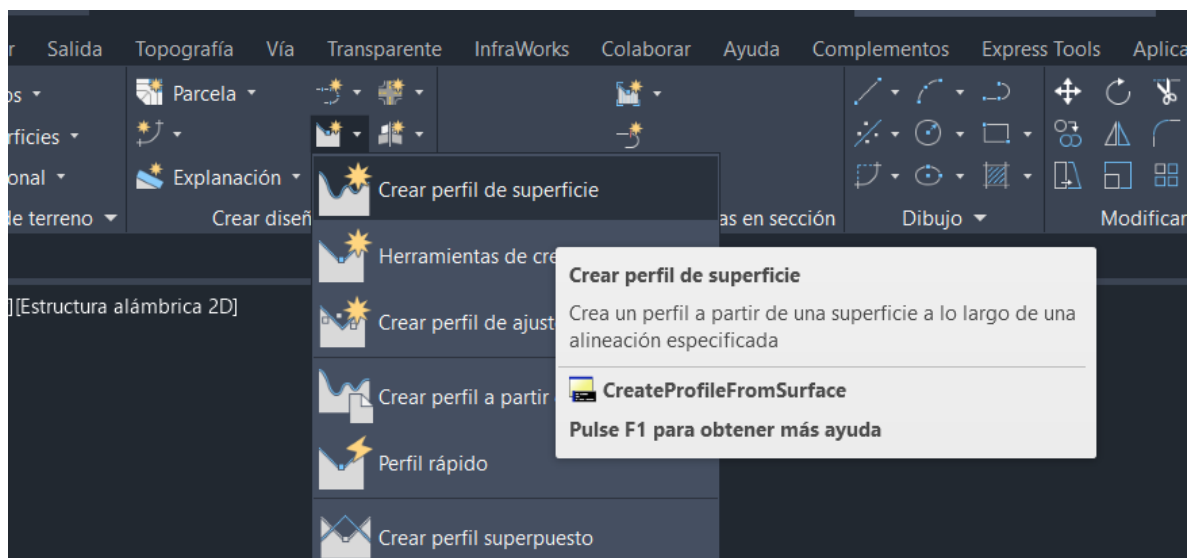


Imagen 4.29. Opción para la creación de perfil longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionamos el eje de diseño del cual queremos obtener el perfil del terreno, el tramo o zona de visualización de la vista de perfil, y en la sección **“Seleccionar superficie”** en donde aparece la superficie de terreno creada previamente **“Tesis”**, seleccionamos la superficie y damos clic en el botón **“Añadir”** con el fin de agregarla a la sección **“lista de perfil”**.

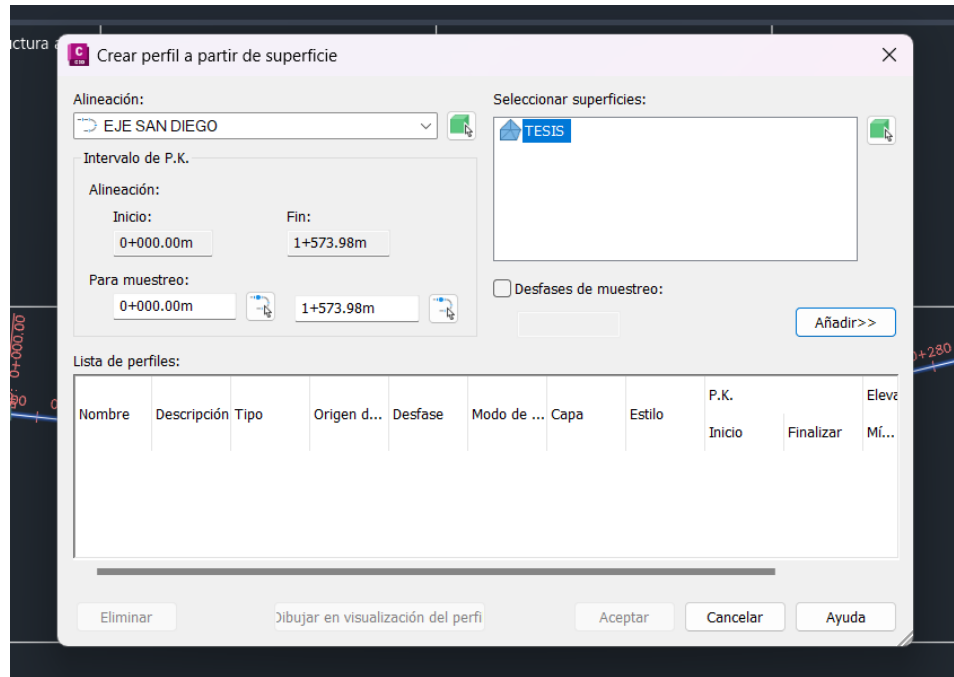


Imagen 4.30. Ventana de creación de perfil longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, continuando con el proceso de creación de la vista de perfil, se mostrarán las configuraciones que se deben hacer en la **ventana “Crear visualización del perfil”**. En la sección “General”, se debe seleccionar el eje al cual se le va a generar el perfil de terreno (“Seleccionar alineación”), asignar un nombre a la vista de perfil (“nombre de visualización del perfil”) “PERFIL LONGITUDINAL SAN DIEGO”, y seleccionamos un estilo predeterminado (“Profile view style”) para la vista de perfil “Profile View”. Continuamos con la creación de la vista de perfil dando clic en el botón “Siguiente”.

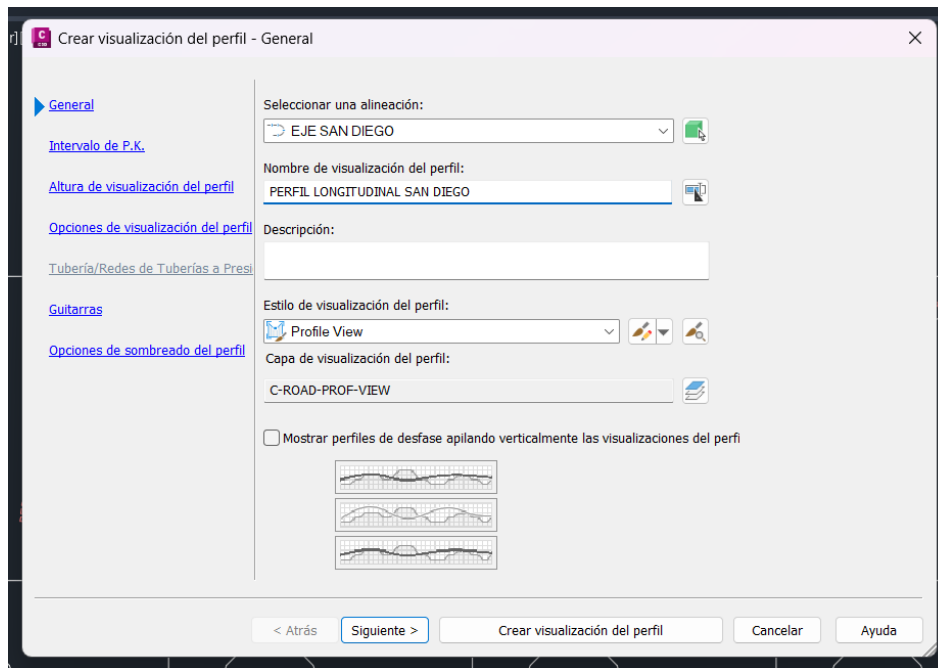


Imagen 4.31. Ventanas de generalidades del perfil longitudinal

Fuente: Elaboración propia.

Ventana crear vista de perfil, en la sección **“Intervalo de P.K.”** podemos configurar el tramo o zona de visualización de la vista de perfil en creación, en este caso dejamos la configuración por defecto. Continuamos con la sección **“Altura de visualización del perfil”** en donde se puede configurar altura de la vista de perfil y generar cortes de la vista con el fin de organizar de acuerdo con las dimensiones de un plano de trabajo.

Esta opción funciona de igual manera a la generación de los cortes de la tabla de elementos de curvas horizontales. Dejamos las configuraciones por defecto en esta sección con el fin de mostrar la vista de perfil de manera completa, damos clic en el botón **“Siguiete”**. En la sección **“Opciones de visualización del perfil”**

se pueden configurar estilos de los perfiles agregados anteriormente, además de agregar etiquetas a cada perfil, si así se requiere. Dejamos las configuraciones por defecto y damos clic en el botón “Siguiente”. La sección “Tuberías/Redes de tuberías a presión” se encuentra desactivada porque no se ha realizado ningún diseño de redes de tuberías. La sección “**Guitarras**” es la sección principal de cualquier vista de perfil, pues permite agregar a la vista de perfil información importante como puede ser: cotas de terreno, cotas de rasante, datos principales de geometría de rasante, abscisas, vista de diagrama de peraltes, datos de volúmenes y áreas de corte y terraplén, entre otra información que previamente configurada se puede agregar a la vista de perfil. Por ahora dejamos las configuraciones por defecto y a medida que se necesite alguna información adicional en la vista de perfil se realizará la creación o edición de estilos, damos clic en el botón “**Siguiente**”.

Finalmente, en la sección “Opciones de sombreado de perfil” se puede dar un estilo especial a la vista de perfil con ayuda de sombreados que permitan visualizar zonas de corte o terraplén todo en base al perfil de terreno y la rasante proyectada. Dejamos las configuraciones por defecto y damos clic en el botón “**Crear visualización de perfil**”, damos clic en un punto de inserción sobre el espacio de trabajo para ubicar la vista de perfil.

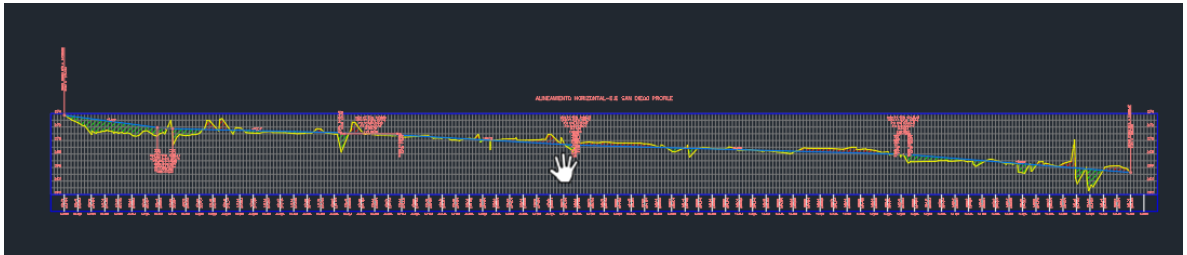


Imagen 4.32. Visualización de perfil.
Fuente: Elaboración propia.

Trazo y creación de la rasante.

Teniendo el perfil longitudinal se procede a trazar la rasante. Para esto se dirige a la pestaña Perfil con un clic y seleccionar la segunda opción: **“Herramienta de creación de perfiles”**

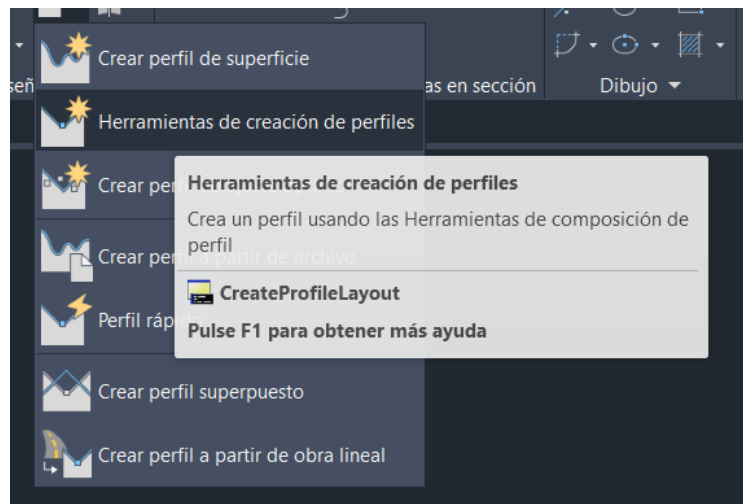


Imagen 4.33. Opciones para la creación de rasante.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionar el perfil (Cualquier rejilla). Luego aparecerá una ventana.

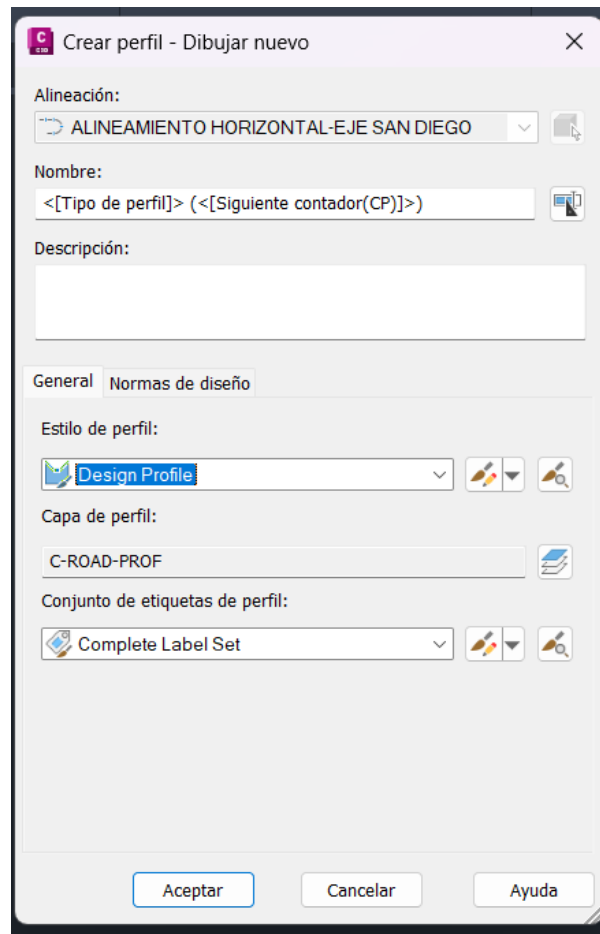


Imagen 4.34. Ventana para creación de rasante del camino.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionar la segunda opción: Dibujar tangentes con curvas.

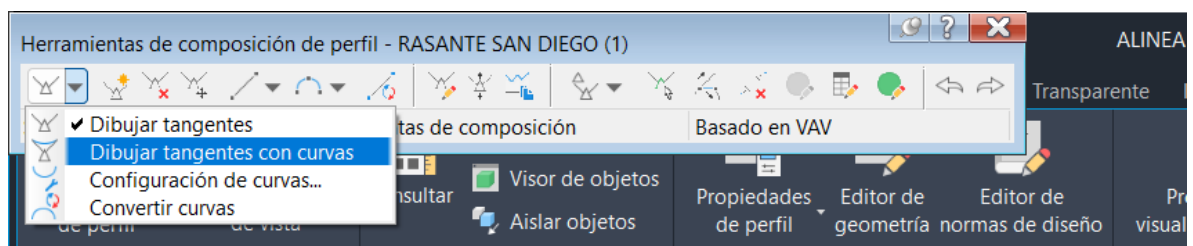


Imagen 4.35. Herramienta de tangente y curvas verticales.

Fuente: Elaboración propia.

Hacer clic en el punto inicial y empezar a trazar la rasante de acuerdo con la pendiente de diseño, optimizando el corte y relleno, entre otros.

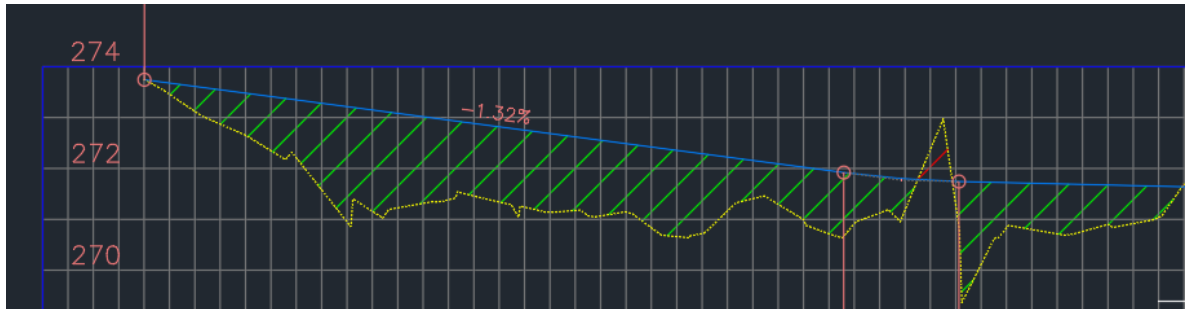


Imagen 4.36. Perfil longitudinal con rasante y área de cortes y rellenos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Modelación de corredor

Creación de ensamblaje.

Antes de la creación de ensamblaje debemos tener en cuenta, la pendiente que se le dará a la calzada en dirección perpendicular al eje del camino, en el Manual Centro Americano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales (SIECA). Para un bombeo apropiado, será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, en la tabla 4.14 se presentan los rangos recomendables.

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	2.0-6.0

Tabla 4.13. Bombeo normal de la calzada.

Fuente: cuadro 4.1 Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Donde los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento y los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos.

Las condiciones del camino que conduce al cantón San Diego son de un pavimento tipo bajo, donde se utilizará un valor promedio de bombeo de 2.5.

Para crear el ensamblaje en civil 3d, dirigirse a la pestaña “Ensamblaje” y seleccionar la opción “Crear Ensamblaje”.

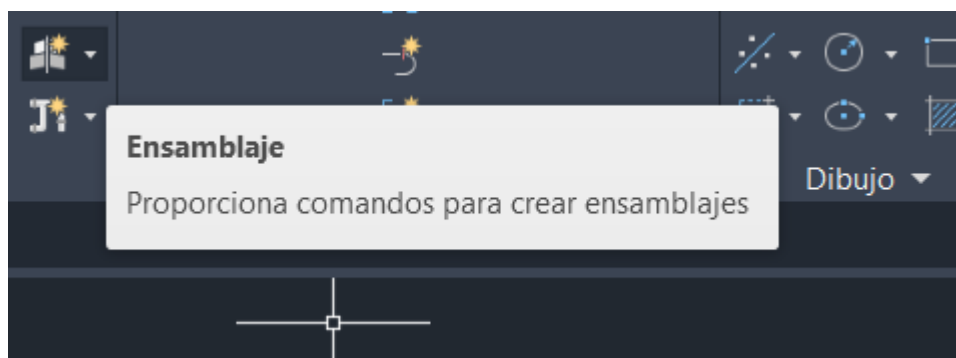


Imagen 4.37. Herramienta para crear el ensamble.

Fuente: Elaboración propia.

En la ventana que se abre, asignar un nombre al ensamblaje, luego OK.

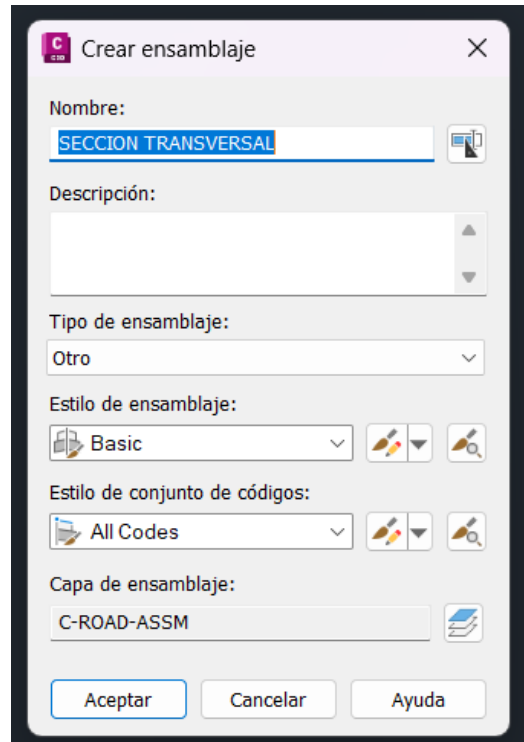


Imagen 4.38. Ventana de creación de ensamble.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionar con un clic, el lugar en donde se desea colocarlo. Luego teclear Ctrl+3 para abrir la ventana de sub-ensamblaje. Dentro de esta ventana puede escoger y colocar los ensamblajes que desee, seleccione Basic line.

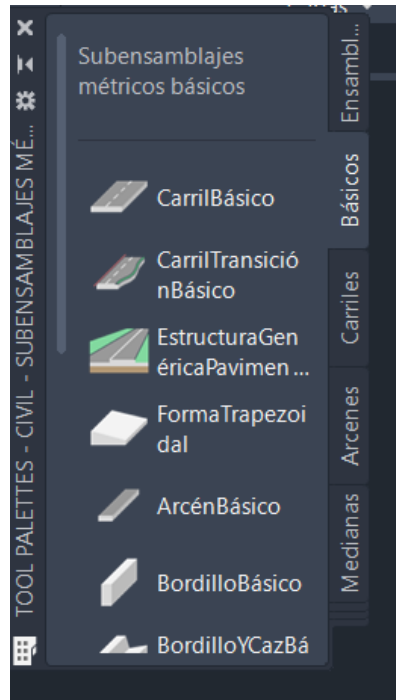


Imagen 4.39. Herramienta para creación de calzada.

Fuente: Elaboración propia.

Se abre una ventana en la cual se colocan las dimensiones de los componentes de un carril como, el ancho, el bombeo y espesor. Para caminos rurales usamos 3.00 metros como ancho de carril es aceptable colocar las medidas de acuerdo con su diseño y en la opción “Lado” seleccionar Izquierdo.

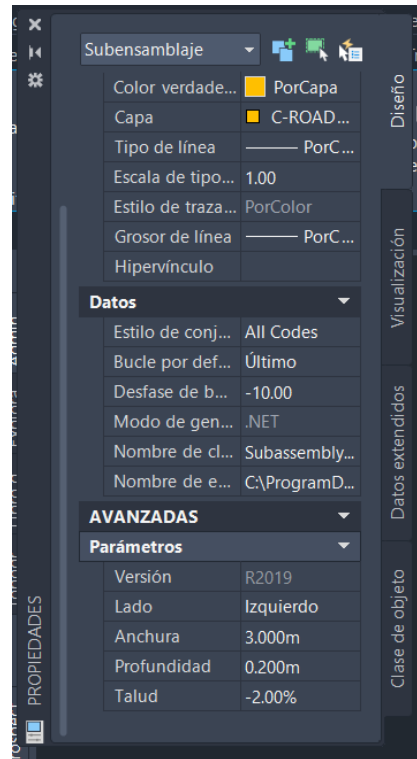


Imagen 4.40. Se muestra los parámetros que se tomaron para el diseño del pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Dirigirse al ensamblaje y hacer clic en el centro, con esto se visualiza el carril izquierdo y derecho.

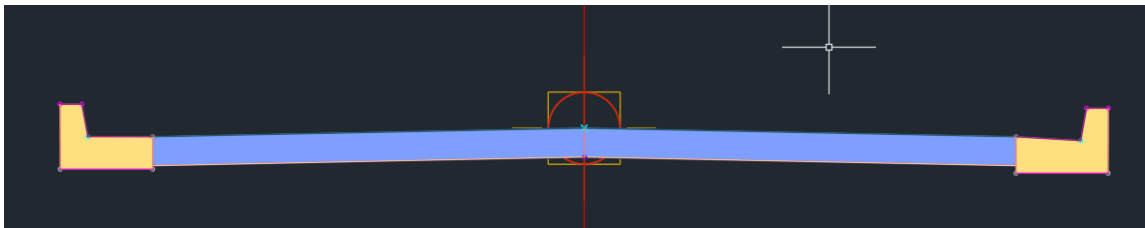


Imagen 4.41. Introducción de ensamble derecho en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Luego presionar la tecla Esc para elegir otro sub-ensamblaje que son las cunetas, en la ventana de sub-ensamblajes elegir con un clic la opción “BordilloYCazBasicos”.

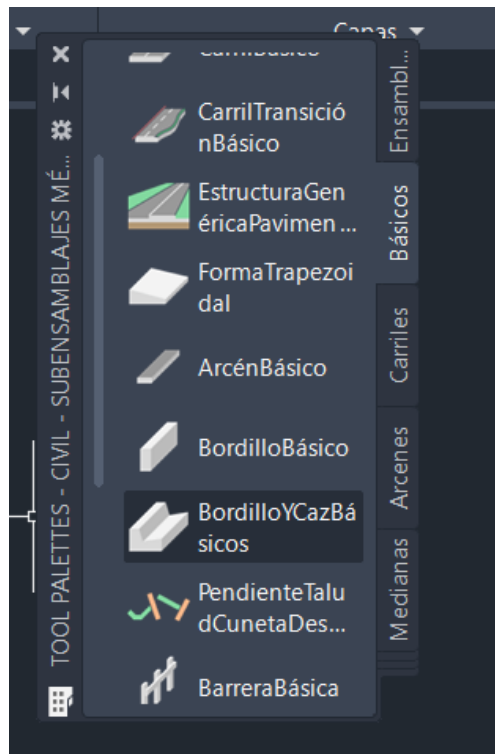


Imagen 4.42. Introducción de cunetas

Fuente: Elaboración propia.

Se abre una ventana en la cual se puede modificar las dimensiones de la cuneta de acuerdo con el diseño que se quiere realizar.

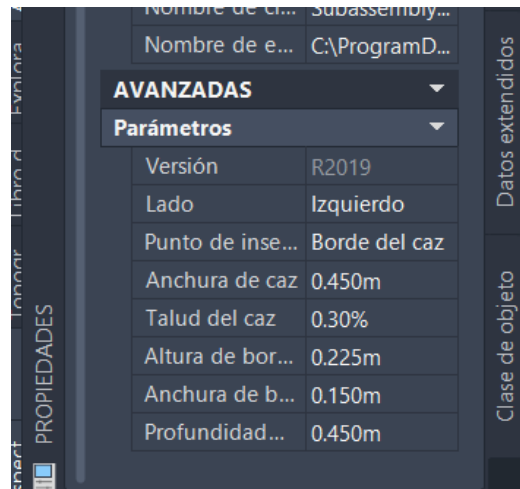


Imagen 4.43. Introducción de parámetros de diseños de cunetas.

Fuente: Elaboración propia.

Luego en la opción “Side” dar clic en Izquierdo y hacer clic en el extremo izquierdo de la sección transversal y se visualizará la cuneta derecha. Hacer el mismo procedimiento para la cuneta derecha.

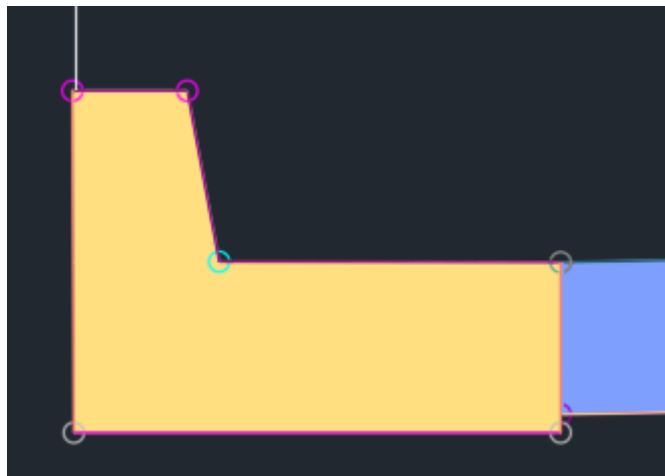


Imagen 4.44. Introducción de cunetas en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora presionar Esc y dirigirse a la ventana para elegir otro sub-ensamblaje que son los taludes.

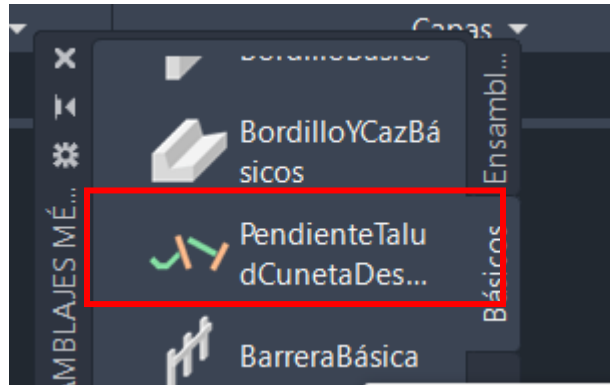


Imagen 4.45. Introducción de taludes.

Fuente: Elaboración propia.

Se abre una ventana para la configuración de los parámetros de diseño.

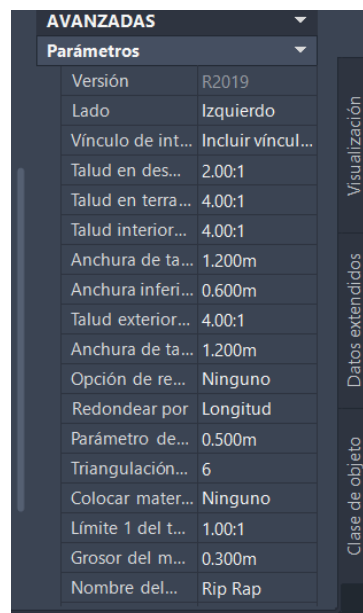


Imagen 4.46. Introducción de parámetros de diseños de taludes.

Fuente: Elaboración propia.

En la opción “Lado”, seleccionar “Derecho” y dirigirse al ensamblaje y hacer clic en el extremo derecho de la cuneta. Hacer el mismo procedimiento para el lado izquierdo.

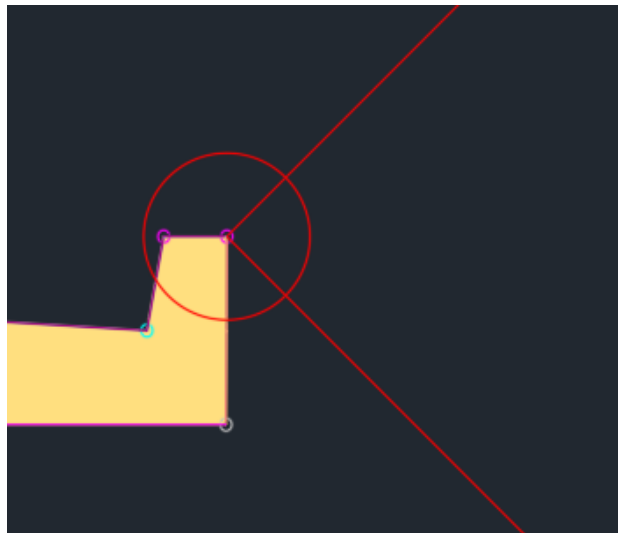


Imagen 4.47. Introducción de taludes derecha en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede adicionar los sub-ensamblajes que se desee de acuerdo con los requerimientos del diseño, en este manual solo se hizo como ejemplo los tres sub-ensamblajes principales. La visualización del ensamblaje queda como se muestra en la imagen, lo que representa la sección transversal del camino que se quiere diseñar.

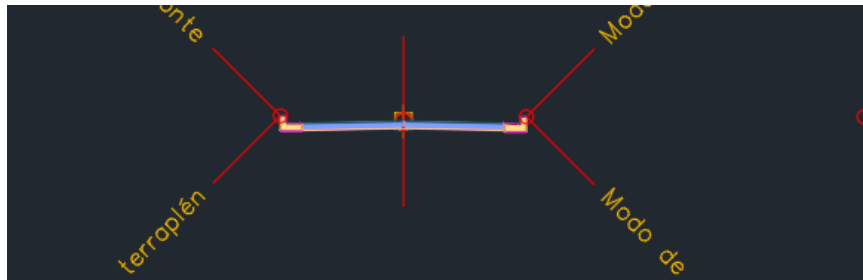


Imagen 4.48. Ensamble terminado en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Creación del corredor vial

Una vez creada la sección tipo (pueden existir diferentes secciones para un mismo trazado), continuamos con la creación del corredor o también llamada obra lineal. Para crear el corredor, nos dirigimos al grupo de botones, botón “Inicio” sección “Crear Diseño” opción “Corredor”. Se inicia la ventana “Crear Corredor” en donde realizamos las siguientes configuraciones:

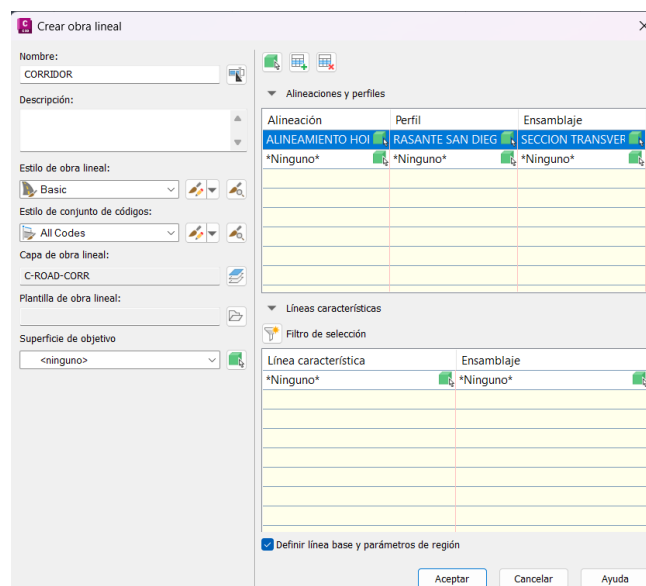


Imagen 4.49. Ventana para la creación del corredor.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizamos dando clic en el botón “Aceptar”.

4.2.6 Sección transversal.

Finalmente, creados todos los elementos, se pueden generar las vistas de secciones transversales. Para crear las vistas de secciones, nos dirigimos a los botones de grupo, botón “Inicio”, sección “Visualización de perfil y secciones”, desplegamos la opción “Vista de secciones” y seleccionamos “Crear vistas múltiples”. A continuación, se describirá la configuración por figuras para cada sección de la ventana “Crear Vistas en sección- General”.

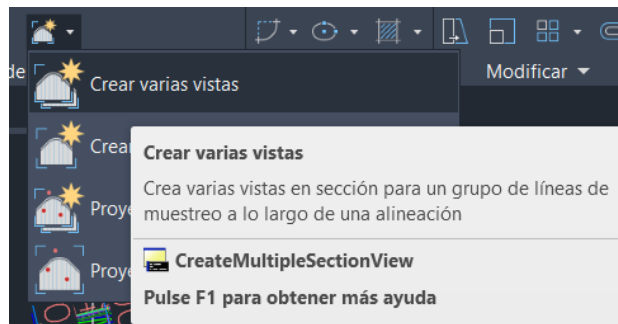


Imagen 4.50. Creaciones vistas múltiple.

Fuente: Elaboración propia.

Se abre la siguiente ventana, hacer clic en siguiente sin modificar.

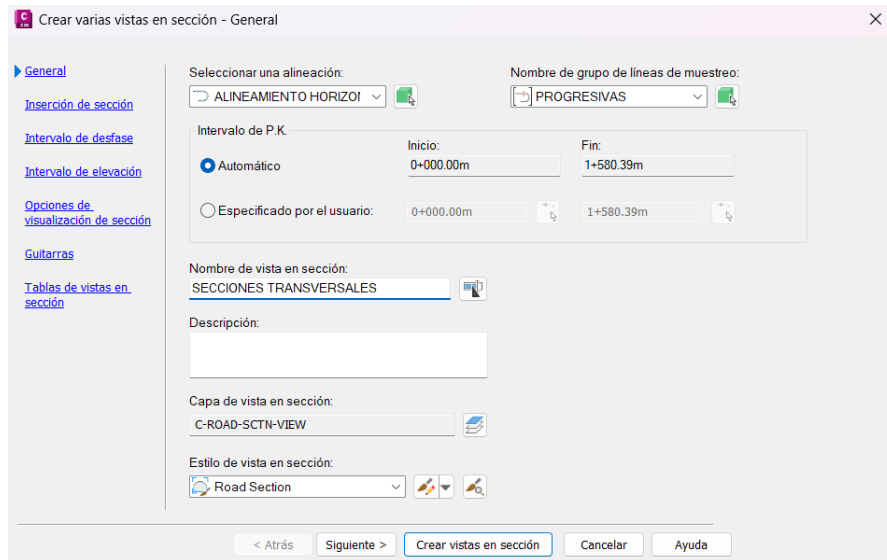


Imagen 4.51. Edición de estilo de secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora en la parte inferior se selecciona la opción “Create Section Views”.

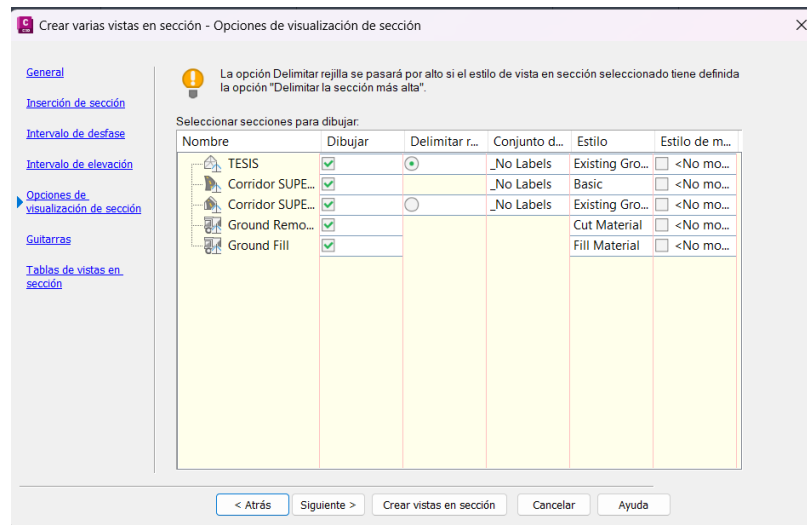


Imagen 4.52. Ventana para la creación de secciones transversales

Fuente: Elaboración propia.

Ubicar el cursor donde se desea colocar las secciones transversales y dar clic.

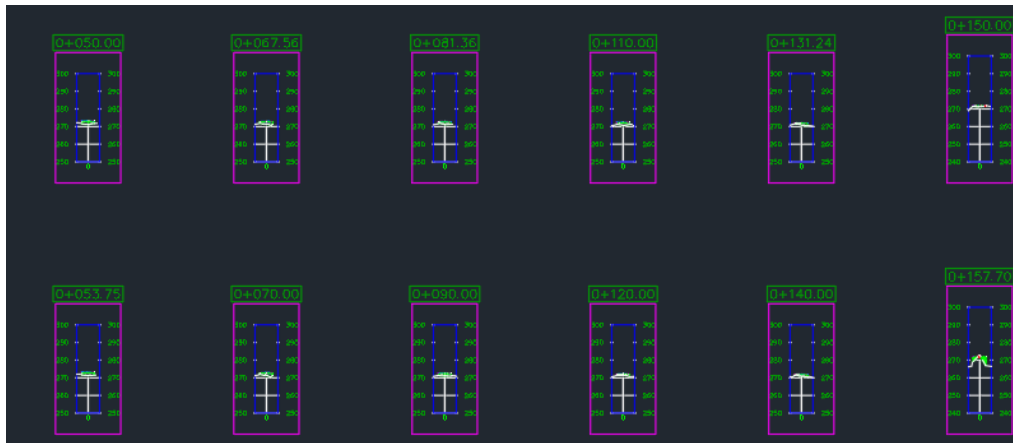


Imagen 4.53. Secciones transversales en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Movimientos de tierra

Antes de realizarlo lo que es el diagrama de masa y generar una tabla donde se presente los cortes y rellenos, y realizar un análisis.

Para empezar, los dirigimos a la pestaña “ANÁLISIS”, luego en la parte derecha se selecciona la opción “Compute Materiales”.

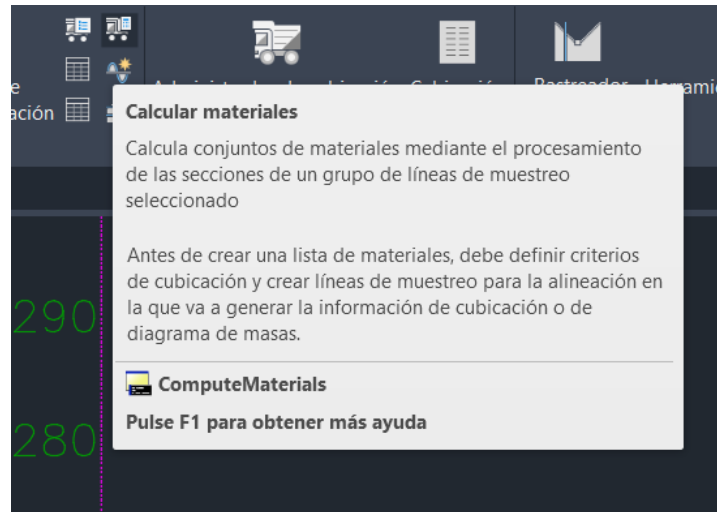


Imagen 4.54. Barra de herramientas de Analyze.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se despliega la siguiente ventana donde nos piden seleccionar el alineamiento horizontal y la línea de grupo, se procede a darle OK.

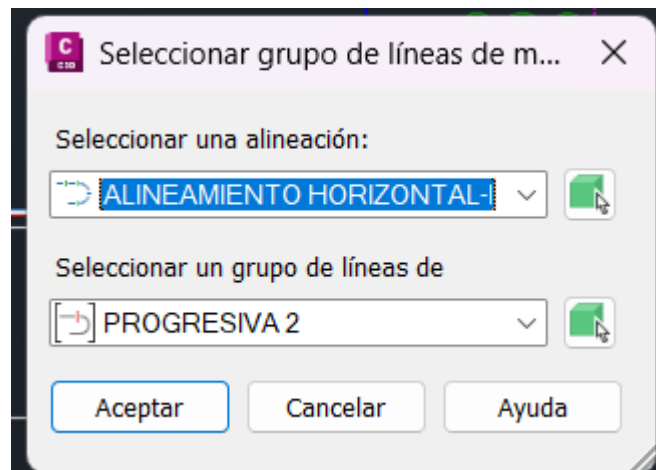


Imagen 4.55. Ventana de seleccionar grupo de líneas

Fuente: Elaboración propia.

Se nos desplegará una segunda ventana, el primer campo que nos aparece es el criterio de cantidad donde escogemos la siguiente opción “earthwork” que los permite calcular el volumen de tierra, permitiendo generar tablas que podemos introducir en nuestra área de trabajo, la cual detalla los cortes y relleno.

En el campo “existing ground” seleccionamos la superficie de nuestro proyecto.

En el segundo “Datum” seleccionamos el corredor SUPERFICIE. A continuación, le damos OK.

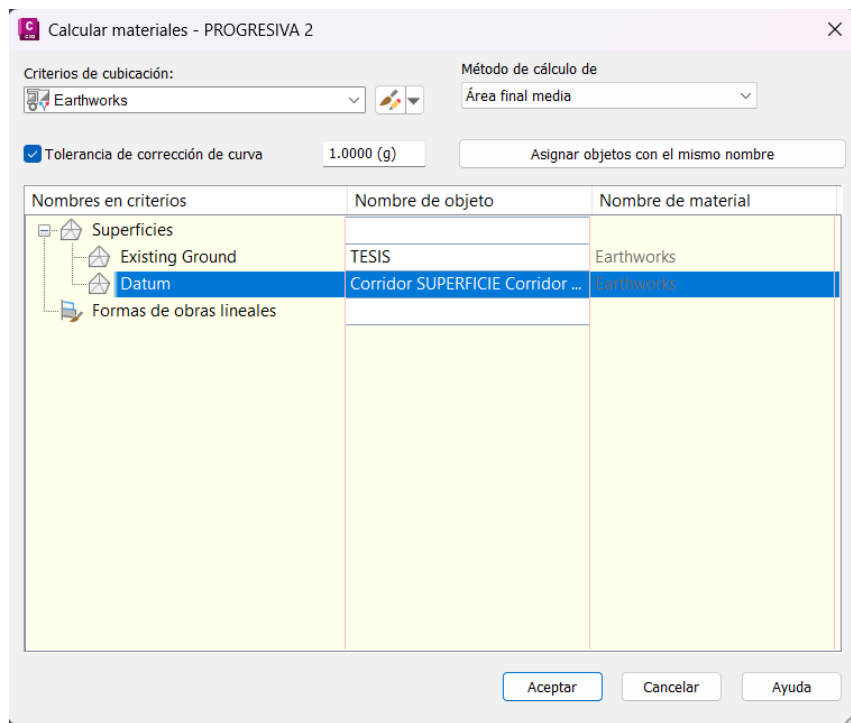


Imagen 4.56. Ventana de cálculo de volúmenes de cortes y rellenos.

Fuente: Elaboración propia.

Para crear cuadro de cortes y rellenos del proyecto y poder presentarlos en un plano nos dirigimos a la pestaña home, en la parte de derecha se encuentra el

botón “tabla de volúmenes totales”. Al seleccionarlos de inmediato aparecerá la siguiente ventana donde nos pide el estilo de la tabla y el alineamiento en que se basará nuestro cálculo de volúmenes.

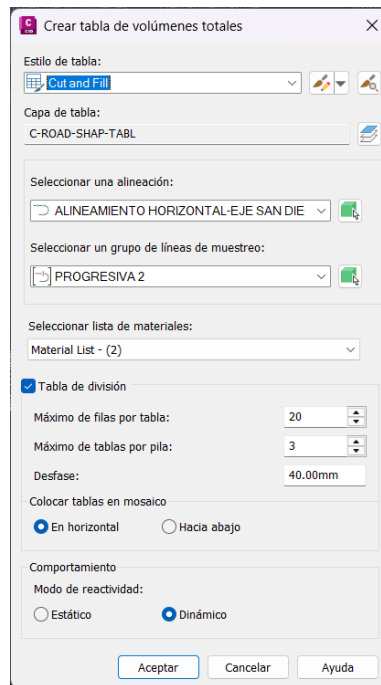


Imagen 4.57. Ventana para presentación de tablas de cortes y relleno.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se selecciona en el área de trabajo donde se quiera ubicar las tablas de cortes y rellenos, así como volúmenes totales.

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.00	1448.72	0.00	0.00	0.00	0.00
0+053.75	10.14	0.00	272.66	38937.53	272.66	38937.53
0+060.00	9.35	0.00	60.62	0.00	333.48	38937.53
0+067.56	9.63	0.00	71.67	0.00	405.15	38937.53
0+070.00	10.03	0.00	24.03	0.00	429.18	38937.53
0+080.00	7.99	0.00	90.33	0.00	519.51	38937.53
0+081.38	7.50	0.00	10.51	0.00	530.02	38937.53
0+100.00	0.00	0.00	69.69	0.00	599.92	38937.53
0+131.24	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+144.47	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+157.70	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+198.21	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+209.46	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+210.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+220.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+220.71	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+600.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+613.01	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+614.83	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+616.65	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+630.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+700.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+830.19	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+900.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+060.47	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+580.39	0.00	961.53	0.00	38648.80	599.92	77586.32

Imagen 4.58 Tablas de cortes y rellenos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Diagrama de masas.

A continuación, se creará el diagrama de masas que se define como el volumen de material por la distancia que se desplaza durante la construcción. El diagrama es la forma gráfica de poder encontrar un equilibrio entre el volumen de corte y de relleno de un proyecto de carretera. Nos dirigimos a la pestaña “Análisis” en la parte derecha se encuentra la opción “Diagrama de masas”.

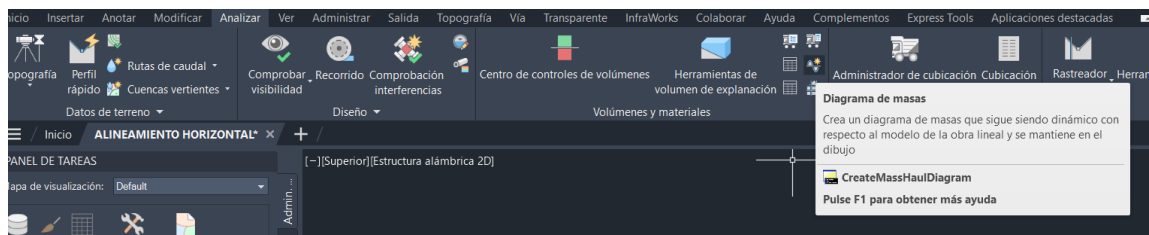


Imagen 4.59. Herramienta para la creación de diagrama masa

Fuente: Elaboración propia.

Se desplegará la siguiente ventana de “crear diagrama de masas”. Donde seleccionamos el alineamiento del proyecto y la línea de grupo. Nos permite tener una descripción que se relacione al diagrama masa y nos pide el tipo de etiqueta y la capa. Civil 3d por defecto da la etiqueta básica y la capa C-roan-masview. Teniendo todos los campos del cuadro configurado, seleccionamos el botón “next”.

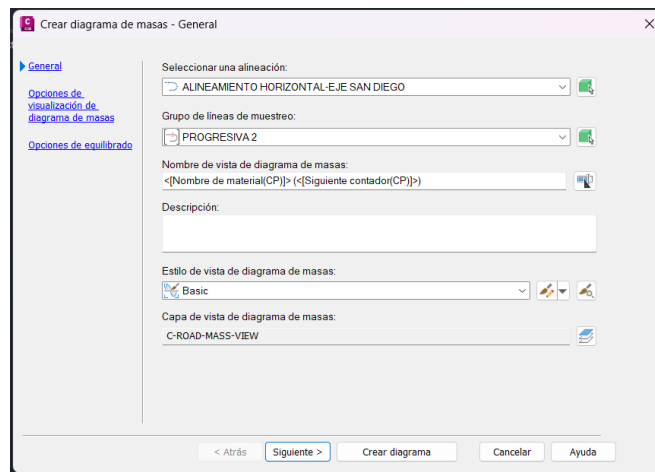


Imagen 4.60. Ventana para seleccionar del alineamiento y el grupo de alineamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona “next”, hasta que aparezca el siguiente cuadro, donde nos pide los estacionamientos en los que se quiere el diagrama masa, seleccionar el botón “crear diagrama”.



Imagen 4.61. Diagrama de masa en área de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DRENAJE

5.1 Hidrología, drenaje y obras hidráulicas

Dentro del estudio necesario para la buena ejecución de un proyecto vial está el diseño de las obras necesarias para la evacuación del agua que puede afectar el buen desempeño de la vía, tanto en la durabilidad de los materiales, como en problemas de funcionamiento y hasta la interrupción en el uso. Por lo anterior, es importante tener en cuenta los aspectos más relevantes para el desarrollo de estas obras de drenaje, desde la etapa de la planificación, hasta la de ejecución de la obra.

5.1.1 Efectos del agua sobre el área en estudio

El efecto provocado por el agua en una región puede generar desde hundimientos hasta inundaciones; para evitar esta problemática es necesario hacer un estudio hidrológico. La finalidad del estudio es obtener el caudal máximo en un punto de interés y poder drenar el agua; para encontrar el caudal se requieren parámetros, a continuación, se explica el ejemplo de cálculo de una cuenca.

5.1.1.1 Cuencas y cauces principales.

El área y la longitud se determinó por medio del software AutoCAD generando una sección en cada parteaguas y trazando el cauce más largo sobre las curvas

de nivel para generar el área tributaria de la cuenca y poder determinar el caudal máximo que llega al punto de interés del camino.

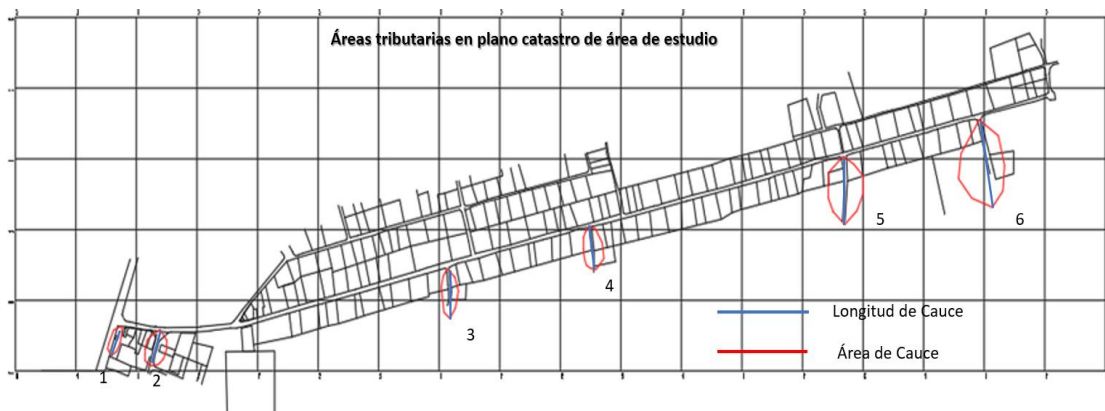


Imagen 5.1: Ubicación de subcuencas en la vía.

Fuente: Elaboración Propia en programa AutoCAD.

De la imagen 5.1 se determinan las Áreas tributaria y las longitudes de las principales cuencas que aportan escorrentía al camino, ubicando puntos de interés en cada tramo requerido.

No. Subcuenca	área (m ²)	área (Ha)	Longitud de Cauce (m)	Longitud de Cauce (km)
1	570,17	0,057017	44,77	0,04477
2	1342,95	0,134295	52,71	0,05271
3	1333,92	0,133392	70,1	0,0701
4	1524,78	0,152478	61,15	0,06115
5	3944,86	0,394486	96,63	0,09663
6	6492,88	0,649288	125,83	0,12583

Tablas 5.1: Áreas y Longitudes de las cuencas principales.

Fuente: Elaboración Propia

Las Tablas 5.2 y 5.3 permiten seleccionar el tiempo de retorno para las obras de drenaje, generando una evaluación del impacto que provoca la obra; según AASHTO.

Parámetros	Calificación		
	1	2	3
Daño a la propiedad	bajo	medio	alto
Daño al camino	bajo	medio	alto
Pérdidas potenciales de vida	bajo	medio	alto
Altura de terraplén	< 6 m	6 m a 15 m	>15 m
Costo de reconstrucción	bajo	medio	alto
TMDA	< 100	100 a 750	>750
Rutas alternativas	si	mala	no
Sección de camino inundado	si	eventual	no
Caudales registrados > caudal recurrencia de 50 años	ninguno	uno	varios
Valor estratégico	no	no	si
Efecto sobre la economía local	bajo	medio	alto

Tabla 5. 2: Parámetros de calificación para elegir el tiempo de diseño.

Fuente: Cornero, Guillermo A., 1996. Proyecto, Construcción y Conservación de Alcantarillas.

Con respecto a la tabla anterior se determina el periodo de diseño o periodo de retorno para las obras hidráulicas.

Promedio ponderado de la calificación	Rango del tiempo de recurrencia para diseño en años
1	10-25
2	25-50
3	más de 50

Tabla 5. 3: Tiempo de recurrencia de diseño

Fuente: Cornero, Guillermo A., 1996. Proyecto, Construcción y Conservación de Alcantarillas.

Se obtienen 70% de calificación (1), 15 % de calificación (2) y 15 % de calificación (3), por lo que se selecciona de la Tabla 5.3, el rango de tiempo de recurrencia para diseño de 10 a 25 años. Se adopta 25 años como periodo de recurrencia de diseño para el proyecto.

5.1.2 Estimación del caudal máximo (relación lluvia - escorrentía).

5.1.2.1 Método racional

Esta relación empírica toma en cuenta el área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y las características de la superficie del terreno. Con estos datos, calcula la descarga máxima asumiendo que la lluvia es uniforme en toda la cuenca y la descarga máxima se dará cuando la totalidad de la superficie esté drenando, es decir, que el escurrimiento de la parte baja, de la parte media y de la parte más lejana de la cuenca se acumulan a la salida, estableciendo la máxima suma posible de volumen de agua.

Se usa principalmente para áreas menores de 500 hectáreas, en cuencas impermeables y tiempos de concentración inferiores a una hora.

La expresión para determinar el caudal máximo viene dada por:

donde:

$$Q_{\max} = \frac{CIA}{360}$$

Q Max= Caudal de diseño en m³/s

C=Coeficiente de Escorrentía

I=Intensidad de diseño en mm/h

A=Área de la cuenca en hectáreas

5.1.3 Cálculos de los parámetros de la ecuación.

5.1.3.1 Pendientes medias de las cuencas

Se define como la diferencia de elevación entre el punto más alejado de la cuenca menos la elevación del punto de interés dividido entre la longitud del cauce.

$$m = \frac{\text{Elev.puntomasAlejado} - \text{elev.puntoInteres}}{\text{Longitu,Cause}}$$

Según la formula presentada se determinaron cada una de las pendientes

No. Cuenca	Pendiente (%)
1	0,04467277195
2	0,01897173212
3	0,01426533524
4	0,01635322976
5	0,01034875298
6	0,00794723039

Tabla 5. 4: Pendiente de las cuencas y subcuencas de interés.

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.3.2 Tiempo de Concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida de esta. La ecuación comúnmente utilizada para determinar el tiempo de concentración es:

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

donde:

Tc=Tiempo de Concentración en minutos

L= Longitud máxima del cauce (m)

H= Diferencia de elevación (m)

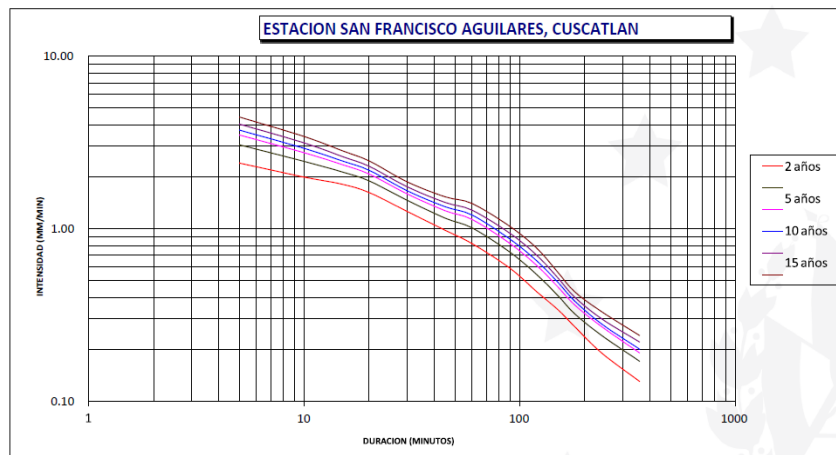
No. Cuenca	Diferencia de elevación (m)	Longitud (m)	Tc (min)
1	2	44,77	2,778324472
2	1	52,71	3,628102204
3	1	70,1	3,628102204
4	1	61,15	3,628102204
5	1	96,63	3,628102204
6	1	125,83	3,628102204

Tabla 5.5: Tiempo de concentración para cada cuenca.

Fuente: Elaboración Propia.

Los tiempos de concentración menores a 5 min, no son reflejados en las gráficas IDF por lo que se toma el valor menor reflejado, en nuestro caso es de 5 min el tiempo de concentración mínimo reflejado en los gráficos.

Con las gráficas proporcionadas por MARN, el tiempo de concentración y con el periodo de retorno para el diseño de las obras civiles, se plotea la intensidad de lluvia.



Gráfica 5.1: Curvas IDF, para determinar la intensidad de diseño para un tiempo de concentración.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

DURACION	2 años	5 años	10 años	15 años	25 años	50 años
5	2.40	3.06	3.49	3.73	4.04	4.44
10	1.99	2.45	2.75	2.92	3.14	3.42
15	1.81	2.13	2.35	2.47	2.62	2.83
20	1.62	1.89	2.07	2.18	2.30	2.47
30	1.26	1.46	1.59	1.66	1.75	1.87
45	0.98	1.15	1.27	1.34	1.42	1.53
60	0.82	1.01	1.13	1.20	1.28	1.40
90	0.59	0.73	0.82	0.87	0.94	1.03
120	0.43	0.54	0.61	0.65	0.70	0.77
150	0.34	0.41	0.46	0.49	0.52	0.56
180	0.27	0.32	0.36	0.38	0.40	0.43
240	0.19	0.24	0.27	0.28	0.30	0.33
360	0.13	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24

Tabla 5.6: Curvas IDF, para determinar la intensidad de diseño para un tiempo de concentración.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para un tiempo de concentración $T_c = 5$ min y un periodo de retorno de 25 años, $I = 4.04$ mm/min. La ecuación racional requiere la intensidad en mm/hora, quedando:

$$I = 4.04 \text{ mm/min}$$

$$I = 4.04 \text{ mm/min} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 242.4 \text{ mm/hora}$$

	Tc (min)		Intensidad (mm/horas)
--	----------	--	-----------------------

No. Cuenca		Intensidad (mm/min)	
1	2,778324472	4,04	242,4
2	3,628102204	4,04	242,4
3	3,628102204	4,04	242,4
4	3,628102204	4,04	242,4
5	3,628102204	4,04	242,4
6	3,628102204	4,04	242,4

Tabla 5.7: Intensidad de diseño calculada de las curvas y tablas IDF.

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3.3 Coeficientes de escorrentía de diseño (c)

El coeficiente de escorrentía de las cuencas se determina en función de la vegetación, tipo de cultivo y tipo de suelo de esta.

Vegetación: la vegetación se determinó por medio de los valores registrado en la información geológicas y suelos de el salvador utilizando la información de VIGEA, de igual forma el tipo de cultivo y suelo, las pendientes se calcularon con la información de las curvas de nivel registradas en El Salvador.

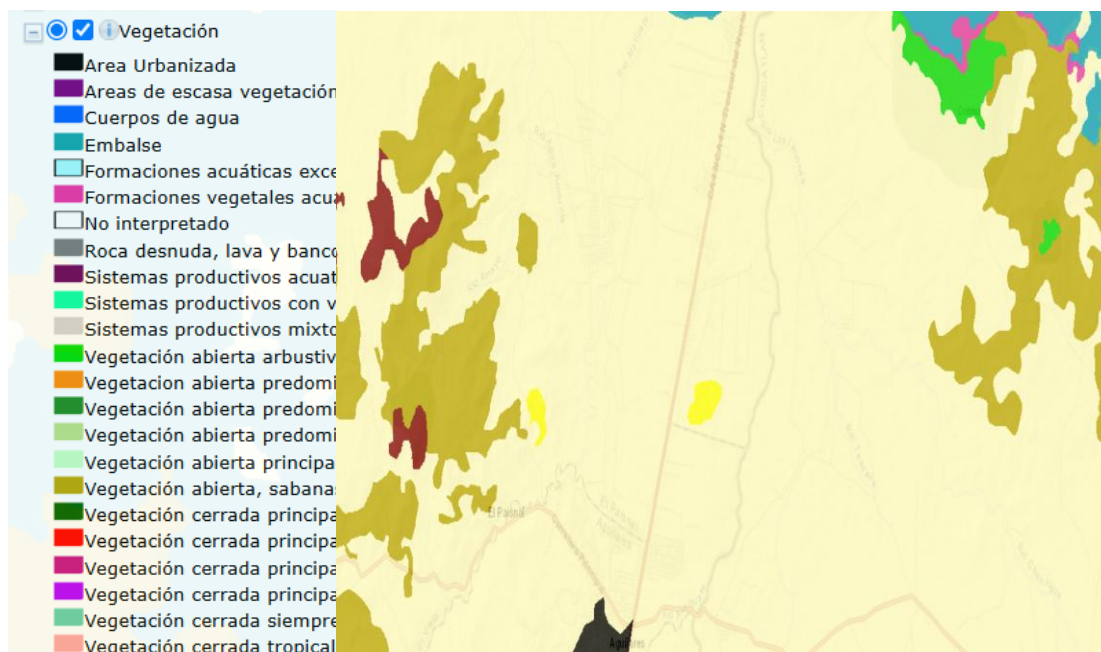


Imagen 5.2: Vegetación

Fuente: VIGEA, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

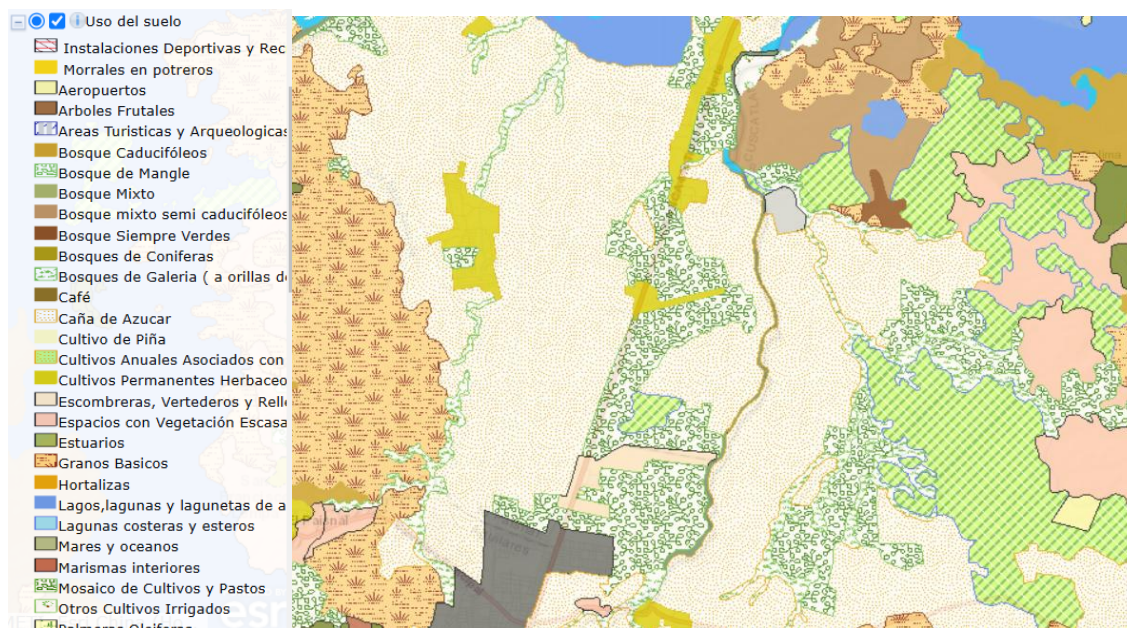


Imagen 5.3: Cultivos y uso del suelo.

Fuente: VIGEA, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

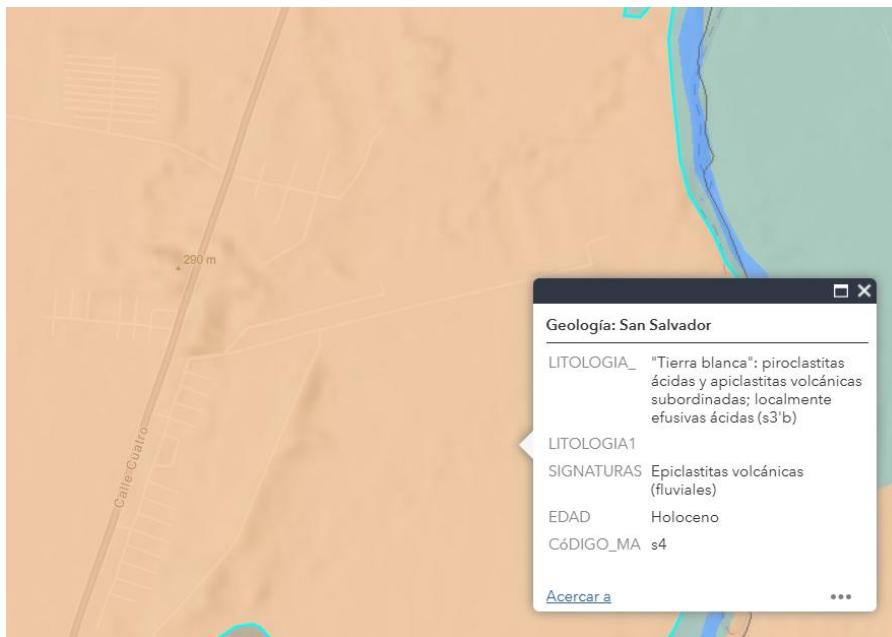


Imagen 5.4: Cultivos y uso del suelo.

Fuente: Geo Portal, SNET, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para poder generar esta información se utilizó la página de Ministerio de Medio Ambiente (MARN, VIGEA) y mapa geológico de El Salvador, con esta información se puede obtener el valor del coeficiente de escorrentía por medio de tablas.

Coefficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

Característica de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58
<i>Nota:</i> Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.							

Tabla 5.8: valores de *c* para diferentes periodos de retornos y diferentes condiciones de suelo.

Fuente: Portafolio de amenazas de SNET.

Coefficientes de escorrentía recomendados para ser usados en el método racional (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Cuenca	Valor C	Cuenca	Valor C
1	0,4	4	0,4
2	0,4	5	0,4
3	0,4	6	0,4

Tabla 5.9: Coeficiente de escorrentía

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4 Caudal máximo de diseño.

Cálculo del caudal de diseño, para las diferentes cuencas existentes.

$$Q_{max} = \frac{(0.4)(242.6)(0.057017)}{360} = 0.00706 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cuenca	Estacionamiento	I (años)	Área (Ha)	Coefft. Esc. (valor C)	Caudal (m3/s)
1	0+000	242,4	0,057017	0,4	0,007064026187
2	0+070	242,4	0,134295	0,4	0,0166382552
3	0+540	242,4	0,133392	0,4	0,01652637952
4	0+760	242,4	0,152478	0,4	0,01889100768
5	1+230	242,4	0,394486	0,4	0,04887418549
6	1+470	242,4	0,649288	0,4	0,08044245461

Tabla 5.10: Caudales de diseño en el punto de interés de las cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

El drenaje superficial se clasifica, según la posición que las obras pasan con respecto al eje del camino, en paralelo y transversal.

El drenaje longitudinal es aquel que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar lleguen al camino o permanezcan en él, de tal manera que no le

causen desperfectos; quedan comprendidos dentro de este tipo las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento.

El drenaje transversal es el que tiene por objeto dar paso expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien, retirar lo más pronto posible el agua de su corona; quedan comprendidos en este tipo de drenaje los tubos, losas, cajones, bóvedas, puentes y el bombeo de la corona.

5.2 Diseño de Cunetas

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas, longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición. Las cunetas se deben localizar esencialmente en todos los cortes, en aquellos terraplenes susceptibles a la erosión y en toda margen interna de un separador que reciba las aguas lluvias de las calzadas.

Parámetros

- La longitud de cunetas no debe de ser mayor a 250 m.
- Pendiente mínima, en sentido longitudinal, de las cunetas, será del 0.3%.
- La construcción de cunetas laterales para evitar el escurrimiento de las aguas, se recomienda una profundidad mínima de 0.3 metros.
- El tirante de cuneta debe de ser 0.6 a 1m.

- Velocidad menor de 6 m/s Cálculo del caudal de la calzada y de los taludes.

La capacidad de una cuneta depende de su forma, pendiente y rugosidad. Si se conocen las pendientes transversal y longitudinal de la calle, la cuneta puede representarse como un canal abierto de sección triangular y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme.

En este proyecto se realiza el diseño por medio del software llamado Hcanales, considerado como una herramienta muy útil de libre acceso y de interfaz sencilla para realizar los cálculos. En el diseño de las cunetas el dimensionamiento de ellas puede ir variando según sea el caudal generado por el área tributaria. El manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centro América establece un dimensionamiento mínimo con lo que transporta el mayor caudal obtenido en el proyecto; por lo que se diseñó con las dimensiones mínimas.

Diseño de canaletas utilizando HCanales.

1. Se ejecuta el programa como administrador.
2. Seleccionar el método de análisis, según los datos conocidos.



Imagen 5.5: Inicio de software Hcanales

Fuente: Elaboración Propia en programa Hcanales

3. En la siguiente ventana se ingresan los valores de los datos conocidos.

Lugar: SAN DIEGO		Proyecto: CESCO CANTON SAN DIEGO	
Tramo: 0+000		Revestimiento: CONCRETO	
Datos:			
Caudal (Q):	0.00706	m ³ /s	
Ancho de solera (b):	0	m	
Talud 1 (Z1):	2		
Talud 2 (Z2):	0.5		
Plugosidad (n):	0.013		
Pendiente (S):	0.0123	m/m	
Resultados:			
Tirante normal (y):	0.0822	m	Perímetro (p): 0.2758 m
Area hidráulica (A):	0.0085	m ²	Radio hidráulico (R): 0.0306 m
Espejo de agua (T):	0.2056	m	Velocidad (v): 0.8354 m/s
Número de Froude (F):	1.3155		Energía específica (E): 0.1178 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

18:14 5/1/2025

Imagen 5.6: Datos de entrada al programa.

Fuente: Elaboración Propia en programa Hcanales

4. Presionamos en el botón calcular y obtenemos los resultados, como se muestran en la siguiente imagen.

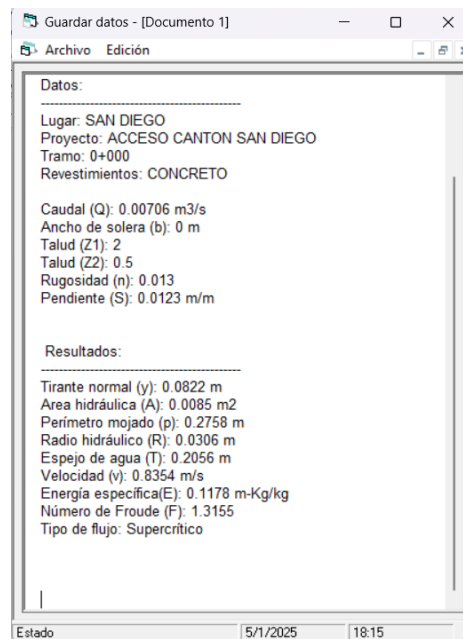


Imagen 5.7: Reporte de resultados.

Fuente: Elaboración Propia en programa HCanales

Donde nos genera el tirante (T), área hidráulica, perímetro, velocidad, energía específica, la altura (Y), entre otros resultados.

En la tabla que se presenta a continuación, se observa el tirante más desfavorable por tener el mayor caudal el tirante normal “Y” da una altura de 22 cm, pero se diseñará una altura $y = 30$ cm lo cual especifica como altura mínima recomendada el manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas

para la infraestructura vial en Centroamérica, con una velocidad de 3.09 m/s.

Estando en el rango permitido que es de 3-6 m/s.

Cuenca	Estacionamiento	l (años)	Área (Ha)	Coefft. Escorrentía (valor C)	Caudal (m ³ /s)	pendiente (%)	Tirante (y) cm
1	0+000	242,4	0,057017	0,4	0,007064026187	1.23	8
2	0+070	242,4	0,134295	0,4	0,0166382552	0.23	15
3	0+540	242,4	0,133392	0,4	0,01652637952	0.23	15
4	0+760	242,4	0,152478	0,4	0,01889100768	0.57	13
5	1+230	242,4	0,394486	0,4	0,04887418549	0.28	22
6	1+470	242,4	0,649288	0,4	0,08044245461	0.8	22

Tabla 5.11 Tirante de cuenca según estacionamientos de la vía de estudio

Fuente: Elaboración Propia.

Dejando la misma sección a lo largo de toda la calle, nos queda la sección tipo como se muestra en la imagen 5.8.

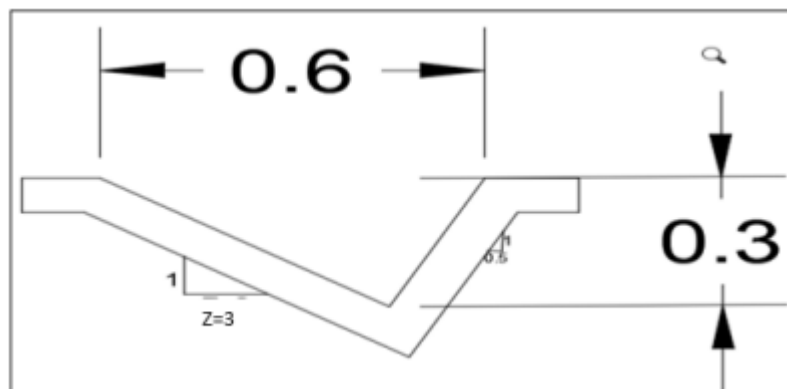
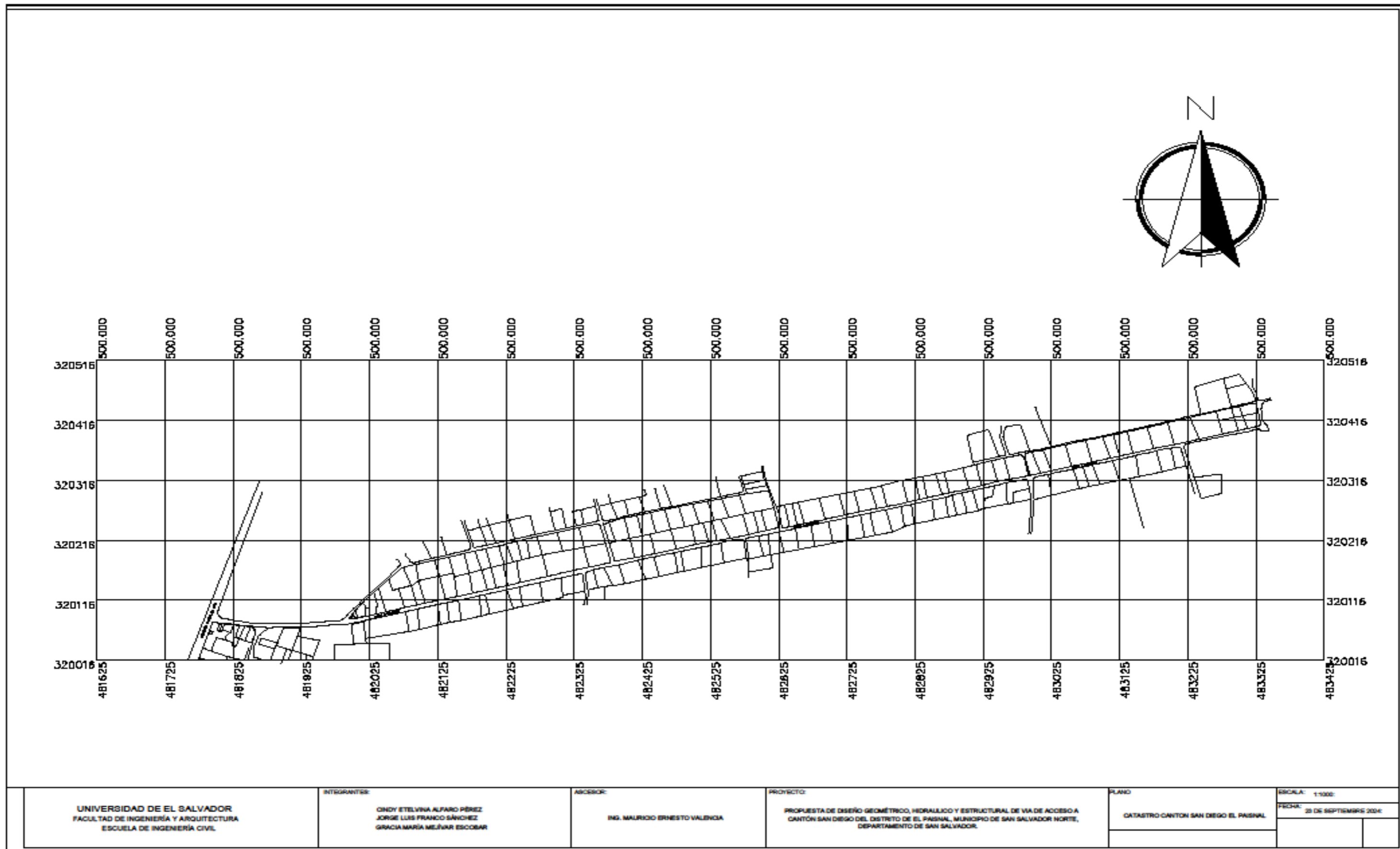


Imagen 5.8: Sección de canaleta.

Fuente: Elaboración propia en programa AutoCAD.

CAPITULO VI: DISEÑO FINAL



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

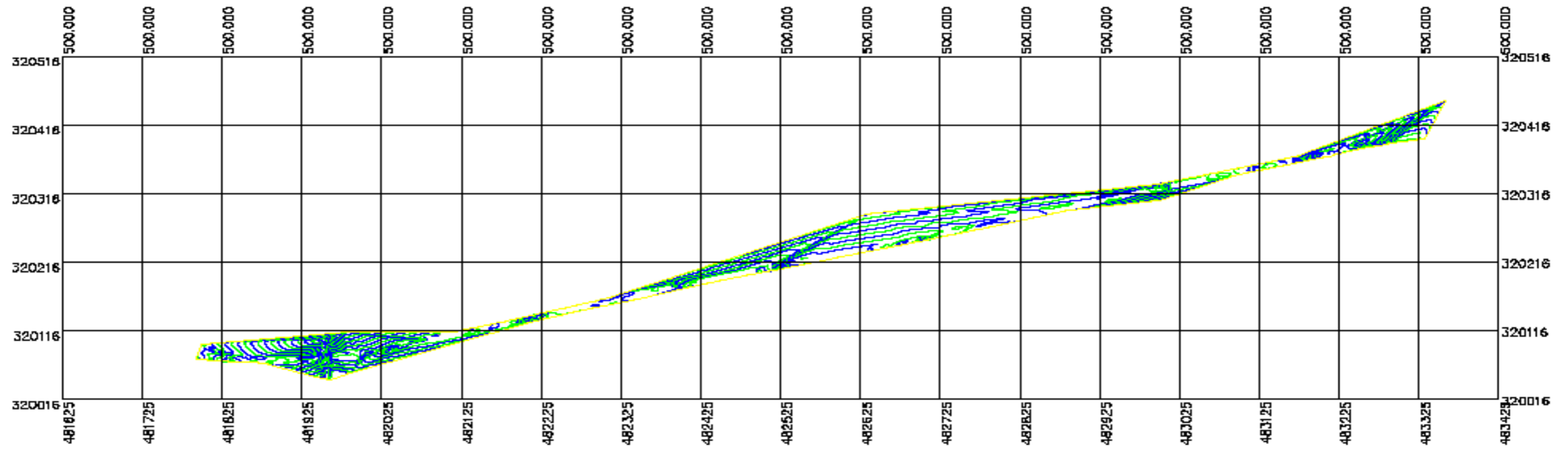
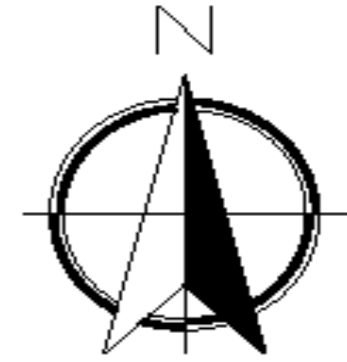
INTEGRANTES:
GINY ETELVINA ALFARO PÉREZ
JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ
GRACIA MARÍA MELÉNAR ESCOBAR

ASESOR:
ING. MAURICIO ERNESTO VALENZUA

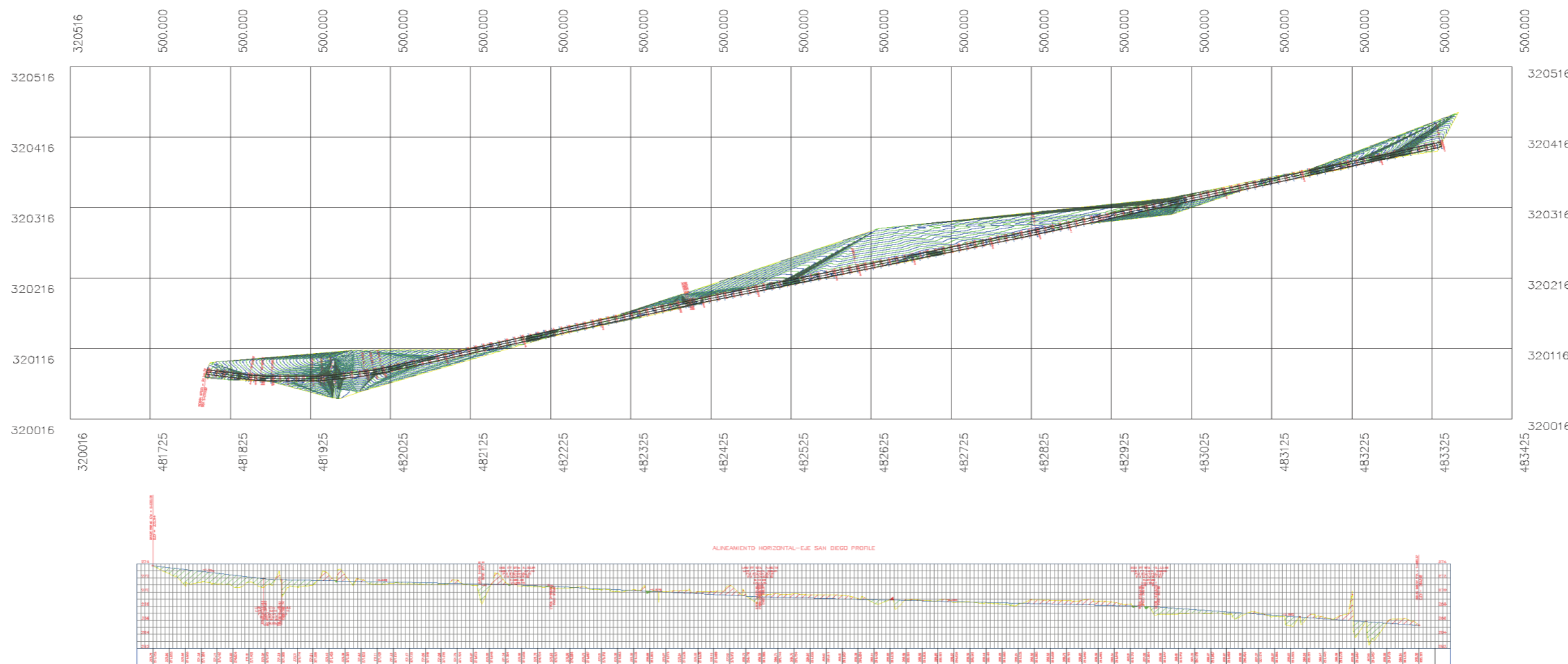
PROYECTO:
PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE VÍA DE ACCESO A
CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PASNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE,
DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.

PLANO:
CATASTRO CANTON SAN DIEGO EL PASNAL

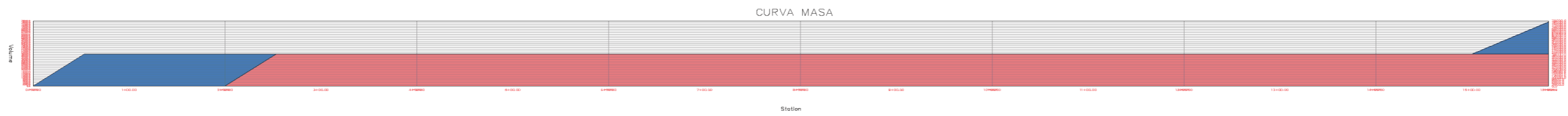
ESCALA: 1:1000
FECHA: 23 DE SEPTIEMBRE 2024



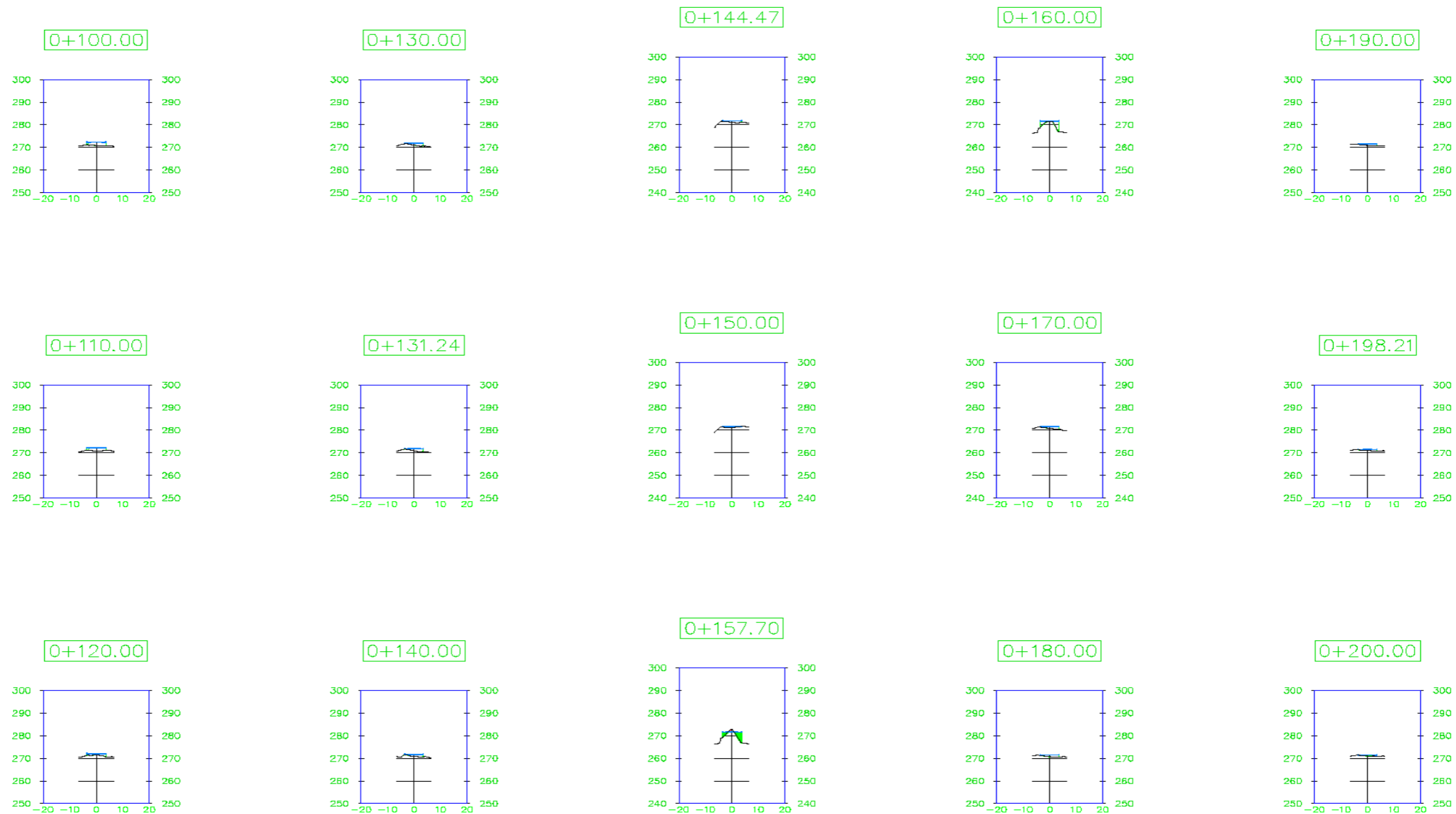
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	INTEGRANTES: GINDY ETELVINA ALFARO PÉREZ JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ GRACIA MARÍA MELÉNAR ESCOBAR	ASesor: ING. MAURICIO ERNESTO VALENZUELA	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE VIA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PASNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	PLANO: CURVAS DE NIVEL	ESCALA: 1:1000 FECHA: 23 DE SEPTIEMBRE 2024



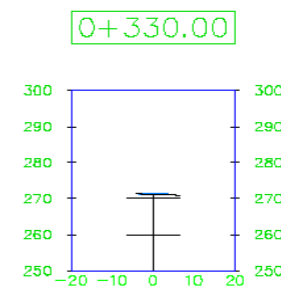
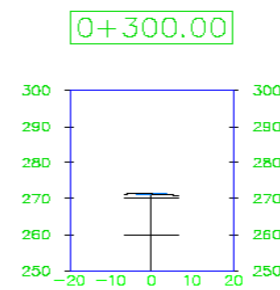
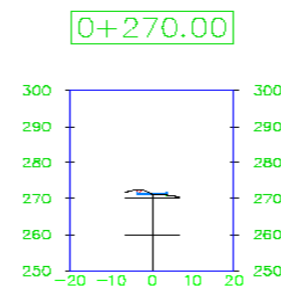
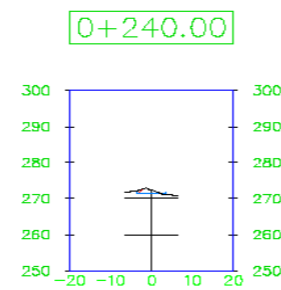
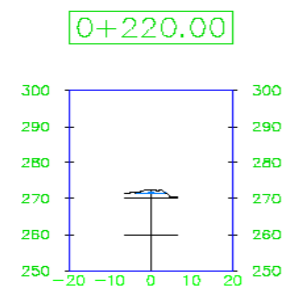
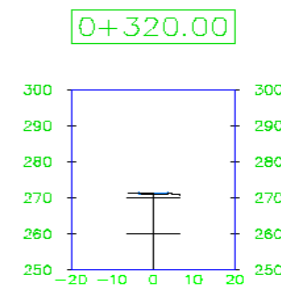
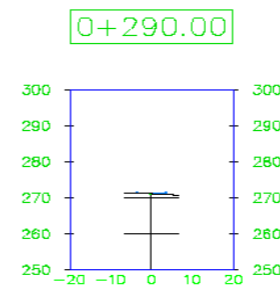
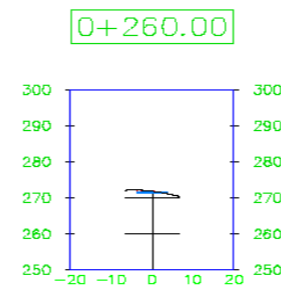
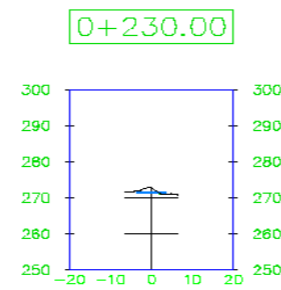
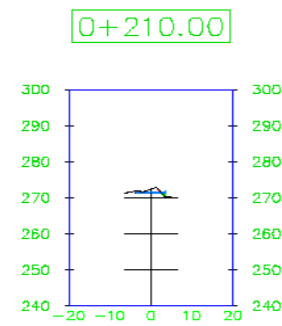
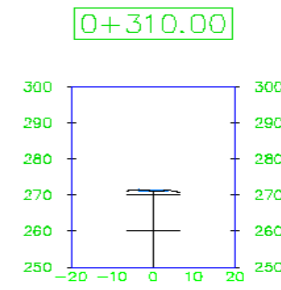
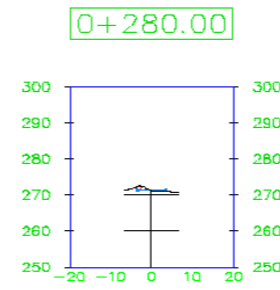
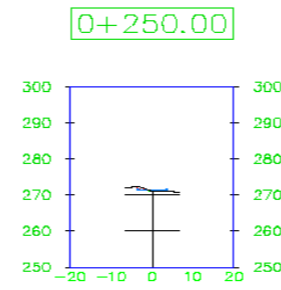
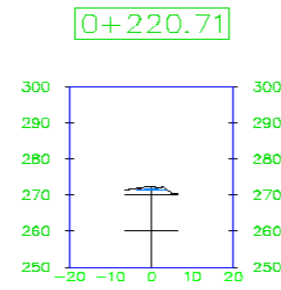
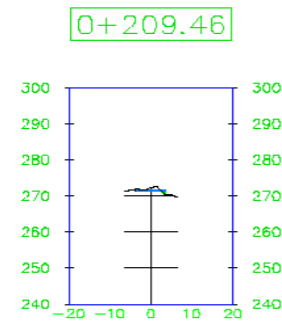
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	INTEGRANTES: CINDY ETELVINA ALFARO PÉREZ JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ GRACIA MARÍA MEJIVAR ESCOBAR	ASCESOR: ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE VIA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	PLANO ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL	ESCALA: 1:1000.
					FECHA: 16 DE ENERO DE 2025



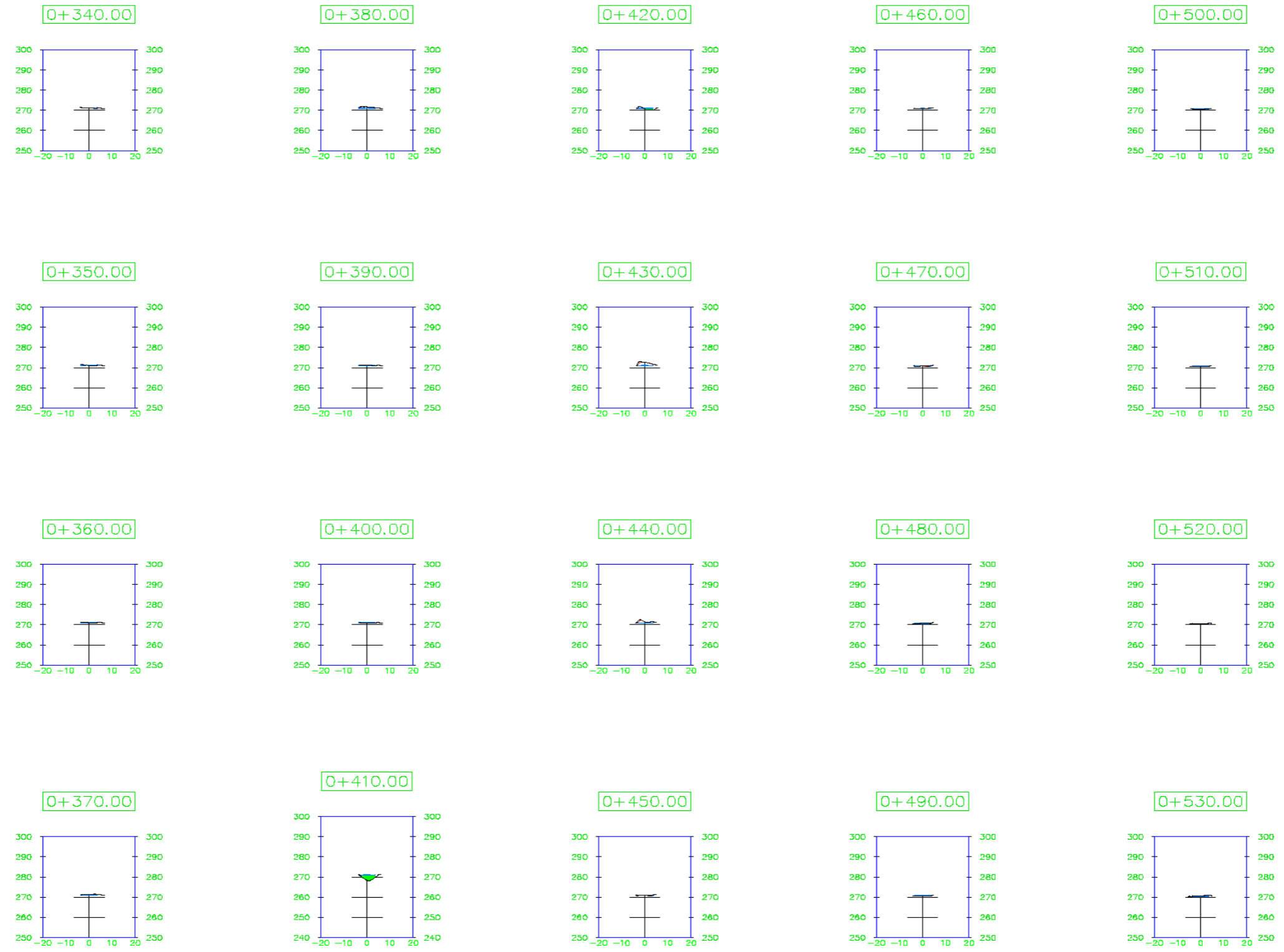
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	INTEGRANTES: CINDY ETELVINA ALFARO PÉREZ JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ GRACIA MARÍA MEJIVAR ESCOBAR	ASCESOR: ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE VIA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	PLANO CURVA MASA	ESCALA: 1:1000 FECHA: 16 DE ENERO DE 2025
--	--	--	--	---------------------	---



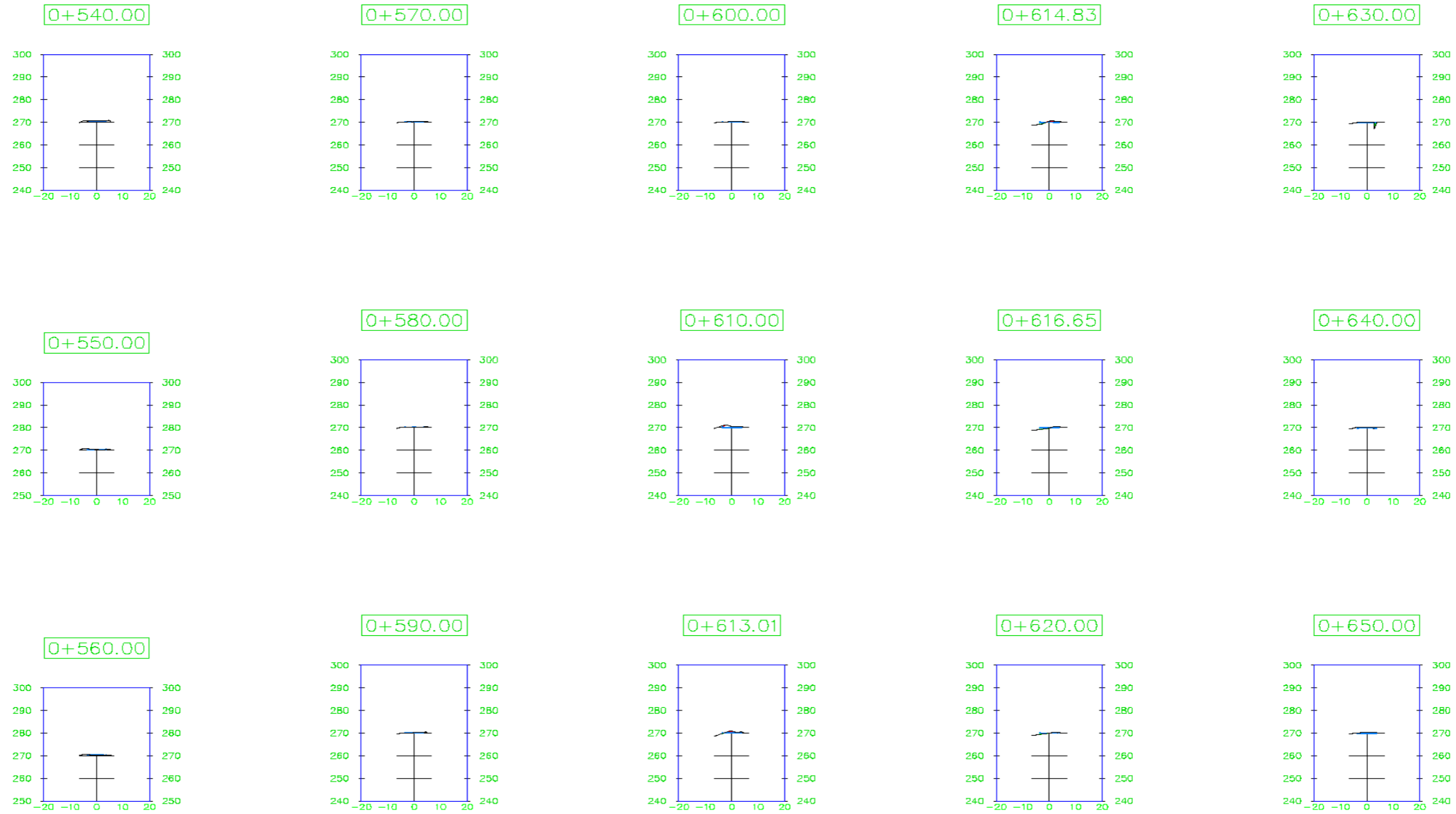
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000.
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025



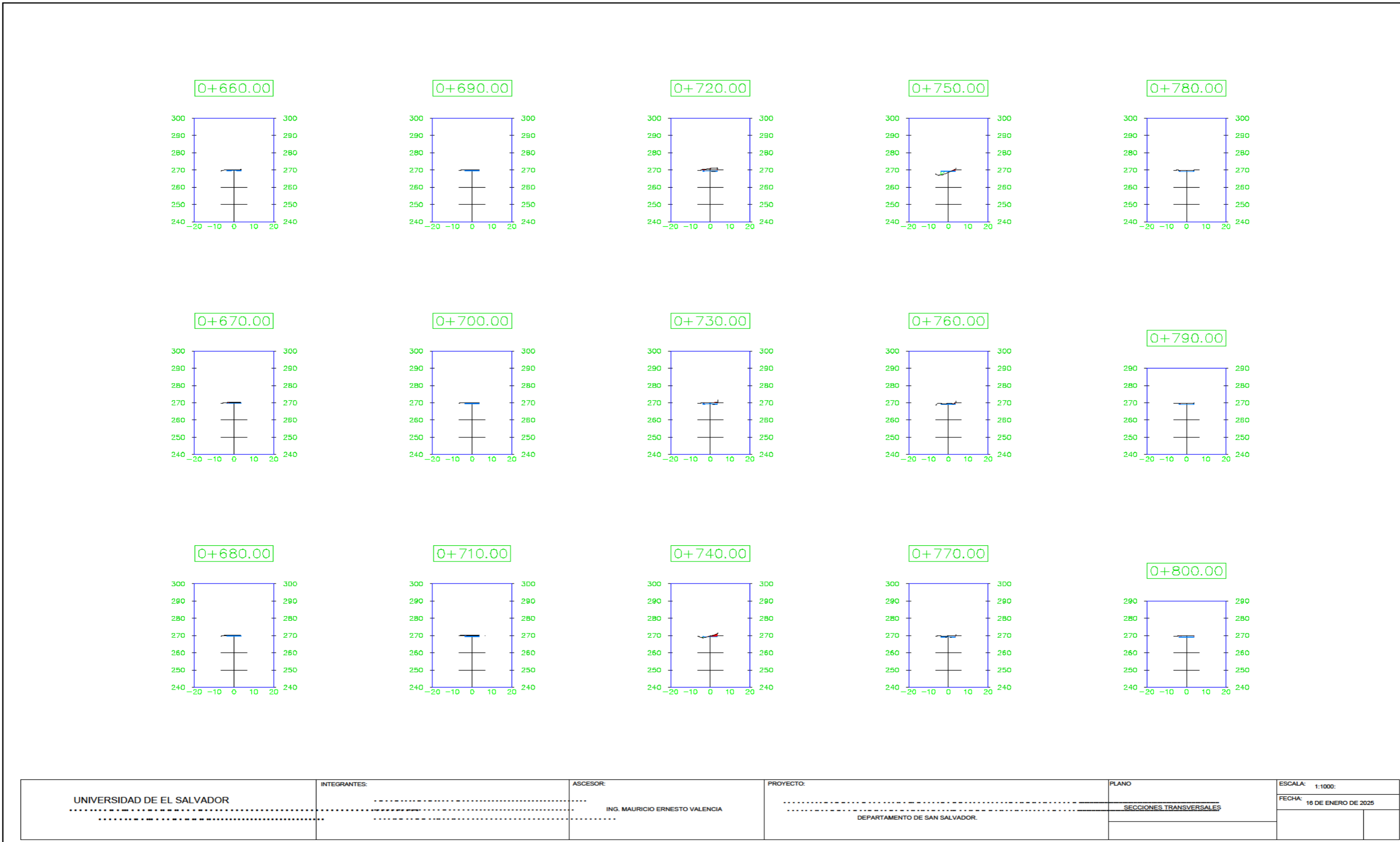
<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p>	<p>INTEGRANTES:</p>	<p>ASCESOR: ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA</p>	<p>PROYECTO: DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.</p>	<p>PLANO SECCIONES TRANSVERSALES</p>	<p>ESCALA: 1:1000; FECHA: 16 DE ENERO DE 2025</p>
-----------------------------------	---------------------	--	--	--	---



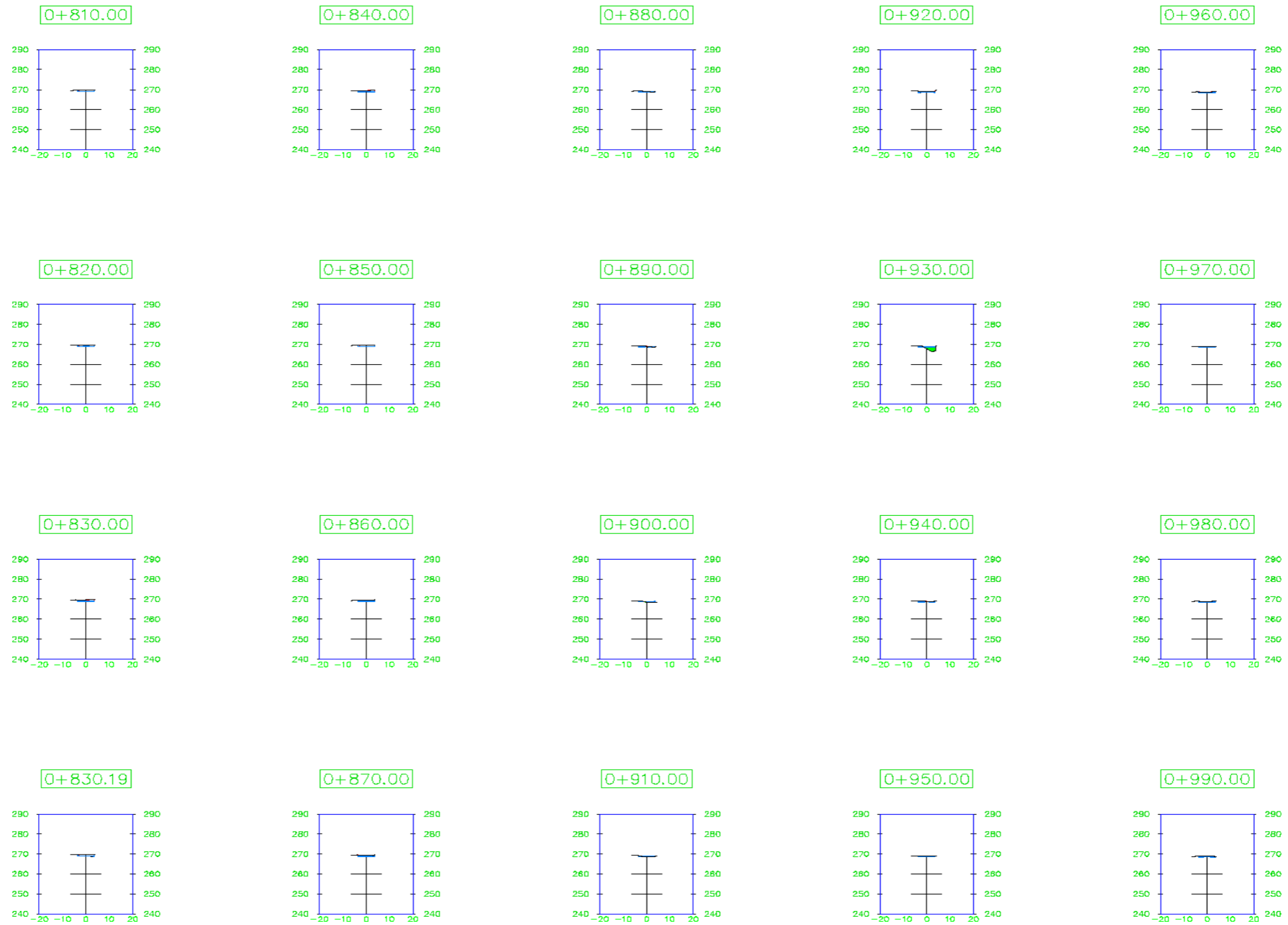
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000
	.....	ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	.....	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025
			DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.		



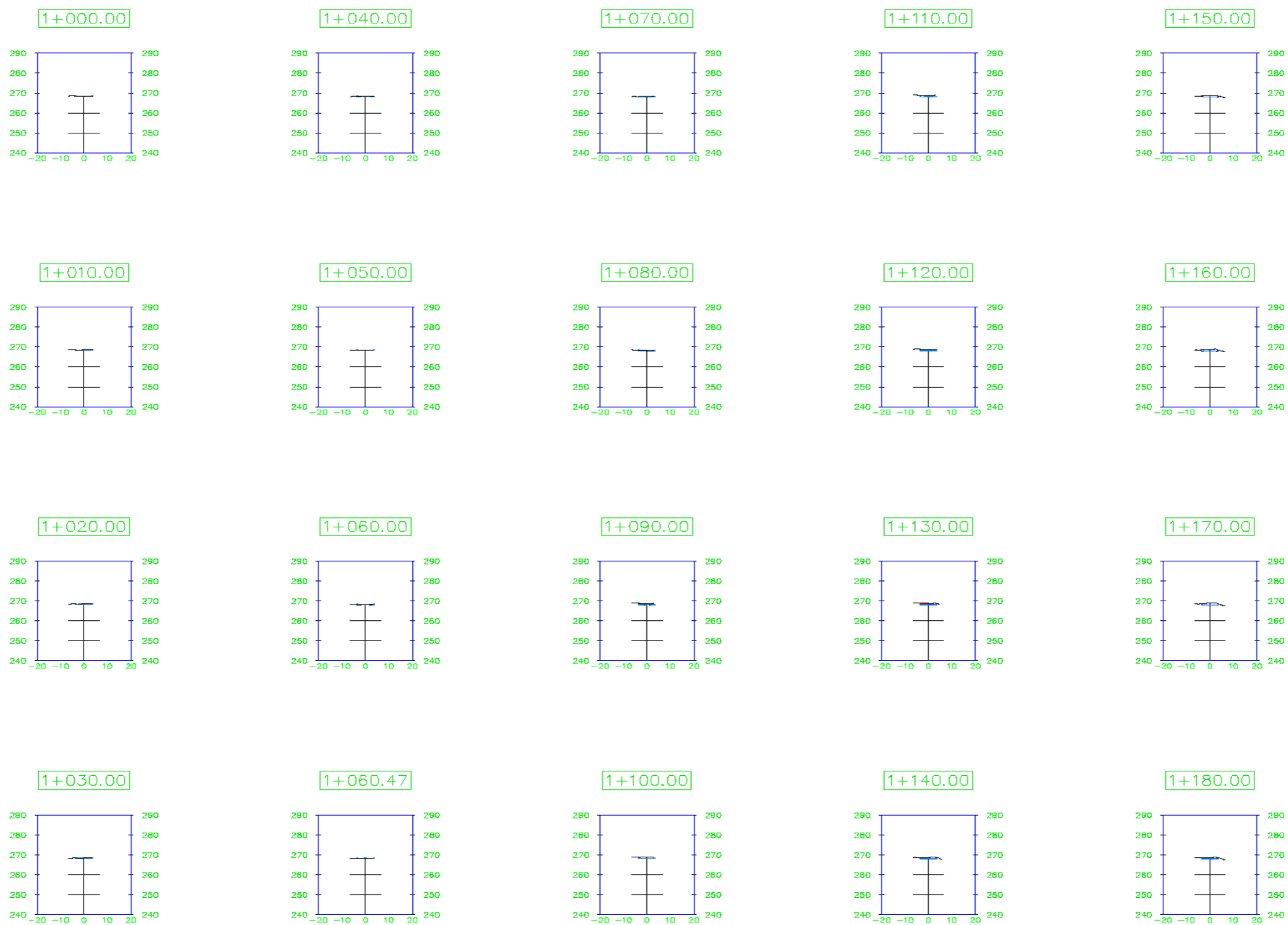
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000.
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025



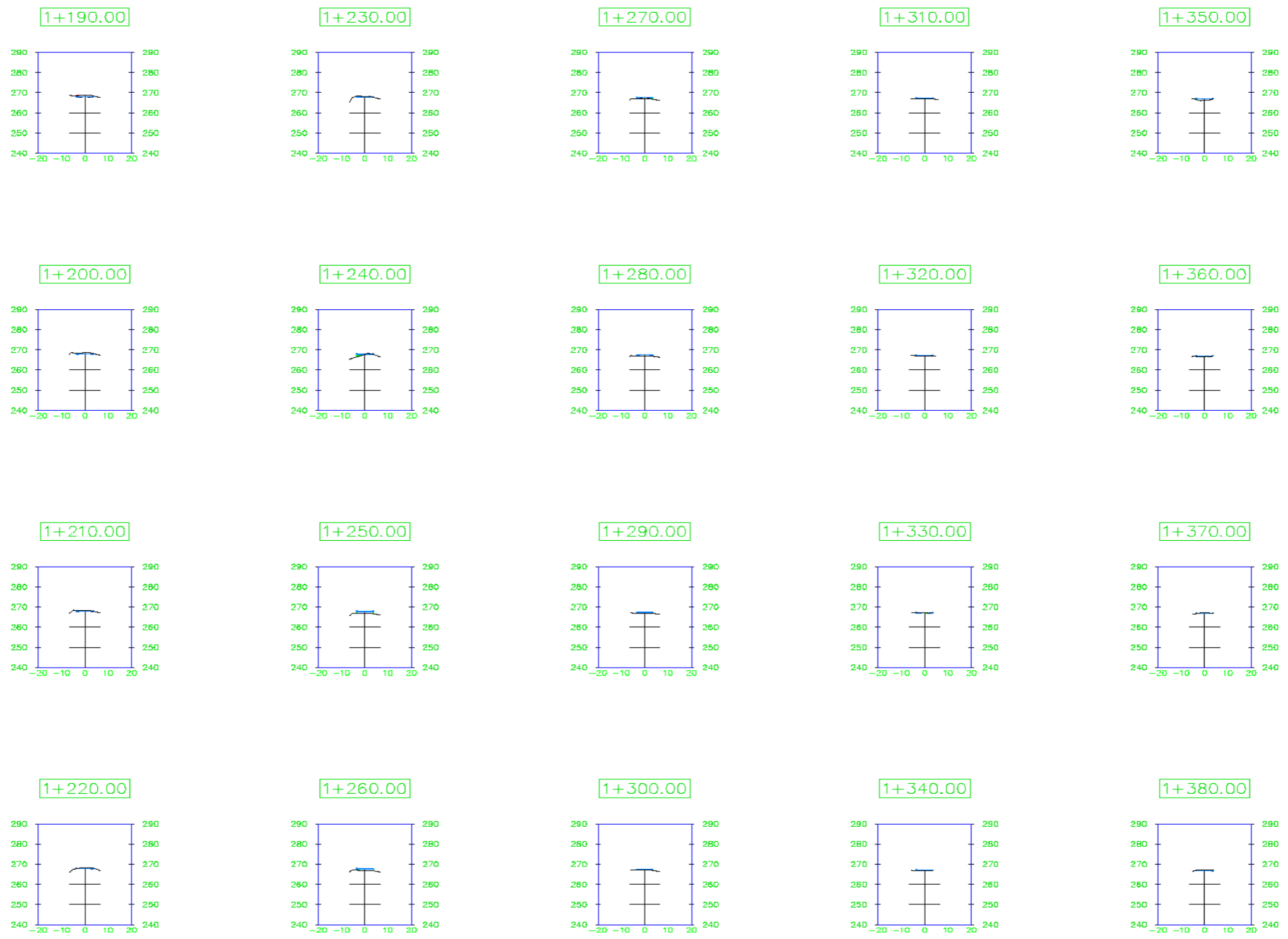
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000:
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 10 DE ENERO DE 2025



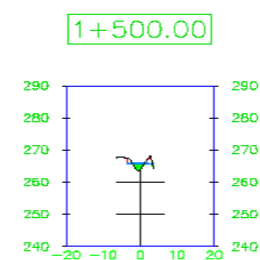
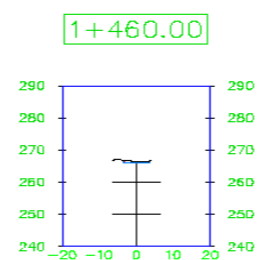
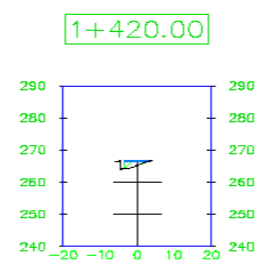
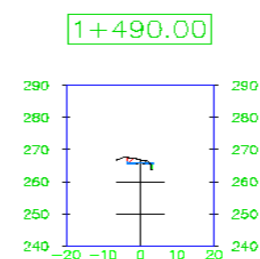
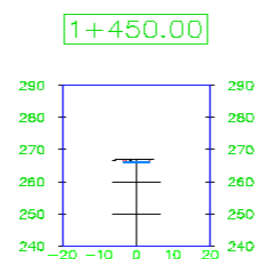
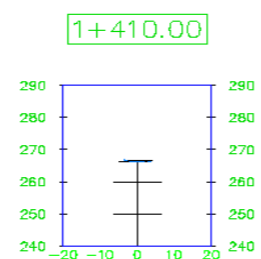
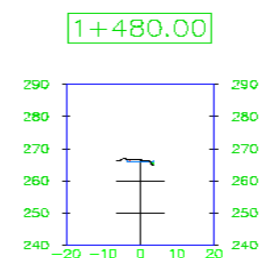
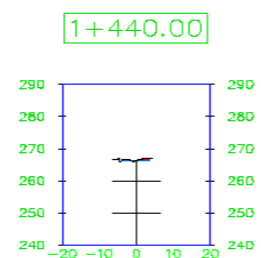
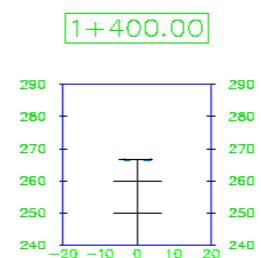
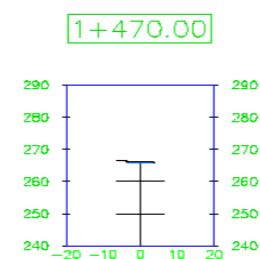
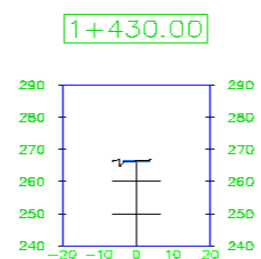
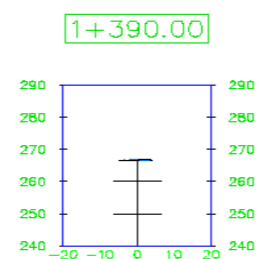
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000:
	.....	ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	.....	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025
			DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000:
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 16 DE ENERO DE 2025



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	INTEGRANTES:	ASCESOR:	PROYECTO:	PLANO	ESCALA: 1:1000:
		ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	SECCIONES TRANSVERSALES	FECHA: 10 DE ENERO DE 2025

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.00	1448.72	0.00	0.00	0.00	0.00
0+053.75	10.14	0.00	272.66	38937.53	272.66	38937.53
0+060.00	9.33	0.00	60.82	0.00	333.48	38937.53
0+067.56	9.63	0.00	71.67	0.00	405.15	38937.53
0+070.00	10.03	0.00	24.03	0.00	429.18	38937.53
0+080.00	7.99	0.00	90.33	0.00	519.51	38937.53
0+081.36	7.50	0.00	10.51	0.00	530.02	38937.53
0+100.00	0.00	0.00	69.89	0.00	599.92	38937.53
0+131.24	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+144.47	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+157.70	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+198.21	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+209.46	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+210.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+220.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+220.71	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+600.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+613.01	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+614.83	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+616.65	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+630.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+700.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+830.19	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
0+900.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+060.47	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.92	38937.53
1+580.39	0.00	961.53	0.00	38648.80	599.92	77586.32

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	INTEGRANTES: CINDY ETELVINA ALFARO PÉREZ JORGE LUIS FRANCO SÁNCHEZ GRACIA MARÍA MEJIVAR ESCOBAR	ASCESOR: ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE VIA DE ACCESO A CANTÓN SAN DIEGO DEL DISTRITO DE EL PAISNAL, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR NORTE, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.	PLANO TABLAS DE CORTE Y RELLENO	ESCALA: 1:1000 FECHA: 16 DE ENERO DE 2025

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- La vía de estudio ubicada en cantón San Diego, se encuentra en muy mal estado debido a la erosión y al escurrimiento que se genera debido a las lluvias. Lo que genera un desprendimiento y arrastre de los finos, así como estancamientos y hundimientos a lo largo de toda la vía. Esto se genera debido a diversos factores entre los cuales tenemos poca pendiente longitudinal y transversal que dificulta el desalojo de agua de la vía, esto generando que los vehículos dañen la rodadura de la vía. Otro factor importante es la falta de mantenimiento periódico y en casos mantenimiento inadecuado, a que se utiliza material que genera mayores problemas como desperdicio de construcciones.
- En los estudios realizados en la campaña geotécnica a los pozos a cielo abierto (PCA) se encontró una variación de material en la zona, donde se clasificó según sus propiedades físicas y mecánicas en normas ASTM y AASHTO. Se determinó que los suelos predominantes son las arenas pobremente graduadas y cuyos valores de CBR son menores 26.5% cuando según normativas deben ser entre el 35% y 60%.

- El número estructural obtenido para el diseño del pavimento flexible es 2.24, el cual refleja una estructura adecuada para soportar las cargas proyectadas en las condiciones de tránsito. Este valor fue calculado considerando los siguientes factores clave:
 1. Tránsito esperado: Se tomaron en cuenta las proyecciones del volumen de tráfico en términos de ejes equivalentes (ESALs), asegurando que la estructura del pavimento tenga la capacidad de resistir el esfuerzo acumulado durante su vida útil.
 2. Capacidad del suelo subrasante: El análisis del CBR o módulo resiliente del suelo subyacente mostró valores compatibles con un pavimento diseñado para esta magnitud de carga, garantizando un desempeño adecuado.
- El espesor de la estructura de pavimentos fue de la capa de rodadura de 3 pulgadas, base de 3 pulgadas, subbase de 6 pulgadas y la subrasante de 8 pulgadas.

Este valor de 2.24 garantiza una solución eficiente, asegurando la durabilidad y funcionalidad del pavimento durante su vida útil proyectada.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se deben realizar mantenimientos de manera periódica, para posibilitar el fácil acceso a la población sobre todo en época lluviosa, con materiales adecuados y un correcto perfilado de la calle para poder drenar de manera eficiente el agua.
- Es muy importante la realización una campaña geotécnica para determinar las características de los materiales existentes en la zona, a partir de los cuales se hacen las consideraciones adecuadas para realizar un tratamiento adecuado.

7.3 BIBLIOGRAFÍA

- LISSETH, G. T. S., & OFELIA, R. L. M. (2006, 1 ENERO). PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA ASTM 2003. [HTTPS://REPOSITORIO.UES.EDU.SV/ITEMS/A13121EA-D0B9-432A-B14F-693E62FDA9E5](https://repositorio.ues.edu.sv/items/A13121EA-D0B9-432A-B14F-693E62FDA9E5)
- Oir VMT
- Oir MARN
- PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE 5.0 KM DE VÍA DE ACCESO VECINAL MONTAÑOSA, FINAL COL. QUEZALTEPEQUE-CANTÓN VICTORIA, SANTA TECLA, LA LIBERTAD, UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA DISEÑO DE CARRETERAS”: HENRY ALEMAN VASQUEZ. FRANCISCO ALBERTO SUAREZ REYES, JOSUÉ ISAÍ NERIO AGUILAR, 2015
- MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2011 (SIECA)
- “PROPUESTA DE UN MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS PARA EL SALVADOR”, ALEGRÍA ORELLANA, RUBÉN FRANCISCO AYALA CARBALLO, CARMEN ELENA FUENTES QUIJADA, 2006.

- MANUAL DE CARRETERAS “DISEÑO GEOMÉTRICO” DG 2013, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ.

7.4 ANEXOS

7.4.1 Información proporcionada por la OIR

DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE LA OBRA PÚBLICA
SUBDIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE PASO Y DE INVENTARIOS VIALES
ÁREA DE ESTUDIOS DE TRÁNSITO - SAOPIV
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTÓRICO

DEPARTAMENTOS DE SAN SALVADOR Y CHALATENANGO				L I V I A N O S		P E S A D O S						TPDA
LISTADO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA				PASAJ.	CARGA	PASAJEROS		C A R G A				
CÓDIGO (Via/Eje)	TRAMO	AÑO	EST.	AUTO	PICK-UP	M. BUS	BUS	C2	C3	T3-S2	T3-S3	
CA04N	Aguilares (Desvío El Paisnal)- Limite Departamental Chalatenango (Puente Colima)	2005	SALISC001	1553	2979	26	451	926	139	83	26	6183
		2009		2965	3821	135	484	1055	89	232	103	8884
		2010		2694	3463	111	431	959	114	184	298	8254
		2015		3783	3419	47	433	1138	148	213	169	9350
CA04N	Limite Departamental San Salvador (Puente Colima) - CA03 (Amayo)	2005	SALISC001	1553	2979	26	451	926	139	83	26	6183
		2009		2965	3821	135	484	1055	89	232	103	8884
		2010		2694	3463	111	431	959	114	184	298	8254
		2015		3783	3419	47	433	1138	148	213	169	9350

FACTORES DE EXPANSIÓN DIARIO, NOCTURNO Y MENSUALES

NOMBRE DE LA ESTACION: SALISC001

UBICACIÓN: CA04N: Aguilares - Limite Departamental Chalatenango

FECHAS DE CONTEO: DE: viernes, 27 de noviembre de 2015

A: jueves, 3 de diciembre de 2015

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
FACTOR NOCTURNO	1.278	1.275	1.256	1.271	1.205	1.267	1.175
FACTOR DIARIO	1.015	1.004	1.008	1.039	1.004	1.138	0.792

FACTOR MENSUAL	FACTORES MENSUALES ESTACION PERMANENTE DE:								SALIPC001 GUAZAPA km 22+600 CA04N, San Salvador			
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0.9264	0.9276	0.9549	0.9756	0.9692	0.9951	1.0295	1.0159	1.0309	1.0648	1.1134	1.0303

3. Conteo vehicular: 8:00 am a 9:00 am.

PROYECTO		FECHA: 11/04/24		HORA: 3																													
AFORADORE:		PUNTO:																															
HORA: 8:00 am - 9:00 am																																	
DIR	A	PRATON	BICI	MOTOS	LIVIANO	PICKUP	MB	AB	C2	C3	C4	T52	T53																				
08:00-09:00	DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	08:00-09:00	DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		08:00-09:00	DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
			DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

5. Conteo vehicular: 10:00 am a 11:00 am.

PROYECTOR		FECHA: 11/04/24		HOJA: 5.																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
INFORMADOR		PUNTO:																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
HORA: 10:00 am - 11:00 am.																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
DE	A	PICKUP	MB	AB	C2	C3	C4	T352	T353																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300

6. Conteo vehicular: 11:00 am a 12:00 md.

PROYECTO:		FECHA: 11/04/24		HOJA: 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
AFORADORES:		PUNTO:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
NORA: 11:00 AM - 12:00 PM																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
DE	A	PEATON	BICI	MOTOS	UNIVANO	PICKUP	MB	AB	C2	C3	C4	T352	T353																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
060500	061000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

8. Conteo vehicular: 1:00 pm a 2:00 pm.

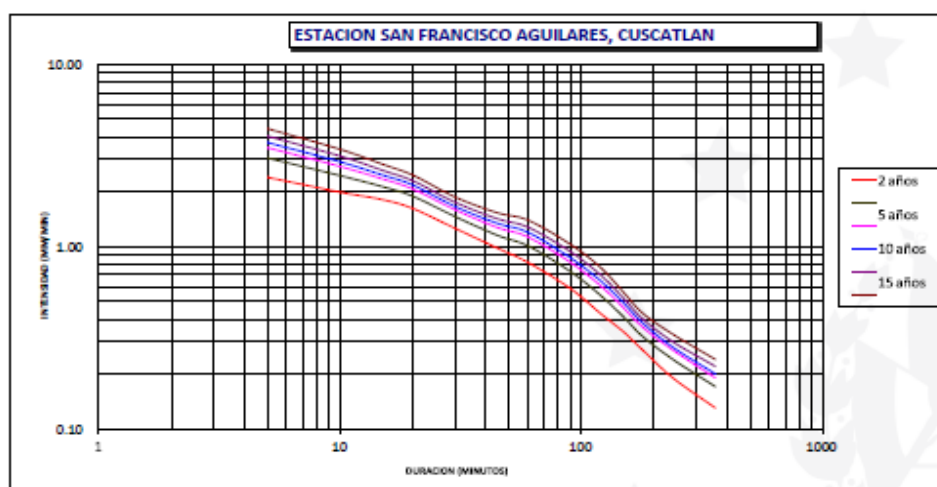
PROYECTO:		PUNTO:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
INFORMADOR:		FECHA: 11/04/24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
HORA: 1:00 PM - 2:00 PM.		HOJA: 8.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
CONTADO DE TRANSITO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
DE	A	MOTOCICLETAS															CAMIONETAS															CAMIONES															OTROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
DE	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

7.4.3 Información proporcionada por OIR MARN para Estación Meteorológica San Francisco Aguilares, Cuscatlán.



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

DIRECCION DEL OBSERVATORIO DE AMENAZAS Y RECURSOS NATURALES



DURACION	2 años	5 años	10 años	15 años	25 años	50 años
5	2.40	3.05	3.49	3.75	4.04	4.44
10	1.99	2.45	2.75	2.92	3.14	3.42
15	1.81	2.13	2.35	2.47	2.62	2.83
20	1.62	1.89	2.07	2.18	2.30	2.47
30	1.26	1.46	1.59	1.66	1.75	1.87
45	0.98	1.15	1.27	1.34	1.42	1.53
60	0.82	1.01	1.13	1.20	1.26	1.40
90	0.59	0.73	0.82	0.87	0.94	1.03
120	0.43	0.54	0.61	0.65	0.70	0.77
180	0.34	0.41	0.45	0.49	0.52	0.56
180	0.27	0.32	0.35	0.38	0.40	0.43
240	0.19	0.24	0.27	0.28	0.30	0.33
360	0.13	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24

DATOS DE INTENSIDAD (MM/MIN) POR AÑO Y DURACION DE LLUVIA

Kilómetro 5 ½ carretera a Santa Tecla, colonia y calle Las Mercedes, edificios MARN
San Salvador, El Salvador, Tel.: (503) 2132-9753. Correo electrónico: medioambiente@marn.gob.sv
www.marn.gob.sv