

UES  
501  
634e  
995  
J2

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



**TEMA DE TRABAJO DE GRADUACION:**

**"EVALUACION DE PAVIMENTOS DE  
CONCRETO ASFALTICO EN CARRETERAS  
APLICANDO LA VIGA BENKELMAN Y  
PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA  
REHABILITACION Y MANTENIMIENTO"**

**PRESENTADO POR:**

**ADRY VIVINA FLORES ALVARADO  
JOSE ERNESTO HERNANDEZ AGUILAR  
JOSE ROLANDO MARTINEZ PENADO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**



15101914  
15101914

**JULIO DE 1995**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA**

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

## FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

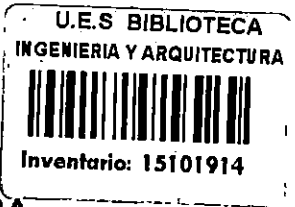
ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

## ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ





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

**TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**"EVALUACION DE PAVIMENTOS DE  
CONCRETO ASFALTICO EN CARRETERAS  
APLICANDO LA VIGA BENKELMAN Y  
PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA  
REHABILITACION Y MANTENIMIENTO"**

**TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:**

**COORDINADOR :**

**ING. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ** 

**ASESOR:**

**ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA** 

## DEDICATORIA

- GRACIAS A DIOS: *Por darme la oportunidad de obtener una de mis metas y la capacidad desenvolverme durante el transcurso de la carrera.*
- A MIS PADRES : *José Estanislao Flores y Delmy E. de Flores Alvarado, por darme confianza, fe y amor en todo momento.*
- MI HERMANA: *Marta Cecilia aunque no este presente; si estuviera a nuestro lado se uniría a compartir esta alegría..*
- MIS HERMANOS: *Regina, Antonio, Mauro, Daysi y Delmy Ruth por el apoyo que me dieron para culminar esta carrera.*
- MIS SOBRINOS: *Por la ternura y alegría que me dan.*
- MIS COMPAÑEROS y AMIGOS: *Por la estimación y respeto que tienen hacia a mí.*

*Adry Vivina.*

# DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO, por permitirme lograr una de mis metas.

A MI MADRE: María del Rosario.

A MI PADRE: José Cublas.

A MI ABUELA: María Jesús.

A MIS TIOS: María Estela, Jorge Alberto  
María Mercedes, María Teresa  
y José Roberto.

A MIS HERMANOS: Leyla Samira, Ana Cecilia,  
Carlos Alfredo y Raul Antonio.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: Que me apoyaron en todo momento.

Muchas Gracias.

José Ernesto.

## DEDICATORIA

A DIOS, por sus bendiciones en mi vida y por la sabiduría que me ha dado para alcanzar este triunfo.

A MI MAMA : Victoria Penado, agradeciéndole su amor, sacrificio y confianza, pues aún estando lejos he sentido su apoyo siempre.

A MI PAPA: Max Martínez por impulsarme a realizar la meta que hoy alcanzo.

A MIS HERMANOS: Anitoy, Raul y Max por el apoyo, compañía y ánimo en el desarrollo de mi carrera.

A MIS COMPAÑEROS: Adry y Ernesto por los momentos de trabajo, riñas, discusiones y amistad que me brindaron.

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS: que me alentaron a seguir adelante en mis estudios.

A todos ustedes mi agradecimiento sincero.

Rolando.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros asesores Ingro. Rogelio Ernesto Godínez González y al Ingro. Mario Angel Gúzman Urbina por su apoyo y orientación profesional a lo largo de todo este trabajo.

Expresamos nuestro agradecimiento a la Dirección General de Caminos (D.G.C.) por la colaboración brindada en la ejecución de ensayos, a través de la Ingra. Silma Lydice Rosales de Gómez, jefa del Departamento de Aforos y Ensayos, y de manera muy especial al personal de la Sección de laboratorio de Suelos y Materiales, y la Sección de Conteo por su valioso apoyo y colaboración.

Agradecemos también, al Centro de Investigaciones Geotécnicas (C.I.G.) y a la empresa Tablas Amaya S.A. de C.V. por colaborar en el préstamo de equipo para la ejecución de ensayos. A todos ellos nuestros más sinceros agradecimientos.

## RESUMEN -

En este trabajo de graduación "EVALUACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO EN CARRETERAS APLICANDO LA VIGA BENKELMAN Y PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA REHABILITACION Y MANTENIMIENTO" se evalúan las condiciones actuales en que se encuentra la red vial pavimentada del país (diagnóstico). También se expone cómo ha evolucionado la evaluación estructural de estas vías hasta 1970 y después de este año hasta la fecha de 1995.

Siendo la evaluación estructural del pavimento de concreto asfáltico el principal objetivo de este trabajo , esta se realizó con la Viga Benkelmam en tres (3) tramos de carreteras considerados a partir de su deterioro actual como bueno, regular y malo.

En estos tramos de carreteras se calculan los espesores de sobrecapa a colocar para prolongar su vida útil; primero aplicando el Modelo de Hogg y luego del Método del Instituto del Asfalto (MIA) comprobando que con el Modelo de Hogg, se obtienen espesores mayores de 5.0 cm hasta 17.8 cm mientras que con el MIA espesores entre 0.0 cm a 7.8 cm. Los valores de módulos de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ), estimados con el Modelo de Hogg oscilan entre 379.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 818.6 Kg/cm<sup>2</sup>. Se realizaron además cuatro pruebas de placas en los tramos regular y malo para comprobar el módulo de elasticidad cuyos

resultados varían de 357.72 Kg/cm<sup>2</sup> a 1326.85 Kg/cm<sup>2</sup>; éstos valores representan mejor a la subrasante según el tipo de suelo encontrado (SM).

Por medio de esta prueba se comprobó también que la carpeta asfáltica de 2.5 cm., encontrada en los dos tramos de prueba regular y malo, esta trabaja en conjunto con la capa de base y tienen igual aporte estructural.

La evaluación estructural indirecta con la Viga Benkelman genera ahorro de inversión (para el caso se ahorro 59%), es rápida (mayor kilometro por día), práctica y de resultados que permiten la toma adecuado de decisiones y establecer el tipo de mantenimiento a realizar.

En el apéndice, se proponen lineamientos generales que se consideran que se deben aplicar para la evaluación estructural efectiva de las carreteras pavimentadas del país, y llegar así a resultados con los que confiablemente se decida el tipo de mantenimiento que se deba aplicar en la rehabilitación de estas vías; lo cual sería válido para un programa de la D.G.C. en todo el país, de acuerdo a la planificación y control que esta hace de las carreteras.

# ÍNDICE GENERAL

## CAPITULO I

### "MARCO TEORICO"

	Pág.
INTRODUCCION . . . . .	2
ANTECEDENTES . . . . .	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA . . . . .	4
OBJETIVOS . . . . .	5
ALCANCES . . . . .	6
LIMITACIONES . . . . .	6
JUSTIFICACIÓN . . . . .	7
LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS DE EL SALVADOR Y SUS CONDICIONES ACTUALES: DIAGNÓSTICO . . . . .	9
a) TIPOS DE FALLAS EN LAS CARRETERAS DEL PAÍS. . . . .	15
FALLAS MÁS FRECUENTES Y SU ORIGEN . . . . .	17
IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO SEGÚN SU CONDICIÓN: BUENA, REGULAR, MALA. . . . .	19
b) EL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS Y LOS MÉTODOS Y TECNICAS QUE SE HAN APLICADO . . . . .	33
ANTECEDENTES DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS EN EL SALVADOR (EXPERIENCIA SEGÚN LA DGC Y LA DUA). . . . .	40
MÉTODO DIRECTO O TRADICIONAL: VISUAL O MUESTRERO . . . . .	47

## CAPITULO II

# "EVALUACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES HECHOS DE CONCRETO ASFALTICO"

	Pág.
INTRODUCCION . . . . .	51
ENSAYOS INDIRECTOS USADOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES . . . . .	52
LA VIGA BENKELMAN . . . . .	54
A) DESCRIPCIÓN . . . . .	54
B) EQUIPO, MATERIALES Y PERSONAL QUE SE UTILIZA . . . . .	55
C) PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO . . . . .	58
MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN BASADOS EN LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO . . . . .	67
MÉTODO BASADO EN LOS MODELOS DE HOGG Y BURMISTER . . . . .	67
P1. CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE . . . . .	76
P2. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO . . . . .	82
P3. ESPESOR DE LA SOBRECAPA DEL PAVIMENTO ( $D_{Hópt.}$ ) . . . . .	90
MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS ESTADOS UNIDOS (MIA) . . . . .	90
A) EL TRÁNSITO VEHICULAR. . . . .	90
B) FACTOR DE AJUSTE DE TEMPERATURA( $F_T$ ). . . . .	96
C) FACTOR DE AJUSTE ESTACIONAL DEL AÑO. ( $F_e'$ ). . . . .	100
D) DISEÑO DE LA SOBRECAPA DEL PAVIMENTO. . . . .	101
PROCEDIMIENTO DE CAMPO . . . . .	104

	Pág.
A) VERIFICACIÓN DEL TRÁNSITO. . . . .	104
B) VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA . . . . .	105
COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DE LAS DEFLEXIONES . . . . .	107
LA PRUEBA DE PLACAS PARA VERIFICAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL PAVIMENTO Y EL DE LA SUBRASANTE. . . . .	108
PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN EL CAMPO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE PLACAS DE CARGA . . . . .	112
A) EQUIPO UTILIZADO . . . . .	112
B) PASOS A SEGUIR. . . . .	113

### CAPITULO III

#### "CALCULOS Y ANALISIS DE RESULTADOS"

INTRODUCCION . . . . .	119
CÁLCULO DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE Y DEL PAVIMENTO . . . . .	120
TRAMO REGULAR : ATEOS - JAYAQUE . . . . .	120
TRAMO MALO: DESVIO SAN JUAN OPICO-QUEZALTEPEQUE . . . . .	130
APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG Y DISEÑO DE LA SOBRECAPA . . . . .	142
EJECUCIÓN DEL PROGRAMA FORTRAN (ENTRADA Y SALIDA DE DATOS) . . . . .	143
EJEMPLO DE APLICACION DEL PROGRAMA FORTRAN COMO REFERENCIA EL TRAMO MALO:DESVIO SAN JUAN OPICO QUEZALTEPEQUE (CA-1) . . . . .	146
ENTRADA Y SALIDAD DE DATOS EN LA APLICACION DEL MODELO DE HOGG . . . . .	156

	Pág.
GRÁFICA DE ESPESORES DE REFUERZO SEGÚN EL MODELO DE HOGG . . . . .	160
CURVAS DE DEFLEXIONES PARA LOS TRAMOS BUENO, REGULAR Y MALO . . . . .	164
APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS ESTADOS UNIDOS (MIA) Y DISEÑO DE LA SOBRECAPA . . . . .	180
TRAMO BUENO: SANTA ANA - TEXISTEPEQUE (CA-12) . . . . .	181
TRAMO REGULAR: ATEOS - JAYAQUE (CA-8) . . . . .	188
TRAMO MALO: DESVÍO SAN JUAN OPICO QUEZALTEPEQUE (CA-1) . . . . .	195
ANÁLISIS DE COSTOS. . . . .	205
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS . . . . .	207

## CAPITULO IV

### "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	215
BIBLIOGRAFIA . . . . .	220
APENDICE: LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA REHABILITACION Y EL MATENIMIENTO DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS CON CONCRETO ASFALTICO . . . . .	222
ANEXOS . . . . .	244
DATOS DE DEFLEXIONES DE CAMPO DE VIGA BENKELMAN . . . . .	245
DATOS DEL ENSAYO DE PLACA DE CARGAS . . . . .	248
DATOS DE TRANSITO Y TEMPERATURA . . . . .	252

# ÍNDICE DE CUADROS

## CAPITULO I

N°		Pág
1	LONGITUD DE LA RED VIAL PAVIMENTADA DE EL SALVADOR, SEGUN CLASIFICACION TECNICA . . . . .	11
2	CONDICIONES DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS 1989 Y 1991 . . . . .	12
3	DATOS GENERALES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS CARRETERAS MAS IMPORTANTE DE EL SALVADOR (NOV./71) .	14
4	FALLAS MAS FRECUENTES Y SU ORIGEN . . . . .	18
5	NORMA DE EJECUCION. BACHEO SUPERFICIAL . . . . .	39
6	ENSAYOS A EJECUTAR Y PROPIEDADES A INVESTIGAR . . .	48

## CAPITULO II

7	EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS MAS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS . . . . .	53
8	COEFICIENTES DE CORRELACION DE LA CURVAS DE DEFLEXIONES DEL MODELO DE HOGG PARA EL CALCULO DE $R_{0.5}$ . . . . .	77
9	COEFICIENTES DE CORRELACION DE LAS CURVAS DE DEFLEXIONES DEL MODELO DE HOGG PARA EL CACULO DE $L_0$ . . . . .	78
10	COEFICIENTES NUMERICOS PARA OBTENER LA RELACION DE RIGIDECES ( $K^*$ ) . . . . .	81

N°		Pág
11	COEFICIENTES NUMERICOS PARA OBTENER EL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE ( $E_0$ ) . . . . .	81
12	ASIGNACION DEL NIVEL DE CONFIANZA Y VALORES DE $Z_r$ .	90
13	FACTOR DE CAMIONES TIPO . . . . .	91
14	FACTOR DE CARRIL . . . . .	93
15	FACTOR DE CRECIMIENTO DEL TRANSITO . . . . .	95
16	COMPARACION DE LOS METODOS DE INTERPRETACION DE LAS DEFLEXIONES . . . . .	107

### CAPITULO III

17	y	
18	RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE PLACAS DEL PROYECTO CA:8 ATEOS-JAYAQUE . . . . .	139
19	y	
20	PROYECTO CA:1 SAN JUAN OPICO-QUEZALTEPEQUE . . . . .	140
21	DATOS ADICIONALES OBTENIDOS EN PRUEBA DE PLACAS . .	141
22	RESUMEN COMPARATIVO DE MODULOS DE ELASTICIDAD OBTENIDOS CON PRUEBA DE PLACAS Y APLICANDO EL MODELO DE HOGG . . . . .	155
23	DATOS DE TRANSITO (TRAMO BUENO) CA:12 SANTA ANA-TEXISTEPEQUE . . . . .	181
24	CALCULO DEL ESAL (TRAMO BUENO) CA: 12 SANTA ANA-TEXISTEPEQUE . . . . .	183
25	DATOS DE TEMPERATURA (TRAMO BUENO CA: 12 SANTA ANA-TEXISTEPEQUE) . . . . .	184
26	CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVA DE REBOTE REAL (TRAMO BUENO CA: 12 SANTA ANA-TEXISTEPEQUE) . .	187
27	DATOS DE TRANSITO (TRAMO REGULAR) . . . . .	188

N°		Pág
28	CALCULO DEL ESAL (TRAMO REGULAR) . . . . .	191
29	DATOS DE TEMPERATURA (TRAMO REGULAR) . . . . .	191
30	CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVO DE REBOTE REAL (TRAMO REGULAR) . . . . .	194
31	DATOS DE TRANSITO (TRAMO MALO) . . . . .	195
32	CALCULO DEL ESAL (TRAMO MALO) . . . . .	198
33	DATOS DE TEMPERATURA (TRAMO MALO) . . . . .	198
34	CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVO DE REBOTE REAL (TRAMO MALO) . . . . .	201
35	RESUMEN DE LOS ESPESORES DE SOBRECAPA, APLICANDO EL MODELO DE HOGG Y EL METODO PROPUESTO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS ESTADOS UNIDOS (MIA) . . . . .	202
36	TYPICAL RANGES OF LOSS OF SUPPORT (LS) FACTORS FOR VARIOUS TYPES OF MATERIALS . . . . .	208
37	RELACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD SEGUN ENSAYO PRUEBA DE PLACAS Y APLICACION DEL MODELO DE HOGG . .	210
38	CBR OBTENIDO CON MODELO DE HOGG Y CBR PROYECTADO A PARTIR DE LA PRUEBA DE PLACAS . . . . .	211
39	FACTOR DE PROPORCIONALIDAD EN LA SUBRASANTE . . . . .	212

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II

I	DESCRIPCION Y POSICIONES DE LA VIGA BENKELMAN Y LOS FACTORES GEOMETRICOS QUE LA AFECTAN . . . . .	54
---	--	----

N°		Pág
II	APLICACION DE LA CARGA SEGUN LA POSICION DEL CAMION MOSTRADO . . . . .	55
III	UBICACION DE LOS PUNTOS PARA LA TOMA DE DEFLEXIONES EN LA VIA (ESQUEMA EN PLANTA) . . . . .	58
IV	ESQUEMA DEL PROCESO DE MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN . . . . .	61
V	POSICION DE LA VIGA BENKELMAN EN EL EJE TRASERO DEL CAMION . . . . .	62
VI	MODELO PAVIMENTO-SUBRASANTE . . . . .	68
VII	GRAFICA DE RELACION DE MODULOS DE ELASTICIDAD DEL PAVIMENTO-SUBRASANTE ( $E_1/E_2$ ) . . . . .	70
VIII	GRAFICA PARA LA EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE ( $E_2$ ) MODELO DE BURMISTER. VIGA BENKELMAN.VALIDA PARA UN ESPESOR DE $T=50$ cms . . . . .	71
IX	GRAFICA PARA OBTENER LA LONGITUD CARACTERISTICA ( $L_{o(cm)}$ ) . . . . .	73
X	GRAFICA PARA OBTENER EL MODULO DE LA ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE $E_2$ . MODELO DE HOGG; VIGA BENKELMAN . . . . .	75
XI	EJEMPLO DE $R_{0.5}$ PARA DR/DO MENOR QUE 0.5 . . . . .	76
XII	SIGNIFICADO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CURVAS DE DEFLEXIONES . . . . .	80
XIII	PAVIMENTO EQUIVALENTE . . . . .	82
XIV	ESPESOR EFECTIVO EN TERMINO DE BASE GRANULAR (HEB) . . . . .	84
XV	CARTA PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA PARA CONCRETO ASFALTICO DENSO BASADO EN EL MODULO DE ELASTICIDAD (RESILIENCIA) . . . . .	87
XVI	VARIACION DEL COEFICIENTE DE CAPA DE BASE GRANULAR ( $a_2$ ) CON VARIOS PARAMETROS DE RESISTENCIA . . . . .	88

N°	Pág
XVII TEMPERATURA A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL PAVIMENTO . . . . .	99
XVIII FACTOR DE AJUSTE PARA TEMPERATURA . . . . .	100
XIX NUMERO DE PASADAS DE CARGA EQUIVALENTE DE EJE SENCILLO DE 8.2 TONELADAS . . . . .	101
XX ESPESOR DE SOBRECAPA . . . . .	104
XXI APLICACION DE PRUEBA DE PLACAS . . . . .	109
XXII PATRON BASICO DE LAS CURVAS DE INFLUENCIA DE ESFUERZO DE BURMISTER . . . . .	110
XXIII GRAFICA DE RELACIONES DE MODULO $E_2/E_1$ . . . . .	111

### CAPITULO III

XXIV CURVA DE DEFLEXION . . . . .	143
-----------------------------------	-----

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

### CAPITULO I

1	1. PIEL DE COCODRILO. 2. DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES. 3. FORMACION DE BACHES. 4. TRABAJOS DE BACHEO . . . . .	20
2	1. GRIETA DE BORDE. 2. PIEL DE COCODRILO. 3. FINALIZACION DE LA GRIETA . . . . .	22
3	AHUELLAMIENTO . . . . .	24
4	VEGETACION EN LOS LATERALES DE LA CALZADA . . . . .	26
5	1. PIEL DE COCODRILO. 2. BACHES. 3. BACHEO. 4. BACHEO CON MATERIAL ORGANICO VEGETAL . . . . .	28

N°		Pág
6	1. DESINTEGRACION DEL BORDE. 2. BACHEO EN EL BORDE DEL PAVIMENTO . . . . .	29
7	1. DESINTEGRACION DEL BORDE. 2. BACHEO EN EL BORDE DEL PAVIMENTO. 3. PELADURA DE LA CARPETA. 4. VEGETACION EXISTENTE EN EL HOMBRO . . . . .	32

## CAPITULO II

8	PRUEBA DE PLACAS EN LA CARPETA . . . . .	115
9	PRUEBA DE PLACAS EN LA CAPA DE BASE . . . . .	116
10	PRUEBA DE PLACAS EN LA SUBRASANTE (A 33 cms DE PROFUNDIDAD) . . . . .	117

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

D.G.C.:	Dirección General de Caminos.
C.I.G.:	Centro de Investigaciones Geotécnicas.
M.I.A.:	Método del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos.
T.P.D.A.:	Tráfico promedio diario anual.
E.S.A.L.:	Número de pasadas de carga equivalente a un eje sencillo de 8.2 Ton de diseño.
S.I.A.M.V. :	Sistema Integral de Administración de Mantenimiento de Vialidades

## SIMBOLOGIA

A:	Extensión de los daños, clasificación alta.
A:	Radio del área de contacto de la llanta.
A,B,C:	Coefficientes de correlación contenidos en el cuadro N°8.
$A_T$ y $B_T$ :	Factores que dependen del tráfico futuro (ESAL).
a:	Radio de la placa circular.
B:	Extensión de los daños, clasificación baja.
C:	Corte.
C:	Carga proporcionada por el camión estacionada.
CA:	Carga de ajuste
CBR:	Valor relativo de soporte en porcentaje.
CM:	Carga muerta debido al peso del gato hidráulico, las placas y extensores.
$C_T$ :	Carga total aplicada a la superficie ( $C_T = F$ )
DO:	Deflexión máxima en el pavimento.
DR:	Deflexión a una distancia R.
DR/DO:	Relación de deflexión a una distancia R entre la deflexión máxima.
DH:	Espesor de refuerzo requerido promedio.
$D_{Hopt}$ :	Espesor de refuerzo óptimo.
DRR:	Deflexión relativa real.
$DRR_d$ :	Deflexión representativa de rebote de diseño.
$DRR_R$ :	Deflexión representativa de rebote real.
E:	Abertura de la fisura, escasa.

E1:	Módulo de elasticidad de la capa superior.
E2:	Módulo de elasticidad de la capa inferior en un arreglo de 2 capas.
Eo:	Módulo de elasticidad de la subrasante.
E*:	Módulo de elasticidad equivalente del pavimento existente.
E <sub>s</sub> :	Módulo de elasticidad de la subrasante.
E <sub>sb</sub> :	Módulo de elasticidad de la subbase.
E <sub>b</sub> :	Módulo de elasticidad de la base.
E <sub>ca</sub> :	Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica.
EE:	Aporte estructural del pavimento existente equivalente en mezcla asfáltica en caliente.
e:	Espesor del pavimento.
e <sub>∞</sub> :	Espesor infinito de la subrasante.
F <sub>e</sub> :	Factor de equivalencia de una carga estandard de 8.2 Ton.
F <sub>e</sub> ':	Factor de ajuste estacional del año.
F <sub>T</sub> :	Factor de ajuste de temperatura.
F <sub>2</sub> :	Factor adimensional.
H=h:	Profundidad de la capa rígida.
H/Lo=10:	Profundidad finita de la capa rígida o rocosa.
H1:	Espesor de la carpeta asfáltica.
H2:	Espesor total de la base y subbase.
HEB:	Espesor efectivo en término de base granular del pavimento existente.
h/a:	Relación entre el espesor del pavimento y el radio de la placa.
I:	Coefficiente numérico contenidos en el cuadro N°11.

$k_p$ :	Rigidez para carga puntual transmitida por el eje del camión.
$k_d$ :	Rigidez para carga distribuida en el área de contacto de la rueda doble.
$k_p/k_{sr}$ :	Relación de rigideces del pavimento y la subrasante.
$K^* = k_p/k_d$ :	Relación de rigideces para carga puntual y carga distribuida.
$K_v$ :	Coefficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson.
$K$ :	Módulo de reacción.
$Lo$ :	Longitud característica.
$L$ :	Carga actual por eje para un tipo de vehículo.
$M$ :	Coefficiente numérico, contenido en el cuadro N° 10.
$M$ :	Extensión de los daños, clasificación media.
$N$ :	Suma de los valores individuales de las deflexiones.
$n$ :	Período de diseño del pavimento.
$P$ :	Carga sobre la rueda doble.
$p$ :	Presión de inflado de los neumáticos.
$p$ :	Presión transmitida a la placa.
$R$ :	Distancia donde se mide la deflexión a partir del centro geométrico de carga.
$R$ :	Relleno.
$Ra$ :	Radio de la huella circular de contacto.
$R_{0.5}$ :	Distancia del centro de gravedad de carga de la rueda doble en dirección longitudinal para el cual se obtiene la relación $DR/DO=0.5$ .
$r$ :	Tasa de crecimiento anual de tránsito.

$r, Z_1, R_1, Z_2, R_2, Z_3, R_3$ :	Factores que dependen de $R_a, T, E_o, H_E$ para calcular el módulo de elasticidad del pavimento ( $E^*$ ).
S:	Abertura de la fisura, severa.
S:	Desviación standard ( $S = SD$ ).
T:	Espesor total del pavimento.
TA=ED:	Espesor de diseño de un pavimento nuevo para una demanda de tráfico futuro equivalente en mezcla asfáltica en caliente.
$T_{CA}$ :	Temperatura de la superficie de la carpeta asfáltica.
$T_{(e/2)}$ :	Temperatura a media profundidad de la carpeta asfáltica.
$T_{(e)}$ :	Temperatura a profundidad total de la carpeta asfáltica.
$T_p$ :	Temperatura promedio ponderada.
X:	Valor individual de cada deflexión.
X:	Promedio de los valores de las deflexiones.
Y,m:	Coefficiente de correlación contenidos en el cuadro N° 9.
Zr:	Nivel de confianza utilizado en el Modelo de Hogg.
$\alpha$ :	Extensión horizontal infinita.
v:	Coefficiente de Poisson.
$\Delta$ :	Deformación.

## INTRODUCCION GENERAL

El estado de deterioro generalizado en que se encuentra la red vial nacional, ha sido hasta la fecha un problema a resolver por parte de la D.G.C., encargada de velar por su conservación y funcionabilidad. Bajo este principio, se retoma en este trabajo de graduación el método de evaluación de pavimentos de concreto asfáltico usando la Viga Benkelman. Por ello, se exponen los métodos de análisis que toman en cuenta las deflexiones del pavimento que se miden en el campo con esta Viga.

Con tal propósito se ejecutan los ensayos de campo en tres (3) tramos de carreteras de 2 Kms. de longitud cada uno, practicando su uso y proceso de operación.

Aplicando el Modelo de Hogg, las deflexiones sirven para calcular a través de un programa en lenguaje fortran el espesor de carpeta de mezcla asfáltica en caliente a colocar sobre la existente para mantener el buen estado de la vía durante un período (n) de diseño. También, el Método del Instituto del Asfalto calcula un espesor de sobrecapa, utilizando las curvas empíricas elaborados por ellos. Ambos métodos se comparan para establecer diferencias entre sus valores, y que se incluyen, en el análisis de resultados.

A la vez, se realizaron cuatro ensayos de placa de carga para evaluar el módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ) y

del pavimento ( $E^*$ ), afín de compararlo con el obtenido en la aplicación del Modelo de Hogg y las deflexiones de campo.

De los resultados obtenidos en este estudio y analizados los procedimientos de evaluación de los pavimentos a partir de criterios generales incluyendo los que aplica la D.G.C., experiencias con el personal encargado de realizar este tipo de evaluaciones y observaciones de campo en los tramos de estudio, estos se reseñan más adecuadamente en el apéndice como algunos lineamientos (y criterios) generales que se proponen para evaluar en forma integral, todos los aspectos que influyen en el buen funcionamiento y serviciabilidad de las carreteras pavimentadas de concreto asfáltico del país. En fin, los resultados de evaluar los casos regular y malo principalmente, con la Viga Benkelman, sirven para tomar decisiones en cómo dar el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras deterioradas.

# CAPÍTULO I

"MARCO TEÓRICO"

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo, enmarca un diagnóstico de la red vial pavimentada del país, comparando longitudes y condiciones del estado actual: buena, regular y mala para los años 1989 y 1991. También describe los tipos de falla más frecuentes en el pavimento asfáltico, el origen, las causas, las manifestaciones y casos específicos, para luego describir los métodos y técnicas que han aplicado las instituciones encargadas del mantenimiento de las vías pavimentadas (DGC y DUA), describiendo además las posibles causas del deterioro de los pavimentos en El Salvador.

Es obligado un antecedente acerca de la evaluación de los pavimentos asfálticos en el país así como de los métodos: directo o tradicional y la aplicación reciente de métodos indirectos (Viga Benkelman) con el objeto de justificar la aplicación de métodos más modernos y eficaces, y poder llegar a una propuesta concreta como resultado de este estudio.

También la presentación del método indirecto utilizando la Viga Benkelman, haciendo una descripción de la misma, materiales, equipo, y personal utilizado para medir las deflexiones.

## ANTECEDENTES

En la evaluación de los pavimentos de concreto asfáltico en algunas carreteras importantes de El Salvador, se definen las condiciones actuales de transitabilidad y serviciabilidad (capacidad soportante, tipos de fallas en la superficie, espesor de pavimento) y tiene como fin último, generar a corto o mediano plazo una rehabilitación para que den comodidad y seguridad al usuario.

En nuestro país, evaluar los pavimentos de la red vial, es una actividad que casi siempre ha sido ejecutada por el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Caminos y en algunos casos la empresa privada; en el procedimiento seguido, se han utilizado métodos como: pozos a cielo abierto a cada cierta distancia (por lo general 500 mts.), dañando consecuentemente la estructura del pavimento, para posteriormente realizar pruebas de laboratorio, (análisis granulométrico, CBR, límites de Atterberg, etc.), para que a criterio del ingeniero de mantenimiento, se determinen las condiciones prevalecientes.

A partir del año 1989, en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Dirección General de Caminos, se iniciaron los estudios de evaluación de las carreteras con la Viga Benkelman, para no dañar la estructura del pavimento; ésta es ampliamente aplicada en Estados Unidos, para la evaluación de los pavimentos. Con este equipo, se determinan las deflexiones en

el pavimento debido a una carga predeterminada, que mediante métodos de interpretación, se determinan las condiciones estructurales existentes en el pavimento y el tipo de daño que éste ha sufrido, para luego proponer el tratamiento correctivo pertinente.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El deterioro de los pavimentos en el país, es un problema constante para el Estado, como encargado de su mantenimiento. Según datos proporcionados por el Ministerio de Obras Públicas<sup>1</sup>, las calles y las carreteras pavimentadas ya cumplieron su período de diseño y de servicio, por lo que es necesario evaluar las condiciones existentes que inciden en el funcionamiento de las carreteras principalmente.

La Dirección General de Caminos y la Dirección de Urbanismo y Arquitectura, realizan operaciones de bacheo, como método más frecuente de mantenimiento.

Se plantea entonces como necesidad primordial buscar otra solución técnica para mantener y rehabilitar carreteras pavimentadas, a partir de una metodología que evalúe el pavimento como un todo y no parcialmente.

Para tal efecto, en este trabajo de graduación se evaluará el pavimento a través del método indirecto utilizando la Viga

---

<sup>1</sup>Seminario sobre conceptos viales, pág. 7, MI Mario Angel Guzmán Urbina, 1993.

Benkelman.

### **OBJETIVOS**

- La aplicación técnica del método directo y el método indirecto, utilizados en nuestro medio para evaluar las condiciones físicas y estructurales actuales de los pavimentos de concreto asfáltico de las carreteras, y determinar los parámetros correspondientes para hacer el diagnóstico y tomar las medidas pertinentes que van desde correctivas (bacheos), hasta sustitución, recalzamiento u otro.
  
- Evaluar el estado actual de los pavimentos de concreto asfáltico en carreteras importantes de El Salvador aplicando el método indirecto, usando la Viga Benkelman, el cual resulta ser de fácil aplicación, rápido y de resultados confiables; además, comparar los costos aplicando éste método indirecto y el método directo o tradicional en la evaluación de los pavimentos.
  
- Proponer algunos lineamientos para que através de una metodología se sistematice la aplicación del método directo y el método indirecto (usando la Viga Benkelman) para evaluar los pavimentos de concreto asfáltico de la red vial pavimentada de El Salvador como base, para dar el

mantenimiento correspondiente para el buen funcionamiento y serviciabilidad de las carreteras pavimentadas.

### **ALCANCES**

En este trabajo de graduación, se evaluarán tres (3) tramos de carretera de pavimento flexible hechas de concreto asfáltico (auxiliándose con la Viga Benkelman), basados principalmente en la medición de las deflexiones del pavimento. A partir de esto, se llegará a proponer unos lineamientos para una metodología para el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras pavimentadas de El Salvador.

### **LIMITACIONES**

Los ensayos de campo con la Viga Benkelman serán realizados por el personal y equipo de la D. G. C., la cual proporcionará los resultados de deflexiones de rebote y datos de tránsito en los tramos de las carreteras de interés.

El Centro de Investigaciones Geotécnicas realizará los ensayos de placa de carga para verificar los módulos de elasticidad de la subrasante y el pavimento de los tramos de carretera en estudio.

Para el diseño de la sobrecapa de pavimento, utilizando el Modelo de Hogg, se auxiliará de un programa de computación

propiedad de la DGC.

### **JUSTIFICACIÓN**

El país está actualmente en un proceso de transición económica, social, política y cultural, con tendencia al desarrollo. En este proceso, las carreteras son un medio muy importante, no sólo para salir de esta etapa, sino también para lograr el futuro del país.

La recuperación de la red carreteril pavimentada, tanto la que se mantiene funcionando, como la que parcialmente tiene condiciones que permiten al usuario el tráfico o aquellas que todavía están en abandono y que se ha previsto recuperar según el Plan de Reconstrucción Nacional en materia vial, deben ser evaluadas a fin de darles el tratamiento adecuado que necesitan, optimizando los recursos que son posibles asignar en base al plan de reconstrucción. En ese sentido, la evaluación de las carreteras no sólo se debe hacer al menor tiempo posible, sino al más bajo costo y con resultados confiables, tal que no haya interferencias en las actividades cotidianas en la serviciabilidad de las carreteras, y que de la evaluación realizada se reflejen montos de inversión lo más apegado posible a lo que se necesita no sólo para rehabilitar sino para mantener el buen estado de la carretera. Así, se prevé que la aplicación del método indirecto de evaluación del pavimento de las carreteras, usando la Viga Benkelman, permitirá obtener

resultados como los descritos, ya que la evaluación con el método directo o tradicional (visual o muestrero) para bacheo, además de laborioso, permite el deterioro de las calzadas con el riesgo que no sea reparado el daño parcial y éste pueda avanzar al deterioro consiguiente.

Al hacer la evaluación indirecta del pavimento flexible con la Viga Benkelman, es necesario indicar los métodos para evaluar las medidas de las deflexiones con la viga, al aplicar la carga (P) con un camión cargado.

Todo esto llevará a una sistematización que permitirá establecer metodológicamente la aplicación correcta del método de la Viga Benkelman, y permitirá capacitar a técnicos y operadores en el uso de éste método indirecto, tanto en la Dirección General de Caminos, las empresas constructoras (de carreteras) y será de ayuda en la formación de profesionales en la Carrera de Ingeniería Civil. Por ello, este trabajo de graduación se proyectará casi directamente a la Sociedad Salvadoreña en tanto las carreteras pavimentadas sean recuperadas y mantenidas continuamente, lo que se traducirá en ahorros y beneficios no sólo económicos, sino también sociales a más bajo costo y comodidad para los usuarios.

**LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS DE EL SALVADOR Y  
SUS CONDICIONES ACTUALES: DIAGNÓSTICO**

Las carreteras pavimentadas consideradas en la red vial salvadoreña, constituyen un indicador del nivel de desarrollo del país, pues a través de ellas se hacen efectivas las relaciones comerciales, industriales, económicas, etc.; estas carreteras forman parte de la red vial centroamericana que conecta a los países del Istmo y hacia México y Estados Unidos.

Actualmente<sup>2</sup> El Salvador cuenta con 1967.14 kms. de carretera pavimentada, que constituyen el 15.7 % de la red vial del país. En el cuadro No. 1, se presentan el total de longitudes de carreteras por departamento, para los años de 1989 y 1991 respectivamente. De los datos de este cuadro, para 1991 resulta lo siguiente:

- De las carreteras pavimentadas, 56.1% son secundarias, 30.9% son primarias y 12.4% son especiales.
- El incremento en carreteras pavimentadas de la red

---

<sup>2</sup> Datos para 1991, son los más actualizados en la D.G.C. por departamento según clasificación actual de las carreteras.

vial salvadoreña fue de 12.9% con respecto a 1989.<sup>3,4</sup>

- La única carretera terciaria modificada, está ubicada en el departamento de Usulután y corresponde al tramo CA:2 Usulután - Puerto Parada, 11.2 Km. (0.6%).
- Con respecto al total, las longitudes de carreteras se modifican así:

Las carretera especiales se aumentaron en 6.3%<sup>5</sup> y las terciarias modificadas en 0.6%; también disminuyeron las carreteras primarias en 2.3% y las secundarias en 4.6%. Por lo cual, el porcentaje total de aumento es igual al de disminución, 6.9% en cada caso.

Con respecto a las condiciones de servicio, capacidad y transitabilidad, según documentos preparados por la D.G.C., la

---

<sup>3</sup> Para la última evaluación de 1991, se ha contabilizado por separado el carril derecho e izquierdo, en los siguientes tramos de carretera especial:

Santa Ana. El Portezuelo - L.D. La Libertad.  
La Libertad. Santa Tecla - La Cuchilla - L.D. Santa Ana.  
San Salvador. Boulevard del Ejército - San Salvador - Ilopango.  
San Salvador (49 Av. Sur) - L.D. La Paz  
La Paz. L.D. San Salvador - Aeropuerto Comalapa (ANTEL)

<sup>4</sup> Criterios en la toma de mediciones y rutas no actualizadas son algunas causas que generan diferencias en los datos presentados en la cuadro N° 1. Ej.: La Autopista de San Vicente, para el inventario de 1989, no ha sido actualizado, sino hasta 1991.]

<sup>5</sup> No se debió a construcciones nuevas, sino al criterio de la toma de mediciones.

CUADRO Nº1  
**LONGITUD DE LA RED VIAL PAVIMENTADA DE EL SALVADOR  
 POR DEPARTAMENTO SEGUN CLASIFICACION TECNICA**

DEPARTAMENTO	SIMBOLO	TOTAL KMS.	ESPECIAL	PRIMARIA	SECUNDARIA	TERCIARIA MODIFICADA
Ahuachapán	AH	80.36	0.00	39.16	41.20	0.00
		81.30	0.00	40.50	40.80	0.00
Santa Ana	SA	188.95	24.79	59.90	104.26	0.00
		221.70	50.30	57.00	114.40	0.00
Sonsonate	SD	169.14	0.00	87.80	81.34	0.00
		175.60	0.00	88.70	86.90	0.00
La Libertad	LL	177.00	35.00	104.00	38.00	0.00
		223.30	69.00	106.80	47.50	0.00
Chalatenango	CH	97.64	0.00	37.00	60.64	0.00
		96.78	0.00	34.00	62.78	0.00
San Salvador	SS	156.50	27.40	0.00	129.10	0.00
		212.84	50.20	0.00	162.64	0.00
Cuscatlán	CU	51.70	0.00	0.00	51.70	0.00
		50.20	0.00	0.00	50.20	0.00
Cabañas	CA	42.52	0.00	0.00	42.52	0.00
		41.85	0.00	0.00	41.85	0.00
San Vicente	SV	96.95	0.00	14.40	82.55	0.00
		112.75	33.00	27.75	52.00	0.00
La Paz	LP	141.47	20.05	36.00	85.42	0.00
		196.20	43.00	39.00	114.20	0.00
Usulután	US	145.60	0.00	42.00	103.60	0.00
		159.30	0.00	45.10	103.00	11.20
San Miguel	SM	178.31	0.00	42.34	135.97	0.00
		188.92	0.00	61.50	127.42	0.00
Morazán	MO	72.20	0.00	14.00	58.20	0.00
		72.10	0.00	14.60	57.50	0.00
La Unión	LU	143.80	0.00	101.10	42.70	0.00
		134.30	0.00	92.00	42.30	0.00
Total Kms.		1,742.14	107.24	577.70	1,057.20	0.00
		1,967.14	245.50	606.95	1,103.49	11.20
Porcentaje		100.00%	6.16%	33.16%	60.68%	0.00%
		100.00%	12.48%	30.85%	56.10%	0.57%

Datos para 1989
Datos para 1991

red vial pavimentada para 1989<sup>6</sup> y 1991<sup>7</sup>, tiene la siguiente distribución:

CUADRO No. 2

CONDICIONES DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS 1989 Y 1991

CONDICIÓN	A Ñ O	
	1 9 8 9	1 9 9 1
BUENA	19.0 %	24.0 %
REGULAR	36.0 %	27.0 %
MALA	45.0 %	49.0 %
TOTAL EN KM.*	1742.14	1967.14

\*No incluye el sector urbano

La condición buena se ha incrementado durante el último período de evaluación (1991), debido a construcciones nuevas, ampliaciones o aplicaciones de refuerzo estructural. (Ej. Ampliación: CA-1 Tramo San Salvador - Santa Tecla; rehabilitación: Santa Ana - Metapán - Anguiatú (CA-12); aplicación de recapeo: San Salvador - Planes de Renderos).

Pero las condiciones regular y mala, siguen constituyendo la mayoría en ambos períodos (81%), aunque se presenta una disminución del 5% para la última evaluación, 1991.

De acuerdo con el cuadro No. 2, en 1991, el 76 % de las carreteras pavimentadas no eran buenas (eran regulares y

<sup>6</sup> D.G.C. (sept. 1993), evaluación de trabajo realizado de 1989 a 1993, San Salvador. Para 1991 y 1993, estos datos están considerados como proyecciones.

<sup>7</sup> D.G.C. (oct. 1991), Mantenimiento y Mejoramiento de Carreteras Troncales de San Salvador.

malas); las posibles causas del deterioro de los pavimentos se considera que pueden ser:

- a) La avanzada edad que tienen los pavimentos. Las carreteras ya cumplieron o están por cumplir su vida útil (20 años generalmente) como se muestra en el cuadro No. 3; por ejemplo, el tramo Santa Tecla -La Libertad, se construyó en 1917.
- b) El incremento del volumen de tráfico. Para los últimos 3 años, la tasa de crecimiento de éste varió del 3% al 6% cada año, según la Sección de Conteo del Tráfico de la D.G.C.<sup>8</sup>
- c) La falta de cumplimiento de las regulaciones en pesos y dimensiones de los vehículos de carga.
- d) La ineficacia de los planes y programas en la previsión del mantenimiento de las carreteras pavimentadas.
- e) La falta de vías alternas en el desarrollo carreteril, debido a la topografía desfavorable en nuestro país. Los terrenos montañosos son muy quebrados y dificultan la creación de estas vías.

---

<sup>8</sup> Entrevista con Ing. Silma Lídyce de Gómez, Jefe Depto. Aforos y Ensayos de la DGC, sept. 1994, DGC.

CUADRO Nº 3  
DATOS GENERALES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS CARRETERAS MAS  
IMPORTANTES DE EL SALVADOR. (NOU/71)

RUTA	PUNTOS DE LA RUTA	AÑOS DE CONSTRUCCION	DISTANCIA PROM. (Kms.)	CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS				COSTO ORIGINAL DE CONST. POR KM²	ACTIVIDAD SECTORIAL MAS IMPORTANTE
				TOPOGRAFIA DEL TERRENO	ANCHO DE LAS VIAS	CLASIF. CARPETA (1970)	EDAD (años)		
1	Sta. Tecla - La Libertad								
	* Primera construcción	1917	26						
	* Remodelación porque no sirvió el anterior	1927							
	* Tercera construcción	1967	22.8	Montañoso	7.3	DTSB	4	156500	Comercial
	* Cuarta reconstrucción pendiente	1972							
(x)	Sta. Tecla - La Cuchilla	1966	8.2	Montañoso		DTSB	5	494400	Múltiple
2	San Salvador-Sta. Ana-San Cristóbal (Panamericana)	1920-27		Plano	6.3	MPB	44	ND	Múltiple
(x)	El Portezuelo-Ahuachapán	1944	33	Plano	6.3	MPB	27	ND	Regional
3	Sn. Salv.-Sn. Miguel-La Unión (Panamericana) (Puente Cuscatlán 1942)	1931-44	176	Ondulado	6.3	MPB	27	ND	Múltiple
4	San Salvador-Sta. Tecla Segunda Pista	1927	12	Plano	6.3	MPB	44	ND	Múltiple
	*	1928	8.2	Plano	6.3	DTSB			Múltiple
5	La Cuchilla-Sonsonate	1928	44	Plano	7.3	DTSB	43	ND	
6	San Salvador-Zacatecoluca	1935-40	54	Ondulado	6.3	MPB	31	ND	Agrícola
7	El Congo-Lago Coatepeque	1952	2	Plano	6.3	MPB	19	ND	Turística
8	Carretera del Litoral	1955-61	295	Plano	7.3	DTSB	10	ND	Regional
9	Litoral-La Herradura	1953	19	Plano	6.3	TSB	18	ND	Turística - Agrícola
10	Lago Coatepeque-Sn. Isidro	1960	20	Montañoso	6.3	DTSB	11	ND	Agrícola
11	El Delirio-Sn. Miguel	1960	18	Plano	6.3	DTSB	11	ND	Regional
12	Sn. Miguel-dvño. Gotera	1966	17	Plano	6.5	DTSB	5	62000	Agrícola
13	Desvío Gotera-Gotera	1967	9	Plano	6.5	DTSB	4	67900	Agrícola
14	Gotera - Marcala (perquín)	1971	41	Montañoso	6.5	DTSB	0		Agrícola - Regional
15	Sonsonate - Acajutla	1964	20	Plano	7.3	DTSB	7	102700	Industrial - Comercia
16	Sta. Ana - Las Cruces	1964	13	Montañoso	6.3	MPB	7	ND	Regional - Agrícola
17	Ahuachapán - El Jobo	1966	15	Ondulado	6.3	DTSB	5	84600	Regional
18	Sn. Rafael Cedros-Ilobasco	1966-70	13	Plano	6.3	MPB	1		Agrícola
19	Carret. Troncal del Nte.-Chalatenango	1966-72	25	Ondulado	6.3	DTSB	5	59200	Agrícola
20	Troncal del Nte.-Quezaltepeque-Apopa-Sitio del Niño	1963-66	20	Ondulado	6.3	DTSB	5	48500	Agrícola
21	Ruta Militar (desvío Gotera - Agua Salada)	1964-66	34	Plano	6.3	DTSB	5	69800	Regional - Agrícola
22	Sonzacate - San Jorge	1971	28	Montañoso	6.3	DTSB	-	ND	Regional - Agrícola
23	La Cuchilla - Sonsonate	1971	42	Ondulado	7.3	DTSB	-	ND	Múltiple
24	La Cuchilla - Km. 35	1971-72	13	Plano	4.6	CC	-	ND	Múltiple
25	La Unión - Sirama - Soacorán	1971-72	42	Plano	7.3	DTSB	-		Regional
26	Sensuntepeque - Ilobasco	1971	3	Plano	6.3	MPB	-		Agrícola
27	Panamericana-Lago de Ilopango	1948	4.5	Montañoso	6.3	MPB	-	ND	Turística
28	Troncal del Norte - El Poy	1952 (1967)	97.9	Montañoso	6.3	DTSB	-	154900	Regional
29	San Salvador-Ilopango (Boulevard)	1955	7.4	Ondulado	6.3	CA	-	ND	Múltiple

a) TIPOS DE FALLAS EN LAS CARRETERAS DEL PAÍS.

En la evaluación de los pavimentos de concreto asfáltico, además de considerar los tipos de fallas, se deben tener en cuenta algunos elementos coadyuvantes a que éstas ocurran; así, éstos pueden ser:

1- Fallas existentes.

Tienden a deteriorar el pavimento debido a factores desfavorables, tales como: Tránsito inadecuado del usuario, principalmente vehículo de carga, mala calidad de construcción y otros de tipo ambientales que contribuyen a desmejorar la transitabilidad de las carreteras.

2- Obras de Drenajes.

Si éstas no están construidas adecuadamente para la conducción del agua de escorrentía o no se efectúa la limpieza para mantenerlas libres de todo material que obstaculice su buen funcionamiento, ocasionará: rotura en el pavimento al infiltrarse el agua, erosión en los taludes, derrumbes y otros (ejemplo: socavación de las fundaciones de las estructuras); interfiriendo en el funcionamiento de la vía y disminuyendo su vida útil. Básicamente de estas obras depende la vida útil de las carreteras ya que la presencia excesiva de agua en cualquiera de las capas

del pavimento y la subrasante, es la causa principal de las fallas del pavimento, originados por un sistema de drenaje inadecuado ocasionando los problemas antes mencionados.

3- Obras de Protección.

Necesarias para evitar la erosión de los cortes y terraplenes de las carreteras.

4- La señalización.

Medidas que ayudan a orientar y controlar el tráfico, así como el uso correcto de la vía y proteger a los usuarios.

Los tipos de fallas que causan el deterioro del pavimento son:

El agrietamiento, la deformación, la desintegración y el resbalamiento o superficie de rodamiento lisa; éstas afectan la estructura del pavimento, la comodidad del usuario, aumenta los costos de mantenimiento y operación vehicular e inhabilita el funcionamiento de la carretera. Además, otras fallas del pavimento pueden ser ocasionadas por un sistema de drenaje inadecuado, defectos del suelo de fundación (asentamiento) y localización de la vía (desconformación de la sección).

La DGC a través del Departamento de Mantenimiento ha realizado inspecciones parciales a la red vial del país, con el objeto de proporcionar mantenimiento y rehabilitación; observando, que las fallas más frecuentes encontradas son:

Agrietamientos, deformación y desintegración; considerando también que algunos de los pavimentos ya cumplieron su vida útil, factor que incide en el deterioro del pavimento. Por ejemplo: San Salvador-Santa Ana-San Cristóbal (Panamericana), Santa Tecla-La Cuchilla, San Salvador-Zacatecoluca; una de las manifestaciones más comunes encontradas, es el bache, caracterizado por un agujero o rotura en la superficie del pavimento, que ha logrado profundizar hasta las capas inferiores desde la superficie (ver fotografía N° 5), generado por una capa de rodadura delgada, escasez o exceso de asfalto o agregado fino (filler) y otros, como drenaje insuficiente.<sup>9</sup>

#### FALLAS MÁS FRECUENTES Y SU ORIGEN.

En el cuadro No. 4, se presenta una clasificación de las fallas existentes en las carreteras del país y su descripción, asociándolas con su origen así como las causas, manifestaciones más frecuentes y ejemplos.

---

<sup>9</sup> Pérez C., Néstor Ulises y otros (junio, 1994). Guía práctica para el Mantenimiento y Conservación de Vías Pavimentadas. Tesis. Pág. 47. Universidad Politécnica de El Salvador UPES.

CUADRO N° 4  
FALLAS MAS FRECUENTES Y SU ORIGEN

TIPO DE FALLA	ORIGEN	CAUSA	MANIFESTACION	EJEMPLOS LOCALIZADOS
<p><b>AGRIETAMINETO</b></p> <p>Son una serie de fisuras que se presentan con frecuencia en los pavimentos flexibles a lo largo, transversal, diagonal o en cualquier posición donde la debilidad del pavimento lo permite</p>	<p>Deficiencia estructural de las capas. Por fatiga. Defectos constructivos. Combinación de las anteriores con el intemperismo. Uso indebido en el funcionamiento.</p>	<p>Carencia de asfalto en la mezcla o endurecimiento del asfalto por oxidación en las carpetas asfálticas. Deformación plástica en las capas inferiores. Movimiento en el terraplén o una fundación poco resistente. Exceso de agua. Calidad inapropiada del asfalto usado.</p>	<p>Piel de cocodrilo. Grietas de borde. Grietas longitudinales Grietas transversales. Grietas de reflexión. Estría o arrugamiento.</p>	<p>El Sitio del Niño - Apopa. (Piel de cocodrilo) Bvard. Juan Bustamente y Rivero. (Grieta longitudinal) Autopista a Comalapa. (Grieta longitudinal) CA:1-Dvño. San Juan Opico - Quezaltepeque. (Piel de cocodrilo)</p>
<p><b>DEFORMACIONES</b></p> <p>Son deformaciones generalmente estiramientos en forma displayada con curvaturas y ondonadas de la superficie del pavimento, cambiando su forma original debido a las cargas aplicadas que exceden las capas inferiores.</p>	<p>Mala operación de los equipos de construcción. Deficiencia estructural de las capas. Por fatiga. Defectos constructivos. Supervisión deficiente en el proceso constructivo y en los materiales a usar como en aplicación de normas y especificaciones.</p>	<p>Exceso de asfalto. Utilización de agregados lisos y redondeados. Espesor insuficiente. Exceso de carga. Deformación plástica en las capas inferiores. Niveles imprevistos de la capa freática. Inundaciones o filtraciones en el pavimento y/o subrasante.</p>	<p>Ahuellamiento. Ondulaciones. Hundimiento. Hinchazones. Arrugamiento acumulativo en áreas débiles.</p>	<p>Boulevard del Ejército Nacional, tramo: Santa Lucía - Ilopango. (Hundimiento) Apopa - Quezaltepeque. (Ahuellamiento)</p>
<p><b>DESINTEGRACION</b></p> <p>Es la rotura del pavimento en fragmentos sueltos o la disgregación de las partículas del agregado de la mezcla asfáltico.</p>	<p>Deficiencia estructural de las capas. Por fatiga. Deficiencia constructiva. Mala operación de los equipos de construcción.</p>	<p>Degradación de los agregados. Cambios de temperatura. Endurecimiento del asfalto. Exceso de asfalto o agua.</p>	<p>Baches. Desmoronamiento. Pérdida de agregados en la carpeta.</p>	<p>CA:1-San Juan Opico - Quezaltepeque. (baches) Calle Vista Hermosa - Monserrat, SS. (Pérdida de agregados en la carpeta)</p>

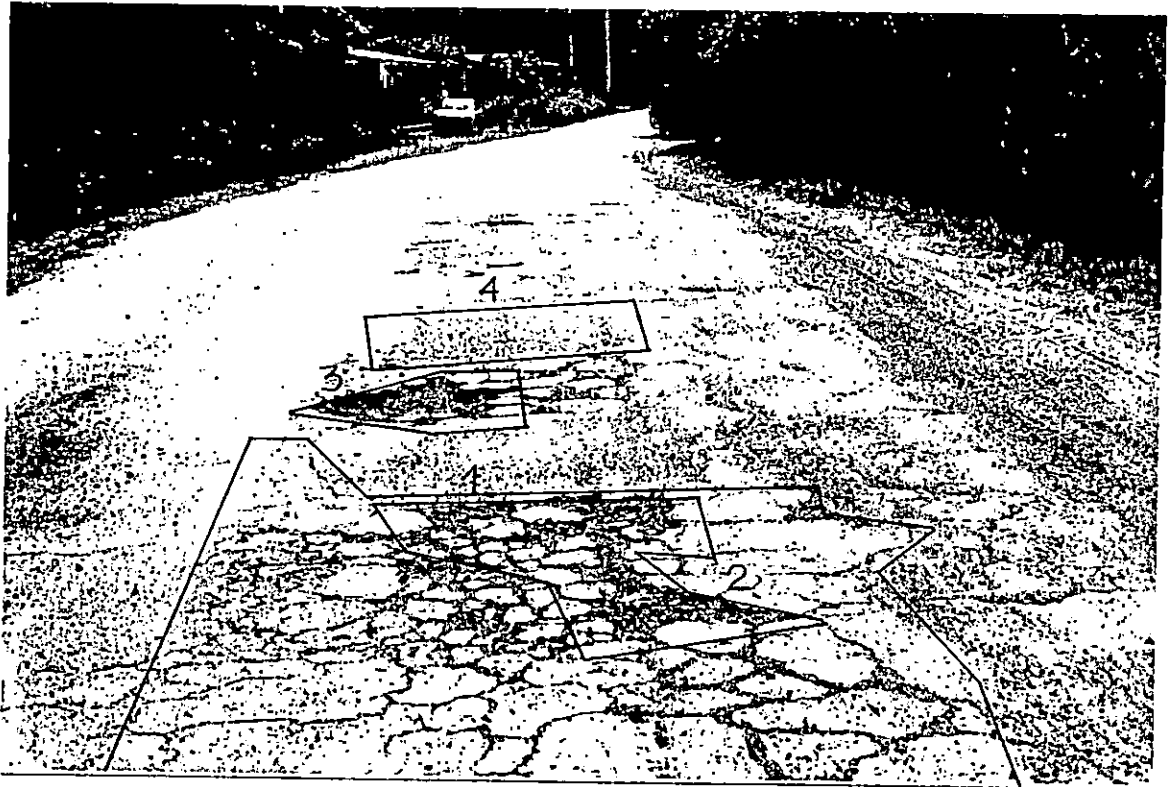
**IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO SEGÚN SU  
CONDICIÓN: BUENA, REGULAR, MALA.**

Las fallas más comunes en los tramos de estudio del presente trabajo de graduación son las siguientes:

- a) En condiciones buenas: Carretera CA-12 Santa Ana - Metapán - Anguiatú<sup>10</sup>. Esta carretera ha sido reconstruida en el período 1993-1994, realizándose una estabilización con cal en la base, además de la aplicación de una carpeta de mezcla asfáltica en caliente. Por tanto actualmente no presenta ningún tipo de falla.
  
- b) En condiciones regulares: Carretera CA-8 Ateos - Jayaque, su estado actual es como se muestra en las siguientes fotografías: N°1 a la N°4.

---

<sup>10</sup> Proyecto finalizado y entregado en Noviembre de 1994.



Fotografía N° 1

1. Piel de cocodrilo, 2. Desprendimiento de bloques, 3. Formación de baches, 4. Trabajo de bacheo.

b.1) En la fotografía N°1, se observan fallas tipo piel de cocodrilo (1), unidas entre sí, en forma de mallas, con fisuras mayores de 3 mm y formando bloques de 5 a 40 cms. de diámetro.

La falla ha evolucionado hasta llegar al desprendimiento de los bloques (2), con una área aproximada de 1 m<sup>2</sup>, pero sin profundizar hasta la base, finalmente por la falta de mantenimiento se ha iniciado la formación de baches (3), con área semicircular de aproximadamente 40 cms. de diámetro.

Las posibles causas que han generado este tipo de falla son:

- 1- La carpeta tiene un espesor de 2.5 cms. (1 pulgada), siendo insuficiente para el volumen de tráfico y tipo de carretera.
- 2- Falta de conformación del hombro, así como la falta de canales de desagüe para evacuar la escorrentía superficial.

Se observan además trabajos de bacheo aislados (4), como actividades de mantenimiento.

b.2) Fotografía N° 2, muestra una falla longitudinal en el borde de la vía, limitado por la vegetación cerca de los hombros con una longitud

aproximada de 6 mts. en dirección longitudinal; está acompañada de pequeños bloques, semejante al tipo piel de cocodrilo con diámetros de 5 a 10 cms.(2), visualizándose el final de la grieta en el punto (3).



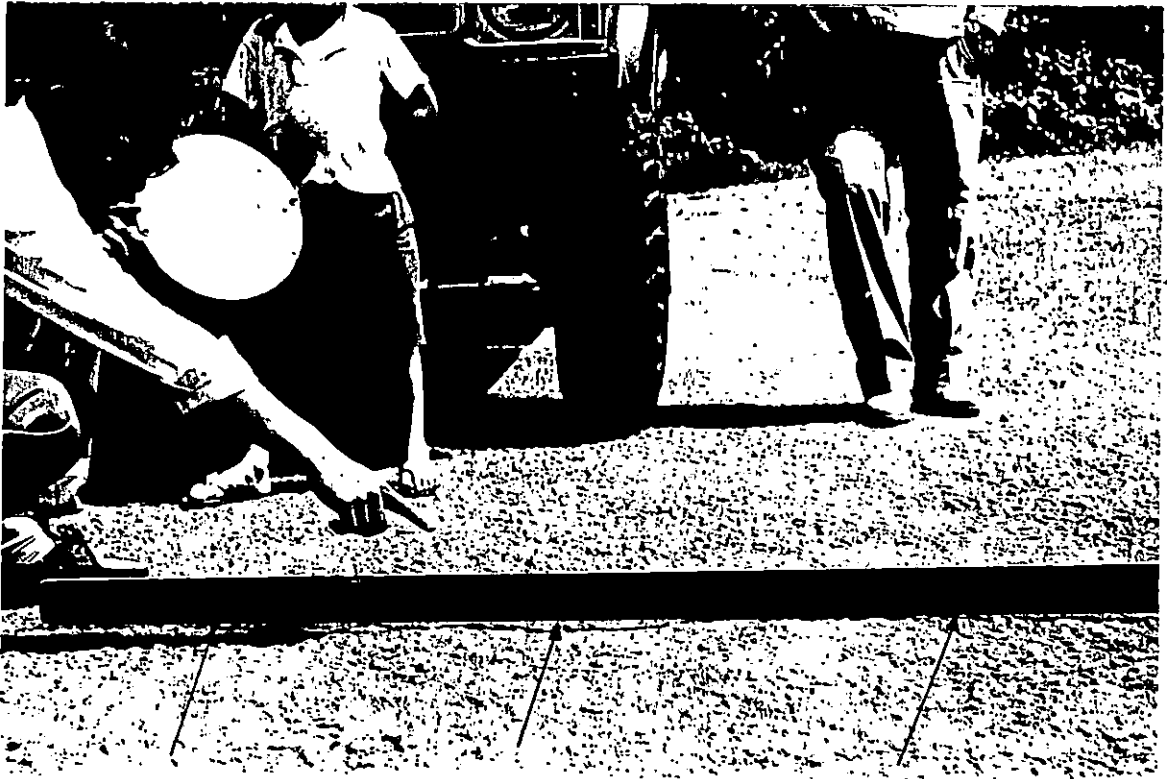
Fotografía N° 2

1. Grieta de borde, 2. Piel de cocodrilo, 3. Finalización de la grieta.

**Posibles causas:**

El exceso de vegetación y su alto contenido de humedad ha ocasionado la pérdida de conformación de los hombros, debilitando el borde del pavimento.

b.3) Ahuellamiento: Se presenta como una depresión longitudinal bajo las huellas de la rueda, en tres puntos de la sección de la vía con valores de ahuellamiento de: 18 mm a la izquierda, 12 mm al centro y 8 mm a la derecha. Se observa además el desgaste generalizado de la capa de rodamiento, debido a la pérdida del asfalto y material fino; ver fotografía N° 3 la típica superficie del pavimento en deterioro.



Fotografía N° 3

Ahuellamiento

Posibles Causas:

- Se ha generado por la acción repetitiva del tráfico, acción abrasiva de las llantas y desgaste, éstos como parte de un deterioro sistemático de la calzada.
- Por la acción de cargas mayores que la prevista en el diseño.

Para el tramo en estudio el ahuellamiento se presenta en el rango de 2 a 18 mm., con

valores frecuentes de 3 mm. considerándose como de una severidad media.

b.4) Se observa en la fotografía N° 4 que la falta de chapia en los laterales de la calzada, ha provocado que la vegetación invada al hombro, disminuyendo el ancho de éste y en algunos puntos (No. 1) alcanza el borde de la calzada, restándole visibilidad al usuario y dando la sensación de estrechez de la vía, así como el incremento en la humedad del suelo, afectando la estructura del pavimento, también la vegetación ha obstruido la circulación del agua por las canaletas de desagüe de la escorrentía superficial.



Fotografía N° 4

Vegetación en los laterales de la calzada

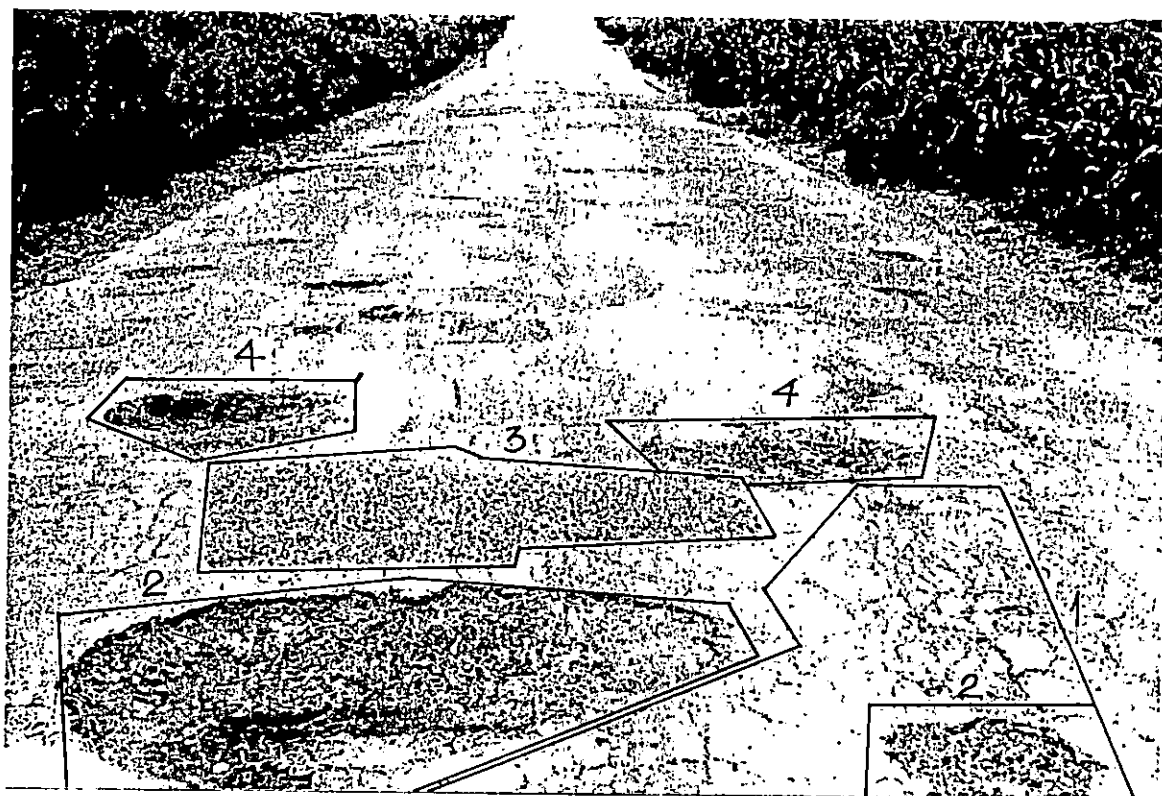
c) Condiciones malas: CA-1 Desvío San Juan Opico - Quezaltepeque.

Los tipos de fallas existentes, se muestran en las siguientes fotografías: N°5 a la N°7.

c.1) Las fallas encontradas a lo largo del tramo según la fotografía N° 5 fueron del tipo piel de cocodrilo (1) caracterizada por una serie de bloques pequeños de diámetro aproximado de 5 cms., de forma rómbica, interconectados con

fisuras de aproximadamente 3mm.; formando una textura de mosaico localizados aisladamente en la calzada, ubicados frecuentemente cerca de los baches (2). Éstos se originaron por la remoción de los bloques debido a la circulación de los vehículos en la carretera, con una área (en algunos) de ellos mayores de 1 m<sup>2</sup> con una profundidad que alcanza hasta la base.

También se observa que en ciertos lugares de la calzada se efectuó el bacheo (3) en dicha zona, aunque actualmente debido a la falta de mantenimiento, el deterioro de la carretera ha avanzado de tal manera que a lo ancho y largo de ésta, no hay sección en buenas condiciones y por consiguiente, personas particulares han tomado la iniciativa de cubrir los baches con tierra (4); medida que no ayuda a mejorar la serviciabilidad de la vía, ya que rápidamente con el tiempo éstos agujeros se socavarán fácilmente con el paso de los vehículos.



Fotografía N° 5

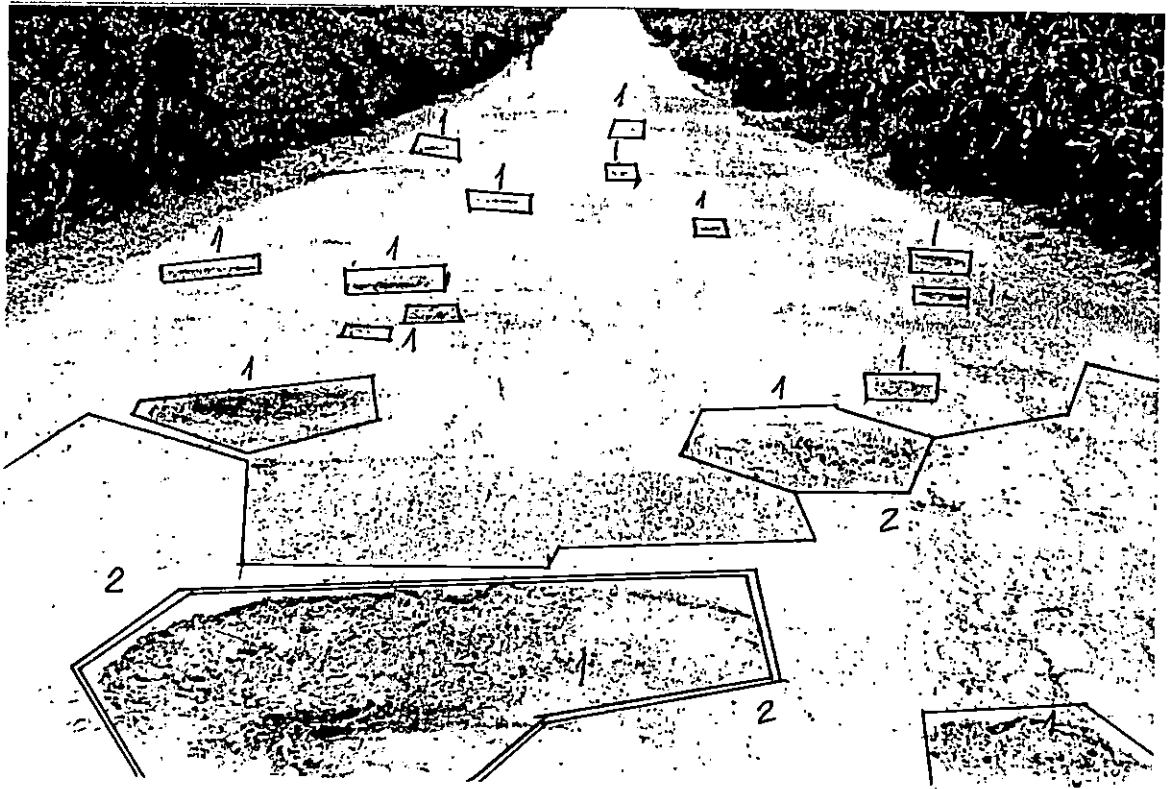
1.Piel de cocodrilo, 2.Baches, 3.Bacheo, 4.Bacheo con material orgánico vegetal.

Una de las principales causas del deterioro del pavimento es un espesor insuficiente de la carpeta para el volumen de tráfico (pesado y liviano) que circula en dicha carretera.

La fotografía N° 6 es una ampliación de la crítica a la fotografía N° 5.

Observándose en la fotografía N° 6 la presencia de los baches (1), acompañada con fallas tipos

piel de cocodrilo (2), que son el origen de los baches. Esta situación está presente a lo largo y ancho de la vía. En algunos tramos es más severo el deterioro como el que se muestra en la fotografía N° 6.



Fotografía N° 6

1. Baches, 2. Piel de cocodrilo

Por lo descrito, el deterioro de esta carretera se considera como de severidad alta por las características que presenta, (por ejemplo el área de la falla, la profundidad, la fisura y

otros mencionados en la fotografía N° 5)<sup>11</sup>.

c.2) Se observa en la fotografía N° 7, la falla a lo largo del borde exterior izquierdo del pavimento (1) limitado por la vegetación en el hombro y reduciendo el ancho de la calzada, con una profundidad hasta la base formando un bache (2), aunque en cierta zona el deterioro solamente se visualiza como una peladura (3) con una longitud total de la desintegración de 4 m. aproximadamente. Si no se da un tratamiento inmediato, esta podría ampliarse.

Posibles causas.

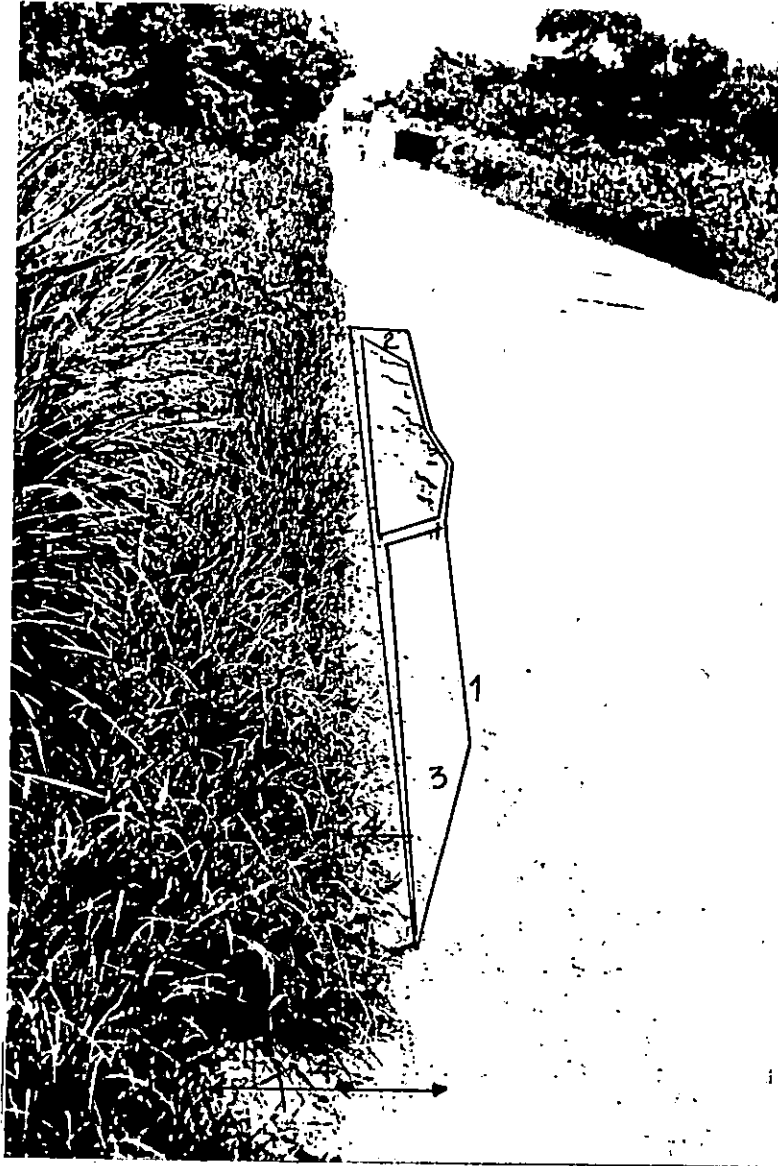
Una de las causas por las que se ha dado la desintegración del borde del pavimento es el paso de los vehículos en dicha zona, que es la más débil de la calzada. También la falta de desmonte en el acotamiento donde la vegetación ha cubierto el hombro (4) con una altura mayor de 50 cms. restando visibilidad al que conduce en la carretera, aumentando también la humedad del suelo permitiendo saturar la capa inferior del pavimento; disminuyendo la resistencia de éste; una medida urgente y necesaria es la

---

<sup>11</sup> Ver en el capítulo IV, la recomendación con respecto al tramo malo CA-1 Desvío San Juan Opico - Quezaltepeque.

recuperación de los hombros a lo largo de la calzada que ayudará a disminuir la acumulación del agua originando los encharcamientos y la presencia de la vegetación seca en dicho lugar. Otra situación presente en dicha carretera es la falta de limpieza en las obras de drenaje menor, ocasionando la obstrucción del paso del agua en éstas.

La falta de mantenimiento de esta carretera es la causa principal del deterioro crítico que presenta actualmente.



Fotografía N°7

1. Desintegración del borde, 2. Bache en el borde del pavimento, 3. Peladura de la carpeta,
4. Vegetación existente en el hombro.

b) EL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS Y LOS MÉTODOS Y TÉCNICAS QUE SE HAN APLICADO.

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Éstas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado. Los actuales procedimientos de mantenimiento que hace la DGC para los pavimentos de concreto asfáltico se basan en las recomendaciones del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, pues considera las características de los materiales y las condiciones climatológicas variables (invierno y verano).

En nuestro país debido a muchos factores, (Ej.: La falta de financiamiento para inversión en mantenimiento vial, así como la falta de planes y programas de evaluación y tratamiento del estado de las carreteras, etc), el mantenimiento frecuentemente aplicado ha sido correctivo generalmente atendiendo a la crítica del usuario, pero no preventivo, razón por la cual muchas técnicas orientadas a detectar y corregir defectos menores en las vías, no han podido ser utilizadas.

Entre los criterios adoptados por la DGC y la DUA, para hacer el mantenimiento vial, se tienen los siguientes:

- El estado de deterioro actual de la calzada.  
Alcanzando algunas veces la intransitabilidad de la

vía.

- Las limitaciones presupuestarias para mantener y rehabilitar caminos.
- El tipo de mantenimiento requerido. Relacionado con la disponibilidad de recursos humanos (Ej.: personal técnico y profesional especializados), materiales (Ej.: planta de mezcla asfáltica, agregados, asfalto) y económicos.
- Los trabajos de reparación inmediatos, sacrificando la aplicación de una técnica adecuada.
- El tipo de carretera (según la importancia) y la ubicación geográfica.

En la DGC actualmente se aplican técnicas de mantenimiento<sup>12</sup>, que van desde sellado de fisuras, hasta la aplicación de mezclas asfálticas (en frío o en caliente); estas técnicas se describen con el propósito de instruir al personal técnico que las utiliza, también se mencionan el equipo requerido para aplicarlas, las herramientas, los materiales y el promedio de producción diaria o rendimiento diario.

A continuación se detallan algunos de estos tipos de mantenimiento que actualmente se están aplicando en El Salvador (DGC - MOP).

---

<sup>12</sup> Procedimientos descritos en el documento "Programa de Mejoramiento de la Infraestructura del Sector Público", preparado por la empresa Louis Berger International.

- ✓ 1- Tratamiento Superficial: Simple, Doble y Múltiple.  
Cuando ha fallado la carpeta asfáltica, pero no las capas adyacentes y subyacentes (base y subbase), se requiere mantener las características originales del camino. Procediendo con:
- Tratamiento Simple: Riego de asfalto líquido, cubierto con una capa de material pétreo compactado.
- Tratamiento Doble: Aplicación de dos veces el tratamiento superficial simple.
- Tratamiento Múltiple: Aplicación de 3 ó 4 veces el tratamiento superficial simple.

- ✓ 2- Riego de Sello  
Aplicado en pavimentos de superficie abierta, muy lisa o muy desgastada; además, cuando existen fisuras menores de 3 mm. Consiste en colocar sobre el pavimento una película de asfalto cubierta con una capa de material pétreo fino (filler).

- ✓ 3- Recapeo con Mezcla Asfáltica en Caliente.  
Es la aplicación sobre el pavimento de una mezcla de concreto asfáltico elaborada en caliente, se recomienda en casos de deterioro estructural generalizado. Actualmente existe una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, ubicada en el desvío a Sonsonate, Depto. de La

Libertad; y el tendido se realiza con la máquina Barber Green, de acuerdo con el Programa de mejoramiento de vías de la DGC.

4- Bacheo Superficial.

Corrige daños o defectos superficiales, tales como: desintegraciones, corrimientos, peladuras, etc., que afecten únicamente la carpeta asfáltica. Se ejecuta cuando la profundidad del bache es mayor de 2 cms. o cuando exista fisuramiento piel de cocodrilo (ver foto N° 1, pág. 20), de severidad media o alta.

5- Bacheo profundo.

Consiste en remover y eliminar la carpeta deteriorada, base y subbase; se recomienda cuando los daños no excedan de 20 m<sup>2</sup> en total o no cubran más del 30 % de la sección a reparar; para extensiones mayores se recomienda la rehabilitación.

6- Bacheo del Hombro.

Aplicado con el objetivo de sustituir una parte de la superficie del hombro cuando se presentan desintegraciones, peladuras, etc., y evitar mayores deterioros que perjudiquen el confinamiento de la calzada.

7- Chapeo y limpieza en Zona Lateral.

Consiste en despejar la maleza, hierba, zacate, residuo de siembras, troncos, árboles y arbustos existentes en el derecho de vía, con el propósito de mejorar la visibilidad y seguridad del usuario, (ver foto. N° 2 y N° 4, págs. 22 y 26). Debe ejecutarse cuando la hierba sobrepase 30 cms. en una faja de 5. mts. colindantes a la superficie de rodamiento.

8- Conformación del Hombro.

Cuando se ha deformado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa, consiste en alisar y conformar la superficie del hombro sin añadir material adicional.

9- Revestimiento de Hombro.

Es la colocación de una capa de material selecto con espesor de hasta 15 cms., cuando se ha erosionado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa.

10- Reposición del Hombro.

Reconstruir el hombro cada vez que sufra daños en un espesor mayor de 15 cms.

11- Limpieza y Conformación Manual de Cunetas y Canales de Desagüe.

Para mantener el flujo hidráulico libre. Consiste en excavar y remover los materiales inertes y vegetales que se han acumulado en el período que no se ha practicado el mantenimiento.

En el cuadro N°5, se presenta como ejemplo, el formato de aplicación de la técnica de N°4 (bacheo superficial), descrito anteriormente, extraída del documento "Programa de Mejoramiento de la Infraestructura del Sector Público" pág 85.

CUADRO N° 5

NORMA DE EJECUCION	
Actividad N° 6..1.1.2	Nombre: Bacheo Superficial
<b>DESCRIPCION:</b> Conjunto de labores necesarias para sustituir una parte de la superficie de pavimento que ha sido destruida, debido al tránsito e intemperie.	
<b>PROPOSITO:</b> Corregir daños o defectos superficiales, tales como desintegraciones, corrimientos, peladuras, etc., que afecten únicamente la carpeta asfáltica.	
<b>CRITERIO:</b> Cuando estos daños aislados afectan el normal desplazamiento del tránsito y se compruebe que su origen no se relacione con deficiencia de las capas inferiores. Esta actividad se llevará a cabo cuando la profundidad del bache sea mayor de 2 cms., o cuando exista fisuramiento tipo piel de cocodrilo, de severidad media o alta.	
COMPONENTES DE LA ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTOS DE EJECUCION
<b>PERSONAL:</b> 1 Caporal 10 Peones 1 Motorista de Vh. Pesado	1- Inspección de área de trabajo. 2- Determinar las causas que dan origen al desperfecto. 3- Instalación de elementos de seguridad, control y dirección del tránsito.
<b>EQUIPOS:</b> 1 Camión de volteo 5 m <sup>3</sup> 1 Rodillo manual	4- Delimitación de área a trabajar. 5- Demolición de la carpeta a reparar. 6- Retirar los fragmentos resultantes de la demolición.
<b>HERRAMIENTAS:</b> Barriles, señales, carretillas, apisonadores, escobas, palas, piochas, cántaros.	7- Se debe delimitar en forma cuadrada o rectangular el área a bachear, dando un espaciamiento de 15 cms., de los extremos del daño. 8- Perfilar los bordes del bache, sin que se produzcan fisuras en el borde.
<b>MATERIALES MAYORES:</b> 1 m <sup>3</sup> Asfalto RC-2, #3,6 gls., #6,1 gls. Mezcla asfáltica en frío o en caliente. 1 m <sup>3</sup> . * Arena o polvillo, 1.0 m <sup>3</sup> * Si se usa mezcla en frío y abierta. *Para riego de liga.	9- Revisar la base, darle una nueva compactación en especial las áreas extremas. 10- Impregnar con asfalto y colocar un riego de liga a la superficie de la base, y los bordes laterales de la carpeta asfáltica existente, respectivamente.
<b>UNIDAD DE MEDIDA:</b> m <sup>3</sup>	11- Colocar la mezcla asfáltica en el espesor suelto necesario, para que una vez compactado quede a 0.5 cm. arriba del nivel de la superficie de rodadura.
<b>PRODUCCION PROM/DIA:</b>  5 m <sup>3</sup>	12- Compactar adecuadamente con rodillo liso o placha vibratoria, en especial a las áreas extremas. 13- Colocar riego de sello y taparlo con arena o polvillo.

**ANTECEDENTES DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE  
LOS PAVIMENTOS EN EL SALVADOR (EXPERIENCIA  
SEGUN LA DGC Y LA DUA) .**

La construcción de las primeras carreteras del país, data de 1917, pero fue hasta el año 1950, con la aplicación de las técnicas de laboratorio de la Mecánica de Suelos que se comenzaron a practicar ensayos de laboratorio para ser aplicados a las capas del pavimento, con el fin de conocer mejor sus características físicas y mecánicas.

En las instituciones DGC y DUA, encargadas de realizar este trabajo, no se encuentran registrados antecedentes de la metodología aplicada en ese entonces; sin embargo, con la realización de estos ensayos y observaciones directas de campo, se estableció una secuencia de trabajo sustentada principalmente en pruebas directas.<sup>13</sup>

En el año 1970, la Compañía Louis Berger International Inc., propuso la aplicación de los criterios para evaluar las condiciones del pavimento, los cuales denominó "Datos Ilustrativos para Definir los Grados de Suficiencia"<sup>14</sup>. El método para la aplicación de estos criterios consistía en que las apreciaciones numéricas se determinarían en el campo, comparando las características de drenaje, ancho de los

<sup>13</sup> Entrevista con el Ing. José Cardona, jefe de la sección Área Técnica, Depto. de Mantenimiento de Obras Viales, DGC, julio 1994.

<sup>14</sup> The asphalt Institute (nov 1969); Asphalt Overlays and Paviment Rehabilitation, págs. 79-84.

hombros, condición del pavimento y otras de cada tramo de carretera con las normas prescritas para este tramo. Además, este informe recomendaba que el criterio de clasificación de subbase y base se sustituyera por un índice simple basados en los resultados de las medidas de las deflexiones con la Viga Benkelman, ya que el uso de este aparato facilitaría la aplicación de las medidas correctivas para antes que ocurriera el agrietamiento o la pérdida de calidad de la superficie de rodamiento.

Esta propuesta no fue utilizada, ya que las evaluaciones se realizaban usando el método directo: visual o muestrero.

En el período 1980-1990 se utilizaron formatos de evaluación para vías pavimentadas (ver formato N° 1 pág. 42), proporcionados y exigidos por la fuente de financiamiento del proyecto (por ejemplo BCIE) con el fin de garantizar el monto y el financiamiento del mismo.

A partir de 1991, para la evaluación del estado de las carreteras, ya se dispone de un instructivo "Inventario Vial de las Vías Pavimentadas".<sup>15</sup>

En éste se presentan los pasos a realizar en el campo de trabajo. El procedimiento consiste en identificar, cuantificar y evaluar todos los aspectos que involucran el estado de deterioro de las carreteras; por ejemplo las condiciones de la superficie del pavimento, aspectos geométricos, señalización y otras como obras de drenaje; relacionándolos con códigos, niveles de frecuencia o extensión en el caso de las fallas,

---

<sup>15</sup> Entrevista con el Ing. José Cardona, jefe de la sección Área Técnica del Depto. de Mantenimiento de Obras Viales, DGC, julio de 1994.



FORMATO No. 1  
 CARRETERAS PAVIMENTADAS DE ACUERDO A SU GRADO DE SUFICIENCIA

NOMBRE Y LOCALIZACION DE LA CARRETERA	LONG. (KMS)	FACTOR DE PONDERACION (%)												
		SUFICIENCIA ESTRUCTURAL 40 %				SEGURIDAD 30 %				SERVICIO 30 %				100 %
		INDICE DE SUFICIENCIA POR RUBROS												
		SUBSUELO 5	BASE 10	CONDICION PAVIMENTO 15	DRENAJE 10	ANCHO HOMBRO 8	ANCHO DE PAVIMENTO 7	DIST. VIS. FRENADO 10	CONSISTENCI 5	ALINEAMIENTO 12	DIST. VIS. PASO 8	ANCHO SUPERFICI 5	CONDICION PAVIMENTO 5	TOTAL INDICE SUFICIENCIA

contenidos en el instructivo, así:

- Código. Identificación por medio de letras. Por ejemplo código del tipo de rodadura.

Asfáltico (A)

Concreto (C)

Mixto (concreto-asfalto) (M)

- Niveles de extensión o frecuencia. Se calificará la sección afectada de acuerdo a los siguientes indicadores: nivel, porcentaje y descripción auxiliándose de los esquemas tipos (plantillas, ver plantilla N° 1 pág. 45). Por ejemplo para piel de cocodrilo:

NIVEL	PORCENTAJE	DESCRIPCIÓN
0	0%	Ausencia de la fisura de la sección.
1	> 0 - 5%	Fisura escasa, aislada.
2	> 5 - 15%	Fisuración distribuida regularmente en la sección.
3	> 15 - 25%	Fisura frecuente que afecta gran parte las huellas del tránsito.
4	> 25%	Fisuración extensa, generalizada a lo largo de la sección.

Todos los aspectos de clasificación para la evaluación de las carreteras que se mencionan anteriormente, están contenidos en un formulario N°1 del Instructivo Inventario Vial de Vías Pavimentadas (ver pág. 46).

Luego de recopilar la información se procesa, ingresándola a la base de datos del SIAMV (Sistema Integrado de Administra-

ción de Mantenimiento de Vialidades); documento que recomienda las actividades de mantenimiento y rehabilitación de las carreteras de acuerdo al estado físico en que éstas se encuentren, utilizando un programa de computación que evalúa los datos proporcionados en el formato antes mencionado.

Además, se han aplicado métodos indirectos usando la Viga Benkelman para diseñar espesores de sobrecapa, primeramente con fines de factibilidad, ensayos realizados en el tramo CA-2 Puerto La Libertad - La Paz. En el año de 1989 se utilizó este equipo en la toma de las deflexiones del pavimento para el rediseño definitivo del proyecto: CA-2 tramo: Zacatecoluca - Usulután, con el objeto de evaluar el estado de la carretera y así proponer una técnica de mantenimiento, rehabilitación o en caso último, la reconstrucción; aunque todavía no existía una metodología de evaluación en ese entonces.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Allan Lubina (nov. 1989). Instructivo para la utilización de la viga Benkelman en vías asfaltadas, pág. 2.

PLANTILLA No. 1

NIVELES DE FRECUENCIA O EXTENSION

FISURAS CUERO DE COCODRILO - PAVIMENTOS FLEXIBLES Y MIXTOS

CODIGO EXTENSION	1	2	3	4
ESQUEMA  TIPO				
AREA AFECTADA	MAYOR DE 0 A 5 %	MAYORES DE 5 A 15 %	MAYORES DE 15 A 25 %	MAYOR DE 25 %
DESCRIPCION PAVIMENTO	FISURA ESCASA AISLADA OCASIONAL	FISURA INTERMITENTE SE DISTRIBUYE F-1 REGULARMENTE EN LAS HUELLAS DE CANALIZACION DEL TRANSITO	FISURACION FRECUENTE AFECTA UN % SIGNIFICATIVO DE LAS HUELLAS DE CANALIZACION DEL TRANSITO	FISURA EXTENSIVA GENERALIZADA A TODA EL AREA DE CANALIZACION DEL TRANSITO DE LA SECCION EVALUADA

**FORMULARIO Nº 1**  
**FORMULARIO PARA LAS VIAS PAVIMENTADAS**

INVENTARIO GENERAL DE CONDICION FORMATO VIAS PAVIMENTADAS	LIMITE DEL TRAMO DEL: _____ A: _____	KM PROGRESIVO DEL: _____ A: _____	CATEGORIA: _____	DEPTO.: _____
			CALZADA: _____	MUNICIPIO: _____
			TIPO: _____	CODIGO: _____
			ULTIMO MANTTO: _____	AÑO: _____
D CRUCE CON				
A LECTURA DEL ODOMETRO(INICIAL-FINAL)				
T TOPOGRAFIA (P-O-M)				
D NUMERO DE CARRILES (UN)				
S COD. DE TIPO DE PAVIM.(A-H-G)				
CUNETA DERECHA, TIPO (A.T.O)				
P CUNETA DERECHA, LONGITUD'.(%)				
E CUNETA IZQUIERDA, TIPO (A.T.O)				
R CUNETA IZQUIERDA, LONGITUD'.(%)				
M LONGITUD DE HOMBROS PAV.(M)				
A LONGITUD DE HOMBROS NO PAV. (M)				
N LONGITUD DE GUARDA VIAS (M)				
E NUMERO DE TUBERIAS (UN)				
R NUMERO DE CABEZALES (UN)				
T LONGITUD DE MUROS LATERALES (M)				
E PTE. LONG. Y NUMERO DE VANOS (M/UN)				
S PTE. INFRAEST. TIPO (A-C-MP-M)				
PTE. SUPERESTRUCT. TIPO (A-C-M)				
RAYAS DE SEÑALIZACION (.)				
NUMERO DE SEÑALES VERTICALES (UN)				
CUNETAS EN CONDICION DEFECTUOSA (%)				
C HOMBROS PAVIM. COND. DEFECT. (%)				
D HOMBROS NO PAVIM. COND. DEFECT. (%)				
R GUARDA VIAS EN COND. DEFECT. (%)				
D CABEZALES EN COND. DEFECT. (UN)				
I MUROS EN CONDICIONES DEFECTUOSAS (%)				
C PTE. CON SUPEREST. DEFECT. (UN)				
I PTE. CON INFRAEST. DEFECT. (UN)				
O RAYAS DE SEÑALIZACION COND. DEFECT. (UN)				
N SEÑALES VERTICALES COND. DEFECT. (%)				
BACHE SUPERF. AREA <1m² (S.A)				
BACHE SUPERF. AREA >1m² (S.B)				
BACHE PROFUNDO AREA <1m² (S.A)				
BACHE PROFUNDO AREA >1m² (S.B)				
FISURAS EN BLOQUES (0,1,2,3,4)				
OTRAS FISURAS (0,1,2,3,4)				
OTROS DEFECTOS SUPERFICIALES (0,1,2,3,4)				
CONDICION DE MANEJO (1,2,3,4)				
INTENSIDAD DE MANTTO (p.s.r/0-4)RT				
OBSERVACIONES (1,2,3,4,5)				

## MÉTODO DIRECTO O TRADICIONAL: VISUAL O MUESTRERO

El método antiguo de evaluación de pavimentos de concreto asfáltico se basa en ensayos de laboratorio e inspecciones de campo, que definen las condiciones generales del estado actual del pavimento, la metodología seguida para aplicar el método directo o tradicional es la siguiente:

### 1- Pruebas de Campo

Se hacen pozos a cielo abierto de 0.6 mts. x 0.6 mts con una profundidad mínima de 1 mt. a lo largo del tramo de proyecto<sup>17</sup>. En cada capa del pavimento y en la subrasante se toma una muestra con un peso de por lo menos 40 kg. para la ejecución de los ensayos de laboratorio, además se anota la siguiente información:

- a) Proyecto, estacionamiento, nombre del tramo e indicar la ubicación del pozo, (derecho o izquierdo).
- b) Tipo de concreto asfáltico, espesor. A criterio del ingeniero se extraerán núcleos de concreto asfáltico para realizar ensayo granulométrico y contenido de asfalto.

---

<sup>17</sup> La separación entre pozo y pozo es generalmente 500 mts., pero puede variar según la importancia del proyecto o el criterio de la persona que realiza la evaluación; ver Carreteras, Calles y Aeropistas. Raúl Valle Rodas, cap. I, págs. 21 y 22.

- c) Tipo de Suelo. Clasificación Visual-Manual.
- d) Contenido de humedad "In situ" (W %). Calculado con el "Speed y Moisture Tester" o en el laboratorio.
- e) El grado de compactación "In Situ", utilizando el método del cono y arena o el densímetro nuclear.
- f) El espesor de cada capa.
- g) Otros (ej. profundidad del nivel freático)

2- Ensayos de Laboratorio

En el cuadro N° 6, se definen los ensayos a ejecutar para cada muestra y la propiedad a investigar:

CUADRO No. 6

ENSAYOS A EJECUTAR Y PROPIEDADES A INVESTIGAR

ENSAYO	OBJETIVO
Análisis granulométrico ASTM D-422	Clasificar el suelo. Comparar con especificaciones.
Límites de Atterberg ASTM D-4318	Obtener el grado de plasticidad. Comparar con especificaciones.
Relación densidad-humedad ASTM D-1557	Previo al ensayo CBR, conocer Densidad, máxima compactación.
Capacidad soportante relativa (CBR), ASTM D-1883	Especificada para cada capa de pavimento.
Extracción de asfalto y granulometría, ASTM D-2172	Conocer el contenido de asfalto y la curva granulométrica.

A partir de los resultados de laboratorio, datos de tránsito y las observaciones de campo, se realiza el rediseño del espesor

del pavimento, utilizando el Método Mexicano, Instituto del Asfalto u otro, a fin de verificar si los espesores y calidad de las capas del pavimento existentes satisfacen los requerimientos del tránsito vehicular actual y soporte debido al peso de los vehículos.

HECHOS DE CONCRETO ASFALTICO  
EVALUACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

## CAPITULO II

## INTRODUCCION

En éste capítulo se exponen los ensayos a realizar en el campo: prueba de placas, aplicación de la viga Benkelman para la toma de deflexiones del pavimento; describiendo de la misma el procedimiento de campo así como el equipo, los materiales y el personal a ocupar. Además contiene los métodos de interpretación de deflexiones, el Modelo de Hogg y el del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos (MIA). Con cada uno de éstos métodos se hace un análisis de los diferentes factores, tomando en cuenta variables comunes en ambos como las deflexiones y el tránsito, para obtener una sobrecapa de refuerzo que requiere el pavimento; los factores que cada uno toma en cuenta se detallan en sus respectivos temas.

Con el ensayo de placa de cargas se determina la deformación del pavimento cuando se aplica una carga que varía de 1.2 a 13.0 Ton y posteriormente con la teoría de Burmister se obtiene la resistencia de la subrasante y la del pavimento.

También forma parte de este capítulo el procedimiento de campo para la verificación del tránsito y la temperatura en los tramos de estudio.

## **ENSAYOS INDIRECTOS USADOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Con los ensayos indirectos para evaluar la estructura de los pavimentos se persigue lo siguiente:

- Incrementar el número de ensayos por unidad de tiempo.
- Simular la carga de tráfico vehicular (en magnitud, forma y tiempo de carga) a la que se somete el pavimento.
- Simplificar la realización del ensayo y la interpretación de sus resultados.

Los equipos y procedimiento más utilizados para realizar los ensayos indirectos se agrupan de acuerdo a su modo de carga, como se describe a continuación en el cuadro N° 7.

CUADRO N° 7

EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS MAS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS

MODO DE CARGA	EQUIPO TIPICO	DESCRIPCION
Carga Estática (Ensayo de placa)	Equipo vario (Placa circular metálica, deformímetros, gato hidráulico, etc.)	Carga de hasta 30 ton. aplicada, hasta lograr deformaciones de 0.1", manteniendo la carga por 3 minutos. Repitiendo el procedimiento para lograr deformaciones de 0.2", 0.3" y 0.4". El ensayo está estandarizado en ASTM D 1196-64. (Ensayo estático).
Carga vehicular	- Uiga Benkelman - Deflectómetro Lacroix - Deflectómetro móvil de California	Se hace aplicar una carga por medio de un camión que se desplaza a velocidades menores de 5 Km/h, del punto donde se miden las deflexiones.
Carga Vibratoria	- Masas contrarrotantes Dynalect. - Vibradores Electrohidráulicos.	Se induce una vibración armónica en el pavimento por medio de un generador de carga dinámico, por la rotación de una o varias masas excéntricas o por la acción de una bomba hidráulica. Las deflexiones inducidas por los aparatos vibratorios son medidos con transductores de velocidad, llamados geófonos.
Carga de Impulso	Deflectómetro de carga descendente	Se aplica una carga momentánea sobre el pavimento, generada por la caída de una masa sobre un plato circular, apoyado sobre el punto de ensayo. Las deflexiones son medidas con geófonos que son colocados a distintas distancias del eje de carga.

## LA VIGA BENKELMAN.

### a) Descripción

La Viga Benkelman, es un equipo útil para medir indirectamente las deformaciones (deflexiones) de la superficie del pavimento por la acción de una carga de 8.2 Ton. Funciona según el principio de palanca; los dos brazos de la viga rotan alrededor de un eje horizontal de manera que cualquier movimiento del extremo de la viga en contacto con el pavimento provoca un movimiento proporcional en el extremo opuesto, el cual es registrado por un deformímetro.

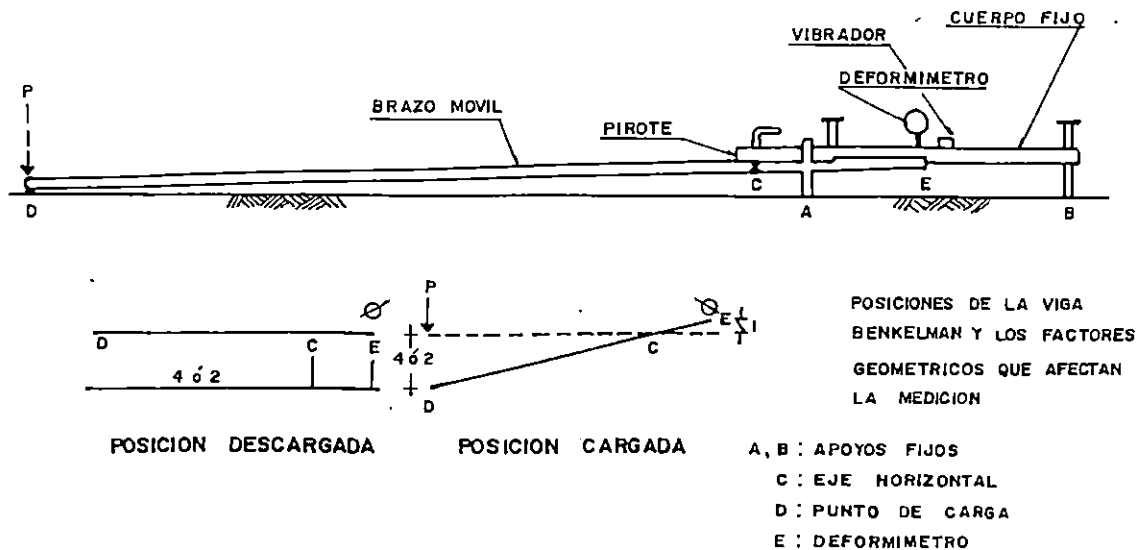


Figura I. Descripción y posiciones de la Viga Benkelman y los factores geométricos que la afectan.

Generalmente, se utiliza viga con relación de brazo de palanca de 2:1 ó 4:1, como se muestra en la figura I.

La carga (P) de 8.2 ton. se hace aplicar con el eje trasero de un camión cargado, de ruedas dobles con presión de inflado (p) de 70 psi. a 80 psi. como se muestra en la figura II.

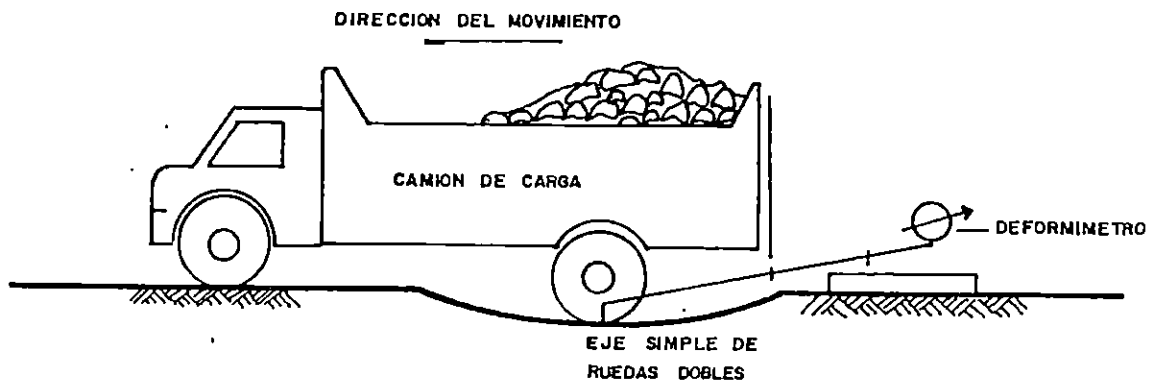


Figura II. Aplicación de la carga según la posición del camión mostrado.

- b) Equipo, materiales y personal que se utiliza
- Equipo
- Viga Benkelman, con relación de brazos de 2:1 ó 4:1 y su correspondiente deformímetro con aproximación de 0.01 mm ó 0.001 pulgada.
  - Un camión para ensayo con las siguientes características:
    - . El eje trasero será del tipo simple, de ruedas

dobles, con capacidad de transmitir una carga de 8 a 10 ton.<sup>18</sup>

De preferencia se contará con una balanza portátil con capacidad mínima de 5 ton., para pesar la rueda doble de carga antes y después de los ensayos del día.

- . La presión en los neumáticos de las ruedas traseras será de 70 psi a 80 psi, con separación entre ellas de 5 a 10 cms.
- . Se deja en la parte trasera del camión una varilla metálica colocada en posición vertical.
- . Que el camión pueda operar a velocidades menores de 5 kms/h.
- . Vehículo auxiliar tipo pick-up para transporte del personal y otros.
- . Un odómetro portátil o cinta métrica de 25 ó 50 mts. de longitud.
- . Una vara recta de madera de 1.20 mts. de longitud y sección angular de 8.0 x 2.0 cms.
- Accesorios de medición varios
  - . termómetro de 0°C a 100°C, con aproximación de 1°C.
  - . pintura.

---

<sup>18</sup> En el documento "Instructivo para la Ejecución de Ensayos no Destructivos Empleando la Viga Benkelman", se propone el uso de un camión que transmite la carga citada, pero en la práctica se utiliza una carga de 8.2 Ton.

- . . . plomada.
- . . . destornillador.
- . . . alicates.
- . . . formularios de reporte de campo.
- . . . banderolas.
- . . . señales de seguridad.
- . . . recipiente con agua.
- . . . alambre de amarre.
- . . . silbato.
- . . . bomba ligera.
- . . . cincel.
- . . . regla metálica de 20 cms. con precisión de un milímetro.

#### Materiales

El material empleado para cargar el eje trasero del camión no será susceptible a la humedad (de preferencia grava triturada), protegido con una cubierta impermeable.

#### Personal

La brigada de campo estará compuesta por:

- . . . Un ingeniero supervisor.
- . . . Un técnico de medida.
- . . . Dos ayudantes.
- . . . Un banderillero.
- . . . Dos motoristas.

c) Procedimiento para Medir las Deflexiones del Pavimento

i) Separación entre puntos de ensayo.

La separación entre los puntos donde se tomarán las mediciones de deflexión no deben exceder de 500 mts. a lo largo del carril seleccionado para las pruebas.

Estos puntos se localizan a una distancia del borde exterior, según se indica a continuación:

Ancho del carril (mts)	Distancia desde el borde externo del carril (mts)
2.70	0.45
3.00	0.60
3.30	0.75
3.60 ó más	0.90

Los puntos ubicados se señalan con pintura, con una raya transversal y otra paralela al eje de la vía (en forma de cruz, opcionalmente se puede usar una plantilla para demarcar el estacionamiento) de modo que permita la colocación exacta que sirva de guía del camión de ensayo. (Figura III).

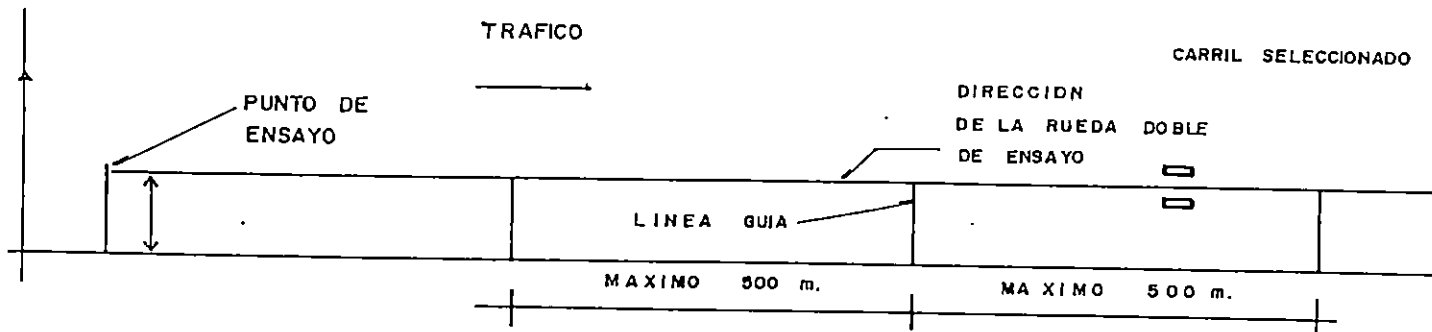


Figura III. Ubicación de los puntos para la toma de deflexiones en la vía. (esquema en planta).

ii) Ubicación de puntos de ensayo.

Los puntos de ensayo se ubicarán en cualquier parte de la longitud del carril, pero no en zonas destruidas, aisladas o zonas reparadas aisladas; tampoco donde se coincida con alcantarillas, tableros de puentes, pozos de visita u otros. (La toma de deflexiones en estos puntos, se hará a 10 metros de distancia de cualquier estructura en mención).

iii) En el lugar de realización del ensayo, se coloca la rueda de carga sobre el punto de medición, tal que éste coincida con el eje vertical del centro de gravedad de carga (Fig. IV.1 Y V).

Estacionada la rueda doble de ensayo, se inserta entre las llantas el extremo del brazo móvil de la viga, colocándolo en la forma más aproximada sobre el punto de ensayo seleccionado.

Debido a que esto último se dificulta, se realizará previamente lo siguiente:

- Se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero hacia la parte exterior de los mismos, haciendo coincidir (empleando una plomada) el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad de carga, tomando como referencia la varilla

vertical adosada a la parte posterior del camión. (fig. V), se efectúa una marca en la viga de manera tal que en adelante basta con hacer coincidir la marca con la varilla vertical, para asegurarse que el extremo de la viga coincida con el centro de gravedad de carga de las ruedas, en el momento de iniciar con las mediciones.

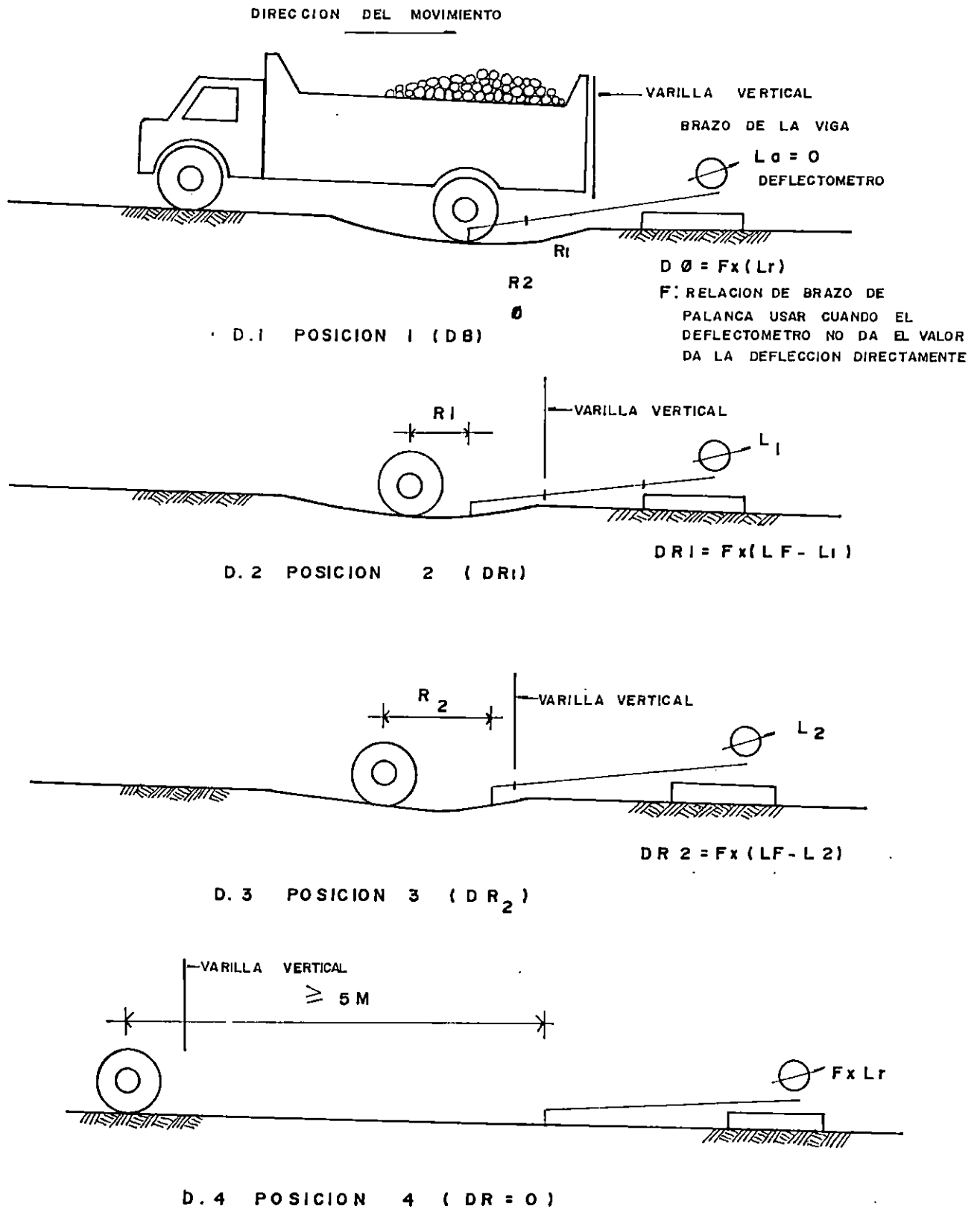


Figura IV. Esquema del proceso de medición de deflexiones con Viga Benkelman

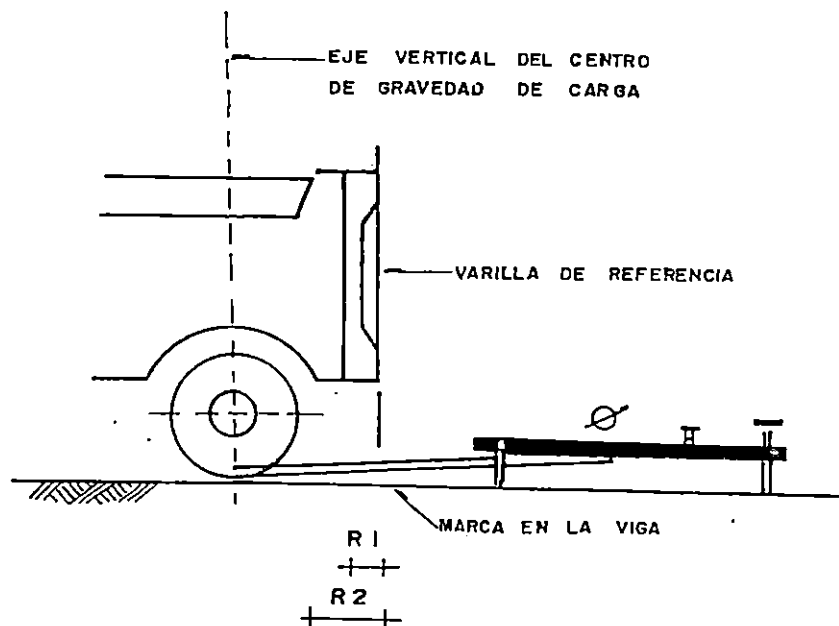


Figura V. Posición de la Viga Benkelman en el eje trasero del camión.

Sobre la viga se harán dos marcas sucesivas ( $R_1$ ,  $R_2$ ); a partir de la primera, a distancias a las cuales se desea medir las deflexiones adicionales.

iv) Para la metodología de análisis.

Se requieren al menos tres lecturas: la primera a una distancia de 35 cms. de la marca inicial, de tal forma que la deflexión que se obtenga en este punto sea aproximadamente la mitad de la deflexión máxima. La segunda lectura se toma al doble de la distancia de la primera lectura (70

cmts). La tercera lectura ( a 105 cmts, deflexión máxima), se obtiene desde la marca inicial, cuando la carga se ha retirado más de 5 mts. del punto donde se toman las lecturas. Estas dos distancias se determinan específicamente para cada proyecto de evaluación que se realiza. Esto deberá hacerse por medio de tanteos antes de comenzar con la recolección de datos de campo. Es común observar variaciones en las deflexiones durante la realización de los ensayos, pero no deberán modificarse las deflexiones tomadas en la primera marca adicional, si se encuentra en el rango del 35% y 65% de la deflexión máxima.

v) Instalada la viga en el punto de medición, se realizará lo siguiente:

- Verificar que la viga esté alineada longitudinalmente con la dirección del camión.
- Ajustar a cero (0.0000) la lectura en el dial del deformímetro.
- Activar el vibrador.

Posteriormente a estas actividades se hará desplazar el camión muy lentamente, y se tomarán las lecturas conforme la varilla

vertical vaya señalando la primera y segunda marcas adicionales (fig. IV.2 y IV.3), y una lectura final a una distancia de 5 mts. del punto de ensayo o donde el deformímetro finalice el movimiento. (fig. IV.4).

vi) Para realizar este procedimiento serán necesarias 6 personas:

- un técnico que lea y dicte las lecturas.
- un anotador de mediciones.
- un ayudante que coordine con el conductor del camión y transporte la viga a la siguiente estación de ensayo.
- un controlador del tráfico.
- ingeniero supervisor.

vii) Los datos obtenidos serán tabulados en un formato adecuado (ver formato N°3), para luego calcular las deflexiones para cada punto.

viii) También deberán hacerse las siguientes observaciones:

En cada punto de ensayo se deberá fijar el kilometraje, el tipo de fisura y ahuellamiento u otra manifestación de deterioro representativa en la distancia media atrás y media adelante de dicho punto, descripción de la sección

transversal (corte (C), relleno (R) y media ladera (ML)), condiciones de drenaje, temperatura del pavimento.

La extensión de los daños se deberá reportar como: Baja (B), Media (M) y Alta (A).

Las fisuras encontradas serán descritas con doble símbolo, como se anota a continuación:

- 1: longitudinal o transversal
- 2: ramificada
- 3: formando bloque pequeño (< 15 cms)
- 4: formando bloque grande (> 15 cms.)

Indicando adicionalmente la magnitud del daño según la abertura de la fisura:

- E: Escasa (< 1 mm)  
M: Moderada (1-3 mm)  
S: Severa (> 3 mm)

Ver datos de campo en el anexo N° 1.

FORMATO N° 3

<b>MEDIDA DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN</b>									
PROYECTO _____				TRAMO: _____					
CARGA EN EJE: _____ kg			CARGA EN RUEDA: _____			FECHA: _____		HOJA: ____/____	
V.B. ROTACION /1		PRESION NEUMATICO: _____ LB/PUL <sup>2</sup>			CARRIL: _____		ANCHO: _____ mt		
UNIDADES DE DEFORMIMETRO _____				ESPESOR _____ cm.		TEMPERATURA: _____ C°			
KILOMETRAJE	LECTURA EXTENSOMETRO			FISURA N°	AHUELLAMIENTO (mm)	D=DESINTEGRACION P=PARCHE E=EXUDACION	R=RELLENO ML, C/R=RELLENO C=CORTE	T C°	OBSERVACION
	A _____ cm	DISTANCIA EXTERIOR (cm)	FINAL						

## MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN BASADOS EN LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO

### 1. Método basado en los modelos de Hogg y Burmister:

Los modelos matemáticos de Hogg y Burmister, consisten en representar el sistema pavimento-subrasante, al idealizar el comportamiento de este sistema, mediante curvas de deflexiones teóricas (ver figs. VII y IX) que representarán las propiedades de las capas del terraplén cuando se imponen cargas de tráfico. La finalidad de estos modelos, es comparar las deflexiones teóricas con las deflexiones en el campo (usando la Viga Benkelman) para evaluar los módulos de elasticidad de la subrasante ( $E_2$ ) y el pavimento ( $E_1$ ). Ambos modelos representan al pavimento como una placa de extensión horizontal infinita ( $\alpha$ ) sobre una subrasante de espesor infinita ( $e_s = \alpha$ ), confinada por una base rígida a una determinada profundidad ( $h$ ) (ver fig. VI). Sin embargo, para eliminar la subrasante infinita, se asume la capa rígida, equivalente a una capa rocosa, a una profundidad finita por medio de un factor de ajuste que la limita ( $H=10L_0$  hasta  $H=100L_0$ ).

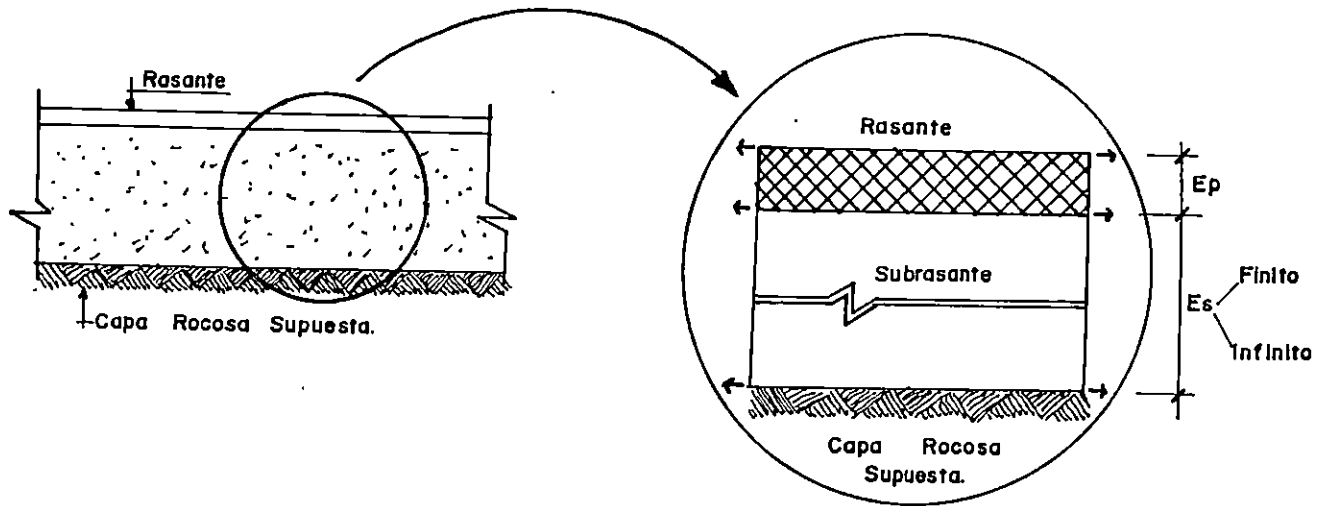


Figura VI. Modelo Pavimento-Subrasante.

#### Modelo de Burmister.

El modelo se basa en las siguientes suposiciones:

- a) El pavimento se representa por una o varias capas elásticas de espesor total ( $H$ ), sobre una subrasante elástica, homogénea e isótropa.
- b) La capa rígida se encuentra a partir de la superficie (rasante) a una profundidad igual a la extensión horizontal de la curva de deflexiones medidas.

Con este modelo se han generado curvas de deflexiones usando la Viga Benkelman. La fig. VII, muestra como ejemplo el modelo y las curvas de deflexiones para un espesor total de pavimento de 50 cm. y una profundidad de

la capa rígida de 6.9 m<sup>19</sup>.

Las curvas de deflexiones del Módulo de Burmister, usando la Viga Benkelman dependen de cada una de las capas, espesor, grado de compactación y humedad, pero en la Fig. VII, éstas se expresan como una relación de los módulos de elasticidad del pavimento y la subrasante ( $E_1/E_2$ ); cuanto mayor es la relación entre deflexiones a una distancia R medida desde el centro geométrico de carga, con respecto a la máxima deflexión ( $D_R/D_0$ ), mayor es el cociente modular o relación modular (la distribución de carga se considera uniforme en el pavimento).

---

<sup>19</sup> Adaptado de Ing. Alberto García López (oct. 1989). Mantto. y Rehabilitación de Pavimentos Louis Berger International, Inc.

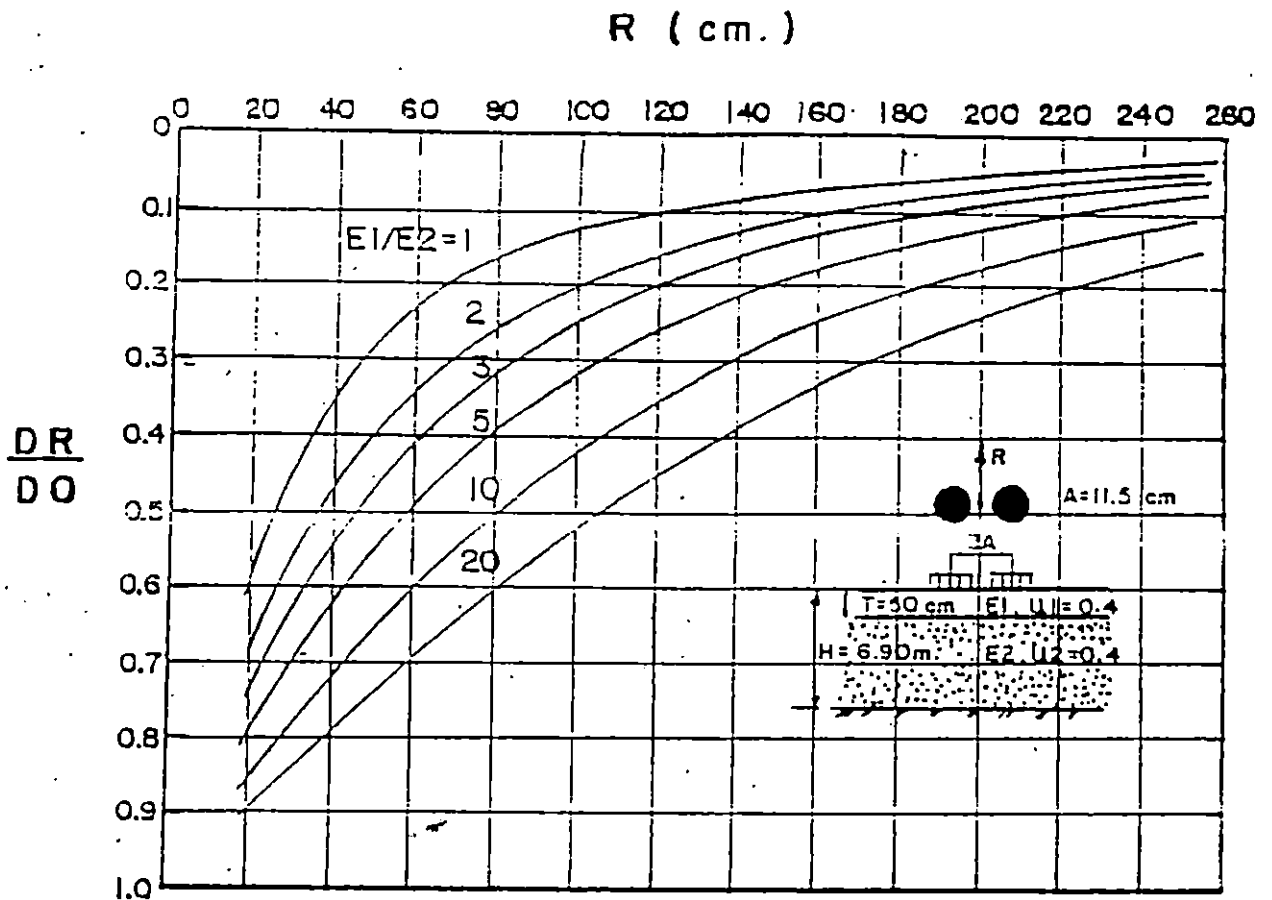


Figura VII. Gráfica de relación de módulos de elasticidad del pavimento subrasante ( $E_1/E_2$ )  
(Curva de deflexiones en el Modelo de Burmister para carga de la Viga Benkelman)

- T : Espesor total de pavimento
- R : Distancia donde se mide la deflexión, a partir del centro geométrico de carga
- E1: Módulo de elasticidad del pavimento
- E2: Módulo de elasticidad de la subrasante
- DO: Deflexión máxima en el pavimento
- DR/DO: Deflexión a una distancia R entre deflexión máxima
- A: Radio del área de contacto de la llanta
- $\nu$  : Coeficiente de Poisson
- H: Profundidad de la capa rígida

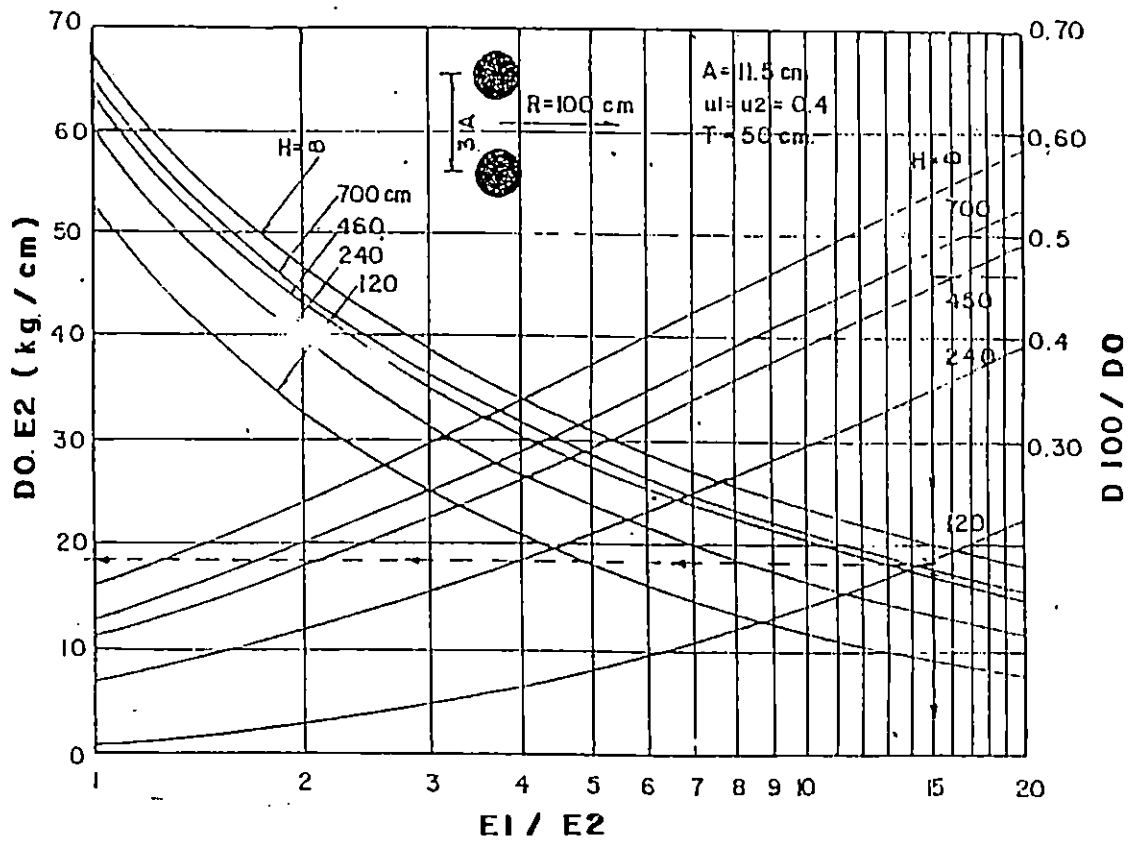


Figura VIII. Gráfica para la evaluación del módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_2$ ).

Modelo de Burmister. Viga Benkelman válida para un espesor de  $T = 50$  cm

Con la fig. VIII se determinan los módulos de elasticidad de la subrasante, ver ejemplo<sup>20</sup>

#### Modelo de Hogg.

Se basa en las siguientes suposiciones:

- a) Las capas del pavimento están representadas por una placa con las siguientes propiedades: elásticas, homogéneas, isótropa de espesor medio y de extensión horizontal infinita en ambas direcciones.

Se han elaborado gráficas para determinar el Módulo de elasticidad de la subrasante<sup>21</sup>. Ver Fig. X.

---

#### <sup>20</sup> Ejemplo:

Con  $D_0 = 0.05$  cm;  $R = 100$  cm;  $D_{(100)} = 0.024$  cm y  $H = 500$  cm.  
 $D_{(100)}/D_0 = 0.48$                        $H/T = 500/50 = 10$  En la fig VII  
 $E_1/E_2 = 15$  y se lee  $D_0 \times E_2 = 17$ , en la fig. VIII  
 $E_2 = 17/0.05 = 340$  Kg/cm<sup>2</sup>.

#### <sup>21</sup> Ejemplo:

Si  $D_0 = 0.05$ ,  $R = 100$  cm,  $D_{(100)} = 0.024$  y  $H = 10 \times L_0$   
Luego  $D_{(100)}/D_0 = 0.48$  De la Fig. IX,  $L_0 = 53$  cm  
 $H = 10 \times 53 = 530$  cm De la Fig. X.  $D_0 \times E_2 = 20$   
 $E_2 = 20/0.05$ ;  $E_2 = 400$  Kg/cm<sup>2</sup>.

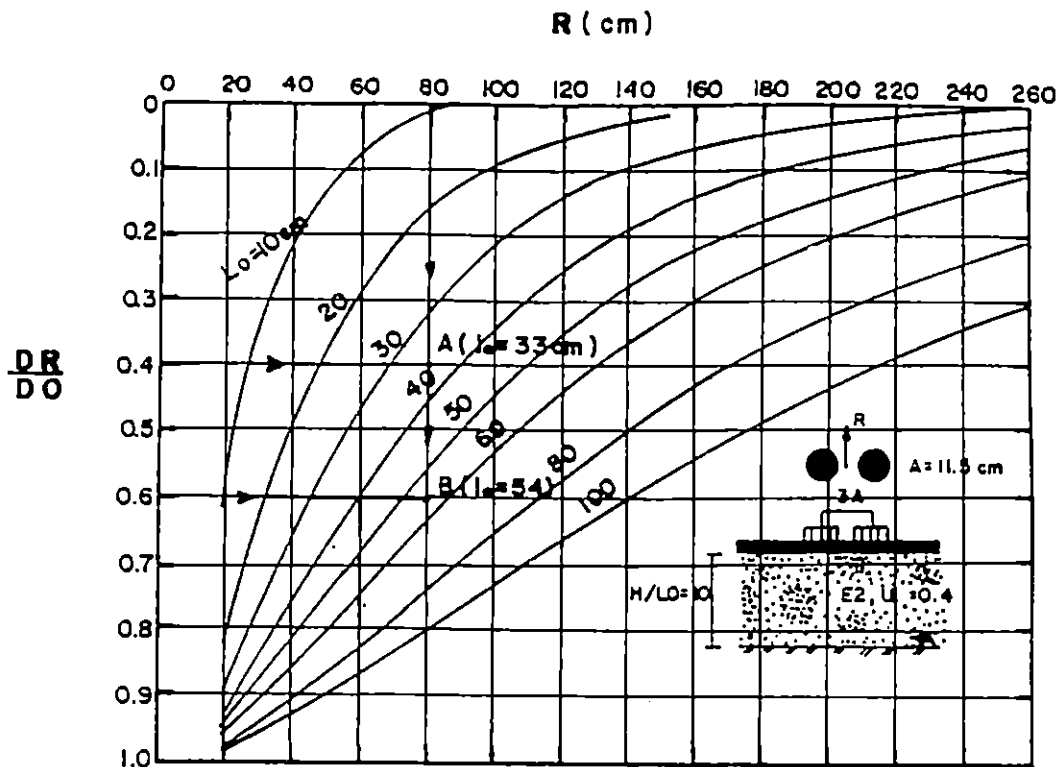


Figura IX. Gráfica para obtener la longitud característica ( $L_o$ (cm)). (Curva de deflexiones en el Modelo de Hogg para carga de la Viga Benkelman).

$R$	:	Distancia donde se mide la deflexión, a partir del centro geométrico de carga.
$DR/DO$	:	Deflexión a una distancia $R$ entre deflexión máxima.
$H/L_o$	:	Profundidad de la capa rígida.
$E_2$	:	Módulo de elasticidad de la subrasante.
$L_o$	:	Longitud característica.
$A$	:	Radio de la huella de contacto de la llanta.
$\nu$	:	Coefficiente de Poisson.

b) La profundidad de localización de la capa rígida con respecto a la rasante, varía entre  $10 L_o$  y  $100 L_o$ ; siendo  $L_o$  la relación de rigideces  $k_p/k_{sr}$  o sea de la rigidez relativa del pavimento entre la rigidez relativa de la subrasante; cuanto mayor es su valor, la distribución de

carga en el pavimento es más uniforme; es decir, que al pavimento se hace alcanzar una estructura más rígida que la subrasante. El valor de 100, antepuesto a  $L_0$  corresponde a una capa rígida supuesta infinita. Se recomienda usar el valor de 10, por considerar que este factor es representativo de las condiciones de campo.

Con este modelo se han generado curvas de deflexiones con valores de longitud característica ( $L_0$ ), usando la Viga Benkelman<sup>22</sup>, ver Fig. IX, las cuales dependen de las variables DR, DO y R.

Las curvas de deflexión medidas con la Viga Benkelman, Figs. IX y X basadas en la teoría de Hogg sirven para interpretar las mediciones realizadas en el campo.

La DGC adopta un procedimiento matemático<sup>23</sup> para realizar la evaluación estructural del pavimento basado en el Modelo de Hogg para calcular el espesor de refuerzo sobre el pavimento según la AASTHO, determinando lo siguiente:

- P1. El módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ).
- P2. El módulo de elasticidad equivalente del pavimento existente ( $E^*$ ) y su aporte estructural según el espesor

---

<sup>22</sup> Adaptado de Ing. Alberto García López (Oct. 1989). Mantto. y Rehabilitación de Pavimentos, Louis Berger International Inc..

<sup>23</sup> Este procedimiento está reseñado en el programa de cálculo para procesamiento de los datos de campo. En el capítulo III están los resultados de esta aplicación.

existente, en centímetros y en términos de una base granular resistente (EE).

P3. Espesor de la sobrecapa del pavimento.

En el capítulo III, se mostrará con datos reales el proceso de cálculo.

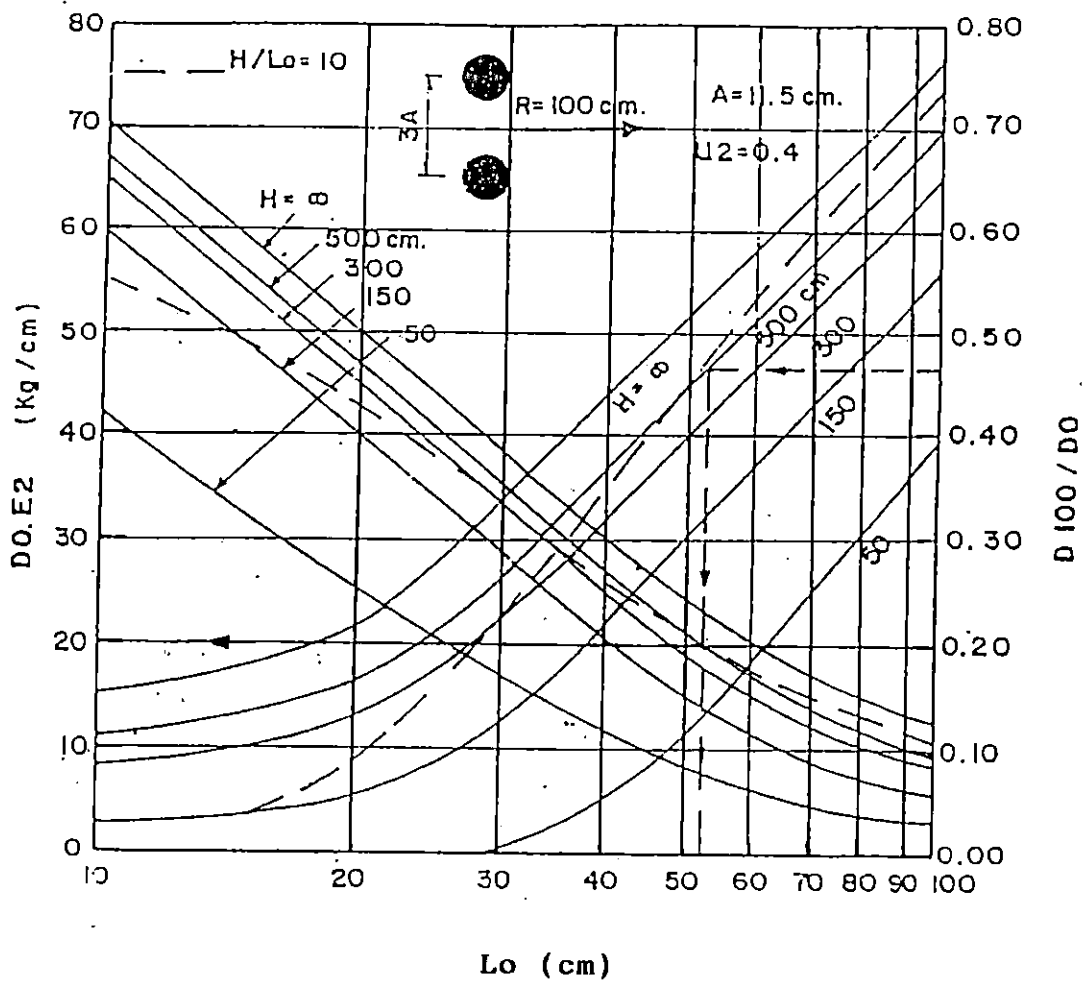


Figura X. Gráfica para obtener el módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_2$ ). Modelo de HOGG; Viga Benkelman.

P1. CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE.

Con cálculos previos se determinará lo siguiente:

- \* El radio de la huella circular de contacto ( $R_a$ ) para las ruedas dobles del eje trasero. Durante el ensayo con la Viga Benkelman se obtiene:

$$R_a = \left[ \frac{P}{2 \cdot \pi p} \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. I})$$

Donde:

$P$  : Carga sobre la rueda doble, en Kg.

$p$  : Presión de inflado de los neumáticos, en Lbs/pul<sup>2</sup>

$R_a$ : Radio de la huella circular de contacto, en cms.

- \* La distancia  $R_{0.5}$  del centro de gravedad de carga de la rueda doble en dirección longitudinal, para la cual se obtiene la relación  $DR/DO = 0.5$ . Ver Fig. XI.

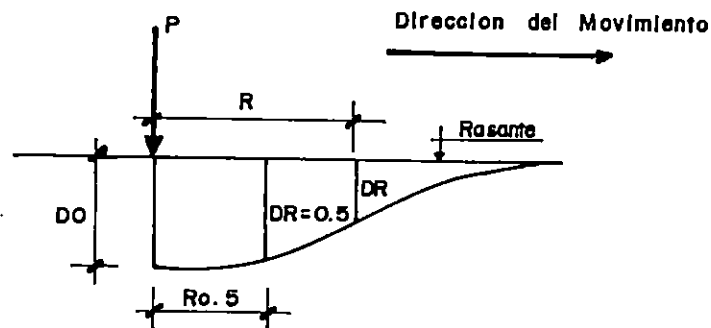


Figura. XI. Ejemplo de  $R_{0.5}$  para  $DR/DO$  menor que 0.5

En el modelo de Hogg, esta distancia se representa por:

$$R_{0.5} = R \times \frac{\left(\frac{1}{A}\right)^{\frac{1}{c}} - B}{\left[\frac{1}{A}\left(\left(\frac{DO}{DR}\right) - 1\right)\right]^{\frac{1}{c}} - B} \quad (Ec. II)$$

Siendo:

- R : Distancia a la que se mide la deflexión DR.  
 DO: Deflexión máxima.  
 DR: Deflexión a la distancia R.  
 A,B y C: Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en el siguiente cuadro N° 8, los cuales dependen de  $v$  y  $H/L_0$

CUADRO N° 8

Coeficiente de correlación de las curvas de deflexiones del Modelo de Hogg para el calculo de  $R_{0.5}$ .

H/L <sub>0</sub>	v	A	B	c
α	0.2 - 0.5	0.321	0	1.7171
10 DR/Do > 0.7	0.5	0.407	0	1.6890
10 DR/Do < 0.7	0.5	0.003	2	4.5663
DR/Do > 0.42	0.4	0.380	0	1.8246
10 DR/Do	0.4	4.3795x10 <sup>-4</sup>	3	4.9903

- \* La longitud característica ( $L_0$ ). Este parámetro refleja la rigidez relativa entre el pavimento y la subrasante; en el proceso de evaluación, esta depende solamente del cociente

DR/DO y del valor R, ya que dos pavimentos con igual cociente DR/DO a una distancia igual (R), tienen el mismo  $L_o$  aunque DR y DO sean diferentes.

Para el cálculo de este valor se usa la siguiente ecuación:

$$L_o = \frac{Y \times R_{0.5} + [(Y \times R_{0.5})^2 - 4 \times m \times R_a \times R_{0.5}]^{1/2}}{2} \quad (\text{Ec. III})$$

Donde:

$R_{0.5}$ : Es la distancia del centro de gravedad de carga de la rueda doble en dirección longitudinal. Se obtiene de la ec. II.

$R_a$ : Radio de la huella circular de contacto.

$Y, m$ : Coeficientes de correlación cuyos valores se indican en el cuadro N° 9.

CUADRO N° 9

Coeficientes de correlación de las curvas de deflexiones del Modelo de Hogg para el cálculo de  $L_o$

Condición	1	2	3
$H/L_o$	10	10	$\alpha$
$v$	0.5	0.4	Cualquiera
$Y$	0.620	0.602	0.525
$m$	0.183	0.192	0.180

\* La relación teórica entre las rigideces para carga puntual ( $k_p$ ), sobre el área de contacto de la llanta para un valor

de  $Ra/L_o$ .

En este caso, la rigidez ( $k$ ) es el cociente entre la carga ( $p$ ) y la deflexión máxima ( $DO$ );  $k = P/DO$

$$k^* = k_p/k_d = 1 - M * (Ra/L_o - 0.10) \quad (\text{Ec. IV})$$

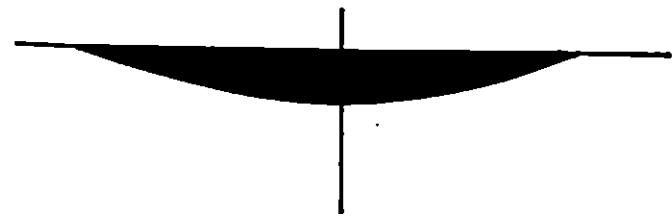
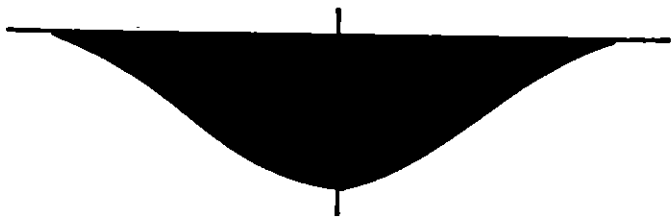
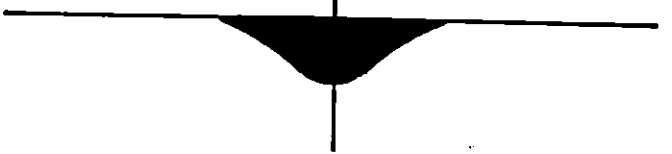
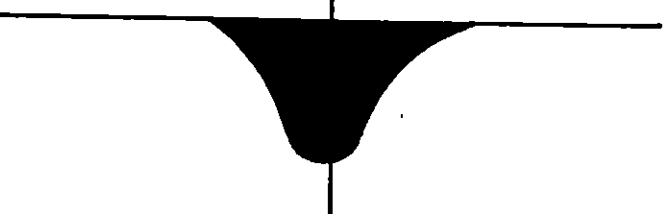
Donde:

$k_p$  : Rigidez para carga puntual transmitida por el eje del camión.

$k_d$  : Rigidez para carga distribuida, en el área de contacto de la rueda doble.

$M$  : Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores contenidos en el cuadro N° 10.

La relación de rigideces, puede también ser evaluada, mediante la construcción de las curvas de deflexiones. Ver capítulo III pag. N° 143. Las curvas así obtenidas en el campo, se comparan con las curvas típicas de la figura XII, y de esta manera se tiene una guía o idea con la que se puede establecer las condiciones del sistema pavimento-subrasante. Todo lo antes dicho, forma parte entonces de una evaluación cualitativa.

<u>DO</u>	<u>DR / DO</u>		<u>CURVA MEDIDA</u>	<u>PAVIMENTO EVALUADO</u>
Bajo	Alto	<p style="text-align: center;"><b>TIPO I</b></p> 	<p>Curva extensa Poco profunda</p>	<p>Pavimento bueno Sub-rasante buena</p>
Alto	Alto	<p style="text-align: center;"><b>TIPO II</b></p> 	<p>Curva extensa Profunda</p>	<p>Pavimento bueno Sub-rasante mala</p>
Bajo	Bajo	<p style="text-align: center;"><b>TIPO III</b></p> 	<p>Curva corta Poco profunda</p>	<p>Pavimento malo Sub-rasante buena</p>
Alto	Bajo	<p style="text-align: center;"><b>TIPO IV</b></p> 	<p>Curva corta Profunda</p>	<p>Pavimento malo Sub-rasante mala</p>

**Significado de los diferentes tipos de curvas de Deflexiones**

CUADRO N° 10

Coefficiente numérico para obtener la relación de rigideces ( $K^*$ )

	H/L <sub>o</sub> = 10	H/L <sub>o</sub> = α
v	M	M
0.5	0.52	0.44
0.4	0.48	0.44
Cualquiera	0.44	0.44

\* Cálculo del módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ).

$$E_o = \frac{K_v \times I \times P}{L_o \times DO} \times K^* \quad (Ec. V)$$

Donde:

$K_v$  : Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson ( $v$ ) y adopta los siguientes valores:

Para

$$v = 0.5 ; K_v = 1.5$$

$$v = 0.4 ; K_v = 1.633$$

I : Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores.

CUADRO N° 11

Coefficiente numérico para obtener el módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ).

	H/L <sub>o</sub> = 10	H/L <sub>o</sub> = α
v	I	I
0.5	0.1614	0.1925
0.4	0.1689	0.1925
Cualquiera	0.1925	0.1925

P2. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO ( $E^*$ ).

El módulo de elasticidad equivalente del pavimento ( $E^*$ ) representa a todas las capas del pavimento por encima de la subrasante. Para un pavimento flexible típico compuesto de carpeta asfáltica y capas granulares, el módulo  $E^*$  representa la carpeta y la capa granular combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores individuales, como se muestra en la Fig. XIII y es función directa de:

- 1) El espesor de la carpeta asfáltica,  $H_1$ .
- 2) El espesor de la base y subbase,  $H_2$ .
- 3) La deflexión máxima ( $DO$ ).
- 4) El módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ).
- 5) Radio del área de contacto de la llanta ( $R_a$ ).
- 6) La profundidad de la capa rocosa ( $H = 10 L_0$ )

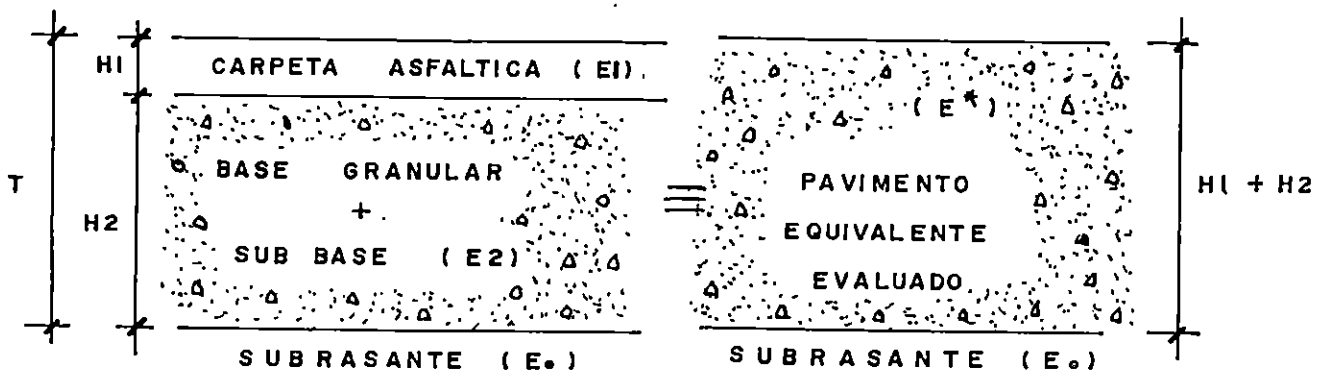


Figura XIII. Pavimento Equivalente.

Su cálculo implica resolver iterativamente para cualquier combinación de valores de  $E_0$ ,  $T$ ,  $p$ ,  $P$ ,  $DO$ ,  $R$ ,  $DR$ ,  $H/L_0$ , y  $\nu$ , según la ecuación<sup>24</sup>:

$$DO = \frac{(1+\nu)P}{2\pi} \left\{ \frac{1}{E^*} \left[ 2 \frac{(1-\nu)}{r} - \frac{1}{R_1} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_1}{R_1} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{E_0} \left[ \frac{1}{R_2} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_2}{R_2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R_3} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_3}{R_3} \right)^2 \right) \right] \right\}$$

(Ec. VI)

Donde cada factor es una operación según se indica:

$$r = 1.5 Ra$$

$$Z_1 = T + 0.6 Ra^2/T$$

$$R_1 = [Z_1^2 + (1.5 Ra)^2]^{1/2}$$

$$Z_2 = HE + 0.6 Ra^2/HE$$

$$HE = 0.9 * T (E^*/E_0)^{1/3}$$

$$R_2 = [Z_2^2 + (1.5 Ra)^2]^{1/2}$$

$$Z_3 = (HE + NLo) + 0.6 Ra^2/(HE + NLo)$$

$$R_3 = [Z_3^2 + (1.5 Ra)^2]^{1/2}$$

$N = 10$  para base rocosa de espesor finito ( $H/L_0 = 10$ ).

Un pavimento adecuadamente diseñado debe guardar una relación modular del pavimento a la subrasante entre 2 y 4. Para fines prácticos se puede adoptar el valor de 3<sup>25</sup>, o sea que:

$$E_p/E_0 = 3$$

<sup>24</sup> Esta ecuación es adoptada de: Alberto Garán López (Octubre 1989). Mantenimiento y Rehabilitación de pavimentos. Louis Berger International Incorp. El Salvador.

<sup>25</sup> Este valor es el adoptado por la DGC en la evaluación.

Además, se puede establecer la siguiente relación:

$$E_0 = (100 \text{ a } 160) \times \text{CBR}$$

Para  $E_0$  expresado en  $\text{Kg/cm}^2$  y CBR en porcentaje<sup>26</sup>.

Basados en la rigidez flexionante, el pavimento existente con módulo de elasticidad  $E^*$  y espesor  $T$ , este es equivalente a un pavimento nuevo con módulo de elasticidad  $E_p$  y espesor HEB, que guardan la relación:

$$E^*(T^3) = E_p (\text{HEB})^3$$

sabiendo que  $E_p = 3E_0$ ; se tendrá que:

$$E^*(T^3) = 3E_0(\text{HEB})^3$$

$$\text{Luego; HEB} = (1/3 * E^*/E_0)^{1/3} * T \quad (\text{Ec. VII})$$

El espesor HEB sería entonces el espesor efectivo en términos de "base granular" de pavimento existente de acuerdo a los valores de  $T$ ,  $E^*$  y  $E_0$  evaluados. Ver Fig. XIV.

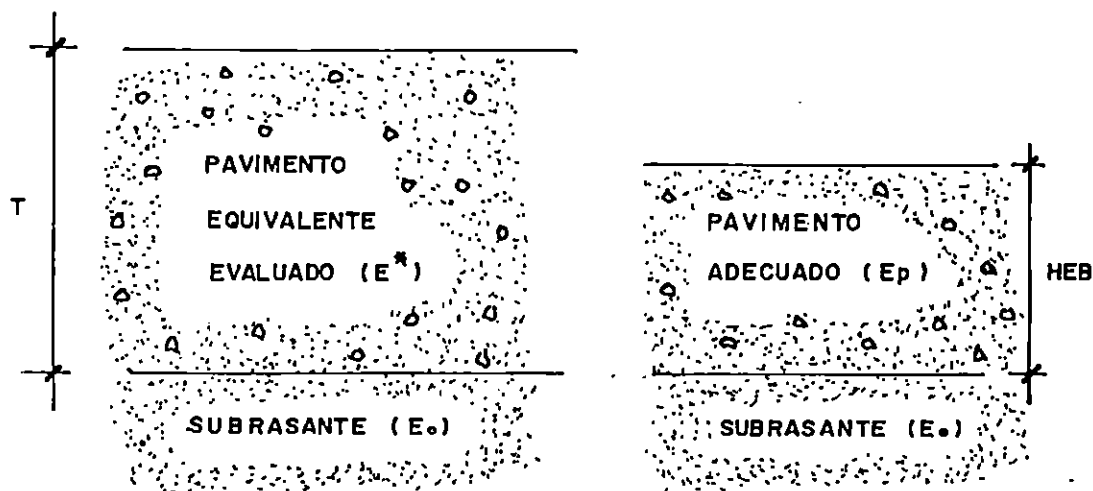


Figura XIV. Espesor efectivo en términos de base granular (HEB)

<sup>26</sup> Ver Alberto García López (Octubre 1989). Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimento. Donde se recomienda utilizar el valor promedio  $E_0 = 130 \text{ CBR}$ , hasta que se recopile suficiente información local para reajustar este valor.

### P3. ESPESOR DE LA SOBRECAPA DEL PAVIMENTO (DH<sub>ópt.</sub>)

Es un refuerzo que se obtiene a partir del espesor de refuerzo requerido (DH), éste se determina con el espesor de diseño de un pavimento nuevo para una demanda de tráfico futuro (ED) y el aporte estructural del pavimento existente, equivalente en espesor a un pavimento nuevo (EE), así

$$DH = ED - EE \quad (\text{Ec. VIII})$$

El valor de EE es el espesor equivalente en mezcla asfáltica del espesor de base granular (HEB), del pavimento existente. Obtenido de la siguiente relación:

$$EE = HEQ = \frac{0.14}{0.44} \times HEB = \frac{HEB}{3.14} \quad (\text{Ec. IX})$$

Donde: 0.14 y 0.44 son coeficientes estructurales de capa, definidos como una relación empírica entre el número estructural (SN) y los espesores, y son una medida de la capacidad relativa del material para funcionar como una componente estructural de pavimento<sup>27</sup>.

El espesor del pavimento nuevo diseñado a partir de la subrasante, equivalente en mezcla asfáltica en caliente y en función del tráfico (ESAL), según la AASHTO, se calcula así:

$$ED = \frac{2.54}{0.44} \times [AT - BT \times \text{Log}(E_o)] \quad (\text{Ec. X})$$

Donde:

2.54 : Factor de conversión de pulgadas a centímetros.

---

<sup>27</sup> Estos coeficientes son obtenidos a partir de un CBR de la base granular de 100% y Módulo de Elasticidad de la capa de concreto asfáltico de 440,000 Kg/cm<sup>2</sup>. Ver Figs. XV y XVI.

0.44 : Coeficiente de transformación a mezcla asfáltica en caliente.

AT y BT: Factores que dependen del tráfico futuro. (ESAL).

AT :  $-6.825 + 2.867 * \log_{10}(ESAL)$ .

BT :  $-1.160 + 0.633 * \log_{10}(ESAL)$ .

TA :ED Espesor de diseño de un pavimento nuevo, expresado en términos de mezcla asfáltica en caliente (cm)..

Luego, para encontrar el espesor del refuerzo requerido de diseño se reemplazan las ecuaciones IX y X en VIII:

$$DH = \frac{2.54}{0.44} [AT - BT * \log (Eo)] - \frac{HEB}{3.14} \quad \text{Ec. XI}$$

Este valor es calculado para cada uno de los estacionamientos del tramo y posteriormente se obtiene el refuerzo requerido promedio ( $DH_{prom}$ ) de todos los valores del tramo analizado (ver procedimiento de calculo en el capítulo III pág. N° 153 y 154.

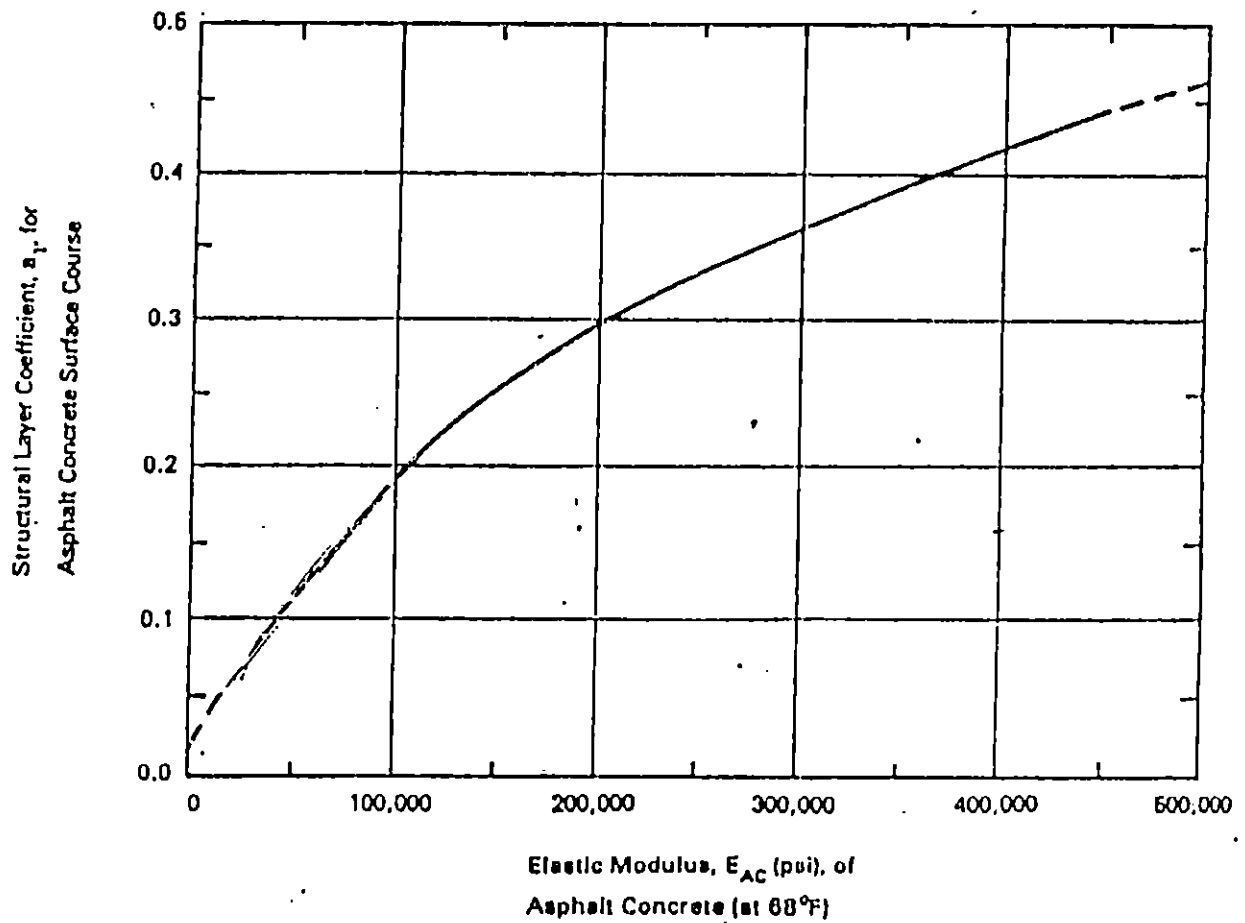
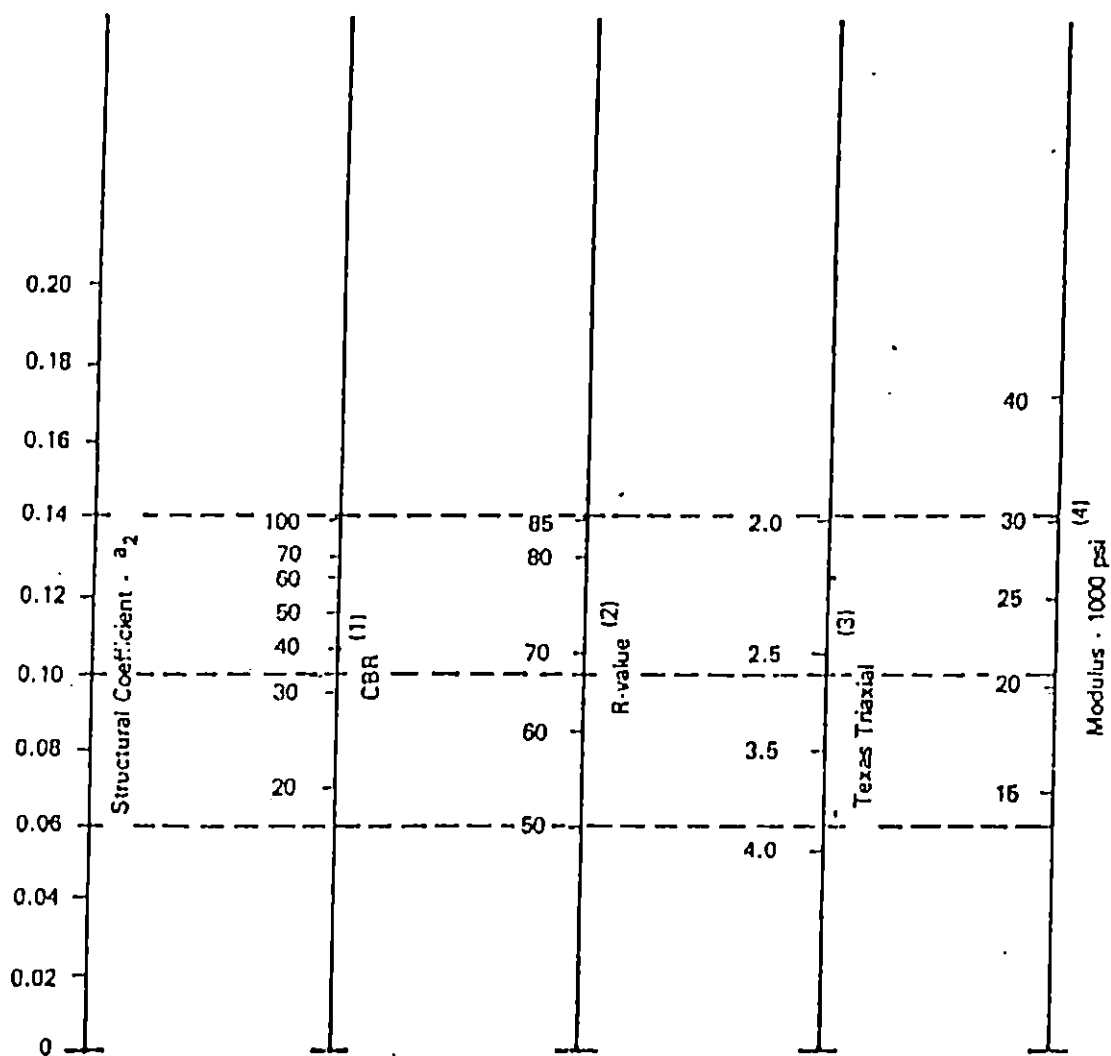


Figura XV. Carta para estimar el Coeficiente estructural de capa concreto asfáltico denso, basado en el Módulo Elástico (Resiliencia).

\* Adaptado de AASHTO (1986) Guide for Design Pavement Structures.



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figura XVI. Variación del coeficiente de capa de base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia.

\* Adaptado de AASHTO (1986) Guide for Design Pavement Structures.

Finalmente, en cada estación donde se ha efectuado la medición de las deflexiones se obtendrán los refuerzos de diseño; si éstos son variables en el tramo de pavimento estudiado, es necesario definir, por condiciones prácticas, un espesor apropiado o sea un espesor de refuerzo óptimo que se calculará con la siguiente relación:

$$DH_{\text{ópt}} = DH_{\text{prom}} + Z_r * S \quad (\text{Ec. XII})$$

Siendo:

- $DH_{\text{ópt}}$ : Espesor del refuerzo óptimo.
- $DH$  : Espesor de refuerzo promedio en términos de mezcla asfáltica en caliente.
- $S$  : Desviación estándar de los valores analizados de  $DH_{\text{prom}}$ .
- $Z_r$  : Nivel de confianza empleado en el diseño de la sobrecapa.

El coeficiente  $Z_r$  es el nivel de confianza empleado y varía de acuerdo al siguiente cuadro<sup>28</sup>:

---

<sup>28</sup> Aplicación del nivel de confianza ( $Z_r$ ), tomando un valor del nivel de confianza del 98%, según el cuadro N° 12; esto indica que un porcentaje del 2% del área analizada, requiere valores de  $DH$ , mayores a  $DH_{\text{ópt}}$ .

CUADRO N° 12

Asignación del nivel de confianza y valor de  $Z_r$ .

Nivel de confianza	Porcentaje del área con probables valores de DH mayores a $DH_{opt}$ .	$Z_r$
70	30	0.524
75	25	0.674
80	20	0.842
85	15	1.000
90	10	1.300
95	5	1.645
98	2	2.000

Adaptado de AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

2. Método del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos (MIA)






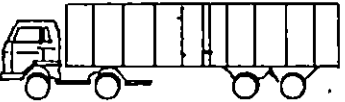


Es un método útil para interpretar los valores de las deflexiones obtenidas en el ensayo de la Viga Benkelman, para calcular el espesor de la sobrecapa de los pavimentos; consiste en un análisis estadístico de las deflexiones y toma en cuenta para evaluar la capacidad estructural del pavimento los parámetros como el tránsito, la temperatura y la estación del año, aplicados como factores de ajuste a las medidas de las deflexiones tomadas sobre el pavimento en el momento de realizar la prueba.

a) El tránsito vehicular.

En el diseño de la sobrecapa de los pavimentos existentes es importante determinar; el tránsito, los tipos de vehículos (cuadro N°13), la frecuencia con que pasan en el carril de diseño y las cargas de sometimiento actuales y futuras sobre el

CUADRO N° 13

FACTOR DE CAMION PARA CAMIONES TIPO.

CLASE DE VEHICULO	DIMENSIONES MAXIMAS			CARGA MAXIMA POR EJE EN Kg.	CARGAS MAXIMAS POR EJES EN MILES DE KILOGRAMOS					FACTOR DE CAMION
	LARGO EN METROS	ANCHO	ALTO		EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	
I-Camion sencillo de DOS Ejes.  TIPO A	10	2.50	3.80	12,000	4	8	-	-	-	0.953
II - Camion de DOS Ejes con Remolque de DOS Ejes.  TIPO A CON REMOLQUE	18.3	2.50	3.80	28,000	4	8	b	-	-	2.725
III - Camion Sencillo de TRES Ejes  TIPO B	11	2.50	3.80	18,900	4	14.9		-	-	0.928
IV-Camion de TRES Ejes con Remolque de DOS Ejes.  TIPO B CON REMOLQUE	18.3	2.50	3.80	33,800	4	14.9		b	-	2.718
V -Tractor de DOS Ejes con Semi-remolque de UN Eje.  TIPO C	14	2.50	3.80	20,000	4	8	8	-	-	1.830
VI-Tractor de DOS Ejes con Semirremolque de DOS Ejes  TIPO D	14	2.50	3.80	26,900	4	8	14.9		-	1.823
VII-Tractor de TRES Ejes con Semi-remolque de UN Eje  TIPO E	14	2.50	3.80	26,900	4	14.9		8	-	1.823
VIII-Tractor de TRES Ejes con Semi-remolque de DOS Ejes.  TIPO F	14	2.50	3.80	33,800	4	14.9		14.9		1.816

NOTAS: a) En los Vehiculos IV y VII cualquier eje podra ser cargado con el peso maximo Autorizada, para la suma de los pesos en todos los ejes no debera de Exeder el total de 13,800 kgs.  
b) Las cargas por ejes en remolque no podra exederse, para eje aislado y llantas sencillas de 4000 kgs. y para eje aislado y llantas doble de 8000 kgs.

pavimento, con el fin de convertirlas en un número equivalente de cargas por eje sencillo estándar de 8.2 ton. (ESAL) para el período de diseño fijado (por ejemplo, para rediseño de pavimento es de 10 años y para diseño de pavimento nuevo es de 20 años).

Para analizar el tránsito se determina: el tránsito promedio diario anual (TPDA) para el primer año del período de diseño, la composición vehicular (en porcentaje), el factor de sentido del tránsito, la tasa de crecimiento anual de tránsito ( $r$ ), el porcentaje de vehículos en el carril de diseño (ver cuadro N° 14) y el período de diseño del pavimento ( $n$ ).

El Departamento de Tránsito de la DGC ha adoptado de la AASHTO para el análisis del tránsito, los valores en el cuadro N° 13; el cual detalla el tipo de vehículo que involucra la carga máxima por eje así como los factores de camión considerando la carga que lleva en su interior, variando desde vacío a sobrecargado; no toman en cuenta los vehículos livianos como automóviles y pick-up ya que éstos ejercen poca influencia sobre el comportamiento estructural de un pavimento en máximas consideraciones de trabajo.

Para carreteras importantes como primarias, por ejemplo la Carretera Internacional Panamericana, es mejor calcular los factores de camión en base a las cargas por eje obtenidos de,

las básculas de control ubicadas a lo largo de las carreteras<sup>29</sup>, pero se podrán usar los factores de camión contenidos en el cuadro N° 13 para carreteras que no tienen un control de pesos.

Para calcular el número de pasadas de carga equivalentes de eje sencillo de 8.2 ton. de diseño (ESAL) se procede como sigue:

- i) Para cada tipo de vehículo, determinar el número total de repeticiones que pasa en el carril de diseño al principio del período de diseño.
- ii) El porcentaje de ESAL que deberá afectarse, según el número de carriles se calcula según el cuadro N°14, estimados un sentido de tráfico.

Cuadro N° 14

Porcentaje de Vehículos pesados en el carril de diseño

N° de carriles en un sentido del tráfico	Porcentaje ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

- iii) Seleccionar el factor de camión de cada tipo de vehículo según el cuadro N° 7 ó por las ecuaciones de Liddle, como sigue:

<sup>29</sup> Se calcula el factor de camión de la siguiente manera: por medio de las básculas de control se obtienen los pesos por eje de cada tipo de vehículo sustituyendo en las ecuaciones de Liddle. Pág. 94.

Para eje sencillo o simple:

$$Fe = (L/8200)^{4.5}$$

Para eje doble o tándem:

$$Fe = (L/15,300)^{4.5}$$

Siendo:

Fe : factor de equivalencia de una carga estándar de 8.2 ton.

L : la carga actual en Kg. por eje para un tipo de vehículo.

iv) Determinar el factor de sentido del tránsito.

Es un factor de distribución direccional de tráfico expresada como una relación entre las distribuciones de ESAL, en ambos sentidos de circulación. Este factor varía entre 0.3 a 0.7 dependiendo de en qué dirección de tráfico esté o no cargada. Normalmente este factor se adopta de 0.5, aunque si hay una gran diferencia en las cargas en el tráfico en diferentes sentidos debería adoptarse un mayor valor.

v) Seleccionar el factor de crecimiento del tránsito.

Con el período de diseño (n) y la tasa de crecimiento de tránsito anual (r, obtenida de una serie histórica y continua de TPDA registrados en la DGC) se obtiene del cuadro N° 15. Si no se tiene un valor entero de la tasa de

crecimiento del tránsito anual, su valor se obtendrá interpolando o usando la fórmula siguiente:

$$\text{Factor de crecimiento del tránsito} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

CUADRO N° 15

Factor de crecimiento del tránsito

Crecimiento anual (r)								
Años (n)	0	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.2	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.51	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Siendo:

r : tasa de crecimiento del tránsito anual obtenida de los valores de TPDA históricos.

n : período de diseño.

vi) Para obtener el número de pasadas de carga equivalente de eje sencillo de 8.2 ton. de diseño (ESAL), se multiplicará el número de vehículos de cada tipo por cada uno de los siguientes factores: por el factor de carril, por el factor de camión, por el factor de sentido de tránsito, por el factor de crecimiento<sup>30</sup>, posteriormente sumar todos los valores de ESAL por cada tipo de vehículo y el total es el ESAL acumulado<sup>31</sup>.

b) Factor de ajuste de temperatura ( $F_T$ ).

El asfalto es un material termoplástico en los pavimentos de concreto asfáltico, las deflexiones medidas pueden variar localmente en el mismo lugar, dependiendo de la temperatura ambiente al momento de la prueba y las temperaturas promedios

<sup>30</sup> ESAL =  $\Sigma$  (N° de vehículos x factor de carril x factor de camión x factor de tránsito x factor de crecimiento x factor de sentido).

<sup>31</sup> Ejemplo: Determinar el valor de ESAL en una carretera de 2 carriles con la siguiente información: TPDA = 5,000, % de camiones y buses (tipo A = 20%, tipo B = 15%, tipo C = 15%), % de crecimiento anual (r) = 50%, periodo de diseño (n) = 10 años. (Ver procedimiento en el capítulo III).  
N° de vehículos para el primer año = 5,000 x 365 = 1,825,000.

Tipo de Vehículo	N° de vehículos	Factor de camión tomado del cuadro N° 13	Factor de carril tomado del cuadro N° 14	Factor de Sentido	Factor de crecimiento tomado del cuadro N° 15	ESAL (Vehículos)
A	365,000	0.935	1.0	0.5	12.58	2,146,619.75
B	273,750	0.928	1.0	0.5	12.58	2,130,548.80
C	273,750	1.830	1.0	0.5	12.58	4,201,405.50
					ESAL	8,478,574.05

en los 5 días anteriores a la prueba (el promedio de las temperaturas máximas y mínimas de los 5 días anteriores). Se deben ajustar las lecturas tomadas con la Viga Benkelman a una temperatura base de 21° C; por medio de un factor de corrección por temperatura (Ft), obtenido según el procedimiento descrito posteriormente y así determinar la deflexión del pavimento equivalente a la temperatura base de 21° C.

Para calcular los factores de ajuste por temperatura es importante saber lo siguiente:

- \* La fecha del ensayo.
- \* La temperatura ambiente máxima y mínima, tomadas: la máxima a la hora del mediodía (por ejemplo 12 m) y la mínima (por ejemplo a las 7 am) para cada uno de los 5 días anteriores del día de la prueba, y obtener el promedio de los valores máximos y mínimos (10 valores) de temperatura.
- \* La temperatura de la superficie del pavimento en el momento de hacer la prueba ( $T_{CA}$ ).
- \* El espesor del pavimento para evaluar en la gráfica de temperatura, ver Fig. XVII<sup>32</sup>, las temperaturas a cualquier profundidad del pavimento en el espesor e. Esta gráfica relaciona la temperatura de la superficie del pavimento y la temperatura ambiente (máximas y mínimas) en el eje

---

<sup>32</sup>Lubina Allan (1989). Todas las gráficas de este método son adoptadas del Instructivo para la utilización de la Viga Benkelman en vías asfaltadas.

horizontal y la temperatura a cualquier profundidad del pavimento en el eje vertical.

- \* Tomar un promedio ponderado de las temperaturas tomada en la superficie de la carpeta asfáltica, a media profundidad de la carpeta ( $e/2$ ) y en la profundidad total ( $e$ ) de la misma, con la fórmula siguiente:

$$T_p = \frac{T_{CA} + 4T_{(e/2)} + T_{(e)}}{6}$$

donde:

$T_p$  = Temperatura promedio ponderada.

$T_{CA}$  = Temperatura de la superficie de la carpeta asfáltica.

$T_{(e/2)}$  = Temperatura a media profundidad de la carpeta asfáltica.

$T_{(e)}$  = Temperatura a profundidad total de la carpeta asfáltica.

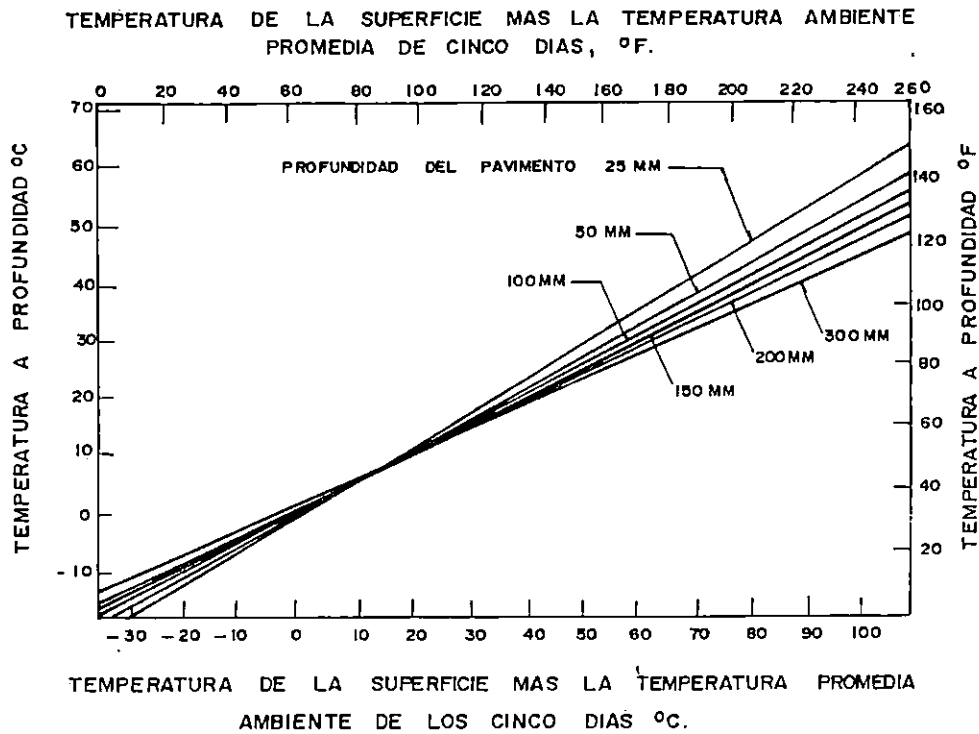


Figura XVII. Temperatura a diferentes profundidades del pavimento.

\* con la temperatura promedio ponderada ( $T_p$ ) obtenida en el literal anterior y el espesor de la base granular se obtendrá el factor de ajuste de temperatura ( $F_T$ ) (Ver Fig. XVII)<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Ejemplo: Calcular el factor de ajuste de temperatura con los datos siguientes:

Temperatura de la superficie del pavimento = 29° C.

Temperatura promedio de los 5 días anteriores = 26° C.

Espesor del pavimento = 125 mm, espesor de la base granular = 250 mm.

Solución: - Temperatura ajustada = 29° C + 26° C = 55° C.

De la Fig. XVII, con el espesor medio ( $e/2 = 125/2 = 62.5$  mm) y la temperatura ajustada, se obtiene la temperatura de 31° C y para el espesor total ( $e = 125$ ), la temperatura es = 28° C, la temperatura promedio ponderada es  $\frac{31 + 4 \times 28 + 29}{6} = 29° C$

Con la temperatura promedio ponderada y el espesor de la base granular (250 mm) se obtiene el factor de ajuste, según la Fig. XVIII,  $F_T = 0.91$ .

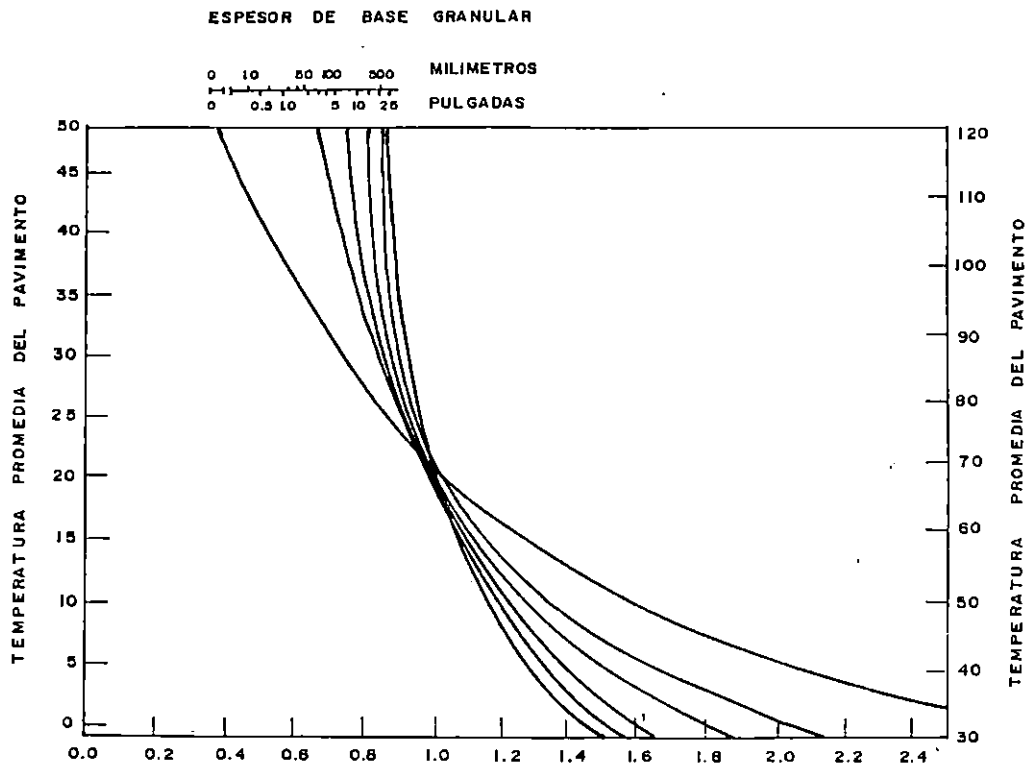


Figura XVIII. Factor de ajuste para temperatura.

c) Factor de ajuste estacional del año. ( $F_e'$ ).

La estación lluviosa tiene lugar del 21 de mayo al 16 de octubre (149 días) y el resto del año es seco (216 días). El período más crítico para realizar los ensayos con la Viga Benkelman es al final de la estación lluviosa debido a la pérdida de resistencia del pavimento cuando se satura y por consiguiente las deflexiones medidas son máximas.

Por tanto, si no es posible tomar las lecturas al final del invierno se deberán aplicar correcciones a las lecturas tomadas en la estación seca equivalente a los valores de

deflexiones máximas en la finalización de la época lluviosa. En la condición crítica, la humedad de los componente granulares del pavimento y la subrasante son altas, entonces, el factor de ajuste estacional para la estación lluviosa se toma igual a 1 y para la estación seca el factor de ajuste estacional se tomará mayor que 1 y hasta  $1.5^{34}$ .

d) Diseño de la sobrecapa de refuerzo del pavimento.

Con el factor del número de repeticiones de carga equivalente de eje sencillo de 8.2 ton. (ESAL) de la vía en estudio, se intercepta este valor con la gráfica de la Fig. XIX para obtener la deflexión representativa de rebote de diseño (DRRd).

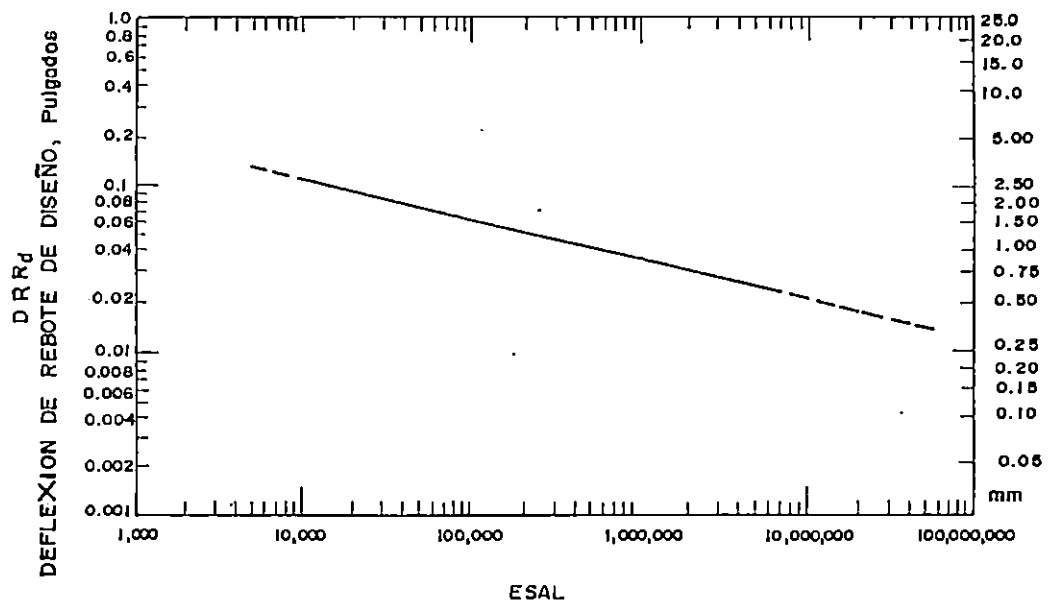


Figura XIX. Gráfica para determinar la DRR de diseño.

<sup>34</sup> Tomado del Instructivo Secretaría de Comunicaciones y Transporte (1988). Lineamientos para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras. México.

Seguidamente se calcula la deflexión representativa de rebote real ( $DRR_R$ ) con las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman, por medio de la siguiente fórmula:

$$DRR_R = (\bar{X} + 2S) \times Fe'$$

Siendo:

$\bar{X}$  = Promedio de los valores de las deflexiones ajustadas por temperatura.

S = Desviación estándar de los valores de las deflexiones.

Fe' = Factor de ajuste estacional.

La desviación estándar puede calcularse así:

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \bar{X}\sum x}{N - 1}}$$

Siendo:

X : Valor individual de cada deflexión corregido por temperatura.

N : Suma de los valores individuales de las deflexiones.

La deflexión representativa de rebote real ( $DRR_R$ ) debe ser igual o mayor del 97% de los valores medidos. En los lugares donde la deflexión es mayor que la  $DRR_R$  deberán efectuarse

lecturas adicionales para determinar la extensión de las áreas más débiles.

Si todas las lecturas de deflexiones fueron tomadas a la misma temperatura, se podrá hacer la corrección por temperatura a la deflexión representativa de rebote real ( $DRR_R$ ) o si las lecturas de las deflexiones fueron tomadas a diferentes temperaturas, el factor de ajuste por temperatura será aplicado a cada lectura de deflexión tomada y posteriormente calcular la deflexión representativa de rebote real ( $DRR_R$ ).

Con los datos calculados del ESAL; la  $DRR_d$  y la  $DRR_R$ , se podrá determinar una sobrecapa, tomando el siguiente criterio:

- Si  $DRR_R < DRR_d$ : La capacidad estructural del pavimento aun es eficiente e indica que no necesita una sobrecapa.
- Si  $DRR_R > DRR_d$ : La capacidad estructural del pavimento ya es deficiente e indica que es necesaria una sobrecapa de refuerzo a la ya existente.

Para calcular el espesor de la sobrecapa de refuerzo se utilizará la Fig. XX, con los factores de ESAL y la  $DRR_R$ . El factor de ESAL está representado por curvas con diferentes valores y el  $DRR_R$  en el eje horizontal en unidades de pulgadas y milímetros; se interceptan estos dos valores para determinar

el espesor de la sobrecapa en unidades de pulgadas y milímetros en el eje vertical izquierdo<sup>35</sup> de la misma figura XX.

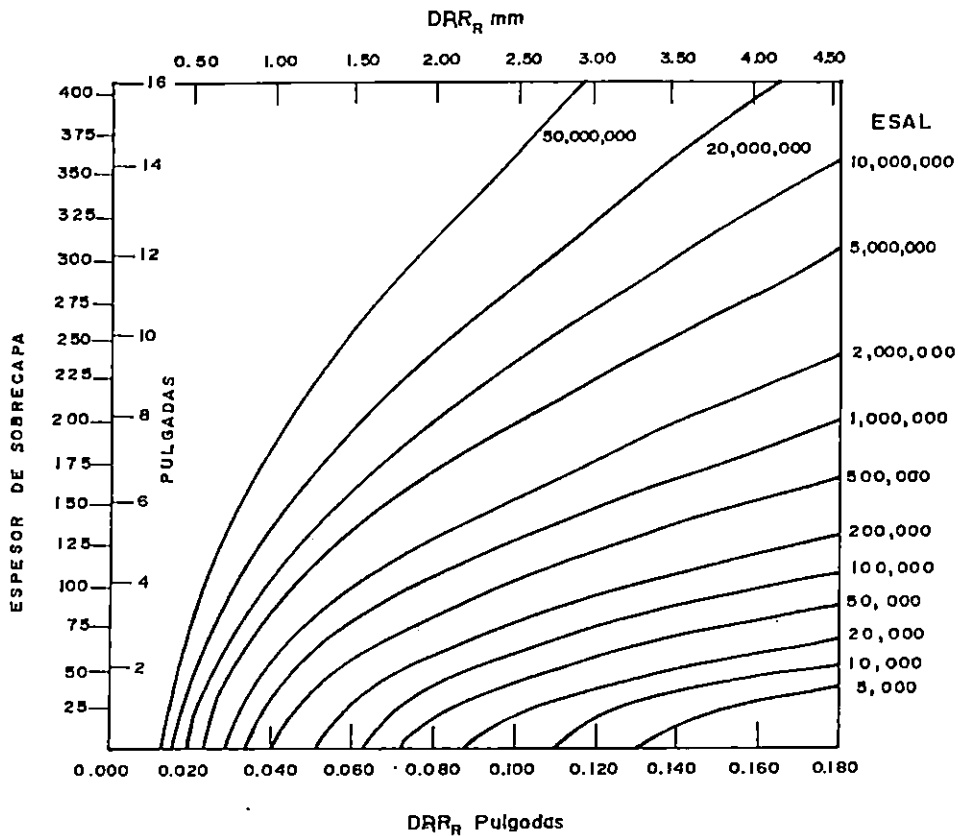


Figura XX. Espesor de sobrecapa de diseño.

**PROCEDIMIENTO DE CAMPO EN LOS CASOS DE ESTE ESTUDIO**

**a) Verificación del Tránsito.**

Los datos de tránsito, (ver anexo N°3) en los tramos de carretera CA-1, Desvío San Juan Opico - Quezaltepeque (tramo malo), Ca-8, Ateos - Jayaque (tramo regular) y Ca-12, Santa Ana

<sup>35</sup> Ejemplo: Calcular el espesor de la sobrecapa para una carretera, que se obtuvo la siguiente información:  
 ESAL = 5,000,000 vehículos      DRR<sub>R</sub> = 0.88 mm  
 De la Fig. XX y los datos anteriores se obtiene la sobrecapa de 70 mm.

- Texistepeque (tramo bueno) fueron proporcionados por la Sección de Conteo de la DGC.

Se ha clasificado la composición del tránsito en porcentajes, de acuerdo con la clase de vehículo según el cuadro N°13 página N° 91.

La distribución del tránsito, se realiza a través de estaciones permanentes de control, ubicadas en puntos estratégicos de las principales carreteras del país y los datos más relevantes que proporcionan son:

- 1) El tránsito Promedio Diario Anual, TPDA.
- 2) La tasa de crecimiento anual, r %.
- 3) La distribución de vehículos livianos y pesados.

#### **b) Verificación de la temperatura (Anexo N° 3)**

Para registrar la temperatura de la carpeta asfáltica y la del medio ambiente en la hora de practicar el ensayo de las deflexiones con la Viga Benkelman, se realizó lo siguiente:

- 1- Para la carpeta asfáltica se perforó la orilla del pavimento, haciendo un hoyo pequeño de 8 milímetros de profundidad y 5 milímetros de diámetro; se llenó de agua y transcurridos 5 minutos se tomó la temperatura con un termómetro, introduciéndose éste en el hoyo.
- 2- Para la temperatura del medio ambiente se tomó la temperatura local instantánea en el lugar, con el

termómetro.

- 3- Para la toma de la temperatura de los 5 días anteriores al día del ensayo, se tomaron las temperaturas máxima y mínimas de cada día; para las temperaturas máximas se tomaron a las 12 meridiano de cada día y para las temperaturas mínimas a la hora de 7:00 am usando un termómetro.

CUADRO N° 16

COMPARACION DE LOS METODOS DE INTERPRETACION DE LAS DEFLEXIONES

METODO	PARAMETROS INDICE QUE TOMA EN CUENTA	VENTAJA	DESVENTAJA	QUE RESUELVE
1° Basado en la teoría de Hogg.	T DR DO R P H/Lo Factor CBR Factor HEQ Coef. AASHTO ESAL	- Con el programa de computadora, la aplicación es rápida.  - Se obtiene mayor información acerca de la estructura del pavimento.	- No hace correcciones por temperatura.	- Se obtiene una sobrecapa de concreto asfáltico. - Es la base teórica para interpretar las deflexiones medidas con la Viga Benkelman, actualmente aplicado. - Módulo de elasticidad del pavimento y la subrasante, ( $E^*$ , $E_o$ ) CBR.
2° Propuesto por el Instituto del Asfalto (MIA)	DR DO R T Factor Por Temperatura (Ft)  ESAL Factor estacional ( $F_e'$ )	- Hace correcciones por temperatura.	- Hasta la fecha no existe algún programa de computadora, por tanto su aplicación es larga y trabajosa. - Se obtiene poca información de la estructura del pavimento. - No existe un valor real para el factor de ajuste por estación.	- Se obtiene una sobrecapa de concreto asfáltico. - Es un método alternativo.

**LA PRUEBA DE PLACA PARA VERIFICAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL PAVIMENTO Y EL DE LA SUBRASANTE.**

La prueba de placa es un ensayo de campo, utilizado por la Mecánica de Suelos para evaluar la capacidad de soporte de la subrasante del pavimento en términos del módulo de reacción (K). Se define como la presión (p) transmitida a la placa para producir en el suelo una deformación (Δ) prefijada (ejemplo para carreteras, la deformación es igual a 0.508 cms.= 0.2 pulg.). Siendo:

$$K = \frac{p}{\Delta} \text{ [ton/m}^3\text{, Kg/m}^3\text{]}$$

Según la especificación de la ASTM D 1196-64 (ensayo estático), se hace cargar el suelo con una carga que puede alcanzar hasta las 12 ton. por medio de una serie de placas (2 placas en pruebas de carreteras) registrando los distintos incrementos de carga contra las deformaciones prefijadas: 0.1", 0.2", 0.3" y 0.4"<sup>36</sup>. Aplicando seguidamente la teoría de las dos capas de Burmister, según la cual, los esfuerzos y las deformaciones están en función de la resistencia de las capas E<sub>1</sub>/E<sub>2</sub>, siendo E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> los módulos de elasticidad de las capas superior e inferior respectivamente como se muestra en la Figura XXI. Ver aplicación en cada dos capas.

---

<sup>36</sup> Debido a lo laborioso que resulta la prueba, tiene poca aplicación en el medio como método de evaluación de la subrasante, a pesar que los resultados por ser directos son muy confiables.

En la prueba de placa que se realizará en este trabajo se graduación, se determinará una presión (p) variable de 1.2 ton a 13 ton y su correspondiente deformación (Δ) de 0.04" a 0.05" en las capas del pavimento y la subrasante.

Secuencia de calculos de los  
modulos de elasticidad de las  
capas del pavimento.

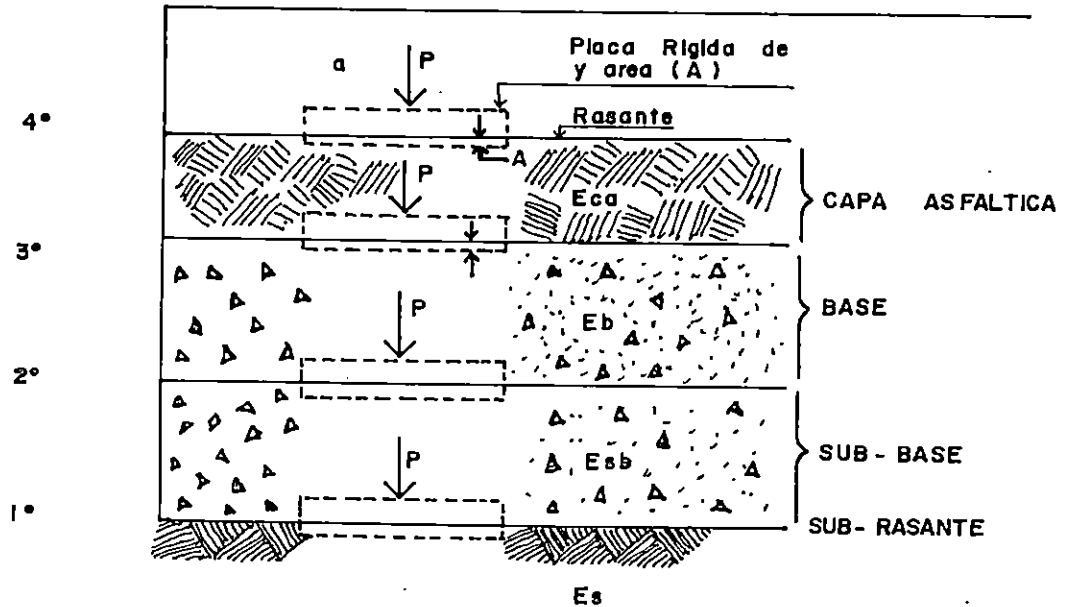


Figura XXI. Aplicación de Prueba de Placas.

En la Fig. XXII se muestran los esfuerzos verticales bajo el centro de una placa circular cargada. En el contacto base y subrasante cuando  $E_1/E_2=1$ , los esfuerzos verticales son aproximadamente el 70% de la presión aplicada y si  $E_1/E_2=100$ , los esfuerzos son alrededor del 10% de la presión aplicada.

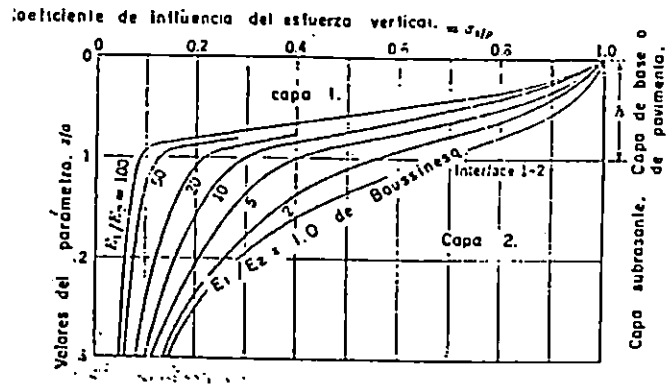


Figura XXII. Patrón básico de las curvas de influencia de esfuerzo de Burmister.

Las deformaciones en el sistema de dos capas se pueden obtener mediante la ecuación para placa rígida, como sigue:

$$E_2 = \frac{1.18 \ p a F_2}{\Delta}$$

Siendo:

$\Delta$ : Deformación en el sistema de dos capas.

$p$ : carga unitaria sobre una placa circular.

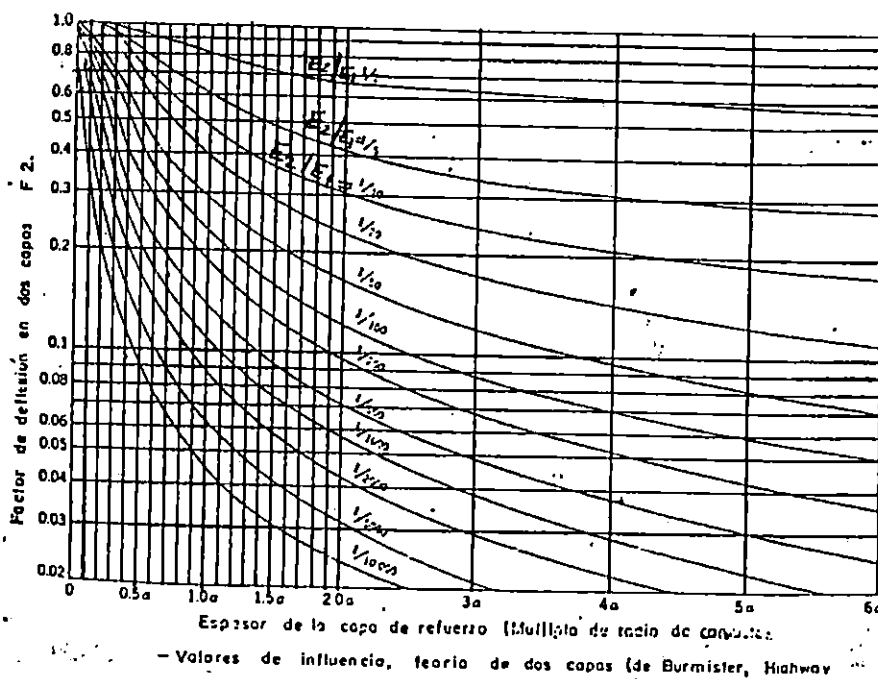
$a$ : radio de la placa circular.

$E_2$ : Módulo de elasticidad de la capa inferior.

$F_2$ : Factor adimensional que depende de la relación de módulos de elasticidad de la subrasante y del pavimento, así como la relación entre el espesor de pavimento y el radio de la placa ( $h/a$ ).

La relación entre módulos de elasticidad ( $E_2/E_1$ ) se obtiene

de la Fig. XXIII; pero antes es necesario conocer el espesor (h) de cualquiera de la capa del pavimento como múltiplo del radio (a) de la placa en el eje horizontal, así como el factor adimensional ( $F_2$ ) en el eje vertical; éstos se interceptan con las curvas de las relaciones de los módulos de elasticidad ( $E_2/E_1$ ;  $\frac{1}{2}$ ,  $1/5$ ,  $1/10$ ,  $1/20$ ) para determinar un valor numérico de esta relación.



Espesor de la capa de refuerzo (múltiplo de radio de contacto)  
 Valores de influencia, teoría de dos capas (de Burmister)  
 Figura XXIII. Gráfica de relaciones de módulos  $E_2/E_1$

Para calcular los módulos de elasticidad del sistema pavimento-subrasante: primero se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante, para esta capa, por tratarse de un mismo material, la relación de módulos de elasticidad ( $E_2/E_1$ ) es igual a 1, por tanto  $F_2$  es igual a 1.

$$\text{Luego } E_2 = E_s = \frac{1.18 \rho a F_2}{\Delta}$$

seguidamente para la capa superior se calcula  $F_2$ , conociendo los datos  $p$ ,  $a$ ,  $\Delta$  y  $E_s$  (módulo de elasticidad de la subrasante) despejándose de la ecuación de  $E_2$  así:

$$F_2 = \frac{\Delta E_s}{1.18 \rho a}$$

Con  $F_2$  y el espesor ( $h$ ) de la capa superior a la subrasante como múltiplo del radio de la placa de contacto ( $a$ ) o sea ( $h/a$ ) se calculan las relaciones modulares de elasticidad ( $E_2/E_1$ ) de las capas leyendo en la Fig. XXIII; luego para el cálculo del módulo de elasticidad de la capa subbase se tendrá que:

$$E_2/E_1 = E_s/E_{sb} = 1/n \rightarrow E_{sb} = nE_s$$

y para la capa base se tendrá que:

$$E_2/E_1 = E_{sb}/E_b = 1/n \rightarrow E_b = nE_{sb}$$

Procedimiento utilizado en el campo para realizar el ensayo de placa de carga.

a) Equipo utilizado

- \* Un camión de 3 ejes con capacidad de 10 m<sup>3</sup>, cargado con grava (dispositivo de carga).
- \* Gato hidráulico con capacidad de 50 ton., con manómetro para medir la carga aplicada.
- \* Placas de acero de 1" de espesor y de diámetros de 10, 12 y 18 pulgadas cada una.
- \* Pistones de 2" de diámetro y acopladores.

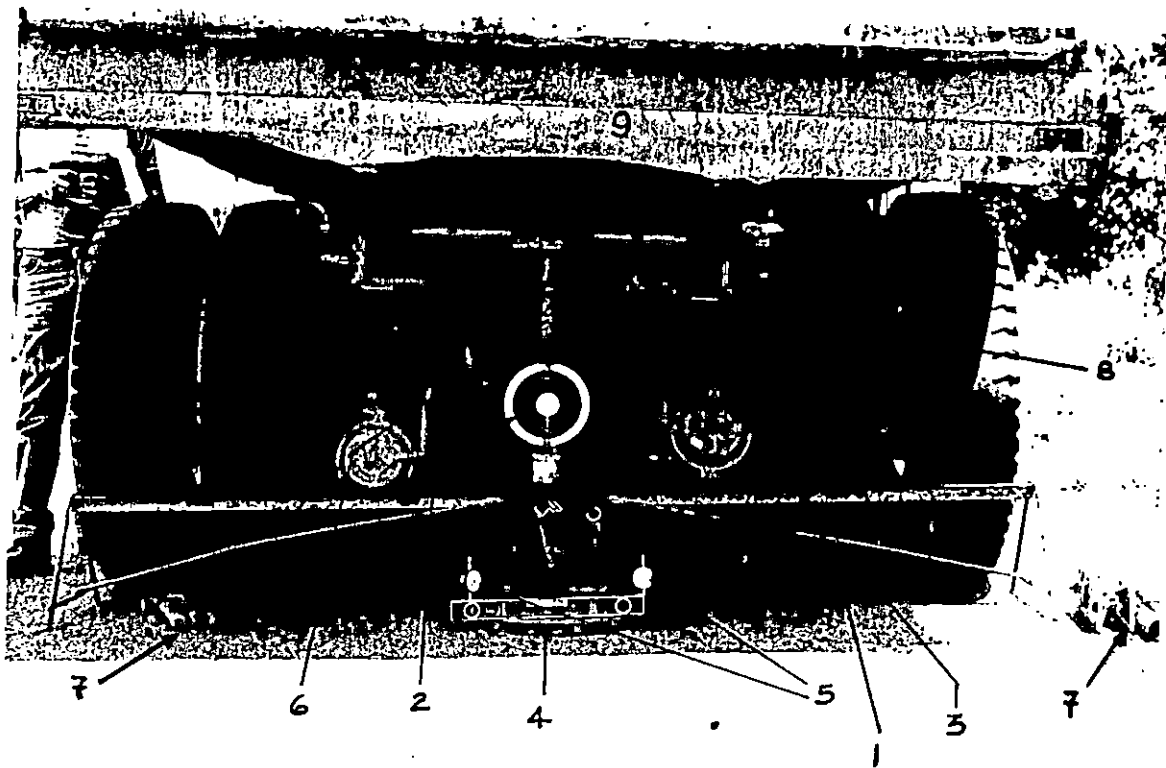
- \* Viga hecha de ángulo (1" x 1") de 2.5 mts de longitud, utilizada como puente.
- \* Deformímetros con precisión de 0.001".
- \* Cronómetros.
- \* Palas, piochas, barras y banderolas.

b) Pasos a seguir.

- 1- Elegido el punto de ensayo, se colocan las placas de 18" y 12" en orden ascendente, luego el gato hidráulico y finalmente los pistones, hasta lograr la altura del camión en el eje trasero. (Ver fotografía 8) y anotar la información requerida. Ver anexo 2 de este capítulo.
- 2- Colocar la Viga de puente con sus respectivos deformímetros a 180°, éstos deberán colocarse a una pulgada del borde de la placa de mayor diámetro.
- 3- Colocar a cero (0.0) los deformímetros.
- 4- Aplicar una carga que genere una deformación de 0.05 pulgadas.
- 5- Mantener la carga durante 3 minutos, a velocidad de 0.001"/min, luego registrar la deformación y la carga.
- 6- Descargar moderadamente y observar la descarga, hacer las anotaciones complementarias.
- 7- Regresar al 4° paso y repetir el procedimiento

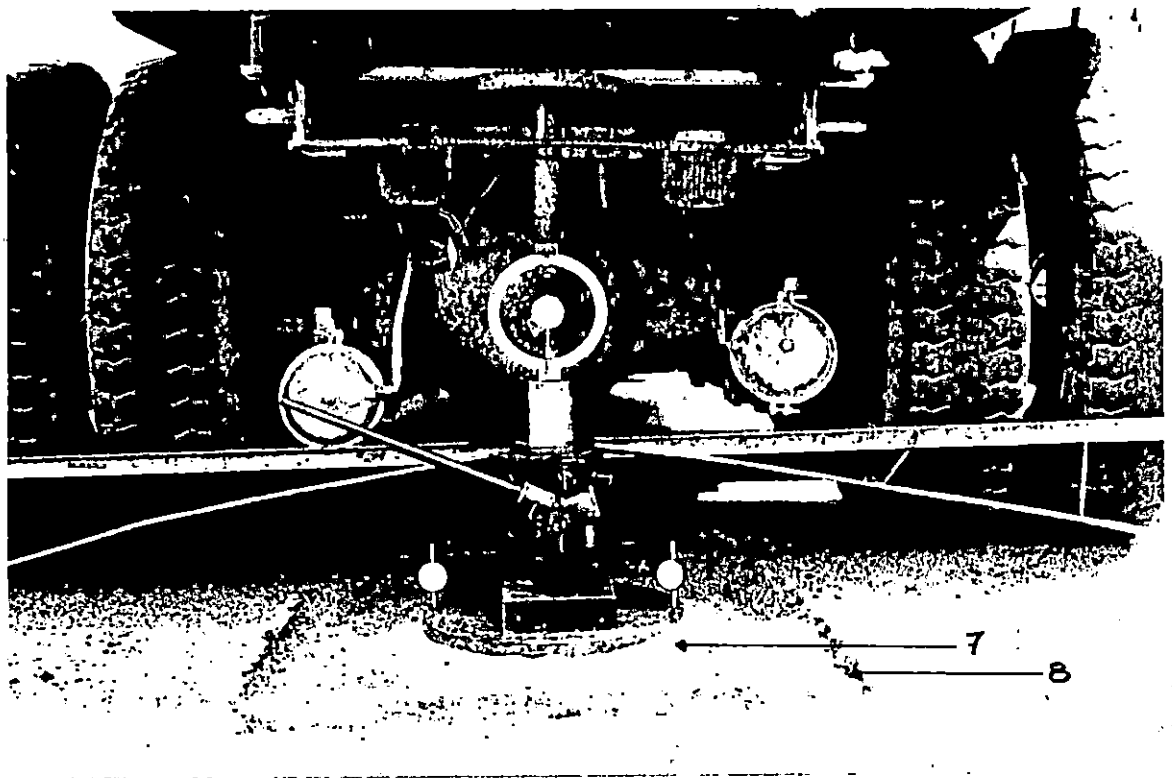
descrito 5 veces.

En ensayos sobre suelos se coloca una capa delgada de arena en el contacto placa-suelo, luego se aplica una carga que genere una deformación entre 0.01" y 0.02", anotar la carga y las deformaciones en los formularios (ver anexo 2) y regresar al paso N° 3. (Ver fotografías N°8 y N°9).



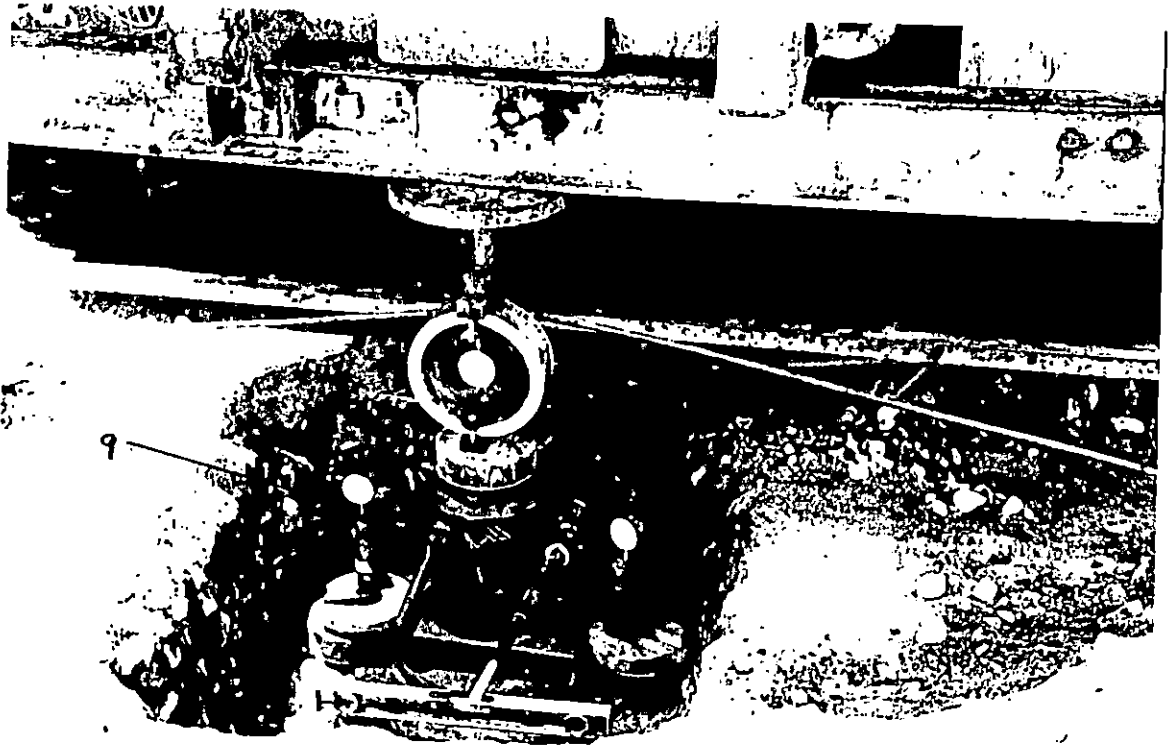
Fotografía 8. Prueba de placas en la carpeta asfáltica.

- 1- Gato hidráulico
- 2- Anillo de carga
- 3- Viga de ángulo utilizada como puente
- 4- Placa de acero 18"
- 5- Deformímetro
- 6- Pistones
- 7- Herramientas
- 8- Eje del camión para transmitir la carga a las llantas.
- 9- Plataforma cargada de grava.



Fotografía 9. Prueba de placas en la capa de base.

- 7- Espesor de carpeta asfáltica (2.5 cm)
  - 8- Capa de arena.
- Agujero de 1.10 mts. por lado.



Fotografía 10. Prueba de placas en la subrasante (a 33 cms. de profundidad.

9- Espesor de base granular.

**CAPITULO III**  
**CALCULOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

## INTRODUCCIÓN

En el capítulo III se calculan los Módulos de Elasticidad de la subrasante y el pavimento, a partir de los datos obtenidos en el Ensayo de Prueba de Placas, con el objeto de compararlos con los Módulos de Elasticidad que se obtienen con los ensayos con la Viga Benkelman. También se aplican los métodos de interpretación de las deflexiones, Modelo de Hogg y método propuesto por el Instituto del Asfalto (MIA). Como resultado de la aplicación de estos métodos se obtiene el espesor de sobrecapa de concreto asfáltico que necesita el pavimento para prolongar su utilización.

Además se hace una comparación de los costo de evaluación de pavimentos, utilizando el método directo o muestrero y el método indirecto basado en las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman o método de deflexiones.

## CÁLCULO DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE Y DEL PAVIMENTO

A los datos de campo obtenidos en los ensayos de placas de carga, se aplica el proceso de cálculo descrito en el capítulo II para dos de los tres tramos, regular y malo, con los que se calcula la fuerza aplicada, las deformaciones, los módulos de elasticidad, factor  $F_2$ , relación de Módulos; también los espesores de cada una de las capas, los porcentajes de humedad y la clasificación del suelo de cada capa<sup>37</sup>.

El proceso de cálculo se ilustra detalladamente como sigue:

Tramo : ATEOS - JAYAQUE (Regular)

Estacionamiento: 1+000

Capa : subrasante

DATOS:

Carga C: Proporcionada por el camión estacionado  
(ver datos de campo, anexo 2, pág. 248).

C = 5100 Kg.

Carga muerta (CM): debida al peso del gato hidráulico, las placas y extensores.

$W_{\text{gatohidráulico}} = 59.4 \text{ Kg.}$

$W_{\text{placas}} = 56.7 \text{ Kg}$

$W_{\text{extensores}} = \underline{93.08 \text{ Kg.}}$

CM = 209.18 Kg

---

<sup>37</sup> En los cuadros I,II,III,IV,V se resumen los resultados obtenidos a partir de los datos de campo.

Carga de ajuste (CA): Carga aplicada antes del ensayo, con el objeto que la placa en contacto, asiente uniformemente sobre la capa de arena.

$$CA = 0.2 \text{ Ton} = 200 \text{ Kg (ver anexo 2, pág. 248)}$$

Carga total ( $C_T$ ): Carga total aplicada a la superficie.

Carga total = carga + carga muerta - carga de ajuste

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 5100 \text{ Kg.} + 209.18 \text{ Kg} - 200 \text{ Kg}$$

$$= 5109.18 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg.}} = 11,240.196 \text{ lb}^{38}$$

$$C_T = 11,240.196 \text{ lb.}$$

Presión  $p$  : presión ejercida por la carga total  $C_T$  a la superficie, a través de la placa circular de radio  $a$ . Luego  $p=F/A$ , donde  $F$ = fuerza= $C_T$  y  $A$  = área de la placa.

$$A = \pi a^2$$

$$p = F/A, A = \pi (9")^2 = 254.469 \text{ pul}^2$$

$$p = \frac{11,240.196 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 44.171 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 44.171 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

---

<sup>38</sup> En los cálculos, simultáneamente se traslada del sistema métrico al sistema inglés y viceversa, debido al manejo de fórmulas y a los datos obtenidos directamente con el equipo de medición.

Deformación : deformación promedio en la superficie o capa, al aplicar la carga total ( $C_T$ ); definida como  $\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$ , donde  $\Delta_1$  y  $\Delta_2$  son las deformaciones en la superficie registradas en los deformímetros para la 5ª repetición de carga expresadas en pulgadas.

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.105 \text{ pul} + 0.082 \text{ pul}}{2} = 0.0935 \text{ pul.}$$

$$= 0.0935 \text{ pul.}$$

Módulo de elasticidad  $E_2$  : definido por la fórmula siguiente de acuerdo con la teoría de Burmister:

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2 \text{ (ver capítulo II, pág. N° 110)}$$

sabiendo que para la subrasante el valor de  $F_2=1^{39}$ , entonces:

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} = \frac{1.18 \times 44.171 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}}{0.0935 \text{ pul.}} = 5017.071 \text{ lb/pul}^2$$

$$= 5017.07 \text{ lb/pul}^2 \times \frac{0.0713 \text{ Kg/cm}^2}{1 \text{ lb/pul}^2} = 357.717 \text{ Kg/cm}^2$$

Entonces el módulo de elasticidad de la subrasante del pavimento ( $E_2$ ), tiene un valor de:

$$E_2 = E_s = 357.717 \text{ Kg/cm}^2$$

<sup>39</sup> Por tratarse de un mismo material, la relación de módulos de elasticidad ( $E_2/E_1$ ) es igual a 1  $F_2 = 1$ .

Capa : BASE.

DATOS:

Carga C: proporcionada por el camión estacionado.

C = 6.2 Ton = 6200 Kg.

Carga muerta CM

$W_{\text{gatohidráulico}} = 59.4 \text{ Kg.}$

$W_{\text{placas}} = 42.2 \text{ Kg.}$

$W_{\text{extensores}} = \underline{3.4 \text{ Kg.}}$

CM = 105.0 Kg.

CM = 105.0 Kg

Carga ajuste CA : carga previa al ensayo.

CA = 0.5 Ton = 500 Kg

Carga total  $C_T$  : carga total aplicada a la superficie.

$C_T = C + CM - CA$

$= 6200 \text{ Kg} + 105.0 \text{ Kg} - 500 \text{ Kg}$

$= 5805 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 12,771.0 \text{ lb}$

$C_T = 12,771.0 \text{ lb}$

Presión p: Presión ejercida por la carga total sobre la superficie de la placa.

$p = \frac{C_T}{a} = \frac{12,771.0 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 50.187 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$

$p = 50.187 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$

Deformación : deformación promedio en la superficie o capa.

$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.045 \text{ pul} + 0.088 \text{ pul}}{2} = 0.0665 \text{ pul}$

$$\Delta = 0.0665 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad de la base  $E_1$ : se calcula a partir del módulo de Elasticidad de la subrasante ( $E_2$ ) según la teoría de Burmister, como sigue:

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} F_2, \text{ con } E_2 = 5017.070 \text{ lb/pul}^2$$

$$p = 50.187 \text{ lb/pul}^2, a = 9 \text{ pul},$$

$$\Delta = 0.0665 \text{ pul. Se despeja } F_2 \text{ y}$$

se tendrá que:

$$F_2 = \frac{E_2 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.0665 \text{ pul} \times 5017.070 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 50.187 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 0.626$$

$$F_2 = 0.626 \approx 0.63$$

Expresando el espesor de la base en función del radio de la placa, se tiene que:

$$\frac{h}{a} = \frac{30 \text{ cm}}{9 \text{ pul} \times 2.54 \text{ cm/1 pul}} = 1.31 \text{ de donde } h = 1.31a$$

Entonces con  $F_2 = 0.63$  y  $h = 1.31a$  se lee en los ejes de las ordenadas y abscisas respectivamente de la figura N° XXIII, y se obtiene el valor de  $1/n$  que es la relación de módulos de las dos capas ( $E_2/E_1$ ); para el caso:  $F_2 = 0.63$  y  $h = 1.31a$ ,  $1/n = 1/4$ : representa el valor de relación  $E_2/E_1 = 1/4$ .

$$\text{Despejando } E_1 = 4 E_2$$

$$= 4 \times 5,017.070 \text{ lb/pul}^2 = 20,068.28 \text{ lb/pul}^2$$

$$= 20,068.28 \text{ lb/pul}^2 = 1,430.868 \text{ Kg/cm}^2$$

$E_1 = E_b = 1,430.87 \text{ Kg/cm}^2$  es el Módulo de Elasticidad de la Base para este punto investigado.

Capa : CARPETA ASFÁLTICA

DATOS:

Carga C: Proporcionada por el camión estacionado.

$$C = 8.1 \text{ Ton} = 8,100 \text{ Kg}$$

$$C = 8,100 \text{ Kg}$$

Carga muerta CM

$$W_{\text{gatohidráulico}} = 59.4 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{placas}} = 42.2 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{extensores}} = \underline{0.0 \text{ Kg}}$$

$$CM = 101.6 \text{ Kg}$$

$$CM = 101.6 \text{ Kg}$$

Carga de ajuste CA: carga previa al ensayo.

CA = 0; porque la carga se aplica directamente sobre el pavimento y se considera que la placa asienta uniformemente.

Carga total  $C_T$ : carga total aplicada a la superficie de la placa.

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 8,100 \text{ Kg} + 101.6 \text{ Kg} - 0$$

$$= 8,201.6 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 18,043.52 \text{ lb}$$

$$C_T = 18,043.52 \text{ Lb}$$

Presión  $p$ : presión ejercida por la carga total sobre la superficie de la placa.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{18,043.52 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 70.907 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 70.907 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación : deformación promedio en la superficie o capa.

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.075 \text{ pul} + 0.142 \text{ pul}}{2} = 0.1085 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.1085 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad de la carpeta asfáltica ( $E_{ca}$ ): se calcula a partir del módulo de Elasticidad de la Base, como sigue:

$$E_1 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} F_2, \text{ con } E_1 = 20,068.28 \text{ lb/pul}^2, p = 70.907 \text{ lb/pul}^2,$$

$$a = 9 \text{ pul}, \Delta = 0.1085 \text{ pul} \text{ Se despeja}$$

$F_2$  y se tendrá que:

$$F_2 = \frac{E_1 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.1085 \text{ pul} \times 20,068.28 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 70.907 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 2.892$$

$$F_2 = 2.89 > 1$$

Como  $F_2 = 2.89 > 1$ , no existen en la figura XXIII para valores  $F_2$  mayores que 1, y no es posible mediante esta teoría calcular el Módulo de Elasticidad de la Carpeta asfáltica; entonces  $F_2 = 1$  y se puede considerar que es igual al de la base  $E_2 = E_c = 1,430.87 \text{ Km/cm}^2$  ( $E_{carpeta} \equiv E_{base}$ ).

Tramo : ATEOS - JAYAQUE (Regular)

Estacionamiento: 1+700

Capa : SUBRASANTE

DATOS:

$$C = 6 \text{ Ton} = 6000 \text{ Kg}$$

$$CM = W_{gatohid} + W_{placas} = 52.9 + 57.1 = 110 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 2 \text{ Ton} = 2,000 \text{ Kg}$$

$$a = 9 \text{ pulg}$$

$$\Delta_1 = 0.049 \text{ pulg}$$

$$\Delta_2 = 0.054 \text{ pulg}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 6,000 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 2000 \text{ Kg}$$

$$C_T = 4,110 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 9,042 \text{ lb}$$

Presión  $p$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{9,042 \text{ lb}}{\pi (9 \text{ pul})^2} = \frac{9,042 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 35.533 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 35.533 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.049 + 0.054}{2} = 0.0515 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.0515 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad  $E_2$ :

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2 ,$$

$$\text{con } F_2 = 1$$

$$E_2 = \frac{1.18 \times 35.533 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}}{0.0515 \text{ pul}} = 7,327.388 \text{ lb/pul}^2$$

$$E_2 = 7,327.388 \text{ lb/pul}^2 = 522.443 \text{ kg/cm}^2$$

El módulo de Elasticidad de la subrasante del pavimento es:

$$E_2 = E_s = 522.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Capa : BASE

DATOS:

$$C = 12 \text{ Ton} = 12,000 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 2 \text{ Ton} = 2,000 \text{ Kg}$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.0485 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.041 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 12,000 \text{ kg} + 110 \text{ Kg} - 2,000 \text{ kg}$$

$$C_T = 10,110 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 22,242 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{22,242 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 87.406 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 87.406 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.0485 + 0.041 \text{ pul}}{2} = 0.0448 \text{ pul}$$

$$= 0.0448 \text{ pul}$$

Módulo de elasticidad  $E_1$

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} F_2,$$

$$\text{con } E_2 = 7,327.388 \text{ lb/pul}^2,$$

$$p = 87.406 \text{ lb/pul}^2$$

$$a = 9 \text{ pul}, \quad \Delta = 0.0448 \text{ pul};$$

despejamos  $F_2$  y se tiene que:

$$F_2 = \frac{E_2 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.0448 \text{ pul} \times 7327.388 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 87.406 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 0.35$$

$$F_2 = 0.35$$

Expresando el espesor de la base (h) en función del radio de la placa (a), se tiene que:

$$\frac{h}{a} = \frac{30 \text{ cm}}{9 \text{ pul} \times 2.54 \text{ cm/1 pul}} = 1.31, \text{ luego, } h = 1.31 a$$

Con  $F_2 = 0.35$  y  $h = 1.31a$  leemos en la figura N° XXIII el valor de  $1/n = E_2/E_1$  de donde  $E_2/E_1 = 1/15$

$$\text{Despejando } E_1 = 15 E_2$$

$$= 15 \times 7,327.388 \text{ lb/pul}^2 = 109,910.82 \text{ lb/pul}^2$$

$$= 109,910.82 \text{ lb/pul}^2 = 7,836.641 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_1 = E_b = 7,836.641 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Módulo de Elasticidad de la Base.}$$

**Capa: CARPETA ASFÁLTICA**

Datos:

$$C = 3.4 \text{ Ton} = 3,400 \text{ Kg.}$$

$$CM = 110 \text{ Kg.}$$

$$CA = 0$$

$$a = 9 \text{ pulg}$$

$$\Delta_1 = 0.051 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.032 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 3,400 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 0$$

$$C_T = 3,510 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 7,722 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{7,722 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 30.346 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.051 \text{ pul} + 0.032 \text{ pul}}{2} = 0.0415 \text{ pul} \\ &= 0.0415 \text{ pul} \end{aligned}$$

Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica ( $E_{ca}$ ):

$$E_1 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2, \quad \text{con } E_1 = 109,910.82 \text{ lb/pul}^2,$$

$$p = 30.346 \text{ lb/pul}^2, \quad a = 9 \text{ pul}, \quad \Delta = 0.0415 \text{ pulg.}$$

despejamos  $F_2$  y se tiene que:

$$F_2 = \frac{E_1 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.0415 \times 109,910.82 \text{ lb/pul}^2}{30.346 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 16.701$$

$F_2 = 16.701 > 1$  entonces no se puede calcular el Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica, por medio de esta teoría, pero según Burmister, en este caso se considera que es igual al de la base, así que

$$E_2 = E_c = 7,836.641 \text{ kg/cm}^2.$$

Tramo : QUEZALTEPEQUE - OPICO (Malo)

Estacionamiento: 1+600

Capa : SUBRASANTE

DATOS:

$$c = 9.5 \text{ Ton} = 9,500 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 3 \text{ Ton} = 3,000 \text{ Kg}$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.053 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.025 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM + CA$$

$$= 9,500 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 3,000 \text{ Kg}$$

$$C_T = 6,610 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 14,542 \text{ lb}$$

Presión  $p$ :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{14,542 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 57.146 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 57.146 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.053 \text{ pul} + 0.025 \text{ pul}}{2} = 0.039 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.039 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad  $E_2$ :

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2, F_2 = 1$$

$$E_2 = \frac{1.18 \times 57.146 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}}{0.039 \text{ pul}} = 15,561.295 \text{ lb/pul}^2$$

$$E_2 = 15,561.295 \text{ lb/pul}^2 = 1,109.520 \text{ Kg/cm}^2$$

El Módulo de Elasticidad de la Subrasante es:

$$E_2 = E_s = 1,109.520 \text{ Kg/cm}^2$$

Capa : BASE

Datos:

$$C = 11.1 \text{ Ton} = 11,100 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 2 \text{ Ton} = 2,000 \text{ Kg.}$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.047 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.028 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$C_T = 11,100 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 2,000 \text{ Kg}$$

$$C_T = 9,210 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 20,262 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{20,262 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 79.625 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 79.625 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.047 \text{ pul} + 0.028 \text{ pul}}{2} = 0.0375 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.0375 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad.  $E_2$

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2, \quad \text{Con } E_2 = 15,561.295 \text{ lb/pul}^2,$$

$$p = 79.625 \text{ lb/pul}^2, \quad a = 9 \text{ pul}, \quad \Delta = 0.0375$$

pul, despejamos  $F_2$  y tenemos que:

$$F_2 = \frac{E_2 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.0375 \text{ pul} \times 15,561.295 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 79.625 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}}$$

$$F_2 = 0.69$$

Expresando el espesor de la base (h) en función del radio de la placa (a), se tiene que:

$$\frac{h}{a} = \frac{20 \text{ cm}}{9 \text{ pul} \times 2.54 \text{ cm/1pul}} = 0.87 \text{ entonces, } h = 0.87 a$$

Con  $F_2 = 0.69$  y  $h = 0.87a$  se lee en la figura N° XXIII y el valor de  $1/n = E_2/E_1$ , de donde  $E_2/E_1 = 1/4$ ; despejando,

$$E_1 = 4 E_2$$

$$E_1 = 4 \times 15,561.295 \text{ lb/pul}^2 = 62,245.18 \text{ lb/pul}^2$$

$$= 62,245.18 \text{ lb/pul}^2 = 4,438.081 \text{ Kg/cm}^2$$

$E_1 = E_b = 4,438.081 \text{ Kg/cm}^2$  Módulo de Elasticidad de la Base.

Capa : CARPETA ASFÁLTICA

Datos:

$$C = 8.7 \text{ Ton} = 8,700 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 0$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.054 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.046 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 8,700 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 0$$

$$C_T = 8,810 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 19,382 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{19,382 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}} = 76.166 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 76.166 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.054 \text{ pul} + 0.046 \text{ pul}}{2} = 0.05 \text{ pul}$$

$$= 0.05 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica ( $E_c$ ) es:

$$E_1 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2$$

despejando  $F_2$  tenemos que:

$$F_2 = \frac{E_1 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.05 \text{ pul} \times 62,245.18 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 76.166 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 3.848$$

$F_2 = 3.85 > 1$  entonces, no se puede calcular el Módulo de Elasticidad de la carpeta asfáltica, por medio de esta teoría, pero de acuerdo con Burmister se puede considerar que es igual al de la base,  $E_2 = E_c = 4,438.081 \text{ kg/cm}^2$ .

Tramo: QUEZALTEPEQUE - OPICO (malo)

Estacionamiento : 0+600

Capa : SUBRASANTE

DATOS:

C = 11.1 Ton = 11,100 Kg

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 2.9 \text{ Ton} = 2,900 \text{ Kg}$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.050 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.032 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$= 11,100 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 2,900 \text{ Kg}$$

$$C_T = 8,310 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 18,282 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{18,282 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 71.844 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 71.844 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.050 \text{ pul} + 0.032 \text{ pul}}{2} = 0.041 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.041 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad  $E_2$

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2, F_2 = 1$$

$$E_2 = \frac{1.18 \times 71.844 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}}{0.041 \text{ pul}} = 18,609.348 \text{ lb/pul}^2$$

$$E_2 = 18,609.348 \text{ lb/pul}^2 = 1,326.846 \text{ Kg/cm}^2$$

El Módulo de Elasticidad de la Subrasante es  $E_2 = E_s = 1,326.85 \text{ Kg/cm}^2$

Capa : BASE

Datos:

$$C = 12.8 \text{ Ton} = 12,800 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 2.0 \text{ Ton} = 2,000 \text{ Kg}$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.050 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.032 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 12,800 \text{ Kg} + 110 \text{ Kg} - 2,000 \text{ Kg}$$

$$C_T = 10,910 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 24,002 \text{ lb}$$

Presión  $p$  :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{24,002 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 94.322 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 94.322 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.050 \text{ pul} + 0.032 \text{ pul}}{2} = 0.041 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.041 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad  $E_2$

$$E_2 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2$$

Despejando  $F_2$  tenemos que:

$$F_2 = \frac{E_2 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.041 \text{ pul} \times 18,609.348 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 94.322 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 0.762$$

$$F_2 = 0.76$$

Expresando el espesor de la base (h) en función del radio de la placa (a), se tiene que:

$$\frac{h}{a} = \frac{20 \text{ cm}}{9 \text{ pul} \times 2.54 \text{ cm/1 pul}} = 0.87 \quad \text{entonces, } h = 0.87 a$$

con  $F_2 = 0.76$  y  $h = 0.87a$  se lee en la figura N° XXIII y se obtiene el valor de  $1/n = 1/3$  de donde  $E_2/E_1 = 1/3$ , despejando,  
 $E_1 = 3 E_2$

$$E_1 = 3 \times 18,609.348 \text{ lb/pul}^2 = 55,828.044 \text{ lb/pul}^2$$

$$= 55,828.044 \text{ lb/pul}^2 = 3,980.54 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_1 = E_b = 3,980.54 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Módulo de Elasticidad de la Base}$$

#### Capa: CARPETA ASFÁLTICA

Datos:

$$C = 7.3 \text{ Ton} = 7,300 \text{ Kg}$$

$$CM = 110 \text{ Kg}$$

$$CA = 0$$

$$a = 9 \text{ pul}$$

$$\Delta_1 = 0.050 \text{ pul}$$

$$\Delta_2 = 0.041 \text{ pul}$$

Carga total  $C_T$

$$C_T = C + CM - CA$$

$$= 7,300 \text{ Kg} + 110 - 0$$

$$C_T = 7,410 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 16,302 \text{ lb}$$

Presión  $p$ :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{16,302 \text{ lb}}{254.469 \text{ pul}^2} = 64.063 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

$$p = 64.063 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$$

Deformación :

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{0.050 \text{ pul} + 0.041 \text{ pul}}{2} = 0.0455 \text{ pul}$$

$$\Delta = 0.0455 \text{ pul}$$

Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica ( $E_{ca}$ ) es:

$$E_1 = \frac{1.18 \times p \times a}{\Delta} \times F_2$$

despejando  $F_2$  tenemos que:

$$F_2 = \frac{E_1 \times \Delta}{1.18 \times p \times a} = \frac{0.0455 \text{ pul} \times 55,828.044 \text{ lb/pul}^2}{1.18 \times 64,063 \text{ lb/pul}^2 \times 9 \text{ pul}} = 3.734$$

$F_2 = 3.73 > 1$  entonces, no se puede calcular el Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica, por medio de esta teoría, pero según Burmister, se puede considerar que es igual al de la base,  $E_2 = E_c = 3,980.54 \text{ kg/cm}^2$ .

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE PLACAS.

PROYECTO "CA:8 - ATEOS - JAYAQUE". Tramo regular

Cuadro N° 17

Ensayo N° 1

Estación 1+000

Concepto	Carga Neta Aplicada (lb)	F/A Presión Ejercida lb/pul <sup>2</sup>	Deformación pulg	E Módulo de Elasticidad		F <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
				lb/pul <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
Subrasante	11,240.196	44.171	0.0935	5,017.07	357.717	1	1
Base	12,771	50.187	0.0665	20,068.28	1,430.868	0.626	1/4
Carpeta Asfáltica	18,043.52	70.907	0.1085	20,068.28	1,430.868	2.89	

Cuadro N° 18

Ensayo N° 2

Estación 1+700

Concepto	Carga Neta Aplicada (lb)	F/A Presión Ejercida lb/pul <sup>2</sup>	Deformación pulg	E Módulo de Elasticidad		F <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
				lb/pul <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
Subrasante	9,042	35.533	0.0515	7,327.388	522.443	1	1
Base	22,242	87.406	0.0448	109,910.82	7,836.641	0.35	1/15
Carpeta Asfáltica	7,722	30.346	0.0415	109,910.82	7,836.641	16.701	

PROYECTO "CA:1 - SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE". Tramo malo

Cuadro N° 19

Ensayo N° 3

Estación 1+600

Concepto	Carga Neta Aplicada (lb)	F/A Presión Ejercida lb/pul <sup>2</sup>	Deformación pulg	E Módulo de Elasticidad		F <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
				lb/pul <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
Subrasante	14,542	57.146	0.039	15,561.295	1,109.520	1	1
Base	20,262	79.625	0.0375	62,245.18	4,438.081	0.69	1/4
Carpeta Asfáltica	19,382	76.166	0.05	62,245.18	4,438.081	3.85	

Cuadro N° 20

Ensayo N° 4

Estación 0+600

Concepto	Carga Neta Aplicada (lb)	F/A Presión Ejercida lb/pul <sup>2</sup>	Deformación pulg	E Módulo de Elasticidad		F <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
				lb/pul <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
Subrasante	18,282	71.844	0.041	18,609.348	1,326.846	1	1
Base	24,002	94.322	0.041	55,828.044	3,980.540	0.76	1/3
Carpeta Asfáltica	16,302	64.063	0.0455	55,828.044	3,980.540	3.73	

CUADRO N° 21

**DATOS ADICIONALES OBTENIDOS EN PRUEBA DE PLACAS**

PROYECTO	ENSAYO	CAPA	ESPESOR (Cms)	CLASIFICACION	CONTENIDO DE AGUA (%)	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm2
CA:8, ATEOS - JAYAQUE	No. 1 est. 1+000	Carpeta Asfáltica	2.5	Tratamiento Superficial Doble	-	1,430.868
		Base	30	SM + G	6.8%	1,430.868
		Subrasante	-	SM	17.7%	357.717
	No. 2 est. 1+700	Carpeta Asfáltica	2.5	Tratamiento Superficial Doble	-	7,836.641
		Base	30	SM + Cemento	10.1%	7,836.641
		Subrasante	-	SM	21.4%	522.443
CA:1, SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE	No. 3 est. 1+600	Carpeta Asfáltica	2.5	Tratamiento Superficial Doble	-	4,438.081
		Base	20	GM	7.7%	4,438.081
		Subrasante	-	SM	10.8%	1,109.520
	No. 4 est. 0+600	Carpeta Asfáltica	2.5	Tratamiento Superficial Doble	-	3,980.540
		Base	20	GM	5.9%	3,980.540
		Subrasante	-	SM	6.5%	1,326.846

## APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG Y DISEÑO DE LA SOBRECAPA

Al adoptar el modelo de Hogg para evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento-subrasante, a partir de las deflexiones medidas con la Viga Benkelman, éste se hace auxiliar de un programa de computación en lenguaje FORTRAN versión 1.1<sup>38</sup> para conocer las propiedades siguientes:

- a) El Módulo de Elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ).
- b) El Módulo de Elasticidad equivalente del pavimento, compuesto por la carpeta asfáltica y las capas base y subbase ( $E^*$ ).
- c) La capa necesaria de refuerzo del pavimento ( $D_{\text{Hópt}}$ ); en el programa éste es DHDIS, cuando el refuerzo requerido (DH) sea mayor que cero.
- d) Construcción de las curvas de deflexión (este literal no forma parte del programa de computación, pero sí, es parte de la aplicación del modelo de Hogg). A la deflexión máxima se le resta cada una de las deflexiones tomadas a las distancias  $R_1 = 35$  cm y  $R_2 = 70$  cm.; posteriormente se construyen las curvas: en la escala horizontal se grafica  $R_1$  y  $R_2$  y en la escala vertical el valor de las deflexiones relativas (a la deflexión máxima), ver curvas de deflexión

---

<sup>38</sup> El programa de computación (en lenguaje FORTRAN versión 1.1) es propiedad exclusiva de la Dirección General de Caminos, ya que ahí es donde se planifica el mantenimiento y reconstrucción de las carreteras del país.

de los tramos en estudio (Pág. N°164 a N°179). Éstas se comparan con las curvas de deflexiones típicas (ver capítulo II, pág. N°80) y la semejanza con éstas significa el estado bueno o malo de la subrasante o del pavimento.

Ejemplo tramo malo: CA:1 ; SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE

Estacionamiento: 0+000

DO = 20    DR<sub>1</sub> = 8    DR<sub>2</sub> = 12

A la lectura de la deflexión máxima se le resta DR<sub>1</sub> y DR<sub>2</sub> así:

DO - DR<sub>1</sub> = 20 - 8 = 12

DO - DR<sub>2</sub> = 20 - 12 = 8

Construyéndose la curva con estos valores es:

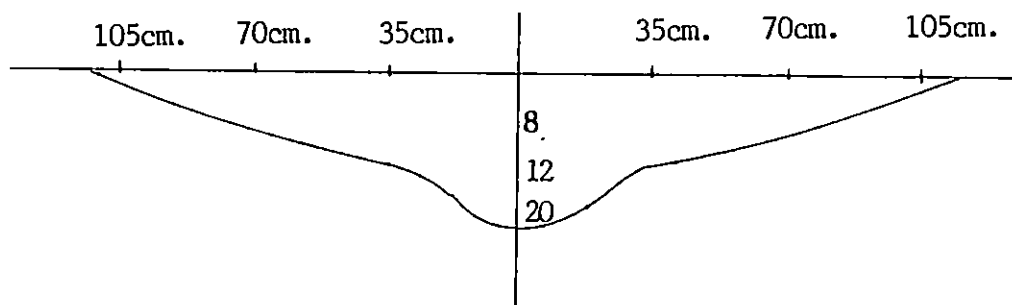


Figura XXIV. Curva de Deflexión

Para la ejecución del programa FORTRAN (usando las ecuaciones de la N° I a la N° XII del capítulo II) se presentan los datos de entrada, así:

- 1) Carga de la rueda doble  $P = 4,100 \text{ Kg}$
- 2) Presión de inflado de las ruedas  $p = 80 \text{ lb/pul}^2 \text{ (psi)}$

- 3) Coeficiente de Poisson  $\nu = 0.4$  ó  $0.5^{39}$ .
- 4) Distancias a las que se tomaron las lecturas de las deflexiones desde el eje de carga (a ambos lados, ver curva de deflexión; Ej. figura N°XXIV)
 

$R_1 = 35$  cm       $R_2 = 70$  cm       $R_3 = 105$  cm
- 5) Profundidad de la capa rígida  $N = H/L_o = 10^{40}$  ó 100
- 6) Espesor total del pavimento T en cm (considerando carpeta asfáltica, base y subbase)
- 7) Valor de relación del CBR al Módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ); tomando este valor igual a  $130^{41}$  o sea  $CBR/E_o=130$ .
- 8) Valor de relación modular del pavimento a la subrasante tomando este valor igual a 3 ( $E_p/E_o = 3$ ) para el cálculo del espesor equivalente del pavimento HEQ.
- 9) Relación del número estructural de mezcla asfáltica en caliente a la base granular ( $0.44/0.14 = 3.14$ ) tomando de la AASTHO (ver figuras N° XV y XVI del procedimiento de cálculo del espesor de refuerzo del pavimento ( $DH_{opt}$ ) descrito en el capítulo II pag. N° 85).

Los resultados que se obtienen en la ejecución del

---

<sup>39</sup> La DGC adopta el valor de 0.4, conservadoramente, aunque cambiando este valor a 0.5, los resultados finales no varían significativamente.

<sup>40</sup> A la profundidad igual a 10 veces la longitud característica, los esfuerzos usuales en carreteras (4 a 15 Ton), son mínimos.

<sup>41</sup> El factor varía de 100 a 160 y la DGC adopta el valor medio de 130, debido a que no existe un registro que correlacione el módulo de elasticidad de la subrasante y pruebas de CBR in situ.

programa para cada uno de los tramos de carretera en estudio se presentan en las tablas siguientes, para lo que se han definido los parámetros de cálculo así:

- DO: Deflexión máxima expresada en 0.01 mm.
- DR: Deflexión a la distancia R expresada en 0.01 mm.
- R: Distancia a la cual se obtiene la deflexión DR, (elegida en el programa, la que se aproxima al 50% de DO).
- LO: Longitud característica expresada en cm.
- EO: Módulo de elasticidad de la subrasante expresado en (Kg/cm<sup>2</sup>)
- E<sup>\*</sup>/E<sub>0</sub>: Relación modular del pavimento existente al de la subrasante.
- CBR: Valor estimado del CBR de la subrasante expresado en (%)
- E<sup>\*</sup>: Módulo de elasticidad equivalente del pavimento existente expresado en (Kg/cm<sup>2</sup>)
- HEQ: Espesor del aporte estructural del pavimento existente.
- TA: Espesor del pavimento nuevo en función del tráfico futuro.
- DH: Espesor de refuerzo requerido expresado en mezcla asfáltica en caliente.
- AVER: Promedio de los valores de DO, CBR, TA y DH.
- SD: Desviación standard de los valores medidos como DO,

CBR, TA y DH.

CV(%): Coeficiente de variación (%).

DH DIS: Espesor de refuerzo óptimo en términos de mezcla asfáltica en caliente (cm), recomendado para el tramo calculado.

Como ejemplo se ilustra a continuación la ejecución del programa FORTRAN (siguiendo el procedimiento de cálculo del capítulo II págs. N°76 al N°90), tomando como referencia el tramo malo y el estacionamiento 0+000.

Lectura de la deflexión máxima DO = 20 unidades

Lectura de la deflexión a una distancia R = 35 cm DR = 8 unidades.

Precisión del deformímetro = 0.001 pulgadas.

DO = Lectura de la deflexión x precisión del deformímetro x relación de brazo de la Viga (K) x factor de pulgadas a milímetros.

DO = 20 x 0.001 pul x 2 x 25.4 mm/1 pul = 1.016 mm

DRR= Deflexión relativa real (DO - DR) x precisión del deformímetro x relación de brazo de la Viga x factor de transformación de pulgadas a milímetros.

DRR= (20 - 8) x 0.001 pul x 2 x 25.4 mm/1 pul = 0.6096 mm

Tomando la profundidad de la capa rígida igual a H/Lo = 10 y el coeficiente de Poisson  $\nu$  = 0.4 se obtiene lo siguiente:

1) Radio de la huella circular  $R_a$ .

$$R_a = \left[ \frac{P}{2 \pi p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$P$ : Carga sobre la rueda doble (Kg).

$p$ : Presión de inflado de las llantas lb/pul<sup>2</sup> (psi), al pasar estas unidades a Kg/cm<sup>2</sup>, se multiplica por el factor 0.0713.

Luego:

$$P = 4,100 \text{ Kg}$$

$$p = 80 \text{ lb/pul}^2$$

Sustituyendo en fórmula:

$$R_a = \left( \frac{4,100 \text{ Kg}}{2 \times \pi \times (80 \text{ lb/pul}^2 \times 0.0713 \text{ Kg/cm}^2 / 1 \text{ lb/pul}^2)} \right)^{1/2}$$

$$R_a = 10.695774 \text{ cm} \quad R_a = 10.7 \text{ cm}$$

2)  $R_{0.5}$ :

$$R_{0.5} = R \times \frac{\left( \frac{1}{A} \right)^{\frac{1}{C}} - B}{\left[ \frac{1}{A} \left( \left( \frac{DO}{DR} \right) - 1 \right) \right]^{\frac{1}{C} - B}}$$

Donde:

$R$ : Distancia a la cual se obtiene la deflexión  $DR$  (cm).

$A, B, C$ : Coeficientes de correlación que dependen de  $H/Lo$

y Si  $H/Lo = 10$  y  $v = 0.4$ , la relación de

deflexiones (DR/DO) es mayor que 0.426 según el cuadro N° 8 de la página N°77, se leen los coeficientes de correlación:

A = 0.3804, B = 0 y C = 1.8246; R = 35 cm, y sustituyendo estos valores en la fórmula siguiente se tiene que:

$$R_{0.5} = 35 \times \frac{\left(\frac{1}{0.3804}\right)^{\frac{1}{1.8246}} - 0}{\left[\frac{1}{0.3804} \left(\left(\frac{1.016}{0.61}\right)^{-1}\right)\right]^{\frac{1}{1.8246}} - 0}$$

$$R_{0.5} = 43.75 \text{ cm}$$

3) Longitud característica (Lo).

$$L_0 = \frac{Y \times R_{0.5} + ((Y \times R_{0.5})^2 - 4 \times m \times Ra \times R_{0.5})^{1/2}}{2}$$

Donde Y=0.602 y m=0.192, según el cuadro N° 9 de la pág. N°78

$$L_0 = \frac{0.602 \times 43.75 + ((0.602 \times 43.75)^2 - 4(0.192)(10.70)(43.75))^{1/2}}{2}$$

$$L_0 = 22.31 \text{ cm}$$

4) Módulo de Elasticidad de la subrasante Eo.

$$E_o = \frac{K_v \times I \times P}{L_o \times DO} \times K^*$$

Donde:

$K_v, I$ : coeficientes que dependen de  $H/L_0$  y  $v$ .

$K^*$ : Relación de rigidez de la carga puntual a la carga distribuida.

$DO$ : Deflexión máxima expresada en cm.

Calculando la relación de rigidez, según la fórmula:

$$K^* = 1 - M (Ra/L_0 - 0.10)$$

Con  $H/L_0 = 10$  y  $v = 0.4$  de los cuadros N° 10 y 11 de la pág. N° 81 se obtienen los coeficientes  $M$  e  $I$ :

$$M = 0.480, \quad I = 0.1689$$

Sustituyendo  $M$  en la ecuación de rigideces

$$K^* = 1 - M (Ra/L_0 - 0.10)$$

$$K^* = 1 - 0.480 (10.7/22.27 - 0.10) = 0.82$$

Con  $v = 0.4$  se obtiene del de la pág. N° 81

$$K_v = 1.633$$

Sustituyendo en la ecuación del módulo de elasticidad de la subrasante los valores de  $K^*$ ,  $K_v$ ,  $P$ ,  $L_0$  y  $DO$  calculados anteriormente:

$$E_0 = \left( \frac{1.633 \times 0.1689 \times 4,100 \text{ Kg}}{22.31 \text{ cm} \times 1.016 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}}} \right) \times 0.82$$

$$E_0 = 409.0913 \text{ Kg/cm}^2$$

5) Relación del módulo de elasticidad de la subrasante y el CBR:  $(E_0/ \text{CBR})$ . Considerándose igual a  $130^{42}$ .

$$E_0/ \text{CBR} = 130 \text{ entonces } \text{CBR} = 409.0913/130 = 3.147 = 3.15$$

---

<sup>42</sup> El factor varía de 100 a 160 y la DGC adopta el valor medio de 130, debido a que no existe un registro que correlacione el módulo de elasticidad de la subrasante y pruebas de CBR in situ.

6) Cálculo del Módulo de Elasticidad del Pavimento ( $E^*$ ).

De la ecuación presentada en el capítulo II, pág. N° 83.

$$DO = \frac{(1+\nu)P}{2\pi} \left\{ \frac{1}{E^*} \left[ 2 \frac{(1-\nu)}{r} - \frac{1}{R_1} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_1}{R_1} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{E_o} \left[ \frac{1}{R_2} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_2}{R_2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R_3} \left( 2(1-\nu) + \left( \frac{Z_3}{R_3} \right)^2 \right) \right] \right\}$$

Donde:

$$r = 1.5 Ra$$

$$Z_1 = T + 0.6 Ra^2/T$$

$$R_1 = (Z_1^2 + (1.5 Ra)^2)^{1/2}$$

$$HE = 0.9 \times T (E^*/E_o)^{1/3}$$

$$Z_2 = HE + 0.6 Ra^2/HE$$

$$R_2 = (Z_2^2 + (1.5 Ra)^2)^{1/2}$$

$$Z_3 = (HE + NLo) + 0.6 Ra^2/(HE + NLo)$$

$$N = H/Lo = 10$$

$$R_3 = (Z_3^2 + (1.5 Ra)^2)^{1/2}$$

Conocidos los valores de:

$$E_o = 409.09 \text{ Kg/cm}^2 \text{ calculado en el paso N}^\circ 4.$$

$$T = 23 \text{ cm, espesor de pavimento total, definido en los datos de entrada, paso N}^\circ 6.$$

$$p = 80 \text{ lb/pul}^2$$

$$R_a = 10.7 \text{ cm.}$$

$$P = 4,100 \text{ Kg}$$

$$DO = 1.016 \text{ mm} = 0.1016 \text{ cm.}$$

$$R = 35 \text{ cm}$$

$$DR = 0.6096 \text{ mm}$$

$$H/L_0 = 10 \text{ y}$$

$$v = 0.4$$

Con las igualdades anteriores y la ecuación de la deflexión máxima (DO), el programa a través de un proceso de aproximaciones sucesivas de cálculo llega a determinar el valor de la única variable desconocida:

$$E^* = 1,820.5 \text{ Kg/cm}^2.$$

Con este valor se sustituye en las igualdades y la ecuación (DO), para obtener los resultados y verificar si el valor de  $E^*$  es correcto o no.

Así que:

$$r = 1.5 \times 10.7 = 16.05 \text{ cm}$$

$$Z_1 = 23 + \frac{0.6 (10.7)^2}{23} = 26.0 \text{ cm}$$

$$R_1 = ((26.0)^2 + (16.05)^2)^{1/2} = 30.555 \text{ cm}$$

$$HE = 0.9 \times 23 (1,820.5/409.09)^{1/3} = 34.048 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 34.048 + 0.6(10.7)^2/34.048 = 36.066 \text{ cm}$$

$$R_2 = ((36.066)^2 + (16.05)^2)^{1/2} = 39.476 \text{ cm}$$

$$Z_3 = (34.048 + 10 \times 22.31) + \frac{0.6 (10.7)^2}{(34.048 + 10 \times 22.31)} = 257.415 \text{ cm}$$

$$R_3 = ((257.415)^2 + (16.05)^2)^{1/2} = 257.915 \text{ cm}$$

Sustituyendo cada valor en la ecuación anterior, del inicio del paso N°6 de la ejecución del programa:

$$1.0161 \text{ mm} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = \frac{(1+0.4) \times 4100}{2 \pi} \cdot \left\{ \frac{1}{1820.5} \left[ \frac{2(1-0.4)}{16.05} - \frac{1}{30.555} \left( 2(1-0.4) + \left( \frac{26.0}{30.555} \right)^2 \right) \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{409.09} \left[ \frac{1}{39.476} \left( 2(1-0.4) + \left( \frac{36.066}{39.476} \right)^2 \right) - \frac{1}{257.915} \left( 2(1-0.4) + \left( \frac{257.415}{257.915} \right)^2 \right) \right] \right\}$$

$$0.10161 = 913,54937 [ 0.0000065 + 0.0001052 ] \approx 0.1020244$$

$$0.1016 \approx 0.1020 \text{ cms.}$$

El porcentaje de error  $e = 0.38\%$ , por tanto el valor de  $E^* = 1,820.5 \text{ Kg/cm}^2$  es correcto.

- 7) Relación de módulos de elasticidad del pavimento y subrasante ( $E^*/E_0$ ).

$$\frac{E^*}{E_0} = \frac{1,820.5 \text{ Kg/cm}^2}{409.09} = 4.5$$

- 8) Aporte estructural del pavimento evaluado en términos de base granular.

$$HEB = \left( \frac{1}{3} \times \frac{E^*}{E_0} \right)^{1/3} \times T,$$

$$\text{Entonces: } \left( \frac{1}{3} \times \frac{1,820.5}{409.09} \right)^{1/3} \times 23$$

$$HEB = 26.23 \text{ cm}$$

Luego, el pavimento existente en función de mezcla asfáltica en caliente:

$$HEQ = EE = \frac{HEB \times 0.14}{0.44} = \frac{HEB}{0.44/0.14}$$

$$HEQ = EE = \frac{HEB}{3.14} = \frac{26.23}{3.14} = 8.35 \text{ cm}$$

- 9) Calculando el espesor de diseño según el tráfico.

$$TA = \frac{2.54}{0.44} \times ( AT - BT \times \log E_0 )$$

Donde:

AT y BT son factores que dependen del tráfico, ESAL.

Eo : Módulo de elasticidad de la subrasante, evaluado anteriormente.

$$AT = - 6.825 + 2.867 \times \log_{10} (\text{ESAL}).$$

$$BT = - 1.160 + 0.633 \times \log_{10} (\text{ESAL}).$$

Sustituyendo el ESAL = 3,304,556<sup>43</sup> en las ecuaciones anteriores; son:

$$AT = - 6.825 + 2.867 \times \log_{10} (3,304,556) = 11.865297$$

$$BT = - 1.160 + 0.633 \times \log_{10} (3,304,556) = 2.9665986$$

Sustituyendo estos valores y el Eo = 409.83 Kg/cm<sup>2</sup> en la ecuación del espesor de diseño:

$$TA = \frac{2.54}{0.44} (11.865297 - 2.9665986 \times \text{Log} (409.83))$$

$$TA = 23.75 \text{ cm}$$

- 10) Espesor requerido en cada estacionamiento (DH) finalmente se calcula así:

$$DH = ED - EE, \text{ sabiendo que } ED = TA \text{ y } EE = HQ$$

$$DH = TA - HEQ$$

$$DH = 23.75 - 8.35$$

$$DH = 15.4 \text{ cm}$$

Este procedimiento se repite para cada estacionamiento.

El nivel de confianza utilizado, corresponde al 95%, del cuadro N° 12 de la Pág. N° 90, se obtiene: Zr = 1.645

$$DH_{\text{opt}} = DH_{\text{prom}} + 1.645 \times SD$$

---

<sup>43</sup> ESAL es el número de carga de eje sencillo standar de 8.2 Toneladas, se obtiene del análisis de tránsito, literal a) Método del Instituto del Asfalto, para el tramo malo, pág. N° 195 a 198.

Donde:

$DH_{\text{ópt}}$  : Espesor de sobrecapa para el tramo.

$DH_{\text{prom}}$  : Espesor promedio de sobrecapa.

SD : Desviación standard de los valores de  $DH_{\text{prom}}$ .

Sustituyendo el valor de  $DH_{\text{prom}}$  tomado de entrada y salida de datos en la aplicación del modelo de Hogg, página 159, estación 0+000.

$$DH_{\text{ópt}} = 14.9 + 1.645 \times 1.8$$

$$DH_{\text{ópt}} = 17.86 \text{ cm}$$

CUADRO N° 22 RESUMEN COMPARATIVO DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD, OBTENIDOS CON PRUEBA DE PLACAS Y APLICANDO EL MODELO DE HOGG.

PROYECTO	ENSAYO	CAPA DE PAVIMENTO	MÓDULO DE ELASTICIDAD (KG/CM <sup>2</sup> )	
			PRUEBA DE PLACA	VIGA BENKELMAN CON MODELO DE HOGG
CA:8, ATEOS -  JAYAQUE	N°  EST.1+000	Carpeta Asfáltica	1,430.9	1,251.1
		Base	1,430.9	1,251.1
		Subrasante	357.7	818.6
	N° 2  EST.1+700	Carpeta Asfáltica	7,836.6	750.6
		Base	7,836.6	750.6
		Subrasante	522.4	491.2
CA:1 -  SAN JUAN OPICO -  QUEZALTEPEQUE	N° 3  EST.1+600	Carpeta Asfáltica	4,438.1	1,161.4
		Base	4,438.1	1,161.4
		Subrasante	1,109.5	614.0
	N°  EST.0+600	Carpeta Asfáltica	3,980.5	849.5
		Base	3,980.5	849.5
		Subrasante	1,326.8	379.5

**ENTRADA Y SALIDA DE DATOS EN LA APLICACIÓN DEL  
MODELO DE HOGG**

Via: CA:12 SANTA ANA - TEXISTEPEQUE  
 Fecha: 22/9/94  
 Carga Dual(Kg): 4100.0  
 Presion Neum. (psi): 80.0  
 ESAL : 1621313.  
 Tipo Pavimen.: ASFALTICO

N : 10  
 MU : .4  
 T (cm) : 45.0  
 Factor CBR : 130.0  
 Factor HEQ : 3.0

Estacion	DO	DR	DR/DO	R	LO	EO	CBR	E*	E*/EO	HEQ	TA	DH	DH (cm)				
													0	5	10	15	
0+ 0	35.6	20.3	.57	35.0	20.5	1232.6	9.5	2270.1	1.8	12.2	13.9	1.8	****				
0+100	50.8	25.4	.50	35.0	16.7	982.4	7.6	1373.2	1.4	11.1	15.5	4.4	*****				
0+200	50.8	30.5	.60	35.0	22.2	815.9	6.3	1696.3	2.1	12.7	16.8	4.1	*****				
0+300	20.3	10.2	.50	70.0	38.4	1324.8	10.2	7525.5	5.7	17.7	13.4	.0					
0+400	40.6	15.2	.38	70.0	28.6	844.0	6.5	2684.5	3.2	14.6	16.6	2.0	****				
0+500	40.6	15.2	.38	70.0	28.6	844.0	6.5	2684.5	3.2	14.6	16.6	2.0	****				
0+600	35.6	20.3	.57	35.0	20.5	1232.6	9.5	2270.1	1.8	12.2	13.9	1.8	****				
0+700	40.6	20.3	.50	70.0	38.4	662.4	5.1	3762.7	5.7	17.7	18.3	.5	*				
0+800	35.6	20.3	.57	35.0	20.5	1232.6	9.5	2270.1	1.8	12.2	13.9	1.8	****				
0+900	20.3	10.2	.50	70.0	38.4	1324.8	10.2	7525.5	5.7	17.7	13.4	.0					
1+ 0	40.6	15.2	.38	70.0	28.6	844.0	6.5	2684.5	3.2	14.6	16.6	2.0	****				
1+100	30.5	20.3	.67	35.0	26.9	1181.4	9.1	3361.3	2.8	14.1	14.2	.2					
1+200	50.8	25.4	.50	35.0	16.7	982.4	7.6	1373.2	1.4	11.1	15.5	4.4	*****				
1+300	25.4	15.2	.60	70.0	48.9	857.5	6.6	8348.7	9.7	21.2	16.5	.0					
1+400	71.1	45.7	.64	35.0	25.1	533.4	4.1	1349.0	2.5	13.5	19.8	6.2	*****				
1+500	30.5	20.3	.67	35.0	26.9	1181.4	9.1	3361.3	2.8	14.1	14.2	.2					
1+600	15.2	10.2	.67	35.0	26.9	2362.9	18.2	6722.7	2.8	14.1	9.4	.0					
1+700	50.8	20.3	.40	70.0	30.3	644.6	5.0	2283.8	3.5	15.1	18.4	3.3	*****				
1+800	50.8	30.5	.60	35.0	22.2	815.9	6.3	1696.3	2.1	12.7	16.8	4.1	*****				
1+900	55.9	35.6	.64	70.0	53.6	359.3	2.8	4332.2	12.1	22.8	22.5	.0					
2+ 0	55.9	35.6	.64	70.0	53.6	359.3	2.8	4332.2	12.1	22.8	22.5	.0					
-----																	
AVER :	40.4						7.6				15.2	1.8					
S.D.:	14.0						3.3				3.5	1.9					
CV(%)	34.5						44.0				23.4	103.9					
DH DIS.:													5.0				

NUMERO DE OBSERVACIONES VALIDAS: 21

Via: CA:8 ATEOS - JAYAQUE  
 Fecha: 23/5/94  
 Carga Dual (Kg): 4100.0  
 Presion Neum. (psi): 80.0  
 ESAL : 554272.  
 Tipo Pavimen.: ASFALTICO

N : 10  
 MU : .4  
 T (cm) : 33.0  
 Factor CBR : 130.0  
 Factor HEQ : 3.0

Estacion	DO .01mm	DR .01mm	DR/DO	R cm	LO cm	EO Kgcm2	CBR %	E*	E*/EO Kgcm2	HEQ cm	TA cm	DH cm	DH (cm)			
													0	5	10	15
0+ 0	157.5	96.5	.61	35.0	23.1	256.4	2.0	729.0	2.8	10.3	21.2	10.9	*****	*****	*****	*****
0+100	61.0	40.6	.67	35.0	26.9	590.7	4.5	2370.6	4.0	11.6	16.1	4.5	*****	*****	*****	*****
0+200	152.4	50.8	.33	35.0	9.6	392.8	3.0	332.4	.8	6.9	18.6	11.7	*****	*****	*****	*****
0+300	86.4	45.7	.53	70.0	41.2	293.2	2.3	3455.9	11.8	16.6	20.4	3.8	*****	*****	*****	*****
0+400	61.0	20.3	.33	35.0	9.6	982.1	7.6	831.0	.8	6.9	12.9	6.0	*****	*****	*****	*****
0+500	45.7	20.3	.44	70.0	33.5	660.5	5.1	4533.4	6.9	13.8	15.4	1.5	***	*****	*****	*****
0+600	30.5	15.2	.50	70.0	38.4	883.2	6.8	8625.0	9.8	15.6	13.6	.0	*****	*****	*****	*****
0+700	91.4	40.6	.44	35.0	14.1	597.2	4.6	703.3	1.2	7.7	16.0	8.3	*****	*****	*****	*****
0+800	132.1	55.9	.42	35.0	13.3	424.5	3.3	462.5	1.1	7.5	18.1	10.6	*****	*****	*****	*****
0+900	61.0	30.5	.50	35.0	16.7	818.6	6.3	1251.1	1.5	8.4	14.0	5.6	*****	*****	*****	*****
1+ 0	61.0	30.5	.50	35.0	16.7	818.6	6.3	1251.1	1.5	8.4	14.0	5.6	*****	*****	*****	*****
1+100	61.0	40.6	.67	70.0	58.0	306.9	2.4	9156.3	29.8	22.6	20.1	.0	*****	*****	*****	*****
1+200	81.3	30.5	.38	70.0	28.6	422.0	3.2	1962.9	4.7	12.2	18.1	6.0	*****	*****	*****	*****
1+300	66.0	45.7	.69	35.0	29.0	514.1	4.0	2467.5	4.8	12.3	16.9	4.6	*****	*****	*****	*****
1+400	61.0	35.6	.58	35.0	21.2	702.7	5.4	1677.1	2.4	9.7	15.0	5.2	*****	*****	*****	*****
1+500	116.8	66.0	.57	35.0	20.2	379.6	2.9	817.6	2.2	9.4	18.8	9.4	*****	*****	*****	*****
1+600	45.7	15.2	.33	70.0	25.9	809.8	6.2	2988.4	3.7	11.3	14.1	2.8	*****	*****	*****	*****
1+700	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	750.6	1.5	8.4	17.2	8.8	*****	*****	*****	*****
1+800	101.6	40.6	.40	70.0	30.3	322.3	2.5	1726.7	5.4	12.8	19.8	7.1	*****	*****	*****	*****
1+900	61.0	30.5	.50	35.0	16.7	818.6	6.3	1251.1	1.5	8.4	14.0	5.6	*****	*****	*****	*****
2+ 0	50.8	25.4	.50	35.0	16.7	982.4	7.6	1501.3	1.5	8.4	12.9	4.5	*****	*****	*****	*****

AVER : 80.3  
 S.D.: 35.2  
 CV(I) 43.9  
 DH DIS.:

4.6  
 1.8  
 39.9  
 10.9  
 3.9  
 35.3  
 5.8  
 3.3  
 56.4  
 11.3

NUMERO DE OBSERVACIONES VALIDAS: 21

Via: CA-1 DESV. SAN JUAN OPTICO QUEZALTEPEQUE  
 Fecha: 25/AGOSTO/94  
 Carga Dual(Kg): 4100.0  
 Presion Neum. (psi): 80.0  
 ESAL : 3304556.  
 Tipo Pavimen.: ASFALTICO

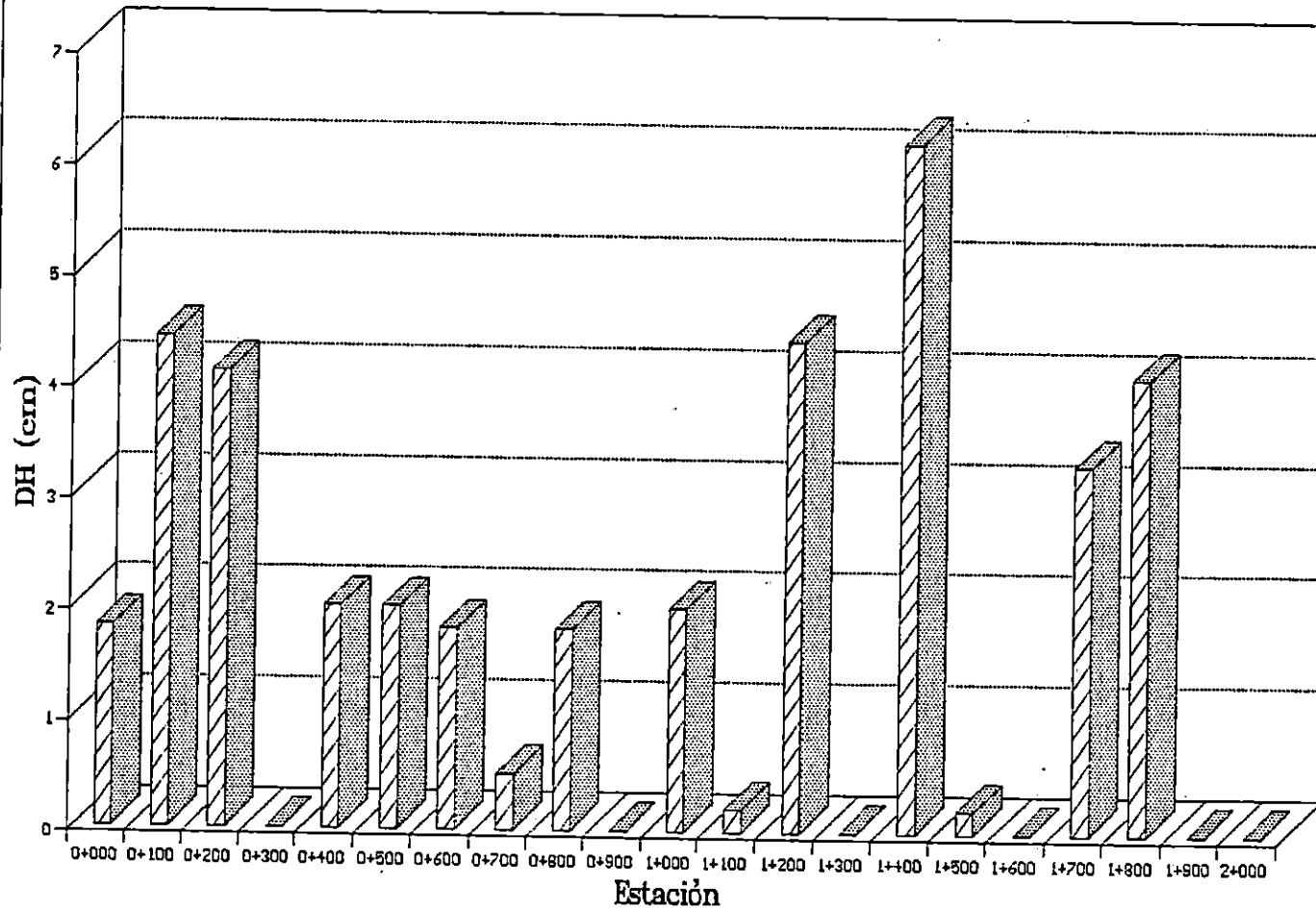
N : 10  
 MU : .4  
 T (cm) : 23.0  
 Factor CBR : 130.0  
 Factor HEQ : 3.0

Estacion	DO .01mm	DR .01mm	DR/DO	R cm	LO cm	EO Kgcm2	CBR %	E*	E*/EO Kgcm2	HEQ cm	TA cm	DH cm	DH (cm)			
													0	5	10	15
0+ 0	101.6	61.0	.60	35.0	22.2	408.0	3.1	1820.5	4.5	8.4	23.8	15.4	*****	*****	*****	*****
0+100	61.0	25.4	.42	35.0	13.0	927.2	7.1	941.4	1.0	5.1	17.7	12.6	*****	*****	*****	*****
0+200	50.8	25.4	.50	35.0	16.7	982.4	7.6	1858.2	1.9	6.3	17.3	11.0	*****	*****	*****	*****
0+300	91.4	45.7	.50	35.0	16.7	545.8	4.2	1032.3	1.9	6.3	21.6	15.3	*****	*****	*****	*****
0+400	81.3	35.6	.44	35.0	13.8	678.9	5.2	779.9	1.1	5.3	20.0	14.7	*****	*****	*****	*****
0+500	86.4	45.7	.53	35.0	18.2	548.7	4.2	1330.9	2.4	6.8	21.6	14.8	*****	*****	*****	*****
0+600	127.0	66.0	.52	35.0	17.7	379.5	2.9	849.5	2.2	6.6	24.3	17.7	*****	*****	*****	*****
0+700	91.4	45.7	.50	35.0	16.7	545.8	4.2	1032.3	1.9	6.3	21.6	15.3	*****	*****	*****	*****
0+800	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	929.1	1.9	6.3	22.4	16.1	*****	*****	*****	*****
0+900	ZZZZ NEGATIVE SQUARE ROOT - CHECK DATA ZZZZ															
1+ 0	71.1	30.5	.43	35.0	13.4	785.9	6.0	845.3	1.1	5.2	18.9	13.7	*****	*****	*****	*****
1+100	50.8	15.2	.30	35.0	7.8	1093.4	8.4	799.4	.7	4.6	16.5	11.9	*****	*****	*****	*****
1+200	81.3	30.5	.38	35.0	11.3	726.0	5.6	580.6	.8	4.7	19.5	14.8	*****	*****	*****	*****
1+300	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	929.1	1.9	6.3	22.4	16.1	*****	*****	*****	*****
1+400	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	929.1	1.9	6.3	22.4	16.1	*****	*****	*****	*****
1+500	66.0	30.5	.46	35.0	14.9	805.3	6.2	1113.3	1.4	5.7	18.7	13.1	*****	*****	*****	*****
1+600	81.3	40.6	.50	35.0	16.7	614.0	4.7	1161.4	1.9	6.3	20.7	14.5	*****	*****	*****	*****
1+700	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	929.1	1.9	6.3	22.4	16.1	*****	*****	*****	*****
1+800	152.4	101.6	.67	35.0	26.9	236.3	1.8	1897.9	8.0	10.2	27.8	17.7	*****	*****	*****	*****
1+900	101.6	50.8	.50	35.0	16.7	491.2	3.8	929.1	1.9	6.3	22.4	16.1	*****	*****	*****	*****
2+ 0	76.2	25.4	.33	35.0	9.6	785.6	6.0	535.9	.7	4.5	18.9	14.4	*****	*****	*****	*****
AVER :	88.9						4.8				6.2	14.9				
S.D.:	24.4						1.7				1.3	1.8				
CV(X)	27.5						34.8				21.1	11.8				
DH DIS.:												17.8				

NUMERO DE OBSERVACIONES VALIDAS: 20

**GRÁFICA DE ESPESORES DE REFUERZO SEGÚN EL  
MODELO DE HOGG**

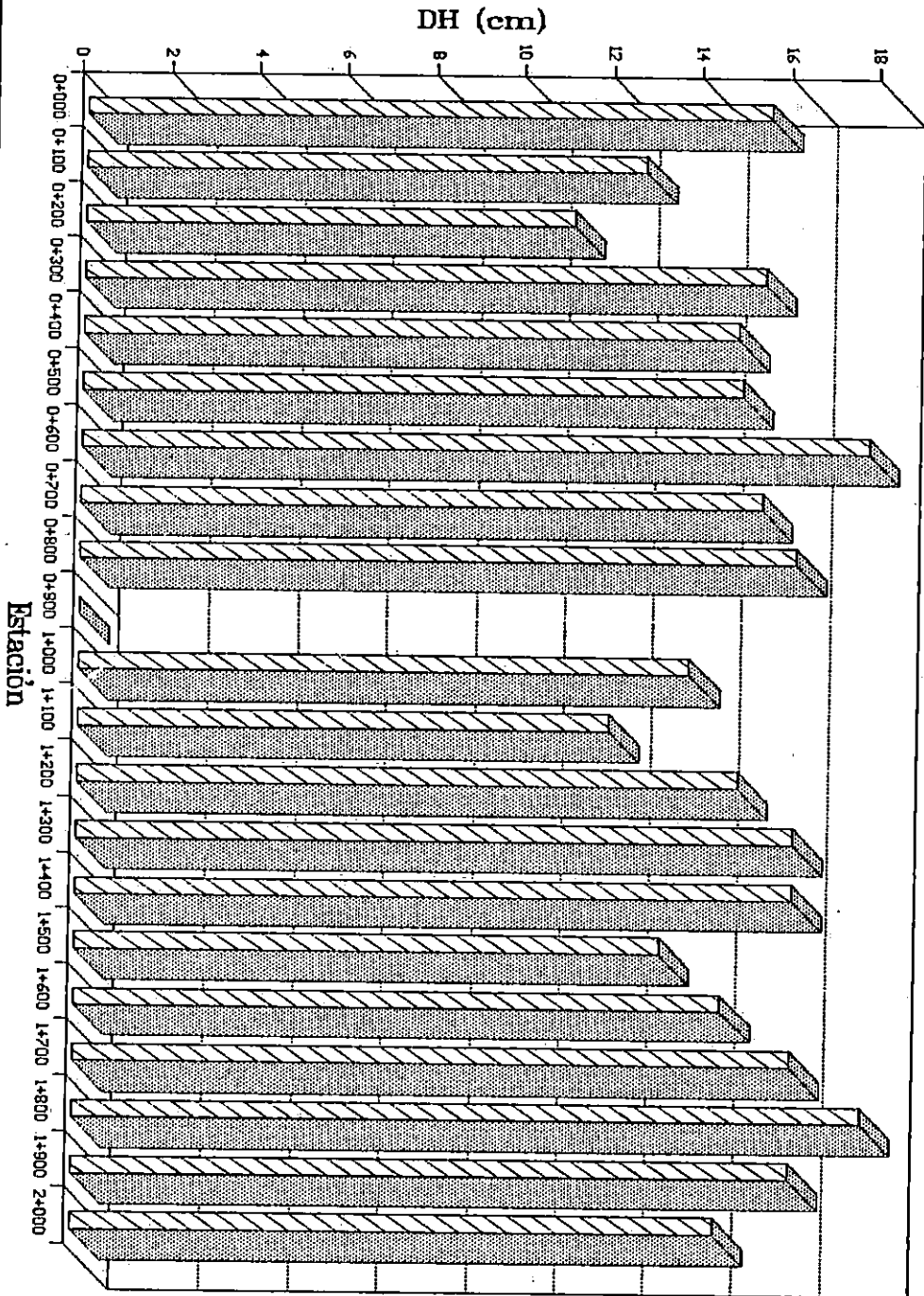
# CA-12 SANTA ANA - TEXISTEPEQUE



# CA-8 ATEOS - JAYAQUE



# CA-1 DESV. SAN JUAN OPICO-QUEZALTEPEQUE

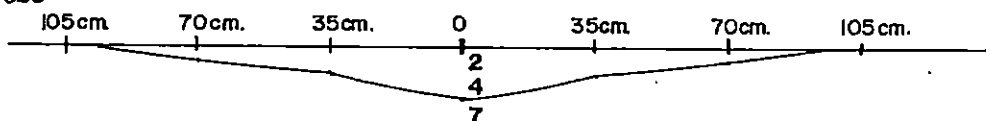


**CURVAS DE DEFLEXIONES PARA LOS TRAMOS  
BUENO, REGULAR Y MALO**

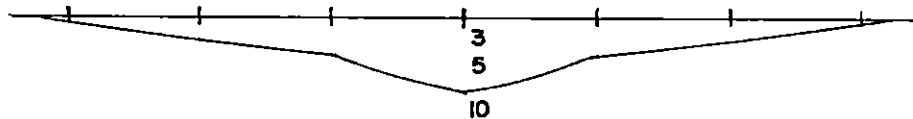
# CURVAS DE DEFLEXIONES.

Proyecto: CA - 12 STA. ANA - TEXISTEPEQUE.

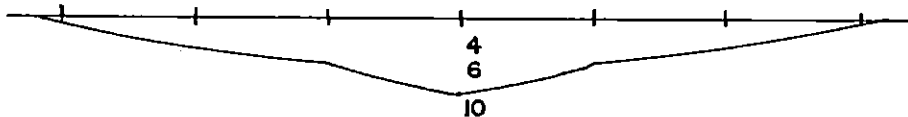
ESTACION 0+000



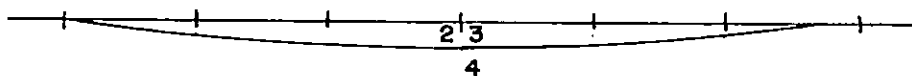
ESTACION 0+100



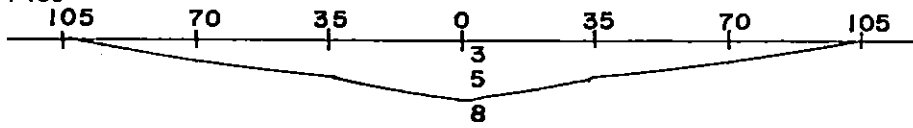
ESTACION 0+200



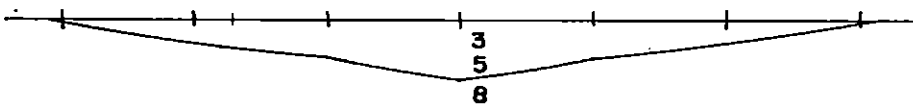
ESTACION 0+300



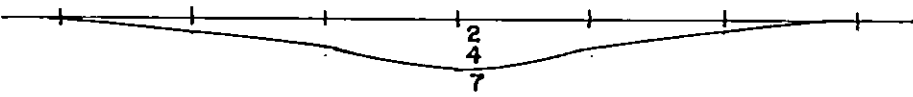
ESTACION 0+400



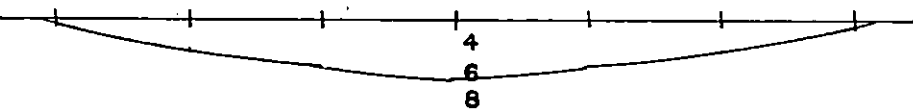
ESTACION 0+500



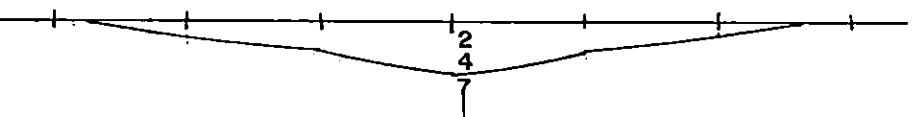
ESTACION 0+600



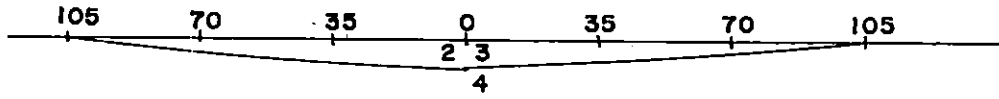
ESTACION 0+700



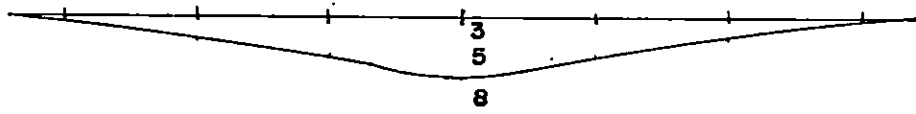
ESTACION 0+800



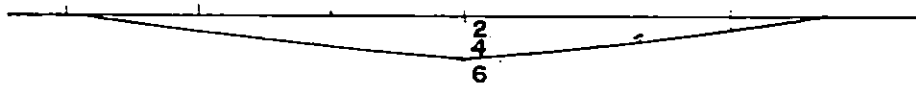
ESTACION 0+900



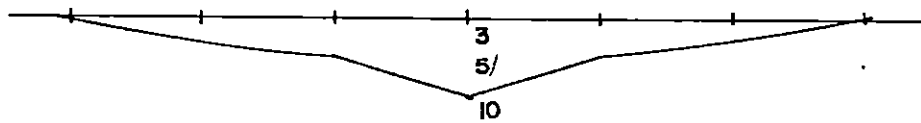
ESTACION 1+000



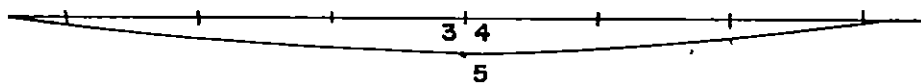
ESTACION 1+100



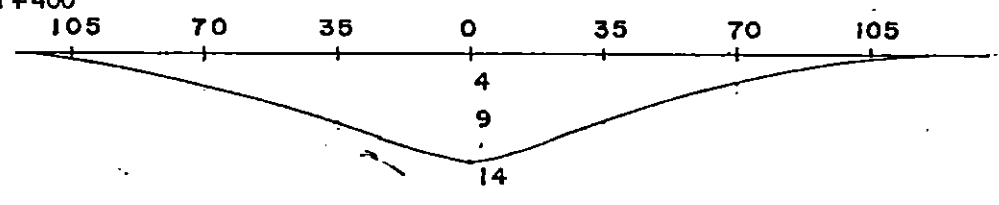
ESTACION 1+200



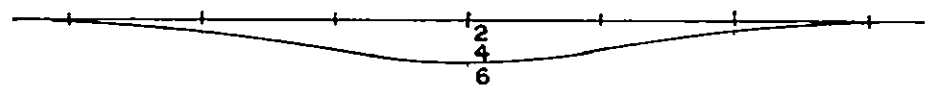
ESTACION 1+300



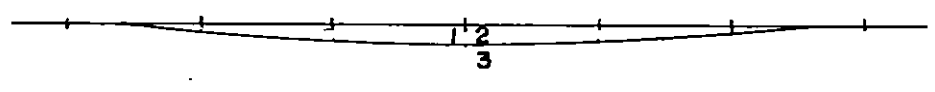
ESTACION 1+400



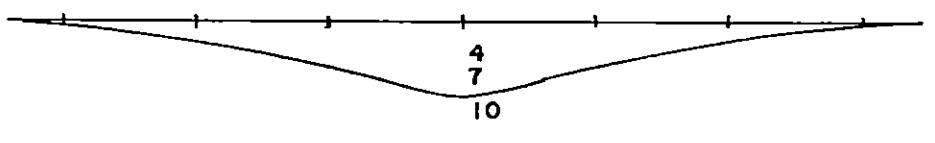
ESTACION 1+500



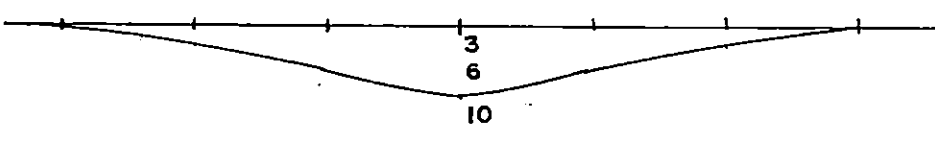
ESTACION 1+600



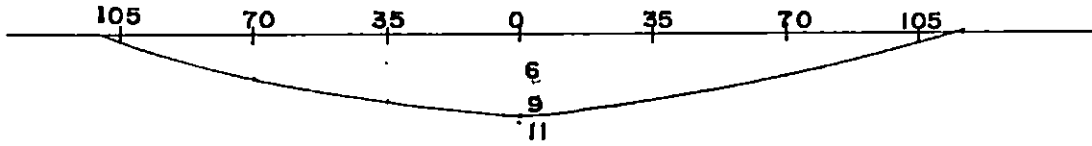
ESTACION 1+700



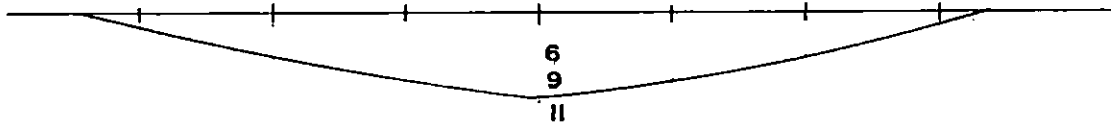
ESTACION 1+800



ESTACION 1 + 900



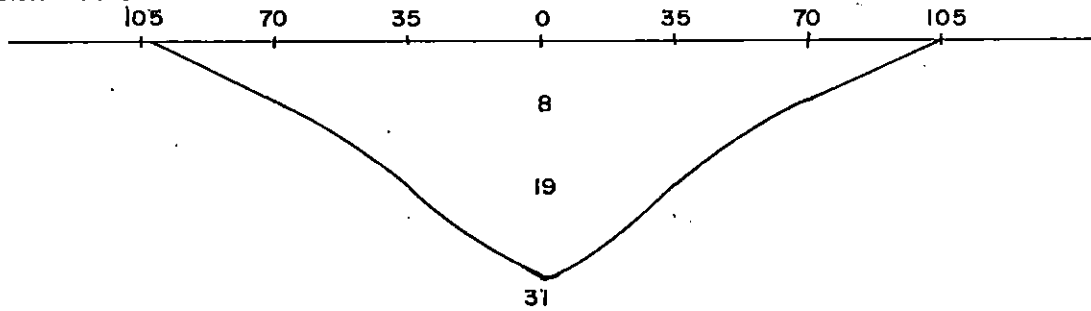
ESTACION 2 + 0.00



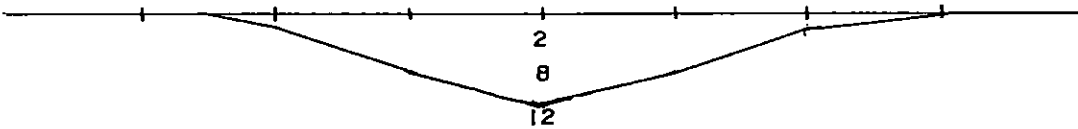
# CURVAS DE DEFLEXIONES

Proyecto : CA - 8 ATEOS - JAYAQUE.

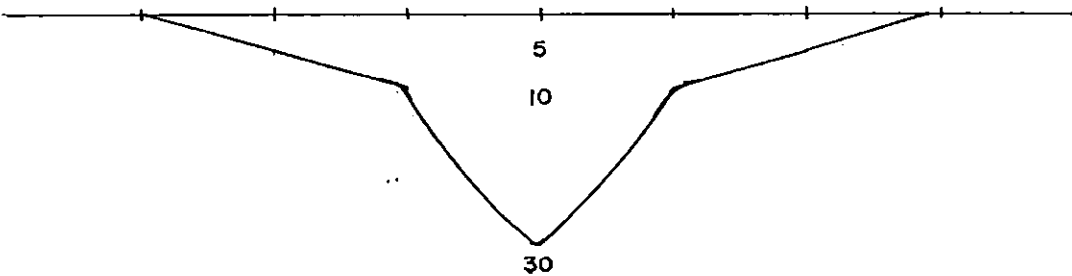
ESTACION 0 + 100



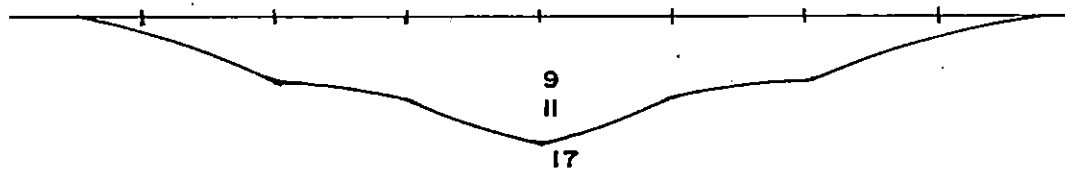
ESTACION 0 + 200



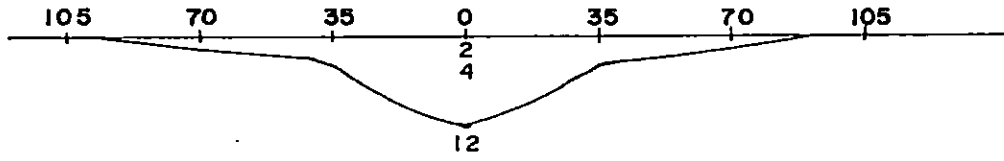
ESTACION 0+300



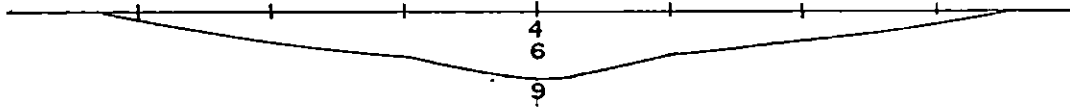
ESTACION 0+400



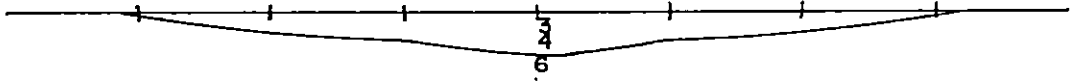
ESTACION 0+500



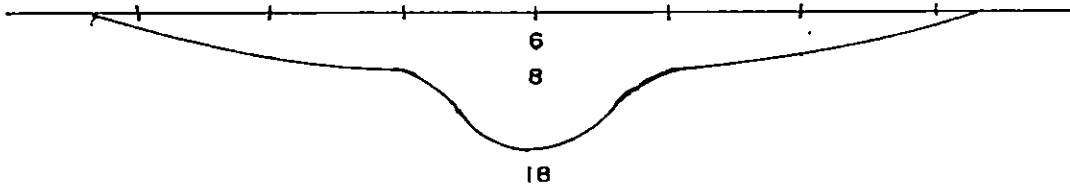
ESTACION 0+600



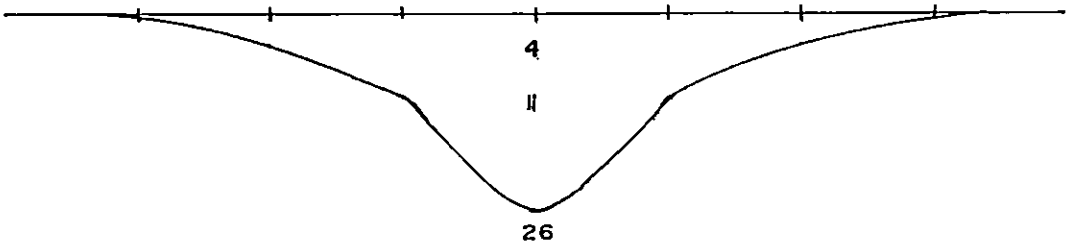
ESTACION 0+700



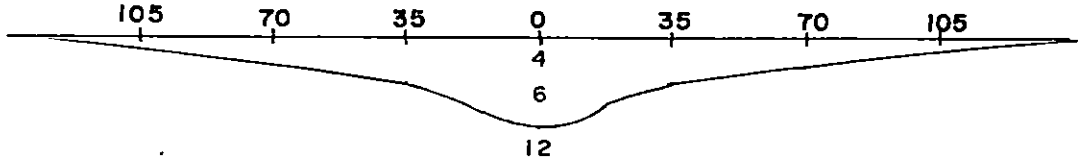
ESTACION 0+800



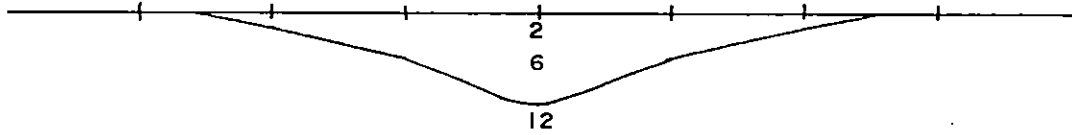
ESTACION 0+900



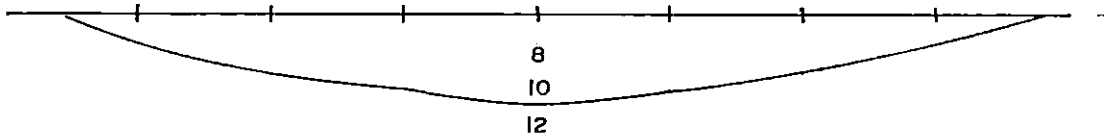
ESTACION 1 + 0.00



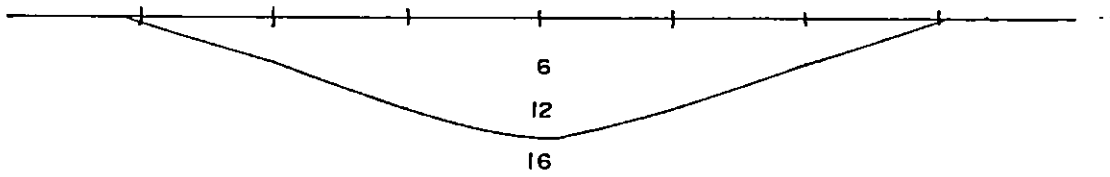
ESTACION 1 + 100



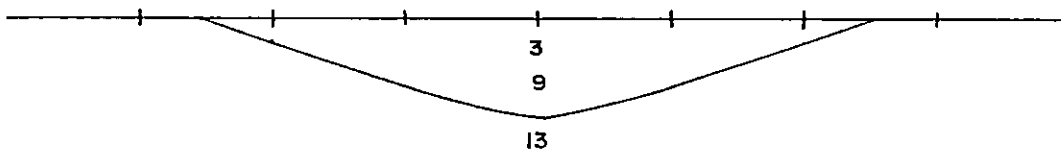
ESTACION 1 + 200

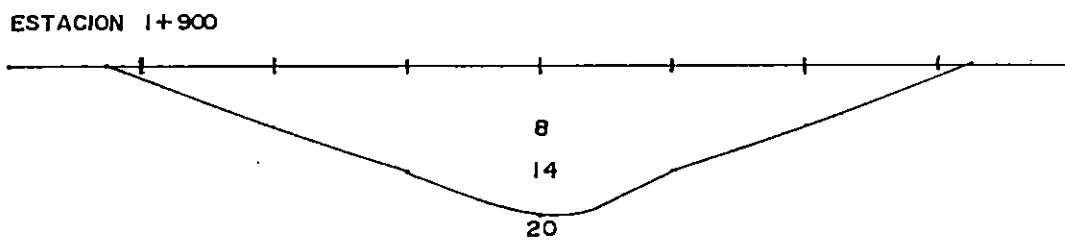
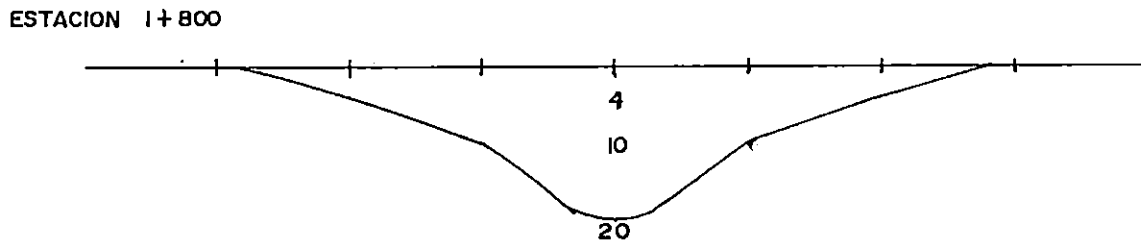
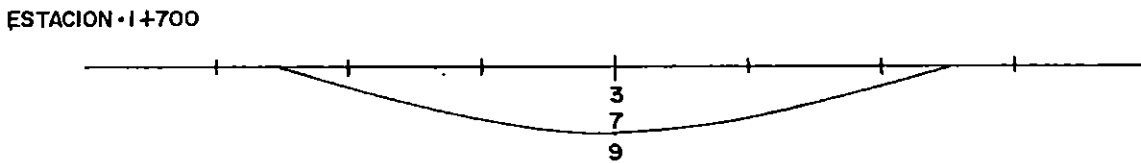
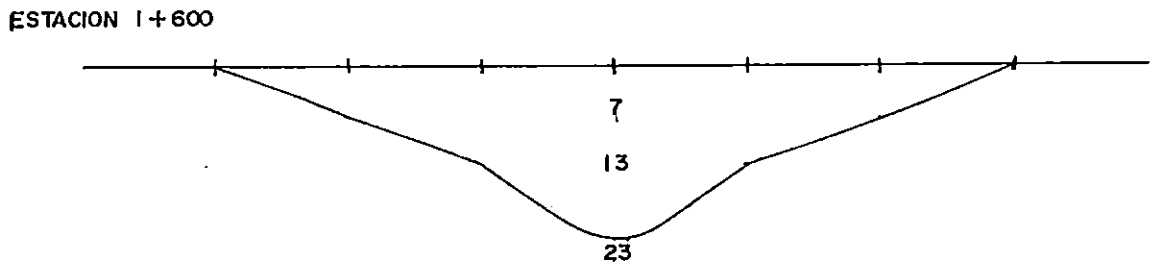
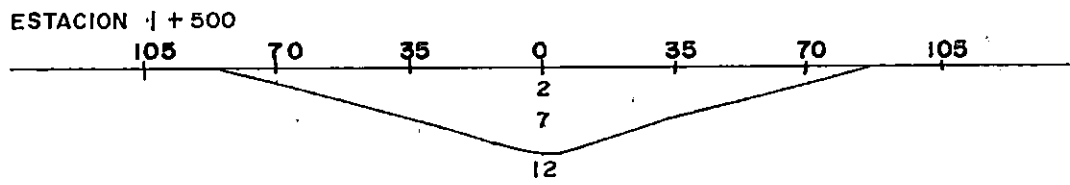


ESTACION 1 + 300

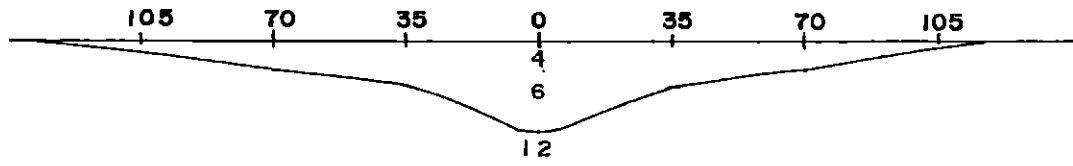


ESTACION 1 + 400

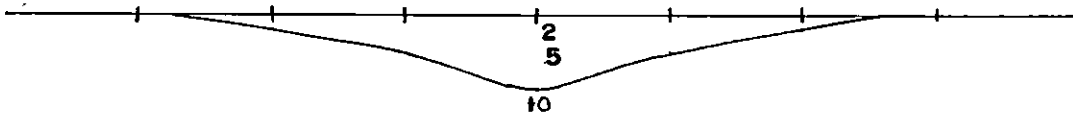




ESTACION 2 + 0.00

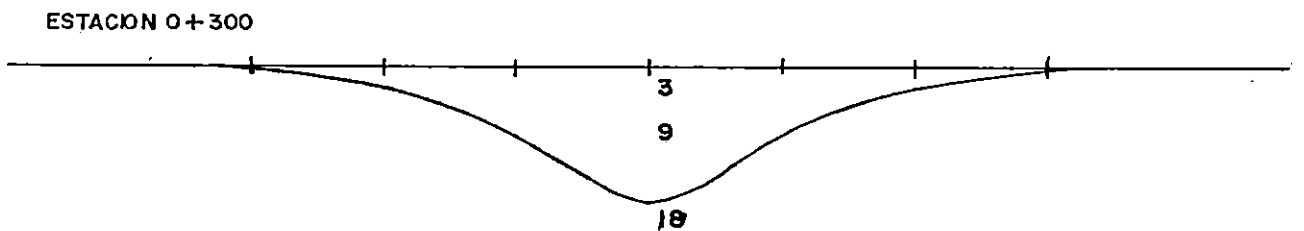
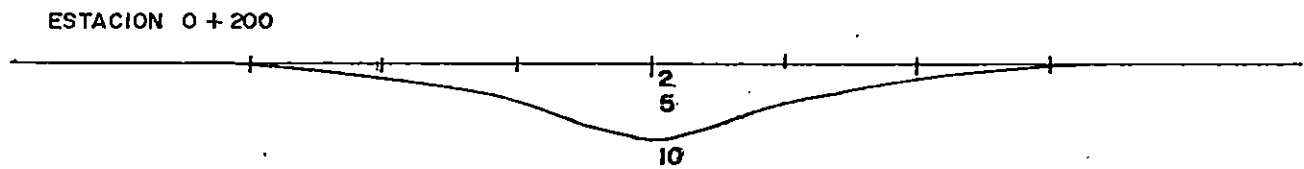
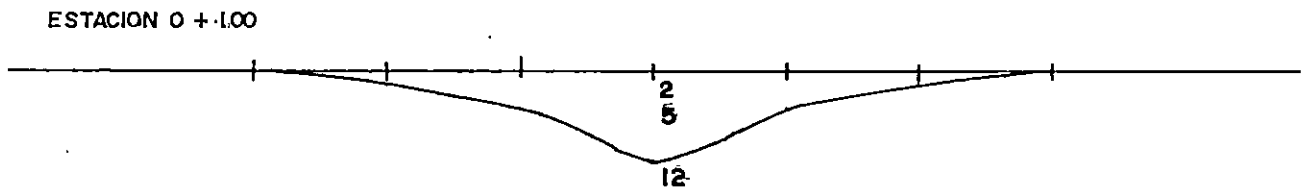
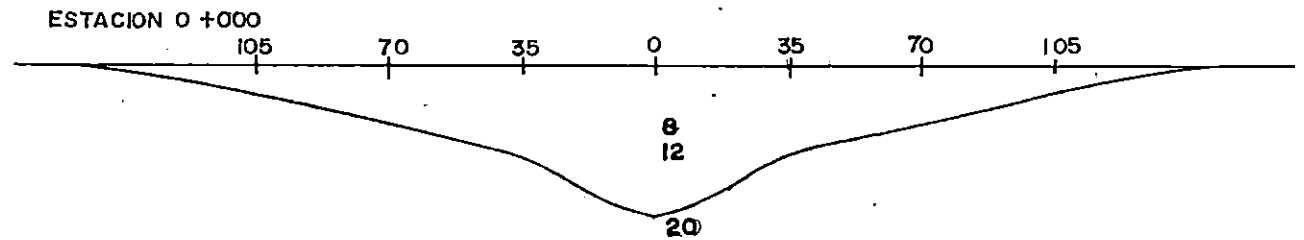


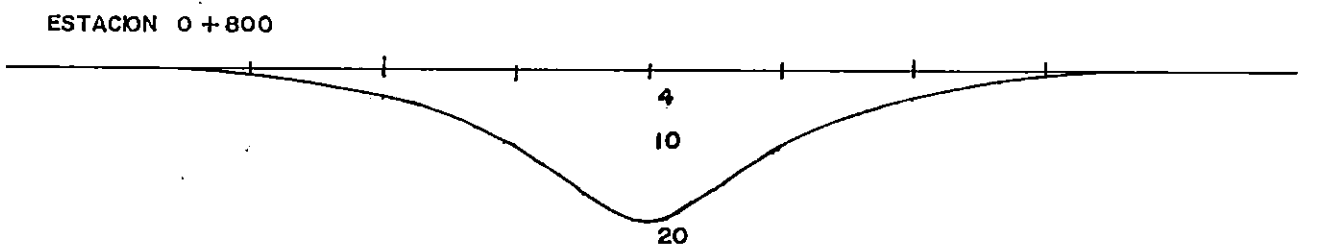
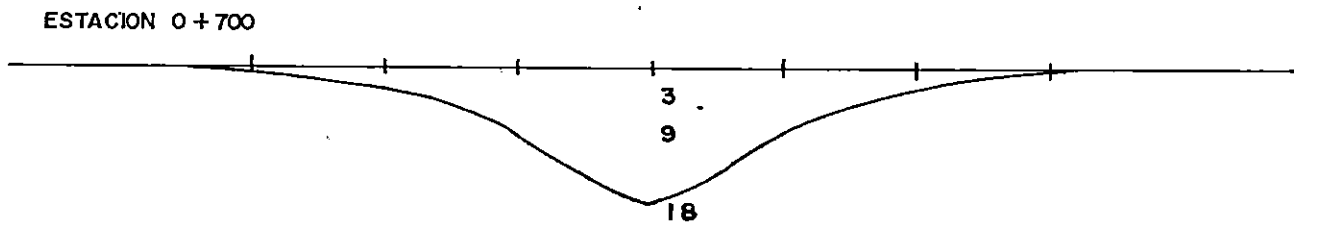
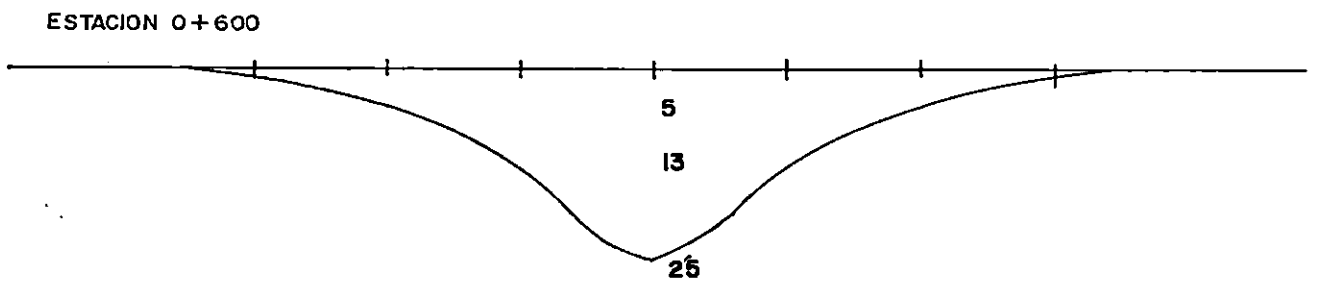
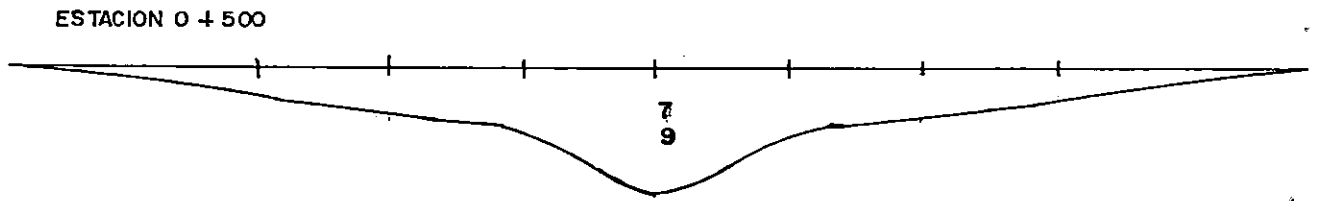
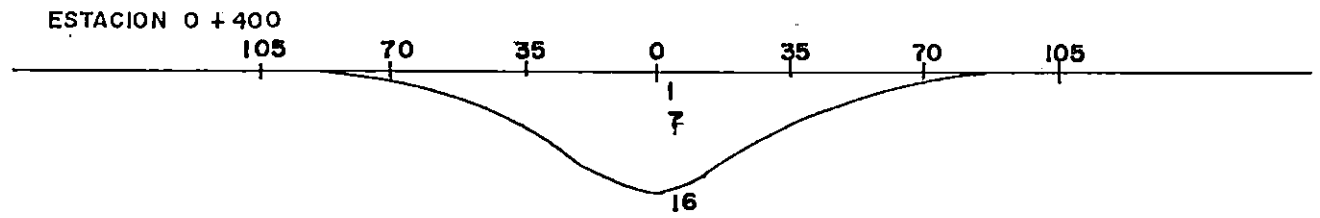
ESTACION 2+100



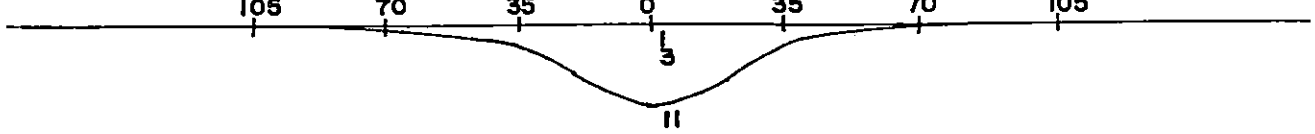
# CURVAS DE DEFLEXIONES.

Proyecto: CA 1 - DESVIO SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE.

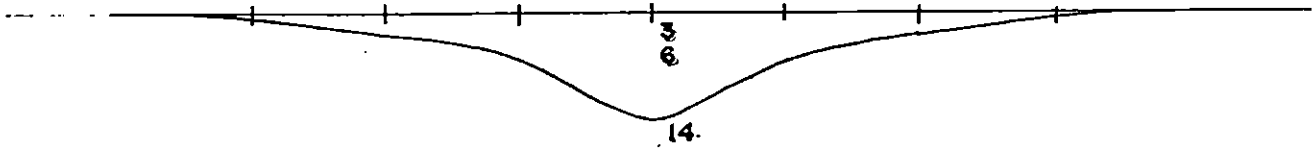




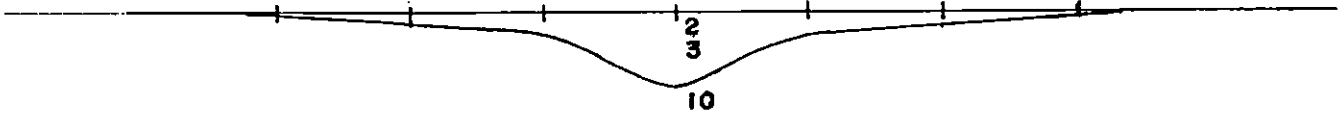
ESTACION 0 + 900



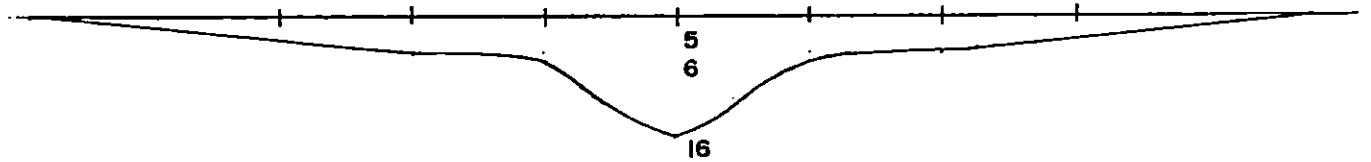
ESTACION 1 + 0.00



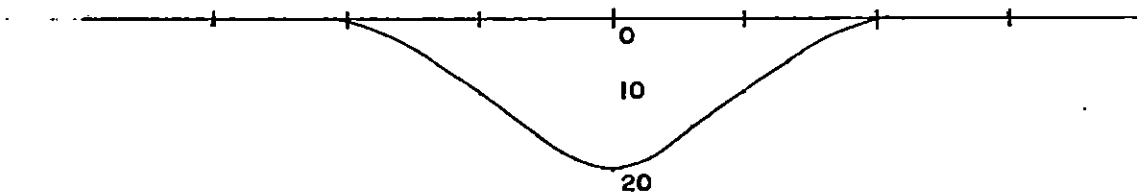
ESTACION 1 + 100

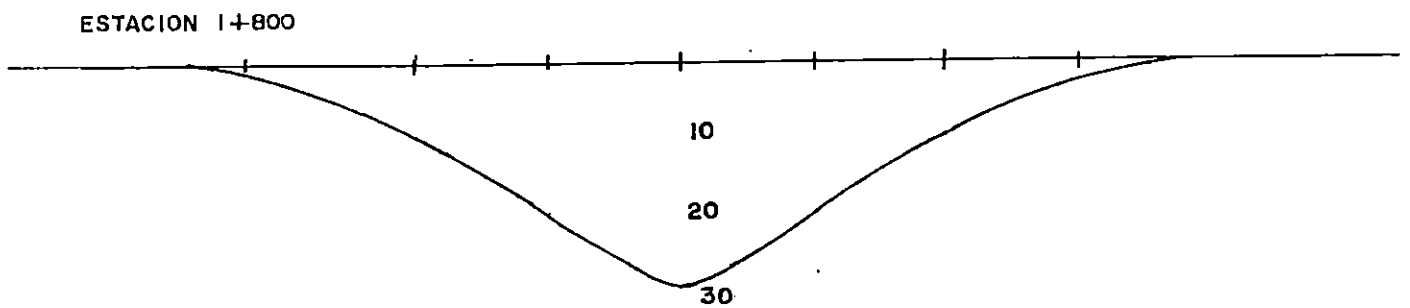
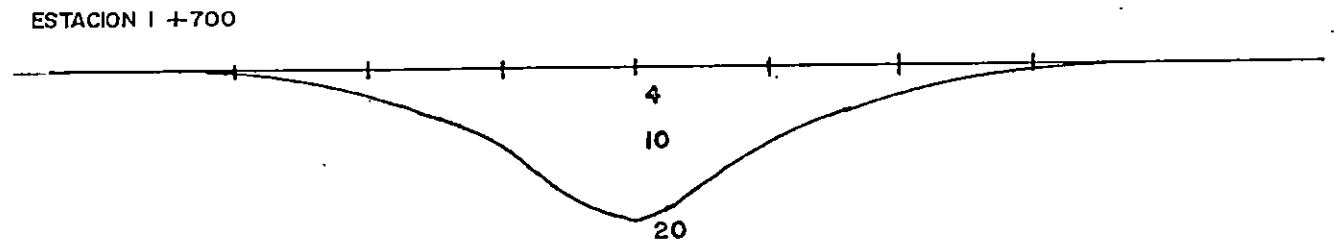
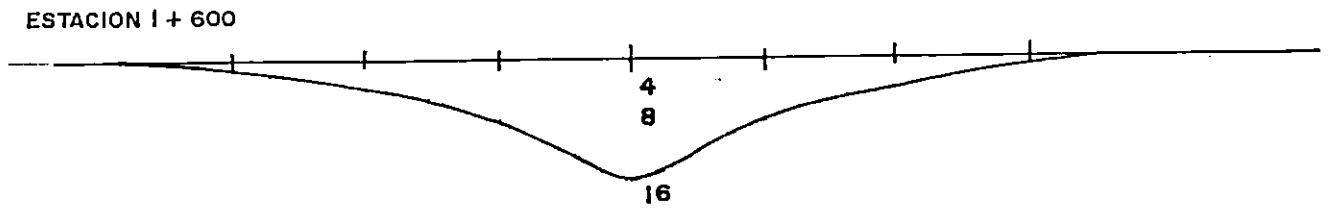
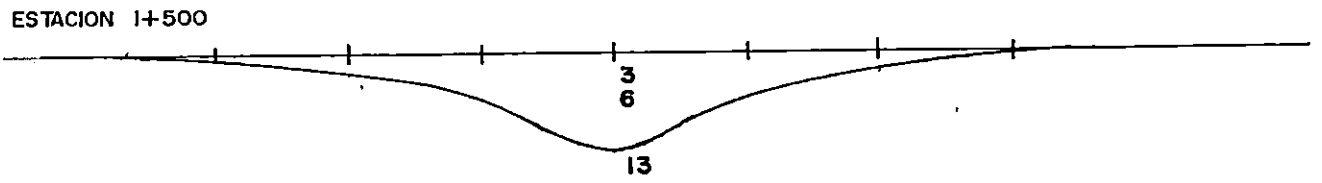
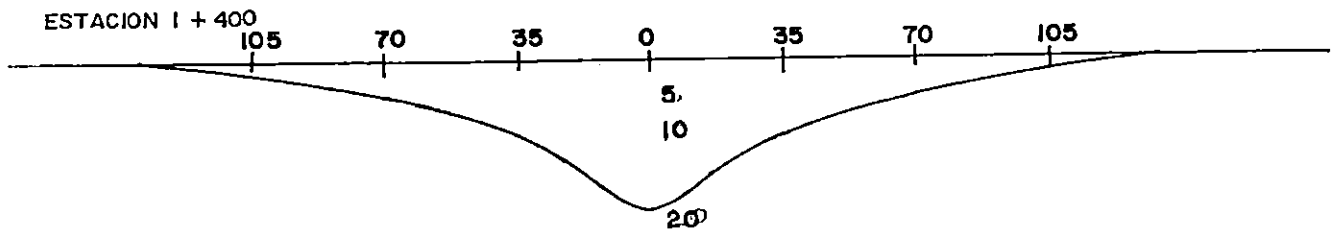


ESTACION 1 + 200

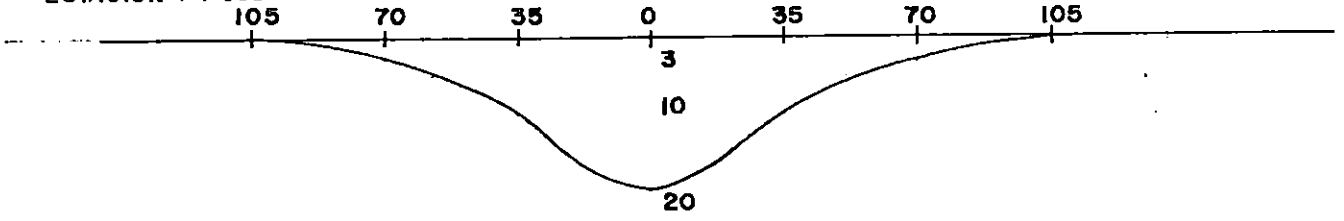


ESTACION 1 + 300

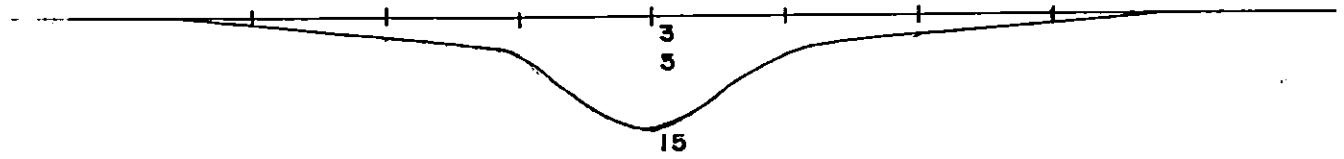




ESTACION 1 + 900



ESTACION 2 + 000



**APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO  
DE LOS ESTADOS UNIDOS (MIA) Y DISEÑO DE LA  
SOBRECAPA**

Este método se usará para calcular el espesor de la sobrecapa del pavimento en los tramos de las carreteras en estudio.

En este método, se evalúa el pavimento a partir de los siguientes parámetros:

- 1) Análisis del tránsito. Es importante para calcular el número equivalente de carga de eje sencillo standard de 8.2 toneladas (ESAL) en el período de diseño (n) de 10 años.
- 2) La temperatura. Se toma en cuenta para hacer las correcciones por temperatura (a las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman) equivalente a la temperatura de 21°C ( $F_T$ ).
- 3) El clima. Se considera que el período estacional lluvioso es el más recomendable para ejecutar el ensayo de las deflexiones usando la Viga Benkelman; en este caso, el factor de corrección estacional se tomará igual a uno ( $F_{e'}=1$ ).
- 4) Cálculo de la deflexión representativa de rebote de diseño (DRR<sub>d</sub>) y la deflexión representativa de rebote real (DRR<sub>R</sub>), obtenida de la toma de deflexiones con la Viga Benkelman. Ambas se comparan para obtener una sobrecapa de refuerzo en una carretera (ver criterio en el capítulo II, pág. N° 103). El procedimiento para el cálculo de estos 4 parámetros está

contenido en el capítulo II, págs. N° 90 al N° 106.

A continuación se presentarán los cálculos de los tramos de las carreteras en estudio.

Tramo bueno: SANTA ANA - TEXISTEPEQUE (CA-12)

1) Análisis del tránsito.

CUADRO N° 23 . DATOS DE TRÁNSITO

TPDA	Factor de Crecimiento anual (r %)	Distribución de vehículos (%)				* Pesados de carga		
		Vehículos	Pick-up	Buses	Pesados de carga*	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>
1847	3.07	11	43	7	39	77	4	19

Cálculo del ESAL.

Para el cálculo del ESAL, primeramente se calculará:

\* Distribución de camiones y buses.

Tránsito promedio diario anual (TPDA) = 1,847 vehículos.

Porcentaje de vehículos pesados (buses y camiones):

$$39\% + 7\% = 46\%$$

Distribución de camiones y buses (tomados del cuadro N° 22).

$$\text{Tipo } C_2 = 0.77 \times 39 = 30.03\%$$

$$\text{Tipo } C_3 = 0.04 \times 39 = 1.56\%$$

$$\text{Tipo } (T_3 - S_2) = 0.19 \times 39 = 7.41\%$$

$$\text{Buses} = \underline{7.0\%}$$

$$46.00\%$$

\* Volumen de vehículos para el primer año.

El TPDA se multiplicará por el número de días que tiene el año o sea:

$$\text{TPDA} \times 365 \text{ días} = 1,847 \times 365 = 674,155 \text{ vehículos.}$$

\* El período de diseño (n): por considerarse un rediseño es de 10 años.

\* El factor de crecimiento del tránsito.

Se obtendrá de la fórmula siguiente:

$$F = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

$r = 3.07\%$  ó  $r = 0.0307$  (dato obtenido de la sección de conteo de la DGC) y  $n = 10$  años

Sustituyendo:

$$F = \frac{(1 + 0.0307)^{10} - 1}{0.0307} = 11.501$$

\* Factor de carril.

Por ser la carretera de 2 carriles en un sentido, según el cuadro N° 14 el factor de carril, se aplicará el promedio, es decir 0.90.

\* Factor de sentido (Fs).

Se tomará el factor de sentido igual a 0.5 ( $F_s = 0.5$ )<sup>44</sup>.

\* Se calculará el número de vehículos para el primer año según el tipo, así:

Con el volumen de vehículos para el primer año, éste se multiplicará por la distribución de vehículos, así:

---

<sup>44</sup> Por ser la carretera de dos carriles en un mismo sentido.

Vehículo liviano	= 674,155 x 0.11 = 74,157
Pick - up	= 674,155 x 0.43 = 289,887
Buses	= 674,155 x 0.07 = 47,191
C <sub>2</sub>	= 674,155 x 0.3003 = 202,449
C <sub>3</sub>	= 674,155 x 0.0156 = 10,517
(T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> )	= 674,155 x 0.0741 = 49,955

\* Factor de camión.

Estos factores son tomados del cuadro N°13, capítulo II pág. N° 92; pero si éstos son menores de los calculados por la DGC, se tomarán estos últimos.

Los datos calculados se ordenan en el siguiente cuadro. Para calcular el ESAL se multiplican entre sí los factores obtenidos por el número de vehículos en el primer año para los diferentes tipos de camiones, la sumatoria de ellos será el ESAL total.

Ejemplo:

$$(ESAL)_{vehículo} = 74,157 \times 0.0001 \times 0.9 \times 11.50 \times 0.5 = 38$$

CUADRO N° 24

Tipo de vehículo	N° de vehículos para el primer año	Factor de camión (Fc)	Factor de carril	Factor de crecimiento	Factor de sentido (Fs)	ESAL
vehículo liv.	74,157	0.0001	0.9	11.50	0.5	38
Pick-up	289,887	0.0004	0.9	11.50	0.5	600
Buses	47,191	0.4900	0.9	11.50	0.5	119,665
Tipo C <sub>2</sub>	202,449	0.9350	0.9	11.50	0.5	979,575
Tipo C <sub>3</sub>	10,517	0.9600	0.9	11.50	0.5	52,248
Tipo (S-S <sub>2</sub> )	49,955	1.8160	0.9	11.50	0.5	469,467
						1,621,593

- 2) Factor de ajuste por temperatura ( $F_T$ ). Tramo SANTA ANA - TEXISTEPEQUE (CA-12)

DATOS DE TEMPERATURA

CUADRO N° 25

Temperatura de la carpeta asfáltica	Temperatura ambiente	Temperatura de los 5 días anteriores		Espesor de la carpeta	Espesor de la base
		Máximo	Mínimo		
35°C	26°C	28°C	24°C	10 cm	35 cm

Cálculos.

La temperatura de la carpeta más la temperatura promedio de los 5 días anteriores es la temperatura ajustada.

$$t_{CA} + t_s = t_{ajustada}$$

$$35^\circ\text{C} + 26^\circ\text{C} = 61^\circ\text{C}$$

Con la temperatura ajustada y el espesor de la carpeta asfáltica se encuentran las temperaturas a media profundidad ( $e/2$ ) y a la profundidad total ( $e$ ), según la fig. N° XVII.

Espesor de la carpeta ( $e$ ) = 10 cm = 100 mm.

Las temperaturas son:

a media profundidad:  $e/2 = 100/2 = 50$  mm. En la figura N° XVII se lee la  $T = 34^\circ\text{C}$

a profundidad total:  $e = 100$  mm. En la figura N° XVII se lee la  $T = 31^\circ\text{C}$

Obteniendo el promedio ponderado de las temperaturas a profundidad total, a media profundidad y la de la superficie de la carpeta asfáltica, esta es:

$$T_p = \frac{31^\circ\text{C} + 4 \times 34^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C}}{6} = 34^\circ\text{C}$$

Con los datos de la temperatura promedio ponderado ( $T_p=34^\circ\text{C}$ ) y el espesor de la base de 35 cm ó 350 mm se obtiene el factor de corrección por temperatura; según la figura N° XVIII,  $F_T = 0.87$ .

3) Factor de ajuste estacional ( $Fe'$ )

Se tomará  $Fe' = 1$ , ya que las deflexiones fueron obtenidas en la época de lluvia.

4) Cálculo de las deflexiones representativas de rebote.

a) de diseño  $DRR_d$ , b) la real  $DRR_R$ .

\* Calculando la  $DRR_d$

De la figura N°XIX, teniendo el ESAL, se obtiene el  $DRR_d$ .

Con ESAL = 1,621,593 en la gráfica (fig. N°XIX) se lee el  $DRR_d = 0.77$  mm.

\* Cálculo de la deflexión representativa de rebote real ( $DRR_R$ ). Siendo:

K: la relación de palanca de la Viga Benkelman.

$$K = 2$$

y la precisión del deformímetro en la menor división es de 0.001 pul.

Las lecturas de las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman contenidas en el ANEXO "1" se multiplicarán por la relación de brazos de palanca de la Viga Benkelman y por la precisión del deformímetro, así:

Estación 0+000:

$$7 \times 2 \times 0.001" = 0.014 \text{ pulg}$$

$$\text{si } 1 \text{ pulgada} = 25.4 \text{ mm: } 0.014 \text{ pulg} \times 25.4 \text{ mm/1 pulg} = 0.3556 \text{ mm}$$

Para las demás estaciones se hace lo mismo, los resultados se presentan en el siguiente cuadro N°26 para continuar calculando la deflexión representativa de rebote real.

CUADRO N° 26

"CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVA DE REBOTE REAL"

ESTACIÓN	DEFLEXIÓN X (pulg)	DEFLEXIÓN X (mm)	X <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
0+000	0.014	0.3556	0.12645136
0+100	0.020	0.5080	0.25806400
0+200	0.020	0.5080	0.25806400
0+300	0.008	0.2032	0.04129024
0+400	0.016	0.4064	0.16516096
0+500	0.016	0.4064	0.16516096
0+600	0.014	0.3556	0.12645136
0+700	0.016	0.4064	0.16516096
0+800	0.014	0.3556	0.12645136
0+900	0.008	0.2032	0.04129024
1+000	0.016	0.4064	0.16516096
1+100	0.012	0.3048	0.09290304
1+200	0.020	0.5080	0.25806400
1+300	0.010	0.2540	0.06451600
1+400	0.028	0.7112	0.50580544
1+500	0.012	0.3048	0.09290304
1+600	0.006	0.1524	0.02322576
1+700	0.020	0.5080	0.25806400
1+800	0.020	0.5080	0.25806400
1+900	0.022	0.5588	0.31225744
2+000	0.022	0.5588	0.31225744
		<b>8.4836</b>	<b>3.81676656</b>

\* Del anexo "1" tramo bueno (Sta. Ana - Texistepeque (CA:12)), estación 0+000,  
lect. Viga Benkelman = 7 unidades, K = 2, cada división = 0.001 pulg  
Deflexión = 7 x 2 x 0.001 = 0.014 pulgadas = 0.3556 mm.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{8.4836}{21} = 0.40398095 \text{ mm}$$

$$S = \left( \frac{\sum x^2 - \bar{x} \sum x}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left[ \frac{3.81676656 - 0.40398095 \times 8.4836}{21 - 1} \right]^{1/2}$$

$$S = 0.13619904 \text{ mm}$$

La deflexión representativa de rebote real (DRR<sub>R</sub>) es:

$$DRR_R = (\bar{x} + 2S) F'e \times F_T$$

Donde:

F'e': factor de corrección estacional.

F<sub>T</sub> : factor de corrección por temperatura.

$$DRR_R = (0.40398095 + 2 (0.13619904)) \times 1 \times 0.87$$

$$DRR_R = 0.58844976 \approx 0.59 \text{ mm}$$

Comparando las deflexiones DRR<sub>d</sub> y DRR<sub>R</sub>

Como DRR<sub>d</sub> > DRR<sub>R</sub>

$$0.77 \text{ mm} > 0.59 \text{ mm}$$

Como la deflexión representativa de rebote de diseño (DRR<sub>d</sub>) es mayor que la deflexión representativa de rebote real (DRR<sub>R</sub>), el pavimento no necesita refuerzo.

Tramo regular: ATEOS - JAYAQUE (CA-8)

#### CUADRO N° 27

##### DATOS DE TRÁNSITO

TPDA	Factor de Crecimiento anual (r %)	Distribución de vehículos (%)				* Pesados de carga		
		Vehículos	Pick-up	Buses	Pesados de carga*	C2	C3	T3-S2
997	3.5	13	64	6	17	86	7	7

## Cálculo del ESAL

### \* Distribución de camiones y buses

Tránsito promedio diario anual (TPDA) = 997 vehículos

Porcentaje de vehículos pesados (buses y camiones) = 17% +  
6% = 23%

Distribución de camiones y buses (tomados del cuadro N°27).

Tipo C<sub>2</sub> = 0.86 x 17 = 14.62%

Tipo C<sub>3</sub> = 0.07 x 17 = 1.19%

Tipo (T<sub>3</sub>-S<sub>3</sub>) = 0.07 x 17 = 1.19%

Buses = 6.00%

23.00%

### \* Volumen de vehículos para el primer año.

El TPDA se multiplicará por el número de días que tiene el  
año.

TPDA x 365 = 997 x 365 = 363,905 vehículos

### \* El período de diseño (n) por considerarse rediseño es de 10 años.

### \* Factor de crecimiento del tránsito.

Se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r = 3.5% ó r = 0.035 (dato obtenido de la Sección de  
Censo de la DGC) y n = 10 años

Sustituyendo:

$$F = \frac{(1 + 0.035)^{10} - 1}{0.035} = 11.731429$$

$$F = 11.731429 = 11.731$$

\* Factor de carril.

Por ser la carretera de un carril en un sentido, según el cuadro N° 14 el factor de carril es 1.0.

\* Factor de sentido.

Este se tomará igual a 0.5 ( $F_s = 0.5$ ).

\* Se calculará el número de vehículos para el primer año según el tipo, así:

$$\text{Vehículo liviano} = 363905 \times 0.13 = 47,308$$

$$\text{Pick up} = 363905 \times 0.64 = 232,899$$

$$\text{Buses} = 363905 \times 0.06 = 21,834$$

$$C_2 = 363905 \times 0.1462 = 53,203$$

$$C_3 = 363905 \times 0.0119 = 4,330$$

$$(T_3 - S_2) = 363905 \times 0.0119 = 4,330$$

\* Factor de camión.

Estos factores son tomados del cuadro N°13, capítulo II, pág. 91; pero si éstos son menores que los calculados por la DGC, se tomarán éstos últimos.

Los datos calculados se ordenan en el siguiente cuadro.

Para obtener el ESAL se calcula multiplicando entre sí los factores obtenidos por el número de vehículos en el primer año para los diferentes tipos de camiones, la sumatoria de ellos será el ESAL total.

Ejemplo:

$$(ESAL)_{\text{vehículo}} = 47,308 \times 0.0001 \times 0.5 \times 11.73 \times 1 = 28$$

CUADRO N° 28

Tipo de vehículo	N° de vehículos para el primer año	Factor de camión	Factor de carril	Factor de crecimiento	Factor de sentido	ESAL
vehículo liv.	47,308	0.0001	0.5	11.73	1	28
Pick-up	232,899	0.0004	0.5	11.73	1	546
Buses	21,834	0.4900	0.5	11.73	1	62748
Tipo C <sub>2</sub>	53,203	1.3500	0.5	11.73	1	421248
Tipo C <sub>3</sub>	4,330	0.9280	0.5	11.73	1	23567
Tipo (T <sub>3-S</sub> )	4,330	1.8160	0.5	11.73	1	46118
						554255

El valor de ESAL para el tramo regular ATEOS - JAYAQUE es 554255

2) Factor de ajuste por temperatura ( $F_T$ ). Tramo ATEOS - JAYAQUE CA-8.

CUADRO N° 29

DATOS DE TEMPERATURA

Temperatura de la carpeta asfáltica	Temperatura ambiente	Temperatura de los 5 días anteriores		Espesor de la carpeta	Espesor de la base
		Máximo	Mínimo		
32°C	24°C	29°C	23°C	2.5 cm	30 cm

Cálculos.

La temperatura de la carpeta más la temperatura promedio de los 5 días anteriores es la temperatura ajustada.

$$t_c + t_s = t_{\text{ajustada}}$$

$$32^\circ\text{C} + 26^\circ\text{C} = 58^\circ\text{C}$$

Con la temperatura ajustada y el espesor de la carpeta asfáltica se encuentran las temperaturas a media profundidad ( $e/2$ ) y a la profundidad total de la carpeta asfáltica ( $e$ ),

según la figura N°17.

Espesor de la carpeta (e) = 2.5 cm = 25 mm, la media profundidad (e/2) = 25 mm/2 = 12.5 mm.

En la fig. N° XVII no se puede leer el valor de la temperatura a media profundidad (12.5 mm) debido a que el espesor es pequeño que en la gráfica no se puede leer para un espesor de (25/2) = 12.5 mm ya que la curva mínima es de 25 mm en la gráfica, por lo que se tomará igual a la temperatura de profundidad total.

De fig. N° XVII se tiene que:

a media profundidad: e/2 = 25 mm/2 = 12.5 mm. En el gráfico se lee la T = 35°C

a profundidad total: e = 25 mm. En el gráfico se lee la T = 35°C

Obteniendo el promedio ponderado de las temperaturas a profundidad total, a media profundidad y la de la superficie de la carpeta asfáltica es:

$$T_p = \frac{35^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C} \times 4 + 32^\circ\text{C}}{6} = 34.5^\circ\text{C}$$

Con los datos de la temperatura promedio ponderada ( $T_p=34.5^\circ\text{C}$ ) y el espesor de la base de 300 mm se obtiene el factor de corrección por temperatura de la figura N° XVIII,  $F_T=0.86$ .

3) Factor de ajuste estacional ( $Fe'$ ).

Se tomará  $Fe' = 1$  ya que las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman fueron obtenidas en la época de lluvia.

4) Cálculo de las deflexiones representativas de rebote.

a) de diseño  $DRR_d$ , b) real  $DRR_R$ .

\* Calculando la  $DRR_d$

Con el ESAL = 554255 en la gráfica (figura N° XIX) se lee  $DRR_d=1.10$  mm

\* Calculando la  $DRR_R$ .

Siendo: K = la relación de brazos de palanca de la Viga Benkelman.

$$K = 2$$

y la precisión del deformímetro en la menor división es de 0.001 pulg.

Las lecturas de las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman contenidas en el anexo "1" se multiplicarán por la relación de brazos de palanca de la Viga Benkelman y por la precisión del deformímetro, así:

Estación 2+100

$$2+100 \quad 32 \times 2 \times 0.001" = 0.064 \text{ pulg.}$$

Si 1 pulg = 25.4 mm:  $0.064 \text{ pulg} \times 25.4 \text{ mm}/1 \text{ pulg} = 1.6256 \text{ mm}$

Para las demás estaciones se hace lo mismo, los resultados se presentan en el siguiente cuadro N° 30, para continuar calculando la deflexión representativa de rebote real.

CUADRO N° 30

"CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVA DE REBOTE REAL"

ESTACIÓN	DEFLEXIÓN X (pulg)	DEFLEXIÓN X (mm)	X <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
2+100	0.062	1.5748	2.47999504
2+200	0.024	0.6096	0.37161216
2+300	0.060	1.5240	2.32257600
2+400	0.034	0.8636	0.74580496
2+500	0.024	0.6096	0.37161216
2+600	0.018	0.4572	0.20903184
2+700	0.012	0.3048	0.09290340
2+800	0.036	0.9144	0.83612736
2+900	0.052	1.3208	1.74451264
3+000	0.024	0.6096	0.37161216
3+100	0.024	0.6096	0.37161216
3+200	0.024	0.6096	0.37161216
3+300	0.032	0.8128	0.66064384
3+400	0.026	0.6604	0.43612816
3+500	0.024	0.6096	0.37161216
3+600	0.046	1.1684	1.36515856
3+700	0.018	0.4572	0.20903184
3+800	0.040	1.0160	1.03225600
3+900	0.040	1.0160	1.03225600
4+000	0.024	0.6096	0.37161216
4+100	0.020	0.5080	0.25806400
		16.8656	16.02577476

$$\bar{x} = \frac{16.8656}{21} = 0.8031238095$$

$$S = \left( \frac{\sum x^2 - \bar{x} \sum x}{n - 1} \right)^{1/2}$$

$$S = \left( \frac{16.02577476 - 0.8031238095 \times 16.8656}{21 - 1} \right)^{1/2}$$

$$S = 0.35217963 \text{ mm}$$

\* Calculando la deflexión representativa de rebote real (DRR<sub>R</sub>)

$$DRR_R = (\bar{x} + 2S) F'e \times F_T$$

$$= [0.8031238095 + 2(0.35217963)] \times 1 \times 0.86$$

$$DRR_R = 1.29643544 \approx 1.3 \text{ mm}$$

Comparando DRR<sub>d</sub> y DRR<sub>R</sub>

Como: DRR<sub>d</sub> < DRR<sub>R</sub>

1.10 < 1.30 entonces, necesita refuerzo el pavimento.

\* Determinando el espesor de refuerzo.

Con el ESAL = 554 y DRR<sub>R</sub> = 1.30 mm se lee en la figura N° XX, entonces, la sobrecapa de refuerzo estructural que necesita es de 50.8 mm

Tramo malo: DESVÍO SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE (CA-1)

1) Análisis del tránsito

CUADRO N° 31

DATOS DE TRÁNSITO

TPDA	Factor de Crecimiento anual r (%)	Distribución de vehículos (%)				* Pesados de carga		
		Vehículos	Pick-up	Buses	Pesados de carga*	C2	C3	T3-S2
3118	5.1	14	43	6	37	83	7	10

### Cálculo del ESAL

- \* Distribución de camiones y buses.

Tránsito promedio diario anual (TPDA) = 3,118  
vehículos.

Porcentaje de vehículos pesados (buses y camiones) =  
37% + 6% = 43%

Distribución de camiones y buses (tomados del cuadro  
N° 31).

$$\text{Tipo } C_2 = 0.83 \times 37 = 30.71\%$$

$$\text{Tipo } C_3 = 0.07 \times 37 = 2.59\%$$

$$\text{Tipo } T_3 - S_2 = 0.10 \times 37 = 3.70\%$$

$$\text{Buses} = \underline{6.00\%}$$

$$= 43.00\%$$

- \* Volumen de vehículos para el primer año.

$$3,118 \times 365 = 1,138,070 \text{ vehículos.}$$

- \* Período de diseño (n): por considerarse un rediseño es  
de 10 años.

- \* Factor de crecimiento del tránsito.

Se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} =$$

$$F = \frac{(1 + 0.051)^{10} - 1}{0.051} = 12.637$$

Donde:

r = 5.1% ó r = 0.051 (dato tomado de la Sección de  
Censo de la DGC)

\* Factor de carril.

Por ser la carretera de un carril en un sentido, según el cuadro N°14 el factor de carril es = 0.50

\* Factor de sentido.

Este se tomará igual a uno (Fs = 1)

\* Se calculará el número de vehículos para el primer año según el tipo, así:

vehículo liviano =  $1,138,070 \times 0.14 = 159,330$

Pick up =  $1,138,070 \times 0.43 = 489,370$

Buses =  $1,138,070 \times 0.06 = 68,284$

Tipo C<sub>2</sub> =  $1,138,070 \times 0.3071 = 349,501$

Tipo C<sub>3</sub> =  $1,138,070 \times 0.0259 = 29,476$

Tipo (T<sub>3</sub> - S<sub>2</sub>) =  $1,138,070 \times 0.037 = 42,109$

\* Factor de camión.

Estos factores son tomados del cuadro N°13; pero si éstos son menores de los valores calculados por la DGC se tomarán éstos últimos.

Los datos calculados se ordenan en el siguiente cuadro.

Para calcular el ESAL se multiplican entre sí los factores obtenidos por el número de vehículos en el primer año para los diferentes tipos de camiones, la sumatoria de ellos será el ESAL total.

Ejemplo:

(ESAL) =  $159,330 \times 0.0001 \times 1.0 \times 12.637 \times 0.5 = 101$

CUADRO N° 32

Tipo de vehículo	N° de vehículos para el primer año	Factor de camión (Fc)	Factor de carril	Factor de crecimiento	Factor de sentido	ESAL
vehículo liv.	159,330	0.0001	1.0	12.64	0.5	101
Pick-up	489,370	0.0004	1.0	12.64	0.5	1,237
Buses	68,284	0.4900	1.0	12.64	0.5	211,462
Tipo C <sub>2</sub>	349,501	1.1000	1.0	12.64	0.5	2,429,731
Tipo C <sub>3</sub>	29,476	0.9600	1.0	12.64	0.5	178,837
Tipo (T <sub>S-S</sub> )	42,109	1.8160	1.0	12.64	0.5	483,290
						3,304,658

- 2) Factor de ajuste por temperatura ( $F_T$ ). Tramo SAN JUAN OPICO QUEZALTEPEQUE (CA-1)

CUADRO N° 33

DATOS DE TEMPERATURA

Temperatura de la carpeta asfáltica	Temperatura ambiente	Temperatura de los 5 días anteriores		Espesor de la carpeta	Espesor de la base
		Máximo	Mínimo		
34°C	26°C	27°C	25°C	3.0 cm	20 cm

Cálculos:

La temperatura de la carpeta asfáltica más la temperatura promedio de los 5 días anteriores es la temperatura ajustada.

$$t_{CA} + t_s = t_{ajustada}$$

$$34^\circ\text{C} + 26^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

Con la temperatura ajustada y el espesor de la carpeta

asfáltica se encuentran las temperaturas; que para este caso serán iguales tanto la de la media profundidad ( $e/2$ ) como la de la profundidad total ( $e$ ) debido a que el espesor de la carpeta es pequeña  $e = 30$  mm que en la gráfica (figura N° XVII) no se puede leer para un espesor de  $30 \text{ mm}/2 = 15$  mm, por tanto:

Para el espesor a media profundidad  $e/2 = 30 \text{ mm}/2 = 15$  mm. En el gráfico se lee la  $T = 35^\circ\text{C}$ .

Para el espesor total  $e = 30$  mm. En la gráfica (figura N° XVII) se lee la  $T = 35^\circ\text{C}$

Obteniendo el promedio ponderado de las temperaturas a profundidad total, a media profundidad y la de la superficie de la carpeta asfáltica,

$$T_p = \frac{35 + (35 \times 4) + 34}{6} = 35^\circ\text{C}$$

Con los datos de la temperatura promedio ponderado ( $T_p = 35^\circ\text{C}$ ) y el espesor de la base de 200 mm, se obtiene el factor de corrección por temperatura.

De la fig. N° XVIII,  $F_T = 0.82$

3) Factor de ajuste estacional ( $F_e'$ ).

Se tomará  $F_e' = 1$ , ya que las deflexiones fueron obtenidas en la época de lluvia.

4) Cálculo de las deflexiones representativas de rebote.

a) de diseño  $DRR_d$  b) la real  $DRR_R$ .

\* Calculando la deflexión representativa de rebote de

diseño  $DRR_d$ .

De la fig. N° XIX, teniendo el ESAL se obtiene el  $DRR_d$ .

Con el ESAL = 3,304,658 en la gráfica (fig. N° XIX) se lee el  $DRR_d = 0.67$  mm.

\* Cálculo de la deflexión representativa de rebote real  $DRR_R$ .

Siendo:

$$K = 2$$

y la precisión del deformímetro en la menor división es de 0.001 pul.

Las lecturas de las deflexiones tomadas con la Viga Benkelman contenida en el ANEXO "1", se multiplicarán por la relación de brazos de palanca de la Viga Benkelman y por la precisión del deformímetro así:

Estación 0+000:

$$20 \times 2 \times 0.001" = 0.040 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Si } 1 \text{ pulgada} = 25.4 \text{ mm: } 0.040 \text{ pulg} \times 25.4 \text{ mm/1 pulg} = 1.016 \text{ mm.}$$

CUADRO N° 34

"CALCULO DE LA DEFLEXION REPRESENTATIVA DE REBOTE REAL"

ESTACIÓN	DEFLEXIÓN X (pulg)	DEFLEXIÓN X (mm)	X <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
0+000	0.040	1.0160	1.03225600
0+100	0.024	0.6096	0.37161216
0+200	0.020	0.5080	0.25806400
0+300	0.036	0.9144	0.83612736
0+400	0.032	0.8128	0.66064384
0+500	0.034	0.8636	0.74580496
0+600	0.050	1.2700	1.61290000
0+700	0.036	0.9144	0.83612736
0+800	0.040	1.0160	1.03225600
0+900	0.022	0.5588	0.31225744
1+000	0.028	0.7112	0.50580544
1+100	0.020	0.5080	0.25806400
1+200	0.032	0.8128	0.66064384
1+300	0.040	1.0160	1.03225600
1+400	0.040	1.0160	1.03225600
1+500	0.026	0.6604	0.43612816
1+600	0.032	0.8128	0.66064384
1+700	0.040	1.0160	1.03225600
1+800	0.060	1.5240	2.32257600
1+900	0.040	1.0160	1.03225600
2+000	0.030	0.7620	0.58064400
		<b>18.3388</b>	<b>17.2515784</b>

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{18.3388}{21} = 0.8732761905$$

$$S = \left[ \frac{17.2515784 - 0.8732761905 \times 18.3388}{20 - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S = 0.248670565 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} DRR_R &= (\bar{X} + 2S) F_e \times F_T \\ &= (0.8732761905 + 2 \times 0.248670565) \times 1 \times 0.82 \\ &= 1.123906203 \text{ mm} \approx 1.12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Comparando las deflexiones  $DRR_d$  y  $DRR_R$

Como  $DRR_d < DRR_R$  necesita un espesor de refuerzo.

$$0.67 \text{ mm} < 1.12 \text{ mm}$$

Con ESAL = 3304658 y  $DRR_R = 1.12$ , se lee en la fig. XX la sobrecapa de 78.0 mm = 3.07 pulg.

CUADRO N° 35 RESUMEN DE ESPESORES DE SOBRECAPA, APLICANDO EL MODELO DE HOGG Y EL MÉTODO PROPUESTO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS ESTADOS UNIDOS (MIA)

TRAMO DE PROYECTO	ESPESOR DE LA SOBRECAPA EN cm	
	MODELO DE HOGG	MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO
CA-8, ATEOS-JAYAQUE	DH <sub>prom</sub> = 5.8 DH <sub>óptimo</sub> = 11.3	5.0
CA-1, DESVÍO SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE	DH <sub>prom</sub> = 14.9 DH <sub>óptimo</sub> = 17.8	7.8
CA-12, SANTA ANA - TEXISTEPEQUE	DH <sub>prom</sub> = 1.8 DH <sub>óptimo</sub> = 5.0	0.0

## ANÁLISIS DE COSTOS.

Se analizará el costo de evaluación estructural del pavimento de concreto asfáltico, utilizando el método directo (prueba de placa) comparándolo con el método indirecto (de la Viga Benkelman), en el tramo: Ateos-Jayaque, la longitud del tramo a evaluar es de 10 Km. La distancia de San Salvador al proyecto es de 40 Km.

En el costeo se considera lo siguiente:

Para el método directo: Se realizaron a lo largo del tramo, 11 pozos a cielo abierto, y se hicieron los siguientes ensayos:

En el suelo de la subrasante, para cada pozo:

- 1 Análisis Granulométrico
- 1 Límites de Atterberg
- 1 Prueba Próctor
- 1 Densidad de campo
- 1 CBR

En la capa de subbase, se eligen en forma representativa seis (6) pozos (de preferencia cada 2 Km), donde se realiza lo siguiente:

- 1 Clasificación de suelos
- 1 Prueba Próctor
- 1 Densidad de campo
- 1 CBR

En la capa de base: igual que la capa de subbase.

En la carpeta asfáltica: se extraen 4 núcleos representativos (ejemplo cada 3 Km), y se hace ensayo completo: asfalto y granulometría.

Método indirecto: El ensayo con la Viga Benkelmen se hace a cada 100 mts., y haciendo pozos a cielo abierto a cada 2 Km para verificar los espesores de pavimento.

El costo de evaluación por kilómetro, para este proyecto no podrá ser aplicable a otros proyectos, para el cálculo del costo de evaluación, a menos que sus características sean lo suficientemente iguales para estimarlo equivalente.

NOTA:

Actualizar estos costo a partir de Julio de 1995.

PLANILLA DE CALCULO DE COSTOS N°1: MÉTODO DIRECTO: POZOS A CIELO

ABIERTO

I		Mano de Obra Directa				
1.	Exploración y muestreo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total	
	1 Laboratorista	día	10	¢ 90.00	¢ 900.00	
	4 Auxiliares	día	10	¢ 60.00	¢ 2,400.00	
	1 Motorista	día	10	¢ 60.00	¢ 600.00	
Sub-Total					¢ 3,900.00	
II		Gastos Indirectos				
1.	Combustible	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	
	Gasolina	galón	40	¢ 13.80	¢ 552.00	
Sub-Total					¢ 552.00	
2	Pruebas de laboratorio	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	
	Análisis granulométrico	c/u	15	¢ 70.00	¢ 1,050.00	
	Límites de Atterberg	c/u	11	¢ 60.00	¢ 660.00	
	Prueba Próctor	c/u	23	¢ 210.00	¢ 4,830.00	
	CBR	c/u	23	¢ 325.00	¢ 7,475.00	
	Densidad de campo	c/u	23	¢ 45.00	¢ 1,035.00	
	Extracción de asfalto	c/u	4	¢ 196.00	¢ 784.00	
	Clasificación de suelos	c/u	12	¢ 112.00	¢ 1,344.00	
Sub-Total					¢17,178.00	
3	Alquiler de Equipo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL	
	Pick-up	día	10	¢ 400.00	¢ 4,000.00	
					¢ 4,000.00	
4	Rediseño de Pavimento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL	
	Rediseño de Pavimento	S.G.			¢ 3,000.00	
Sub-Total					¢ 3,000.00	
Sub-Total					¢ 28,630.00	
Mas 10% utilidades					¢ 2,863.00	
					¢ 31,493.00	
Más 10% IVA					¢ 3,149.30	
					¢ 34,642.30	
COSTO POR KILÓMETRO = ¢34,642.30/10 Km = ¢ 3,464.23/Km						

PLANILLA DE CALCULO DE COSTO N°2 : MÉTODO INDIRECTO: VIGA BENKELMAN

Mano de Obra Directa					
1	Marcación	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
	1 Encargado de marcación	día	1	¢ 80.00	¢ 80.00
	4 Banderillero	día	1	¢ 60.00	¢ 60.00
	1 Motorista	día	1	¢ 60.00	¢ 60.00
Sub-Total					¢ 200.00
2	Trabajos con Viga Benkelman	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	1 Tec. evalúa y anota	día	2	¢ 90.00	¢ 180.00
	1 Tec. calibray lee deform.	día	2	¢ 90.00	¢ 180.00
	1 Encargado de Viga	día	2	¢ 80.00	¢ 160.00
	2 Banderilleros	día	2	¢ 60.00	¢ 240.00
	1 Motorista	día	2	¢ 60.00	¢ 120.00
Sub-Total					¢ 880.00
3	Exploración y muestreo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	1 Técnico	día	2	¢ 90.00	¢ 180.00
	4 Auxiliares	día	2	¢ 60.00	¢ 480.00
Sub-Total					¢ 660.00
4	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	Grava # 1	m <sup>3</sup>	5	¢ 110.00	¢ 550.00
	Sub-Total				¢ 550.00
5	Alquiler de Equipo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	1 Camión de volteo (5 m <sup>3</sup> )	día	2	¢1,300.00	¢ 2,600.00
	1 Pick up	día	4	¢ 400.00	¢ 1,600.00
	1 Viga Benkelman	día	2	¢1,000.00	¢ 2,000.00
Sub-Total					¢ 6,200.00
6	Pruebas de Laboratorio	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	Clasificación de suelos	c/u	10	¢ 112.00	¢ 1,120.00
	Contenido de humedad	c/u	10	¢ 14.00	¢ 140.00
Sub-Total					¢ 1,260.00
7	Ejecución del Programa	S.G			¢ 2,000.00
Sub-Total					¢ 11,750.00
Utilidades					¢ 1,175.00
					¢ 12,925.00
10% IVA					¢ 1,292.50
					¢ 14,217.50
COSTO POR KILÓMETRO = ¢ 14,217.50/10 Km = ¢ 1,421.75/Km					

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 1. LA PRUEBA DE PLACAS, PARA VERIFICAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE Y EL PAVIMENTO.

Las presiones en la subrasante ( $P_s$ ) varían de 35.53 Lb/pul<sup>2</sup><sup>45</sup> (ensayo N° 2 en estación 1+700 Km) a 71.84 Lb/pul<sup>2</sup> (ensayo N° 4 en estación 0+600 Km), ver cuadros N° 18 al 20, se excluye del análisis el ensayo N° 1 ; observando en el tramo Ateos-Jayaque las menores presiones, 44.17 Lb/pul<sup>2</sup>, contra 57.15 Lb/pul<sup>2</sup> y 71.84 Lb/pul<sup>2</sup> obtenida en el tramo CA-1 desvío San Juan Opico-Quezaltepeque. Esta variación en las presiones se debe al tipo de suelo de la subrasante (SM) en este último tramo, que contiene partículas de arena escoriáceas duras, y en el tramo Ateos-Jayaque las arenas limosas (SM), son de características finas. Por consiguiente, la deformación de la subrasante ( s ) en el tramo CA:8 Ateo-Jayaque resultó ser mayor (0.052 pul.) que las deformaciones de 0.039 pulg. y 0.041 pulg. obtenidas en el tramo CA:1 desvío San Juan Opico-Quezaltepeque.

Los módulos de elasticidad de la subrasante ( $E_s$ ), estos oscilan entre 7327.39 Lbs/pul<sup>2</sup> (522.44 Kg/cm<sup>2</sup>) y 18609.3 Lb/pul<sup>2</sup> (1326.8 Kg/cm<sup>2</sup>), estos valores están en el rango de

---

<sup>45</sup> Para conversión de Lb/pul<sup>2</sup> a Kg/cm<sup>2</sup>, multiplicar por 0.0713.

valores típicos de Módulos de Elasticidad de suelos de subrasante, mostrados en el cuadro N° 36.

Cuadro N° 36. Typical Ranges of Loss of Support (LS) Factors for Various Types of Materials

TYPE OF MATERIAL	LOSS OF SUPPORT (LS)
Cement Treated Granular Base (E = 1,000,000 to 2,000,000 psi)	0.0 to 1.0
Cement Aggregate Mixtures (E = 500,000 to 1,000,000 psi)	0.0 to 1.0
Asphalt Treated Base (E = 350,000 to 1,000,000 psi)	0.0 to 1.0
Bituminous Stabilizaed Mixtures (E = 40,000 to 300,000 psi)	0.0 to 1.0
Lime Stabilized (E = 20,000 to 70,000 psi)	1.0 to 3.0
Unbound Granular Materials (E = 15,000 to 45,000 psi)	1.0 to 3.0
Fine Grained or Natural Subgrade Materials (E = 3,000 to 40,000 psi)	2.0 to 3.0
Note: B in this table refers to the general symbol for elastic or resilient modulus of then material	

Adaptada de guía para Diseño Estructural de Pavimento Flexible , AASHTO 1986.

Las presiones generadas por la placa de carga en la capa de base son mayores (de 79.63 lb/pul<sup>2</sup> a 94.32 lb/pul<sup>2</sup>) que las de la subrasante (57.15 lb/pul<sup>2</sup> a 71.84 lb/pul<sup>2</sup>), debido a que los materiales que la constituyen son muy resistentes (Ejemplo, gravas limosas y suelos finos estabilizados con cemento portland), esta característica incide también en las deformaciones, pues en todos los casos son menores a los valores alcanzados en la subrasante, ejemplo 0.041 pulg. a 0.067 pulg..

Los módulos de elasticidad obtenidos en la capa de base ( $E_b$ ), oscilan entre 55828.0 Lb/pul<sup>2</sup> (3980.5 Kg/cm<sup>2</sup>) y 109910.8 Lb/pul<sup>2</sup> (7836.6 Kg/cm<sup>2</sup>) y haciendo la relación  $E_2/E_1$ , se obtiene que la base es de 3 a 15 veces más rígida que la subrasante, ver cuadros N° 17 al 20.

En la carpeta asfáltica los valores de presión se encuentran entre 30.35 Lb/pul<sup>2</sup> hasta 76.17 Lb/pul<sup>2</sup>, en su mayoría menores a las presiones resistidas por la capa de la base 50.187 Lb/pul<sup>2</sup> a 94.322 lb/pulg<sup>2</sup>. Su módulo de elasticidad; según el Modelo de Burmister no es posible obtenerlo pues su espesor ( $e_{ca}=2.5$  cm) es insuficiente para calcularlo.

Del cuadro N° 21, en la subrasante, para el tramo CA:8 Ateos-Jayaque, los contenidos de humedad w%, (17.7% y 21.4%), son mayores a los encontrados en la CA-1 desvío San Juan Opico-Quezaltepeque (10.8% y 6.5%), y los módulos de elasticidad del tramo CA-8 Ateo-Jayaque son menores (357.72 Kg/cm<sup>2</sup> a 522.44 Kg/cm<sup>2</sup>) y para el tramo CA-1 desvío San Juan Opico-Quezaltepeque son mayores (1109.52 Kg/cm<sup>2</sup> a 1326.85 Kg/cm<sup>2</sup>).

## 2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG Y LA PRUEBA DE PLACAS.

Los módulos de elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ),

obtenidos con la Prueba de Placas (Método Directo) son mayores a los obtenidos con el Modelo de Hogg (Método Indirecto). A fin de determinar un factor de proporcionalidad entre los módulos de elasticidad obtenidos con prueba de placas y los obtenidos con la aplicación del modelo de Hogg, se calcula lo siguiente:

Cuadro N° 37. Relación de módulos de elasticidad según ensayo de prueba de placa y aplicación del modelo de Hogg.

Ensayo	$E_{o(pp)}/E_{o(MH)}$	Factor (F)
1	357.72*/818.6	0.44
2	522.44/491.2	1.06
3	1109.52/614.0	1.81
4	1326.85/379.5	3.50

\*Ensayo realizado con anillo de baja resistencia.

Del cuadro anterior se determina que: con los resultados de relacionar el módulo de elasticidad obtenido con prueba de placa y el modelo Hogg se establece una proporcionalidad de 1.06 a 3.50.

Tomando en cuenta la recomendación del Instituto del Asfalto<sup>46</sup>, el valor de  $E_o$  es posible estimarlo a partir del CBR

<sup>46</sup> Nuevo método de Diseño de Pavimentos, propuesto por el Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, pág 90.

a través de la siguiente formula.

$$E_o = 1500 \text{ CBR (psi) } \acute{o}$$

$$E_o = 107 \text{ CBR (kg/cm}^2\text{)}, \text{ CBR en \%}$$

Esto se aplica solo para suelos de grano fino: SM, SC, ML, MH, CL y CH.

Luego dividiendo cada valor de  $E_o$ , obtenido en la prueba de Placa por 107 se obtiene los siguiente:

Cuadro N° 38."CBR obtenido con Modelo de Hogg y CBR Proyectado a partir de la Prueba de Placas."

ENSAYO	$E_o$ (kg/cm) (PRUEBA DE PLACAS)	CBR(%) PROYECTADO $E_{o(PP)}/107$	CBR(%) MODELO DE HOGG*
1	357.72	3.34**	6.3
2	522.44	4.88	3.8
3	1,109.52	10.37	4.7
4	1,326.85	12.40	2.9

\* Extraídos de entrada y salida de datos en la aplicación del Modelo de Hogg, pag. 158 y 159.

\*\* Ensayo realizado con anillo de baja resistencia.

Con lo cual se llega a que los valores de CBR proyectados a partir de la prueba de Placas representan mejor a la subrasante, que los obtenidos con la aplicación del Modelo de Hogg.

Los módulos de elasticidad en la capa de base ( $E_b$ ), que

resultan a partir de la prueba de placas y la aplicación del Modelo de Hogg, se analizará de igual manera que la subrasante, para determinar el factor de proporcionalidad:

Cuadro N° 39. "Factor de proporcionalidad en la subrasante.

ENSAYO	$E_{b(PP)}/E_{b(MH)}$	Factor (F)
1	1430.9/1251.1	1.14
2	7836.6*/750.6	10.44
3	4380.0/1161.4	3.82
4	3980.50/849.5	4.69

\* Suelo de base constituido por arena limosa con cemento, diferente a las bases típicas formadas por materiales granulares. por tal motivo se excluye del análisis.

Debido a la amplia variación de F (1.14 a 4.69), la relación de proporción no es representativa de los resultados obtenidos.

Las curvas de deflexiones construidas con los datos obtenidos con la Viga Benkelman en los tramos de estudio comparadas con las curvas típicas de deflexión, estas dan una idea aproximada acerca del comportamiento del sistema pavimento-subrasante.

En el tramo malo CA:1 Desvío San Juan Opico-Quezaltepeque, donde el área a reparar es mayor del 30% del área total, evaluando con el método directo para obtener un nuevo espesor

del pavimento se llega a determinar que hay que rehabilitar el pavimento ya que el actual espesor es insuficiente para el volumen de tráfico que actualmente circula por esta vía.

Del análisis de los costos con pozo a cielo abierto y con la Viga Benkelman se obtienen los siguientes costos totales por Kilometros evaluado:

Pozo a cielo abierto: ¢ 3464.23 por Kilometro

Viga Benkelman : ¢ 1421.75 por Kilometro

Diferencia : ¢ 2042.48 por Kilometro

% de ahorro con la Viga Benkelman: 59% (más de la mitad)

De lo que se puede inferir, que evaluar con la Viga Benkelman da mayores rendimientos y mayor eficiencia.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- La red vial nacional consta de 12,529.60 Km. de carreteras y caminos, de los cuales, 15.7% son carreteras pavimentadas y de éstas el 76% son de estado regulares y malos, siendo las fallas más frecuente detectadas en los tramos de estudio: los baches, la piel de cocodrilo y las fisuras longitudinales; también la falta de limpieza y chapeo en los laterales obstruye el drenaje de la calzada, contribuyendo al deterioro sistemático de las vías pavimentadas del país.
  
- Hasta antes de 1970, la evaluación de pavimentos en nuestro país consistió en la aplicación de métodos empíricos basados en observaciones de campo a partir de un inventario de carretera que posee la D.G.C.; de 1980 a 1990 la evaluación incluyó las fallas en la superficie, obras de drenaje y señalización además de las ya existentes; y hasta 1991 se ha iniciado la evaluación indirecta de la estructura del pavimento con la medición de deformaciones del pavimento utilizando la Viga Benkelman.
  
- La evaluación indirecta del estado actual del pavimento ensayando con la Viga Benkelman es más económico en más de la mitad (ahorro 59%) que el método directo de pozos a cielo abierto, ya que requiere de menos tiempo y recursos

humanos para obtener resultados confiables; además que el pavimento se mantiene intacto en todo momento y no se incurre en gastos de reparación local.

- Los módulos de Elasticidad de la subrasante ( $E_o$ ), calculados con los resultados de ensayos de placas (357.7 Kg./cm<sup>2</sup> a 1326.8 Kg/cm<sup>2</sup>) y los obtenidos al aplicar el modelo de Hogg (379.5 Kg/cm<sup>2</sup> a 818.6 Kg/cm<sup>2</sup>) indican que la capacidad soportante de la subrasante se encuentra en los rangos típicos (213.9 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.352 Kg/cm<sup>2</sup>) que determina la AASHTO, 1986 , ver cuadro N° 36 pág. 208.

De los resultados de los ensayos para obtener los Módulos de elasticidad de la subrasante y el pavimento se llega a que los valores obtenidos con la prueba de placa representan mejor la resistencia de la subrasante a partir del suelo encontrado, arena limosa SM. De lo anterior se puede establecer, que el módulo de Elasticidad con prueba de placas es de 1.06 a 3.5 veces mayor al obtenido con el Modelo de Hogg.

- La escasez de recursos humanos especializados y entrenados en técnicas modernas de mantenimiento así como los altos costos de materiales derivados del petróleo han generado limitaciones en la ejecución de programas adecuados de mantenimiento vial que no han permitido el control del

deterioro sistemático del pavimento en uso. Esto ha generado a la fecha, la creación de nuevas políticas para un plan efectivo de trabajo de mantenimiento. En vista de ello en el apéndice se formulan algunos lineamientos y criterios generales que permitan la modernización y efectividad en los planes y programas para el mantenimiento vial.

- Los espesores de carpeta asfáltica encontrados en el campo para los tramos regular y malo fueron de 2.5 cm.. Determinando que el valor del módulo de elasticidad de la carpeta y la base trabajando en conjunto es el mismo y tiene igual aporte estructural cada uno, ya que al aplicar la teoría de Burmister, los factores adimensionales  $F^{47}$  fueron mayores que uno ( $F > 1$ ), y no era posible calcular el módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica, entonces debe ser  $F = 1$  y  $E_c = E_b$ .

---

<sup>47</sup> Es un factor que depende de la relación del espesor de la capa del pavimento y el radio, de la placa de carga, ver capítulo II, pág N° 110.

## RECOMENDACIONES

- Que se hagan continuas evaluaciones estructurales del pavimento con el fin de determinar mejor el tipo de mantenimiento a aplicar en las vías de concreto asfáltico y determinar la técnica de mantenimiento adecuado.
  
- A la D.G.C. impulsar la adecuada aplicación de técnicas de mantenimiento, capacitando al personal encargado de las actividades de evaluación y mantenimiento optimizando así los gastos para preservar las estructuras de los pavimentos de las carreteras.
  
- Con urgencia actualizar el reglamento que controla el peso de los vehículos cargados que circulan en las vías, ya que en los últimos años las carreteras del país, han sido sometidos al paso más frecuente de vehículos más pesados de carga originando un deterioro acelerado de las estructuras del pavimento, también se debe modernizar los instrumentos de pesas y medidas, registrar además la información de los tipos de vehículos, el número de ejes, las dimensiones, y otros. Lo que permitiría obtener información más exacta para el diseño o rediseño de los espesores de pavimentos (carpeta, capa de base, recarpeteo o sobrecapa).

- Para sistematizar y establecer mejor los criterios y parámetros (módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ) y el pavimento ( $E'$ )) a partir de los resultados que se obtienen de evaluar los pavimentos de concreto asfáltico, la base y subrasante de sustentación con pruebas de placas y el Modelo de Hogg, es recomendable hacer en cada tramo de trabajo evaluativo un número suficiente de pruebas, lo cual permitiría mejor correlación y confiabilidad de resultados.
  
- Para toda evaluación de los pavimentos de concreto asfáltico en las vías pavimentadas del país, a partir de los resultados obtenidos en este estudio, es recomendable que ésta se haga con la Viga Benkelman, aplicando los lineamientos y criterios que se establecen en el Apéndice.

## BIBLIOGRAFIA

- \_\_\_\_\_(Julio 1994). Entrevista con el personal del departamento de Mantenimiento de Obras Viales de la Dirección General de Caminos, DGC.
- Pérez Cardoza, Néstor Ulises y otros (Junio 1994). Guía Práctica para el Mantenimiento y Conservación de Vías Pavimentadas. Tesis. Universidad Politécnica de El Salvador.
- Lubina Allan (1993). Instructivo para la utilización de la Viga Benkelman en Vías Asfaltadas. D.G.C. El Salvador, págs. 1-45.
- Blackman, Herbert (1989). Mantenimiento de Obras Viales. Revista ASIA N° 91, págs. 20-23.
- Alberto García López (Octubre 1989). Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Louís Berger International Incorp. El Salvador, pág. N° 10-60.
- Yoder Joseph (1959). Principles of paviments design . Editorial John Wiley and Sons Incorp., 1° Edición, New York, EE. UU.
- AASHTO (1986). Guide for Design of Paviment Structures, folleto, EE. UU..
- Guzman Urbina, Mario Angel (Mayo 1994). Seminario de Carreteras (Diseño de pavimentos de Concreto Asfáltico). ASIA. El Salvador págs. N° 35-44.
- \_\_\_\_\_(1990-1993). Proyecto de Mejoramiento de la Infraestructura del Sector Público. Luís Berger International Inc. El Salvador.

A P E N D I C E

**LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA  
REHABILITACION Y EL MANTENIMIENTO DE  
LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS CON  
CONCRETO ASFALTICO**

- I) Evaluación preliminar, visual.
- II) Evaluación con Parámetros e Indicadores.
- III) Evaluación cualitativa.
- IV) Recomendaciones finales y decisiones.
- V) Programa de trabajo.

### **CONSIDERACIONES PRELIMINARES.**

- La red vial pavimentada en nuestro país, es el 15.7% (1967.14 Km) del total (12524 Km); de esta longitud, el 76% de las vías pavimentadas, están en estado regulares y malo (datos para 1991).

Las carreteras constituyen una base para el fortalecimiento del desarrollo nacional, por tanto, deben mejorarse sus condiciones de serviciabilidad a partir de mantenimiento adecuado, ya que la mayoría de ellas necesitan mejorar esta condición. Situación que se explica a partir de los daños más comunes detectados en las carreteras pavimentadas estudiadas, estos son: los agrietamientos, la desintegración de las capas y las deformaciones, ocasionadas por la avanzada edad de los pavimentos, falta de mantenimiento y prácticas reconstructivas inadecuadas.

- La evaluación del pavimento de concreto asfáltico, implica determinar las condiciones actuales de servicio de la superficie y de la estructura del pavimento, las obras de drenaje, hombros y otros.
- Los métodos de evaluación actual de los pavimentos son el método directo, con este se obtiene información de la

estructura del pavimento a partir del contenido de humedad, capacidad soportante, granulometría, densidad, etc, con lo cual es posible definir nuevos espesores de subbase, base o carpeta asfáltica:este método es lento, costoso y el de mayor confianza en la toma de decisión técnica.

- El método indirecto de la Viga Benkelman es rápido y de menor costo. Con la información obtenida en el campo (3 deflexiones por cada estacionamiento, datos de carga, datos de tránsito, temperatura y espesores de pavimento existente) se calcula un espesor de sobrecapa de mezcla asfáltica en caliente<sup>48</sup>.
  
- La rehabilitación y el mantenimiento de las carreteras del país, (por ejemplo: las carreteras primarias CA-8: La Cuchilla-Acajutla, carretera Litoral CA\_2; La Hachadura-La Libertad-Usulután) se lleva a cabo por medio de programas especiales de acuerdo a su importancia (troncales, especiales, primarias y secundarias), con el objeto de mejorar las condiciones de servicio.
  
- La actualización y el mantenimiento de las condiciones de serviciabilidad de la vías son programas evaluativos que

---

<sup>48</sup> Este método está siendo aplicado actualmente en la D.G.C.

se realizan a través de inspecciones parciales.

#### **I) Evaluación Preliminar**

Se evaluará la condición superficial del pavimento: Las fallas, las obras de drenaje, los hombros y los taludes a través de observaciones; como sigue:

1. Realizar un recorrido a pie a todo el proyecto en estudio, en tramos de 50 a 100 mts., recolectando la información contenida en los formatos PM1 al PM3, previa instrucción sobre ellos, anotando las observaciones que ayuden a describir la condición del pavimento. A criterio del evaluador, se podrá aumentar la longitud del tramo.
2. Evaluar los diferentes tipos de fallas determinando su intensidad o frecuencia, magnitud y rotura, ver formato PM1; en cada tipo de falla si es posible contabilizar las áreas a reparar (largo y ancho), de lo contrario se anotará el porcentaje del tramo dañado. En este formato se calculará el porcentaje del tramo que necesita reparación.

#### **II) Evaluación con Parámetros e Indicadores**

Evaluar el pavimento de concreto asfáltico aplicando el método indirecto utilizando la Viga Benkelman, según el procedimiento descrito en el capítulo II, pag. 54 de este

documento, tomando en cuenta lo siguiente:

1. Tomar el carril más dañado como tramo de prueba; si la carretera es de más de dos carriles, se tomará el carril exterior más dañado.
2. Evitar medir deflexiones en tramos con pendiente ascendente, pues el desplazamiento de retroceso del camión cargado, origina errores en la toma de lecturas. En tal caso, se tomarán las lecturas en el carril contrario con pendiente descendente.
3. En las estaciones donde el ensayo coincide con reparaciones (bacheos), se desplazará el punto de ensayo a otro representativo del tramo original. De no ser posible esto, se trasladará la medición al carril contrario.
4. Con las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman, éstas se agruparán en tramos de estacionamientos continuos y homogéneos, según la deflexión final (DO).
5. Recabar la siguiente información de tránsito en la D.G.C.: Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA),

distribución de vehículos y Tasa de crecimiento anual (r %). También se adoptará el período de diseño (n), según sea para rediseño (generalmente 10 años) o diseño de pavimento nuevo (varía de 10~~0~~a 20 años), para obtener el ESAL de la carretera.

6. Con las deflexiones tomadas en campo y calculado el ESAL, aplicando el Modelo de Hogg y el métodos MIA (se requiere factores de ajuste por temperatura y estación) se obtendrá la sobrecapa de refuerzo. Cuando se utilice el Modelo de Hogg para diseño de sobrecapa, será útil elaborar las curvas de deflexión de cada estacionamiento, para ser comparadas con las curvas típicas pág. N° 80 y poder así interpretar el estado del sistema pavimento-subrasante en todo el espesor del tramo en evaluación.

### **III) Evaluación Cualitativa.**

Determinar el estado actual de la superficie del pavimento, de acuerdo a lo siguiente:

1. Según la condición y el tipo de falla encontrada; en el formato PM1 se hará un recuento del área a reparar y auxiliandose del cuadro PM1, se obtendrán las cantidades de obra a ejecutar en la superficie del pavimento. El área a reparar será dividida entre el área total del tramo y este valor será utilizado en

The first part of the report deals with the general situation in the country and the progress of the work during the year. It is followed by a detailed account of the work done in the various departments and a summary of the results.

The second part of the report deals with the work done in the various departments during the year. It is followed by a summary of the results of the work done in each department.

The third part of the report deals with the work done in the various departments during the year. It is followed by a summary of the results of the work done in each department.

The fourth part of the report deals with the work done in the various departments during the year. It is followed by a summary of the results of the work done in each department.

The fifth part of the report deals with the work done in the various departments during the year. It is followed by a summary of the results of the work done in each department.

el numeral IV.

2. Determinar la cantidad de metros lineales a reconformar, limpiar o construir en los hombros, según formato PM2.
3. Especificar los metros lineales de canaleta, cuneta o contracuneta a construir, reparar o limpiar. En el drenaje transversal los cabezales a reparar o construir, así como los tubos a reparar, cambiar o limpiar (formato PM3).
4. Las cajas, puentes y bóvedas, serán reportadas con las observaciones pertinentes; a criterio del evaluador. La evaluación final de estas obras se sujetarán a criterios Estructuristas e Hidrológicos (formato PM4).
5. Reportar las estaciones cuya sección a juicio del evaluador presentan peligro de deslizamiento de taludes e inclinación de árboles (creep) ver formato PM5.

**IV) Recomendaciones Finales y Decisiones.**

1. Si el recuento de las áreas a reparar, según el formato PM1, es mayor del 30% del tramo considerado,

se rehabilitará, pero si es menor del 30%, aplicar mantenimiento preventivo o rutinario<sup>49</sup> para corregir defectos menores en la vía y evitar avances en el deterioro del pavimento, que a largo plazo genera mayores costos institucionales y al usuario, y problemas de funcionamiento.

2. Para reparar los tipos de fallas más comunes se utilizará el cuadro PM1. De los cuadros PM2 y PM3, se desprenderán los criterios para recomendar el tipo de tratamiento y las dimensiones de las secciones según la clasificación de la carretera y el volumen de tráfico, respectivamente.

3. Los valores de sobrecapa de concreto asfáltico mayores de 15 cms., calculados por medio del método del Modelo de Hogg o MIA, serán verificado con el método de evaluación directo (pozos a cielo abierto) en la subrasante y el pavimento, para rediseñar nuevos espesores de refuerzo<sup>50</sup>.

---

<sup>49</sup> Criterio aplicado por la D.G.C. en Norma de Ejecución Bacheo Profundo.

<sup>50</sup> En nuestro país no se colocan espesores de sobrecapa de concreto asfáltico mayores de 15 cms por la limitaciones presupuestarias.

4. Durante el proceso constructivo de toda sobrecapa de concreto asfáltico así como de mezclas de sello con filler: es necesario controlar el diseño de mezclas asfálticas para que no sean empíricos y en la colocación del tendido se deberá contar con supervisión adecuada.
  
5. La actualización y aplicación de la base de datos del Sistema Integrado de Administración de Mantenimiento de Vialidades (SIAMV), con el fin de programar las actividades de mantenimiento que se deberán aplicar a la red vial,

**V) Programa de Trabajo.**

Con la información detallada en la evaluación cualitativa se obtendrán los tiempos de ejecución y las cantidades de materiales a incorporar al proyecto; esto es posible obtenerlo según los rendimientos y cantidades de obra descritas en las Normas de Ejecución de la D.G.C.

En un diagrama de Gantt de actividades y el tiempo de ejecución, en el cuadro PM4, se controlará el avance de los trabajos de mantenimiento.

FORMATO PM1  
EVALUACIÓN SUPERFICIAL

DATOS GENERALES

- Proyecto: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
(nombre de la carretera)

- Tramo: de estación \_\_\_\_\_ a estación: \_\_\_\_\_

- Tipo de carpeta asfáltica: \_\_\_\_\_

- Clasificación de la vía:

Especial  Primaria  Secundaria  Terciaria modificada

- Ancho total de la vía: \_\_\_\_\_ mts. SECCION

- Número de carriles: \_\_\_\_\_ ida \_\_\_\_\_ regreso.

SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Nomenclatura

Intensidad		Magnitud			Rotura	
Baja	B	Escasa	< 1 mm	E	Capa disgregada	R <sub>1</sub>
Media	M	Moderada	1 - 3 mm	M	Profundidad media (Profundidad hasta la carpeta asfáltica)	R <sub>2</sub>
Alta	A	Severa	> 3 mm	S	Muy profunda (profundidad hasta la base)	R <sub>3</sub>

1. Piel de cocodrilo Intensidad  Magnitud   
 Area \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. % del tramo \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
2. Hundimiento localizado.  
 Area \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. % del tramo \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
3. Fisuras longitudinales Intensidad  Magnitud   
 Longitud \_\_\_\_\_ mt. % del tramo \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
4. Grietas de borde/longitudinales Intensidad  Magnitud   
 Longitud \_\_\_\_\_ ml.
5. Baches Rotura  Intensidad   
 Area \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. % del tramo \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
6. Areas reparadas.  
 carril derecho \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>. carril izquierdo \_\_\_\_\_ mt<sup>2</sup>.  
 Km \_\_\_\_\_ a Km \_\_\_\_\_. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
7. Tramo en buenas condiciones.  
 largo \_\_\_\_\_ mt. ancho \_\_\_\_\_ mt. total \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
8. Señales de transito en el tramo

FORMATO PM2

HOMBROS

Tramo: est ____ a est. ____	Hombro Izquierdo	Hombro Derecho
1. Ancho hombros (mts.)		
2. Tipo de revestimiento		
Concreto asfáltico		
Imprimado		
Suelo compactado		
Tendido de grava		
Balastado de escoria		
Suelo natural		
No tiene		
3. Vegetación existente		
Árboles		
Arbustos		
Zacate bajo, hierba		
Otros		
4. Recomendaciones		
Anchos y espesores en cm a reponer		
Conformar		

Esquema sección transversal

Observaciones:

FORMATO PM3

OBRAS DE DRENAJE MENOR

Se entenderá por obras de drenaje menor, cualquier estructura que sirva para la evacuación de las aguas de escorrentía.

DRENAJE LONGITUDINAL

Tipo de obra	Forma dimensiones en cms Ubicación: Der., Izq. y Ambos lados.	Revestimiento actual	Recomendación	
		Piedra (P) Concreto (C) Suelo natural (SN) Suelo con vegetacion o zacate (SV)	Limpieza Lp Conformación Cf Revestimiento Rv Reposición Rp	
Canaleta	Esquema		Lp	ML
	Ubicación: _____		Cf	ML
Cuneta	Esquema		Rv	ML
	Ubicación: _____		Rp	ML
Contracuneta	Esquema		Lp	ML
	Ubicación: _____		Cf	ML
			Rv	ML
			Rp	ML



FORMATO PM3A

DRENAJE TRANSVERSAL AL EJE DE LA VIA

Cabezales			
Número total de cabezales: _____			
Condición	Bueno	Reparar	Reconstruir
Condición de entrada (especificar número)			
Condición de salida (especificar número)			

Recomendación	$\phi = 24''$	$\phi = 36''$	$\phi = 48''$	$\phi = 60''$
	ML	ML	ML	ML
Limpieza				
Reparación				
Reposición				
Otros				

MEMORANDUM

TO: THE PRESIDENT

FROM: THE SECRETARY OF STATE  
SUBJECT: [Illegible]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

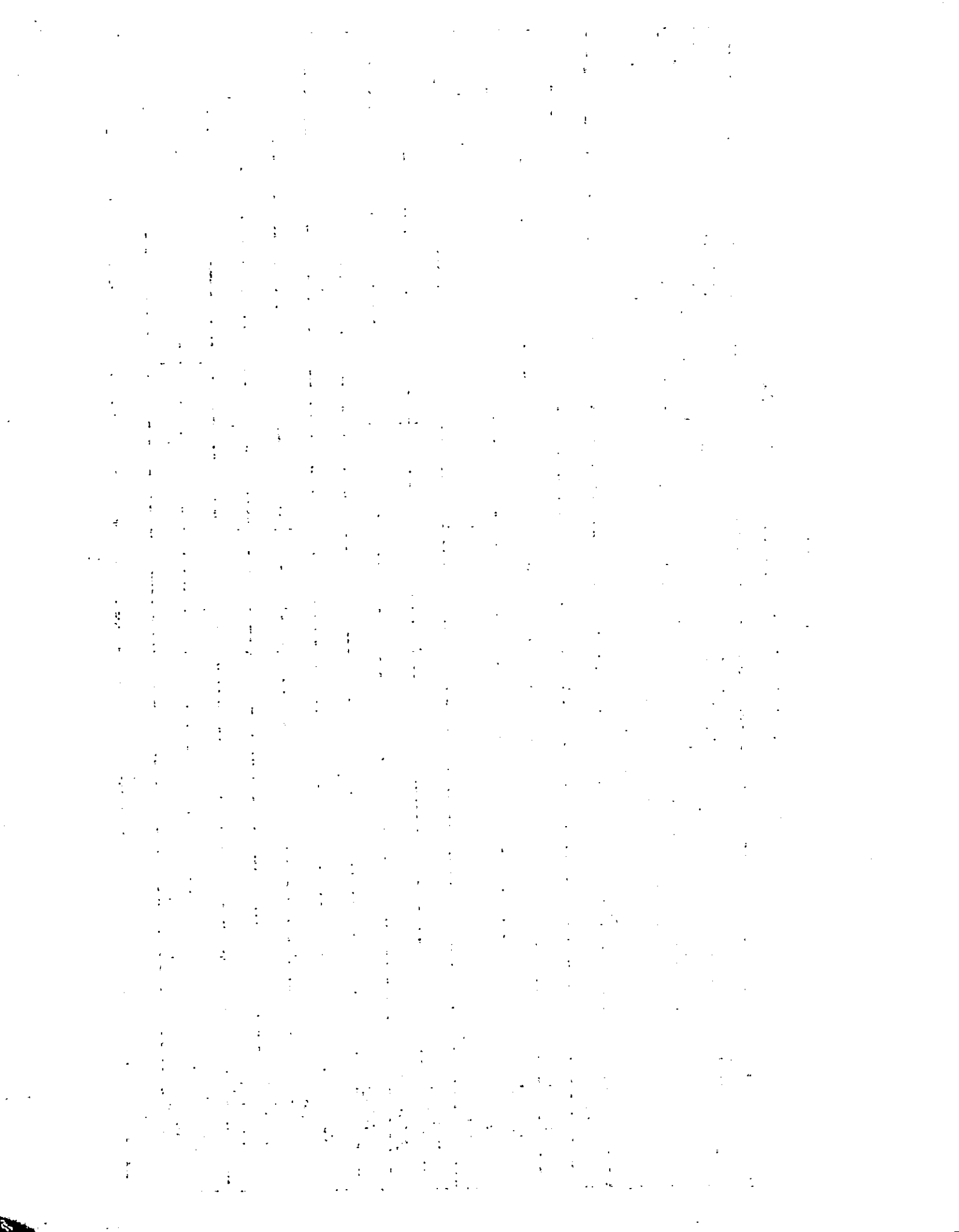
[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]





FORMATO PM4-A



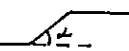
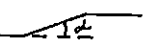
OBRAS DE DRENAJE MAYOR: PUENTES Y CAJAS

CONDICIONES	SUPERESTRUCTURA								SUBESTRUCTURA						
	BARANDAL			LOSA		VIGAS		ACERA	PAREDES CAJA	ALETONES		PILA		ESTRIBO	
	CONCRETO ARMANDO	TUBOS DE ACERO	MIXTO	SUPERIOR	FUNDACIÓN CAJA	INT	EXT			SALIDA	ENTRADA	MAMPONTERIA.	CONCRETO	IZQ.	DER.
BUENAS															
DETERIORADAS															
NO EXISTE															
REFUERZO DESCUBIERTO															
FIGURAS (WL)															
GRIETAS (WL)															
ESPESORES															
LONGITUD															
ANCHO															
SOCAVACION															
AZOLVAMIENTO															
DESPLOME															
DEMOLER															
LIMPIAR															

FORMATO PM5

TALUDES

Estación: \_\_\_\_\_

CONCEPTO	Lado izquierdo	Lado derecho
Material: Arcilla suelo   Arena Limo Basalto roca     Andesita Otro		
estralos		
Pendiente aproximada		
Vegetación Alta/Baja		
Arboles inclinados <u>SI</u> <u>NO</u> (Creep)		
Mantiene humedad <u>SI</u> <u>NO</u>		
Forma: Talud vertical:  Inclinación fuerte:  Inclinación media:  Inclinación suave: 		
Sección Transversal (Esquema):	Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____	

1. The first part of the document is a list of names.

2. The second part is a list of dates.

3. The third part is a list of locations.

4.

5. The fifth part is a list of names.

6. The sixth part is a list of names.

7. The seventh part is a list of names.

8. The eighth part is a list of names.

9. The ninth part is a list of names.

10. The tenth part is a list of names.

11. The eleventh part is a list of names.

12. The twelfth part is a list of names.

13. The thirteenth part is a list of names.

14. The fourteenth part is a list of names.

15. The fifteenth part is a list of names.

16. The sixteenth part is a list of names.

17. The seventeenth part is a list of names.

18. The eighteenth part is a list of names.

19. The nineteenth part is a list of names.

20. The twentieth part is a list of names.

21. The twenty-first part is a list of names.

22. The twenty-second part is a list of names.

23. The twenty-third part is a list of names.

24. The twenty-fourth part is a list of names.

25. The twenty-fifth part is a list of names.

26. The twenty-sixth part is a list of names.

27. The twenty-seventh part is a list of names.

28. The twenty-eighth part is a list of names.

29. The twenty-ninth part is a list of names.

30. The thirtieth part is a list of names.

31. The thirty-first part is a list of names.

32. The thirty-second part is a list of names.

33. The thirty-third part is a list of names.

34. The thirty-fourth part is a list of names.

35. The thirty-fifth part is a list of names.

36. The thirty-sixth part is a list of names.

37. The thirty-seventh part is a list of names.

38. The thirty-eighth part is a list of names.

39. The thirty-ninth part is a list of names.

40. The fortieth part is a list of names.

41. The forty-first part is a list of names.

42. The forty-second part is a list of names.

43. The forty-third part is a list of names.

44. The forty-fourth part is a list of names.

45. The forty-fifth part is a list of names.

46. The forty-sixth part is a list of names.

47. The forty-seventh part is a list of names.

48. The forty-eighth part is a list of names.

49. The forty-ninth part is a list of names.

50. The fiftieth part is a list of names.

51. The fifty-first part is a list of names.

52. The fifty-second part is a list of names.

53. The fifty-third part is a list of names.

54. The fifty-fourth part is a list of names.

55. The fifty-fifth part is a list of names.

56. The fifty-sixth part is a list of names.

57. The fifty-seventh part is a list of names.

58. The fifty-eighth part is a list of names.

59. The fifty-ninth part is a list of names.

60. The sixtieth part is a list of names.

61. The sixty-first part is a list of names.

62. The sixty-second part is a list of names.

63. The sixty-third part is a list of names.

64. The sixty-fourth part is a list of names.

65. The sixty-fifth part is a list of names.

66. The sixty-sixth part is a list of names.

67. The sixty-seventh part is a list of names.

68. The sixty-eighth part is a list of names.

69. The sixty-ninth part is a list of names.

70. The seventieth part is a list of names.

71. The seventy-first part is a list of names.

72. The seventy-second part is a list of names.

73. The seventy-third part is a list of names.

74. The seventy-fourth part is a list of names.

75. The seventy-fifth part is a list of names.

CUADRO PM1

TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y RECOMENDACIONES PARA REPARAR

PAVIMENTOS FLEXIBLES.

CONCEPTOS	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
<p>Hundimientos y depresiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento.</li> <li>- Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento.</li> <li>- Asentamientos del terreno de fundación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas de pavimento, efectuar una renivelación.</li> <li>- Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, reparar las previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento.</li> <li>- Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.</li> </ul>
<p>Grietas longitudinales y de junta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de soporte lateral o, asentamiento de material cercano a la grieta debido a: Drenaje defectuoso. Contracciones del secado del suelo de cimentación. Vegetación cercana del suelo de cimentación.</li> <li>- Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corregir el drenaje si está defectuosos.</li> <li>- Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas.</li> <li>- Si existen además asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.</li> </ul>



CUADRO PM1

CONCEPTOS	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
<p>Grietas transversales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase.</li> <li>- Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (Ejem.: grietas por secado de suelos arcillosos, grietas por movimientos telúricos, grietas por fallas geológicas activas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas.</li> <li>- Si existen además asentamientos; picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; aplicar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.</li> <li>- Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactarlo adecuadamente.</li> <li>- Si la falla es debido a movimientos generales del suelo, se pueden reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de un refuerzo sobre la zona afectada.</li> </ul>
<p>Crecimiento de hierba y afloramiento de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textura de la carpeta demasiado abierta.</li> <li>- Capa de base saturada de agua.</li> <li>- Agua atrapada en la carpeta durante la construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corregir el drenaje y/o subdrenaje si éstos fueron las causas de las fallas.</li> <li>- Limpiar y sellar las grietas.</li> <li>- Reponer el pavimento alterado.</li> <li>- Aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta.</li> </ul>
<p>Baches</p>	<p>Poca resistencia en la carpeta debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de asfalto en la mezcla.</li> <li>- Poco espesor de la carpeta.</li> <li>- Exceso o carencia de finos.</li> <li>- Drenaje deficiente.</li> </ul>	<p>Efectuar cortes en la zona afectada formando un rectángulo, con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar.</p>

CUADRO PM1

CONCEPTOS	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
<p>Agrietamientos tipo piel de cocodrilo. Agrietamientos tipo mapa.</p>	<p>Deflexiones excesivas de la carpeta debido a una subrasante, subbase y/o base inestable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme, efectuar cortes con sus paredes verticales.</li> <li>- Instalar subdrenajes si la causa de la falla fue el agua.</li> <li>- Aplicar un riego de impregnación a las paredes.</li> <li>- Rellenar con mezcla asfáltica.</li> <li>- Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene más de 15 cm. de profundidad).</li> </ul>
<p>Disgregación o desmoronamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insuficiente compactación durante la construcción.</li> <li>- Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío.</li> <li>- Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto.</li> <li>- Falta de asfalto en la mezcla y/o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico.</li> <li>- Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie muy extensa, recarpetar.</li> </ul>
<p>Exudación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica.</li> <li>- Construcción inadecuada del sello.</li> <li>- Riego de liga o impregnación excesivos.</li> <li>- El paso de cargas de tráfico pesado puede acelerar el sangrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico).</li> </ul>

CUADRO PM1

CONCEPTOS	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Oxidación del asfalto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos.</li> <li>- Agua atrapada en las capas inferiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico.</li> <li>- Aplicar un producto rejuvenecedor (reciclaje o similar).</li> </ul>

Section 1

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records. It emphasizes that proper record-keeping is essential for ensuring the integrity and reliability of the data collected. This section also outlines the various methods used to collect and analyze the data, highlighting the challenges faced during the process.

2. The second part of the document focuses on the results of the study. It presents a detailed analysis of the data, showing a clear trend in the variables being measured. The findings suggest that there is a significant correlation between the variables, which supports the hypothesis of the study. This section also includes a discussion of the limitations of the study and the need for further research.

3. The third part of the document discusses the implications of the study. It highlights the potential applications of the findings in various fields, such as education, healthcare, and business. The study's results provide valuable insights into the underlying mechanisms of the phenomenon being studied, which can be used to inform policy and practice. This section also addresses the broader context of the research and its contribution to the field.

4. The fourth part of the document provides a conclusion and a summary of the key findings. It reiterates the main points of the study and emphasizes the significance of the results. The conclusion also includes a call to action for future researchers to build upon the work presented here and to explore new avenues of inquiry. This section serves as a final synthesis of the entire study and its findings.

5. The fifth part of the document contains a list of references and a bibliography. It provides a comprehensive list of the sources used in the study, including books, articles, and other relevant literature. This section is essential for ensuring the transparency and credibility of the research and for allowing other researchers to access the materials used in the study. The references are organized alphabetically and include full citations for each source.

6. The final part of the document is a list of appendices and supplementary materials. It includes additional data, charts, and tables that provide further detail and support for the findings presented in the main text. These materials are organized in a clear and logical manner, making it easy for readers to locate and review the information. This section is an important part of the study, as it provides a complete picture of the research and its results.

CUADRO PM2

SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA:

CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA	TIPO DE CARPETA	TRATAMIENTO DE HOMBROS	ANCHO DE PAVIMENTO (mt)	ANCHO DE HOMBROS (mt)
Especial	Concreto asfáltico. Tratamiento superficial doble.	Tratamiento superficial doble.	7.30	4.00
Primaria	Concreto asfáltico.	Material selecto compactado.	7.30	2.35
Secundaria	Tratamiento superficial doble.	Material selecto compactado.	6.50	1.50
Terciaria	Material selecto compactado.	-	6.00	-
Terciaria Modificada	Tratamiento superficial simple.	Material selecto compactado.	6.00	1.00

Adaptado de Especificaciones de la DGC, 1940.

CUADRO PM3

SEGÚN EL VOLUMEN DE TRÁFICO

TIPO DE CARPETA ASFÁLTICA	TPDA
I. Tratamiento superficial simple	200 ó menos
II. Tratamiento superficial doble*	600 ó menos
III. Tratamiento superficial triple	1000 ó menos
IV. Aplicar otro tipo de carpeta, ya sea embulsión, concreto asfáltico ó macadam de penetración	

\* Tratamiento IV es recomendable a partir del caso II.

Adaptado del folleto "CAMINOS", sin fecha de edición.

CUADRO PM4

EJEMPLO DE PROGRAMA DE TRABAJO

Nombre de proyecto \_\_\_\_\_

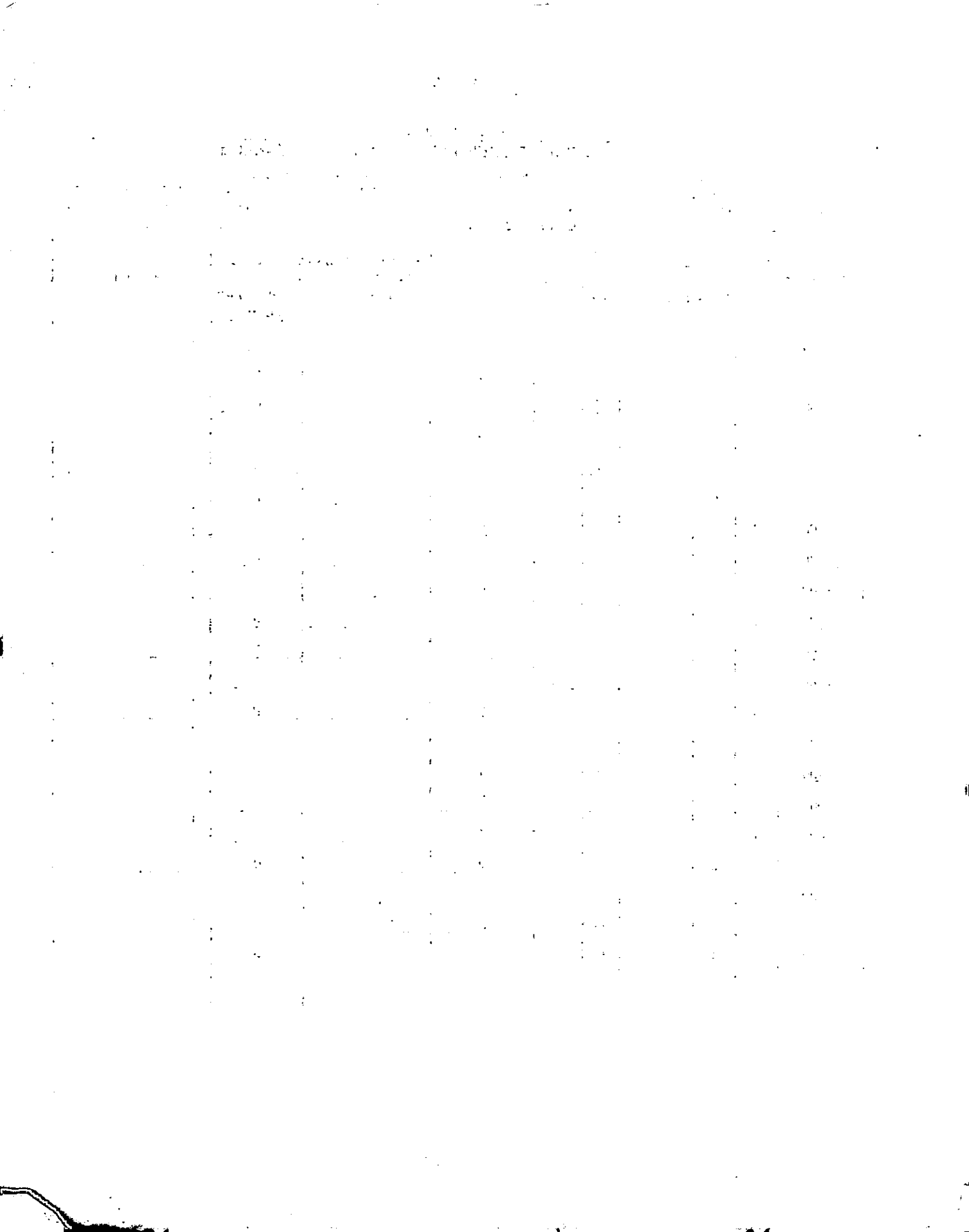
Clasificación de la vía \_\_\_\_\_

Longitud \_\_\_\_\_

Ancho de calzado \_\_\_\_\_

Tipo de mantenimiento Actividades	Volumen de obra	Unidad	N° de cuadrillas al día	Periodos en semanas										Observaciones	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>TERRACERIA</b>															
Limpieza y conformado manual de cunetas		ML													
Conformación de hombros		M <sup>2</sup>													
<b>DRENAJES</b>															
Limpieza de alcantarillados		ML													
Reparación de mampostería en obras de drenaje menor.		M <sup>3</sup>													
<b>PAVIMENTO</b>															
Sello de grietas.		ML													
Renivelación.		M <sup>3</sup>													
Riego de sellos localizados.		M <sup>2</sup>													
Bacheo de hombros		M <sup>3</sup>													
Bacheo superficial.		M <sup>3</sup>													
Recapado con mezcla asfáltica en caliente.		M <sup>3</sup>													
<b>SEÑALIZACION VIAL</b>		C/U													

A N E X O



ANEXO N° 1

TRAMO BUENO

MEDIDA DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

PROYECTO: \_\_\_\_\_ TRAMO: CA: 12 - STA. ANA - TEXISTEPEQUE  
 CARGA EN EJE: 8,200 Kg CARGA EN RUEDA: 4,100 Kg FECHA: 22-09-94 HOJA: 1/1  
 UB ROTACION O PRESION NEUMATICO: 80 lb/pul<sup>2</sup> CARRIL: Derecho ANCHO: 4.9 MT  
 UNIDADES DE DEFORMIMETRO: \_\_\_\_\_ ESPESOR CARPETA ASFALTICA: \_\_\_\_\_ C<sub>m</sub> TEMPERATURA: \_\_\_\_\_ °C

KILOMETRAJE	LECTURA EXTENSOMETRO			FISURA N°	AHUELLAMIENTO (mm)	D=DESINTEGRACION P=PARCHE E=EXUDACION	R=RELLENO ML, C/R=RELLENO C=CORTE	T °C	OBSERVACIONES	
	A _____ cm									FINAL
	DISTANCIA EXTERIOR (cm)									
	35	70	105							
0+000	3	5		7	2		C			
0+100	5	7		10	0		C			
0+200	4	6		10	0		C			
0+300	1	2		4	0		P			
0+400	3	5		8	0		R			
0+500	3	5		8	0		R			
0+600	3	5		7	0		R			
0+700	2	4		8	0		P			
0+800	3	5		7	0		P			
0+900	1	2		4	0		P			
1+000	3	5		8	1		C			
1+100	2	4		6	0		C			
1+200	5	7		10	2		P			
1+300	1	2		5	2		P			
1+400	5	10		14	1		C			
1+500	2	4		6	2		R			
1+600	1	2		3	1		R			
1+700	3	6		10	2		R			
1+800	4	7		10	2		P			
1+900	2	4		11	0		C			
2+000	2	4		11	2		R			

**TRAMO REGULAR**

**MEDIDA DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

PROYECTO: \_\_\_\_\_ TRAMO: CA:1 - DESVIO SAN JUAN OPICO - QUEZALTEPEQUE  
 CARGA EN EJE: 8,200 Kg CARGA EN RUEDA: 4,100 Kg FECHA: 22-09-94 HOJA: 1/1  
 VIB ROTACION O PRESION NEUMATICO: 80 lb/pul\* CARRIL: Izquierda ANCHO: 3.1 M  
 UNIDADES DE DEFORMINMETRO: \_\_\_\_\_ ESPESOR CARPETA ASFALTICA: \_\_\_\_\_ Ca TEMPERATURA: \_\_\_\_\_ °C

KILOMETRAJE	LECTURA EXTENSOMETRO				FIGURA Nº	AHUELLAMIENTO (mm)	D=DESINTEGRACION P=PARCHE E=EXUDACION	R=RELLENO ML, C/R=RELLEN C=CORTE	T °C	OBSERVACIONES
	A cm			FINAL						
	35	70	105							
2+100	12	23	31		18		ML			
2+200	4	10	12		5		ML			
2+300	20	25	30		3		ML			
2+400	6	8	17		5		R			
2+500	8	10	12		3		ML			
2+600	3	5	9		3		ML			
2+700	2	3	6		2		ML			
2+800	10	12	18		4		ML			
2+900	15	22	26		3		ML			
3+000	6	8	12		3		ML			
3+100	6	10	12		4					
3+200	2	4	12		4					
3+300	4	10	16		6					
3+400	4	10	13							
3+500	5	10	12							
3+600	10	16	23							
3+700	2	6	9							
3+800	10	16	20							
3+900	6	12	20							
4+000	6	8	12							
4+100	5	8	10							

1911

1912

1913

1914

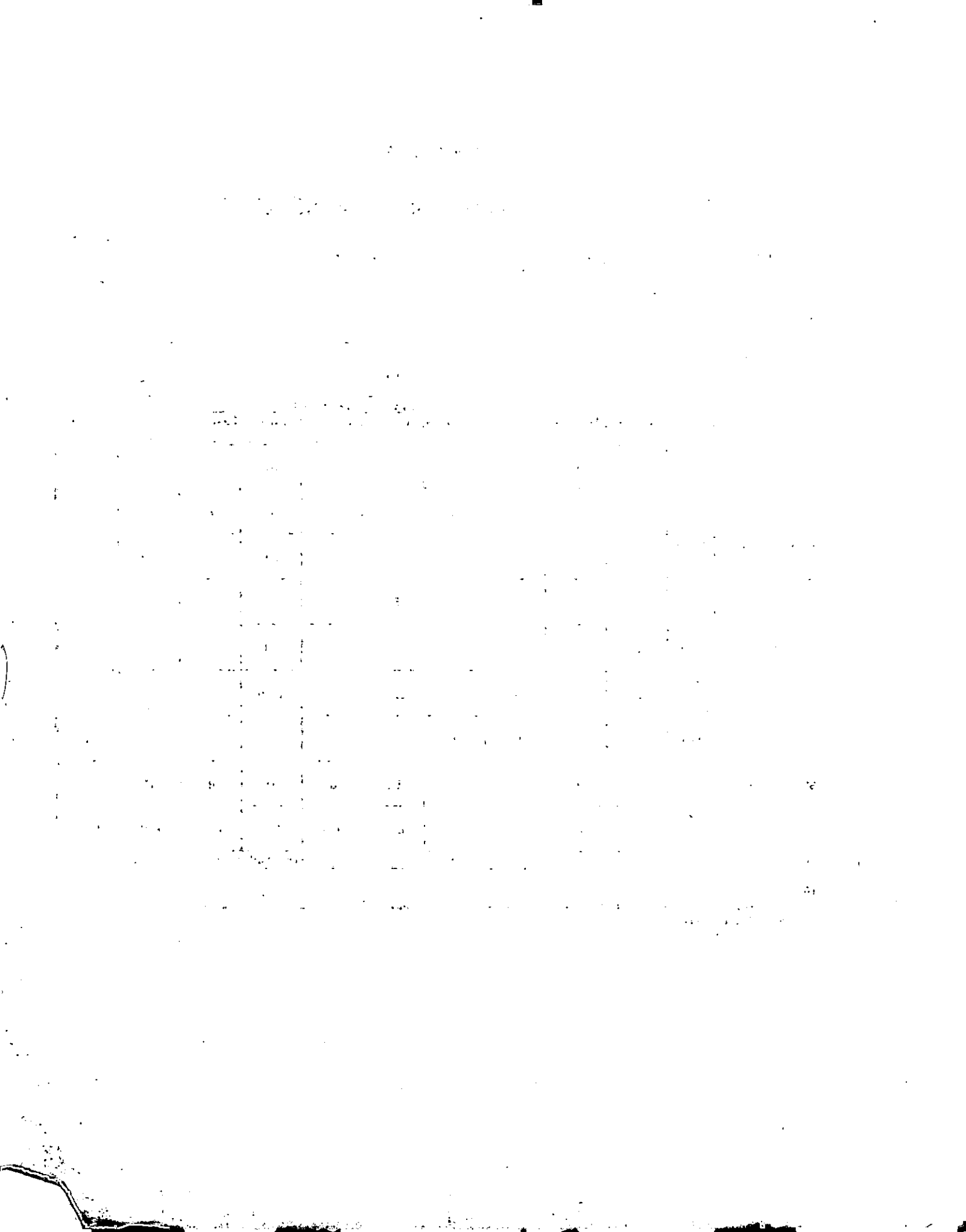
1915

1916

1917

1918





ANEXO N° 2

PRUEBA PLACA DE CARGA											
PROYECTO:		ATEOS - JAYAQUE						FECHA: 29-08-94			
ESTACION:		1+700						SOBRECARGA			
UNIDADES DE DEFORMIMETRO:		(DF) 0.001 <sup>m</sup>						PESOS (Kg)			
N°	ESPESOR	TIPO DE SUELO									
Capa											
1	2.5 (cm)	Tratamiento superficial									
2	30 (cm)										
3	- (cm)							TOTAL ----> 110			
CAPA		Deformaciones 0.001 <sup>m</sup>									
		Carga 1	Descarga 1	Carga 2	Descarga 2	Carga 3	Descarga 3	Carga 4	Descarga 4	Carga 5	Descarga 5
CARPETA	DF1	50	14	15	15	53	16	51	19	51	20
	DF2	27	7	68	9	36	10	34	8	32	8
ASFALTICA	Lectura de carga	4.7	0.0	4.2	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	3.4	0.0
	DF1	45		50		50		50			
BASE	DF2	41		41		40		40			
	Lectura de carga	12.3		13.0		12.0		12.0			
SUBRASANTE	DF1	50	5	52	7	50	9	50	10	49	9
	DF2	48	5	52	3	51	6	51	8	51	10
	Lectura de carga	8.2	0.0	8.0	0.0	6.2	0.0	6.2	0.0	6.0	0.0
CARGA DE AJUSTE (CA)		CAPA: BASE. CA = 2.0 Ton					CAPA: SUBRASANTE. CA = 0,5 Ton				

NOTA:

Este formato ha sido elaborado para los proyectos en estudio, donde no se encontró material de subbase.  
Unidades de carga: Ton.

## PRUEBA PLACA DE CARGA

PROYECTO: <u>ATEOS - JAYAQUE</u>		ESTACION: <u>1+000</u>		UNIDADES DE DEFORMIMETRO: <u>(DF) 0.001<sup>m</sup></u>		SOBRECARGA		FECHA:		PESOS (Kg)	
Nº	ESPESOR	TIPO DE SUELO									
Capa											
1	<u>2.5</u> (cm)										
2	<u>30</u> (cm)										
3	<u>-</u> (cm)					TOTAL ---->				110	
Deformaciones 0.001 <sup>m</sup>											
CAPA		Carga 1	Descarga 1	Carga 2	Descarga 2	Carga 3	Descarga 3	Carga 4	Descarga 4	Carga 5	Descarga 5
CARPETA	DF1	10	5	30	14	50	19	70	25	75	
	DF2	44	30	81	48	106	58	133	70	142	
ASFALTICA	Lectura de carga	1.2	0.0	3.1	0.0	4.9	0.0	7.4	0.0	8.1	0.0
	DF1	10	5	30	11	45	17				
BASE	DF2	22	10	65	35	88	44				
	Lectura de carga	1.2	0.0	4.0	0.0	6.2	0.0				
SUBRASANTE	DF1	62	31	52	44	50	40	50	43	50	46
	DF2	44	20	43	31	41	30	40	30	41	32
	Lectura de carga	3.6	0.0	1.9	0.0	1.4	0.0	1.3	0.0	1.4	0.0
CARGA DE AJUSTE (CA)		CAPA: BASE. CA = 0.5 Ton					CAPA: SUBRASANTE. CA = 0.5 Ton				

**NOTA:**

Este formato ha sido elaborado para los proyectos en estudio, donde no se encontró material de subbase. Unidades de carga: Ton.  
 Para el tramo CA-12 Santa Ana-Textistepeque, no se presentan datos del ensayo con placa de carga (ensayo destructivo), pues no se realizó por considerarse este tramo en buenas condiciones (recientemente reconstruida)



## PRUEBA PLACA DE CARGA

PROYECTO: CA:1 - DESUIDO OPICO - QUEZALTEPEQUE

FECHA: 01-09-94

ESTACION: 1+600

SOBRECARGA

PESOS (Kg)

UNIDADES DE DEFORMIMETRO: (DF) 0.001"

Nº	ESPESOR	TIPO DE SUELO	SOBRECARGA
Capa			
1	<u>2.0</u> (cm)/	<u>Tratamiento superficial</u>	
2	<u>20</u> (cm)/		
3	<u>-</u> (cm)/		
			TOTAL ---->
			110

CAPA		Deformaciones 0.001"									
		Carga 1	Descarga 1	Carga 2	Descarga 2	Carga 3	Descarga 3	Carga 4	Descarga 4	Carga 5	Descarga 5
CARPETA	DF1	53	16	53	20	54	19	53	20	54	21
	DF2	45	16	46	17	47	17	46	18	46	18
ASFALTICA	Lectura de carga	9.8	0.0	9.2	0.0	9.2	0.0	8.9	0.0	8.7	0.0
	DF1	47	30	51	32	47	31	47	33	47	32
BASE	DF2	39	32	38	23	28	17	27	16	28	18
	Lectura de carga	13.0	0.0	12.8	0.0	11.2	0.0	11.1	0.0	11.1	0.0
SUBRASANTE	DF1	52	47	53	46	53	46	53	46	53	44
	DF2	31	13	28	10	23	11	26	10	25	10
	Lectura de carga	11.9	0.0	9.9	0.0	8.2	0.0	9.1	0.0	9.5	0.0
CARGA DE AJUSTE (CA)		CAPA: BASE. CA = 2.0 Ton					CAPA: SUBRASANTE. CA = 2.9 Ton				

**NOTA:**

Este formato ha sido elaborado para los proyectos en estudio, donde no se encontró material de subbase.  
 Unidades de carga: Ton.

### PRUEBA PLACA DE CARGA

PROYECTO: CA:1 - DESVIO OPICO - QUEZALTEPEQUE

FECHA: 02-09-94

ESTACION: 0+600

SOBRECARGA

PESOS (Kg)

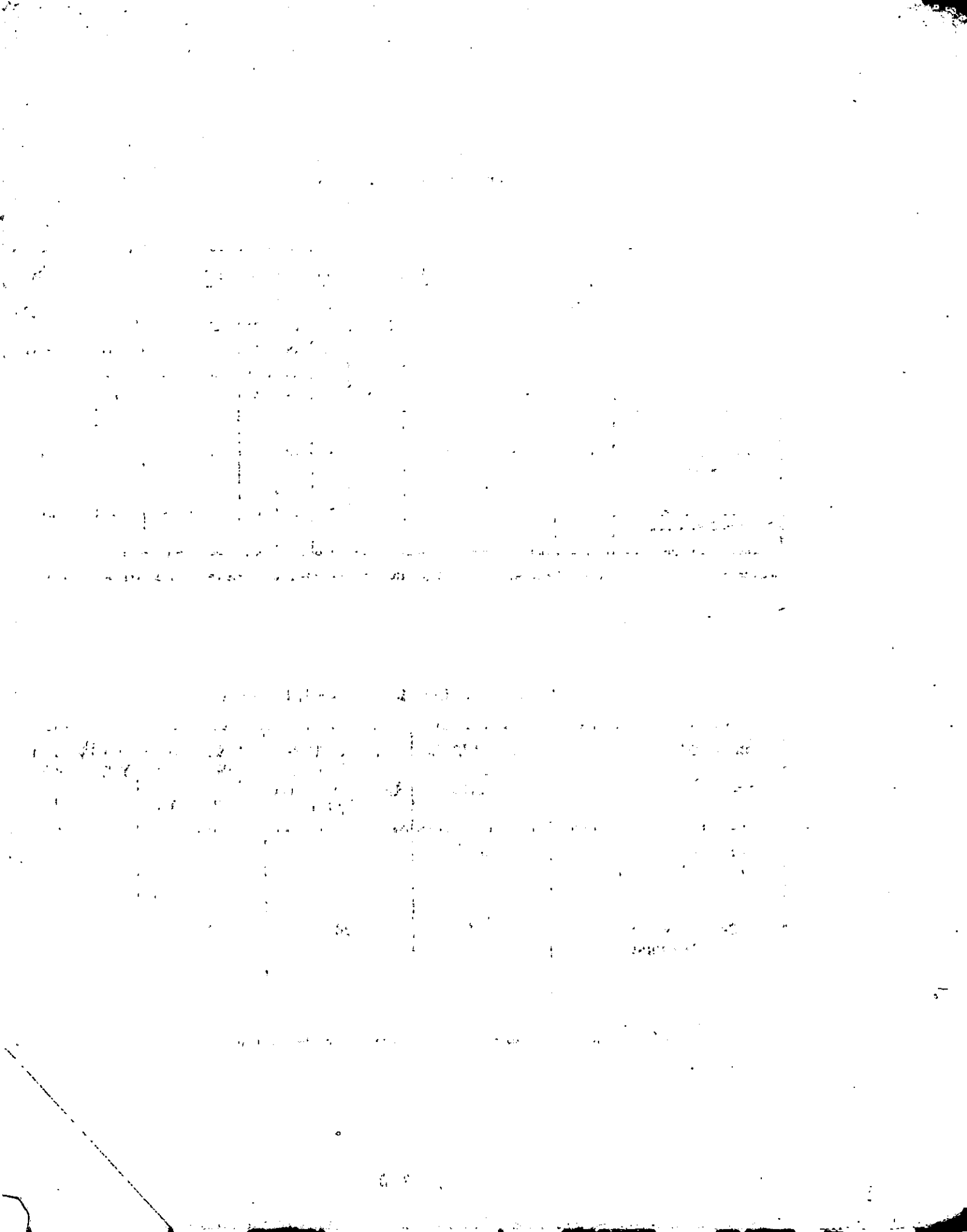
UNIDADES DE DEFORMIMETRO: (DF) 0.001"

N°	ESPESOR	TIPO DE SUELO	SOBRECARGA
1	2.0 (cm)	Tratamiento superficial	
2	20 (cm)		
3	- (cm)		
			TOTAL ----->
			110

CAPA		Deformaciones 0.001"									
		Carga 1	Descarga 1	Carga 2	Descarga 2	Carga 3	Descarga 3	Carga 4	Descarga 4	Carga 5	Descarga 5
CARPETA	DF1	50	12	51	15	50	17	50	13		
	DF2	42	12	41	14	42	14	41	12		
ASFALTICA	Lectura de carga	7.7	0.0	7.1	0.0	7.1	0.0	7.3	7.1		
BASE	DF1	50	26	50	27	50	27				
	DF2	33	12	32	12	32	12				
	Lectura de carga	12.8	0.0	12.8	0.0	12.8	0.0				
SUBRASANTE	DF1	50	24	50	26	50	28	50	29	50	28
	DF2	36	14	32	13	32	14	32	15	32	13
	Lectura de carga	12.1	0.0	11.5	0.0	11.4	0.0	11.3	0.0	11.1	0.0
CARGA DE AJUSTE (CA)		CAPA: BASE. CA = 2.0 Ton					CAPA: SUBRASANTE. CA = 2.9 Ton				

**NOTA:**

Este formato ha sido elaborado para los proyectos en estudio, donde no se encontró material de subbase.  
Unidades de carga: Ton.



ANEXO N° 3

TABLA DE DATOS DE TRANSITO

CARRETERA			COMPOSICION VEHICULAR (%)								TOTAL DE PESADOS DE CARGA
	TPDA	F. DE CREC. ANUAL	LIVIANO		BUSSES	VEHICULO PESADOS*					
			PASAJEROS	Pick up		C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> S <sub>7</sub>	T <sub>3</sub> S <sub>7</sub>	T <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	
CA:-Dvio. Sn. Juan Opico-Quealtepeque	3118	5.1	14	43	6	83	7	-	1	9	43
CA:8- Ateos - Jayaque	997	3.5	13	64	6	86	7	-	-	7	23
CA:12-Santa Ana - Texistepeque	1847	3.07	11	43	7	77	4	-	-	19	39

Fuente : Datos proporcionados por el departamento de Aforos y Ensayos, sección de Corteo de la D.G.C.

TABLA DE DATOS DE TEMPERATURA

TEMPERATURA TRAMO	TEMPERATURA DE LA CARPETA	TEMPERATURA AMBIENTE EN LA HORA DE LA PRUEBA	TEMPERATURA AMBIENTE DE LOS 5 DIAS ANTERIORES	
			MAXIMA	MINIMA
CA:1 Dvio. Sn. Juan Opico - Quezaltepeque	34°	26°	27°	25°
CA:8 - Ateos - Jayaque	32°	24°	29°	23°
CA:12 - Sta. Ana - Texistepeque	35°	26°	28°	24°