

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE -
YAUYOS - CHUPACA CON VIGA BENKELMAN MÉTODO
MATEMÁTICO TRAMO km 64+000 - km 69+000”**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ELVIS JAVIER GARGATE LLANOS

Lima- Perú

2009

ÍNDICE	
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	11
1.1. Antecedentes.	11
1.2. Tramo Evaluado km 64+000 – km 69+000	18
CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE	20
2.1 Sistemas de Análisis	20
2.1.1 Sistemas elásticos de capas	20
2.1.2 Sistemas no lineales de capas	20
2.1.3 Sistemas lineales viscoelásticos	20
2.2 Ensayos no destructivos	21
2.2.1 Viga Benkelman	21
2.2.2 Dynaflec	21
2.2.3 Road Rater	22
2.2.4 RDD	23
2.2.5 FWD	23
2.2.6 KUAB – FWD	24
CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO	25
3.1 Viga Benkelman	25
3.2 Caracterización del material	28
3.2.1 Definiciones previas	28
3.2.2 Modelo Básico	30
3.2.3 Modelo de Maxwell	30
3.2.4 Modelo de Kelvin	30
3.2.5 Modelo de Burgers	30
3.2.6 Modelo Generalizado	31
3.3 Modelos para determinar esfuerzos y deformaciones	31

3.3.1	Modelo de Boussinesq	31
3.3.2	Modelo de Hogg	33
3.3.3	Modelo de Westergaard	40
3.3.4	Modelos bicapas	41
3.3.5	Modelos multicapas	41
3.4	Métodos de Solución de Pavimentos	42
3.4.1	Fórmula de Boussinesq	42
3.4.2	Fórmula de Westergaard	43
3.4.3	Fórmula de Palmer y Baber	44
3.4.4	Fórmula de Odemark	45
3.4.5	Método de Elementos Finitos	45
CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN TRAMO km 64+000 – km 69+000		47
4.1	Aplicación de la Viga Benkelman	47
4.2	Aplicación con el método de Hogg	50
CAPÍTULO V.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		54
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
BIBLIOGRAFÍA		57
ANEXOS.		58

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia permite evaluar el comportamiento estructural del pavimento de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca en el tramo km 64+000 – km 69+000.

La evaluación estructural del pavimento se ha llevado a cabo mediante ensayos no destructivos (END) empleando la Viga Benkelman, que permite obtener en campo las deflexiones que se genera en un pavimento flexible bajo la acción de una carga rodante estándar, de una manera sencilla y práctica. El procesamiento de datos a partir de la medición de deflexiones en campo será realizado con el método matemático de Hogg – Ullidtz, que permitirá obtener la longitud característica (L_0) y módulo de elasticidad (E_0) de la subrasante, y el módulo de elasticidad del pavimento (E^*).

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.1	CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUYOS – CHUPACA	17
CUADRO N° 1.2	TRABAJOS EJECUTADOS EN LA CARRETERA.....	18
CUADRO N° 3.1	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA EL CÁLCULO DE R.....	40
CUADRO N° 3.2	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE L_0	40
CUADRO N° 4.1	DATOS TOMADOS EN CAMPO.....	49
CUADRO N° 4.2	PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE EL MODELO DE HOGG-ULLIDTZ Y HOGG-FÓRMULA E*	52
CUADRO N° 4.3	PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE LAS FÓRMULAS DE LA FHWA-ULLIDTZ	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.1	MAPA DE UBICACIÓN DE LA RUTA 22	13
FIGURA N° 1.2	PLANO CARRETERA CAÑETE-YAUUYOS-CHUPACA .	16
FIGURA N° 1.3	FOTO AÉREA DEL TRAMO km 64+000 – km 69+000	19
FIGURA N° 2.1	PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952)	21
FIGURA N° 2.2	EQUIPO DINAFLEC TRANSPORTADO	22
FIGURA N° 2.3	EQUIPO ROAD RATER	22
FIGURA N° 2.4	EQUIPO RDD	23
FIGURA N° 2.5	EQUIPO FWD EN PRUEBA	23
FIGURA N° 2.6	EQUIPO KUAB - FWD	24
FIGURA N° 3.1	ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN	25
FIGURA N° 3.2	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN	26
FIGURA N° 3.3	ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN	27
FIGURA N° 3.4	MODELOS MECÁNICOS PARA MATERIALES VISCOELÁSTICOS	29
FIGURA N° 3.5	ESFUERZOS PROVOCADOS EN UN PUNTO DE UNA MASA DE SUELO POR UNA CARGA CONCENTRADA	31
FIGURA N° 3.6	MODELO DE HOGG	35
FIGURA N° 3.7	MODELO DE WESTERGAARD	41
FIGURA N° 3.8	MODELO MULTICAPAS	42
FIGURA N° 3.9	REPRESENTACIÓN DE UN MASIVO SEMI INFINITO	42
FIGURA N° 3.10	DEFLEXIÓN PRODUCIDA POR DOS LLANTAS	43
FIGURA N° 3.11	MODELO DE MULTICAPA PROPUESTO CON LA FÓRMULA DE PALMER Y BABER GENERALIZADA ...	44
FIGURA N° 3.12	MODELO MULTICAPA PROPUESTO CON LA FÓRMULA DE ODEMARK	45
FIGURA N° 3.13	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	46
FIGURA N° 4.1	VIGA BENKELMAN DE BRAZO SIMPLE (RELACIÓN DE BRAZOS 4/1)	47

FIGURA N° 4.2	REGISTRO DE LA TEMPERATURA DEL SLURRY	
	SEAL	48
FIGURA N° 4.3	MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO	48

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AYESA	Asociación Aguas y Estructuras
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
D_v	Desviación
FWD	Falling Weight Deflectometer
MEF	Método de Elementos Finitos.
LVDT	Transformador Diferencial Variable Lineal
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MCCP	Mezclas de Concreto con Cemento Portland
M_r	Módulo Resiliente
MDS	Máxima Densidad Seca
NTP	Norma Técnica Peruana
OCH	Óptimo Contenido de Humedad
PERT	Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes
PROMCEPRI	Promoción de Concesiones Privadas
RDD	Deflectómetro dinámico del balanceo
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SN	Número Estructural
TSB	Tratamiento Superficial Bicapa
WASHO	Western Association of State Highway Organizations
Vac	Vertientes Aluviales de cultivo
FHWA	Administración Federal de Carreteras – Virginia - USA

A	Radio de la huella de la llanta
D₀	Deflexión máxima
D_R	Deflexión a una distancia R
D_(R,0)	Deflexión a una distancia R y profundidad 0
D_t	Deflexión teórica
D_c	Deflexión de campo
D_{rig}	Rigidez del pavimento
E_s	Módulo de elasticidad del masivo semi infinito de Boussinesq
E*	Módulo de elasticidad del pavimento
E_o	Módulo de elasticidad de la subrasante o módulo de elasticidad del modelo de Maxwell
E_i	Módulo de elasticidad del modelo de Kelvin
E₁	Módulo de elasticidad de la capa 1
E₂	Módulo de elasticidad de la capa 2
E₃	Módulo de elasticidad de la capa 3
H	Espesor de Pavimento y capa de la subrasante
h₂	Espesor de capa subrasante
h₁	Espesor de pavimento
i	Número entero mayor igual que cero
J₀	Función de Bessel de primera especie y orden 0
J₁	Función de Bessel de primera especie y orden 1
J_i	Función de Bessel de primera especie y orden i
K	Distancia donde se aplica la carga hacia el punto donde se mide el esfuerzo
K₁	Coefficiente no lineal del material granular
K₂	Exponente no lineal del material granular
k	Módulo de reacción
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
L₀	Longitud característica
m	Variable de integración
P	Carga
psi	Libra sobre pulgada ²
q₀	Presión de Inflado
R	Distancia a la que se mide la deflexión D _R

μ	Ratio de Poisson
T_i	Tiempo de retardo del <i>i</i> ésimo modelo de Maxwell
T_0	Tiempo de retardo del modelo de Maxwell
T_1	Tiempo de retardo del modelo de Kelvin
t	Tiempo
W_{18}	Número estimado de ejes simples equivalentes a 8.2 toneladas
σ	Esfuerzo
σ_0	Esfuerzo inicial del modelo Maxwell
σ_1	Esfuerzo del modelo de Kelvin
ε	Deformación unitaria
δ	Desplazamiento vertical unitario
λ	Viscosidad
λ_0	Viscosidad del modelo de Maxwell
λ_1	Viscosidad del modelo de Kelvin
θ	Primer esfuerzo invariante
ρ	Presión vertical
∇	Operador nabra

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este Informe de Suficiencia es la evaluación estructural del pavimento en el tramo de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca km 64+000 – km 69+000, mediante la medición en campo de deflexiones del pavimento utilizando la Viga Benkelman.

La Evaluación Estructural de un pavimento mediante la Viga Benkelman permite medir las deformaciones elásticas que sufre un pavimento flexible bajo la acción de una carga rodante estándar, y empleando métodos matemáticos es posible hallar las características estructurales de la subrasante y del pavimento.

Lo que se describe en este informe consta de 5 capítulos que muestran cómo se puede evaluar la condición de la capacidad estructural de un pavimento, usando una metodología sencilla, práctica y no destructiva.

El capítulo I se describe las generalidades y el estado de la carretera en su totalidad y el tramo del km 64+000 – km 69+000.

En el capítulo II se describe los sistemas de análisis y los ensayos no destructivos para la evaluación estructural de los pavimentos.

En el capítulo III se explica el marco teórico con los conceptos relacionados a la evaluación estructural con Viga Benkelman mediante modelos y métodos matemáticos que se pueden utilizar.

El capítulo IV describe el procedimiento de obtención de datos de las deflexiones con la Viga Benkelman y su procesamiento con el modelo de Hogg.

En el capítulo V se realiza el análisis de resultados obtenidos con el modelo de Hogg.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Estado del Arte de la Carretera

La carretera de penetración y enlace Cañete-Yauyos-Chupaca, se desarrolla desde la ciudad de San Vicente de Cañete en el departamento de Lima, del km 1+805 hasta la ciudad de Chupaca en el departamento de Junín en el km 273+531, con una longitud total de 271.726 km, cuenta con altitudes variadas entre las cuales se pueden mencionar las ciudades como: Cañete (71 msnm), Lunahuaná (523 msnm), Zúñiga (821 msnm), Dv. Yauyos-Magdalena (2289 msnm) y Chupaca (3270 msnm).

Fue proyectada y ejecutada parcialmente durante el gobierno de Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la Ley de Conscripción Vial Territorial del Perú, aprobada con D.L. N° 4113 del 11 de mayo de 1920. Coincidiendo con la caída del gobierno, quedaron paralizados todos los trabajos de la carretera hasta el año 1954.

Por el lado de la costa, durante el gobierno de Manuel Prado Ugarteche, entre los años de 1940 a 1944, se avanzan los trabajos de la carretera desde Cañete llegando a Yauyos en abril de 1944.

En mayo de 1955, llegó la comisión y la delegación del estado al puente peatonal del cañón de Uchco, distrito de Colonia, provincia de Yauyos, para proseguir los trabajos de construcción de la carretera en el tramo de Chupaca a Yauyos, culminándose en mayo de 1957.

La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca forma parte del corredor vial N° 13 y está dentro del programa de desarrollo vial "Proyecto Perú", cuyo fin es mantener las vías nacionales con una adecuada serviciabilidad, interviniendo en forma oportuna y metódicamente mediante actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, reparaciones menores y atención de emergencias viales.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León la elaboración del estudio de preinversión a nivel de perfil de la carretera ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca, que está ubicada en los Departamentos de Lima y Junín, obteniéndose su aprobación mediante Resolución Directoral N° 815-2004-MTC/20 del 22 de noviembre de 2004.

Mediante el Contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2007 celebrado con Provias Nacional, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de conservación del corredor vial Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, a nivel de solución básica (capa de 5cm estabilizada con emulsión al 2% y superficie de monocapa asfáltica RC-250 de 9mm).

El sábado 16 de febrero de 2008 en el distrito de Pacarán se inició los trabajos de pavimentación y mantenimiento de la carretera Cañete - Yauyos – Chupaca.

Ubicación

La carretera se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín y une los territorios de las provincias de Lima (Cañete y Yauyos) y Junín (Chupaca), forma parte de la "Red Vial Nacional" N° 13, y enlaza con la Ruta Nacional N° 22, con un ámbito de influencia en un entorno de 2.5 km a ambos lados de la vía existente, abarcando diversos distritos y centros poblados.

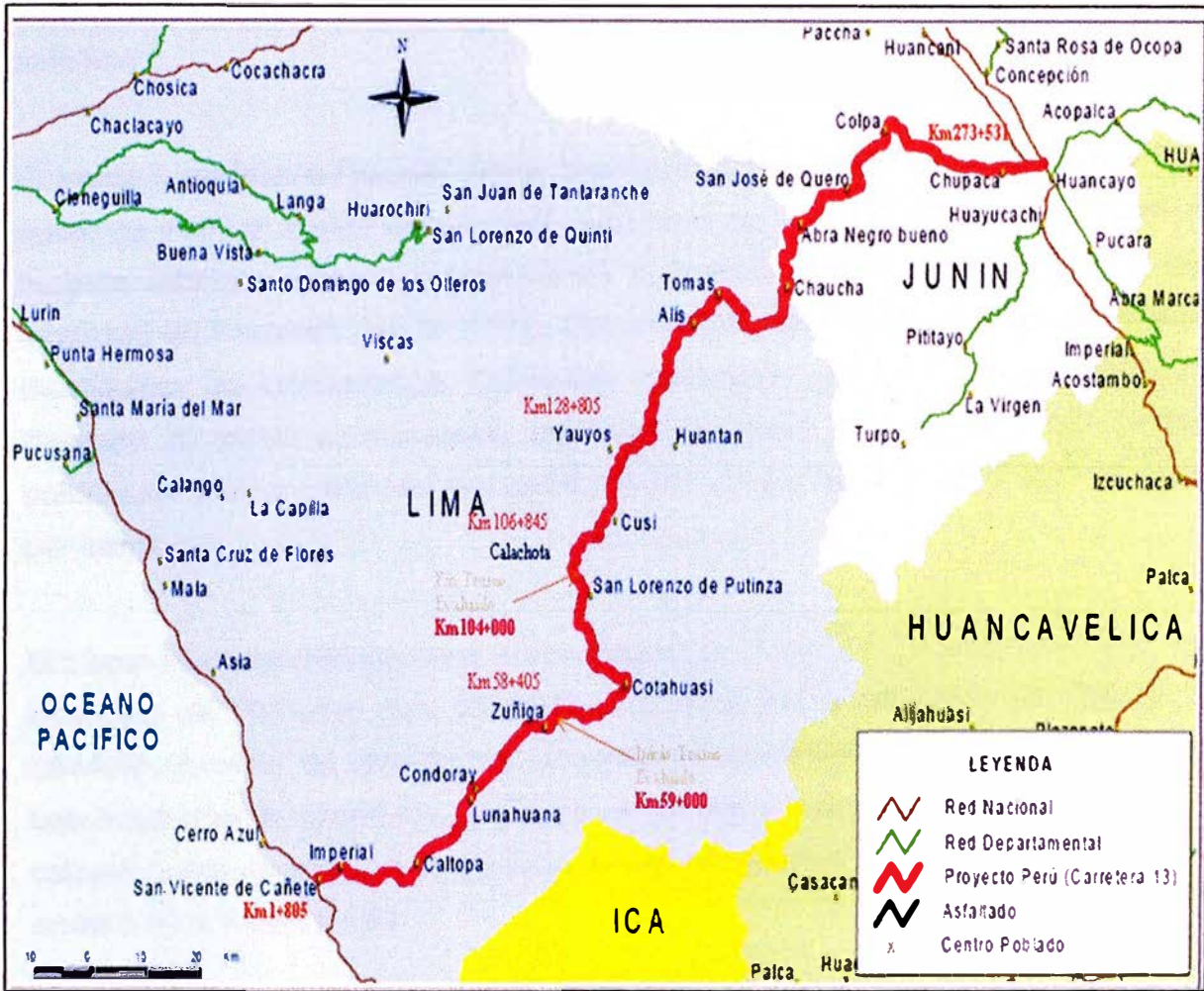


FIGURA Nº 1.1
 MAPA DE UBICACIÓN DE LA RUTA 22
 (Fuente: MTC - Provías Nacional – Proyecto Perú)

En la Figura Nº 1.1 se puede observar el Mapa de Ubicación de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca que se encuentra representada con una línea gruesa roja; y con la representación del Proyecto Perú perteneciente a la “Red Vial Nacional” Nº 13 que se muestra en la leyenda.

El tramo Cañete-Lunahuaná tiene una longitud de 40.95 km y presenta como punto de inicio el segundo óvalo de Cañete (km 01+805) en la vía que se dirige a Lunahuaná y termina en la localidad de Uchupampa (km 42+755). En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades como Cañete, Imperial, Nuevo Imperial, Encañada, Caltopa, Socsi y Lunahuaná. El tramo se encuentra

asfaltado, teniendo una superficie de rodadura constituida por una carpeta asfáltica.

El tramo Lunahuaná-Pacarán tiene una longitud de 11.907 km, y presenta como punto de inicio el sector denominado Uchupampa (km 42+755), donde termina la carpeta asfáltica e inicia el tratamiento superficial (slurry seal), y termina en la localidad de Pacarán (km 54+662). En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades de Uchupampa, Condoray, Catapalla, Jacaya, Jacayita, Romani y Pacarán. El tramo se encuentra asfaltado, teniendo una superficie de rodadura constituida por un tratamiento superficial con un ancho promedio de 3.20 metros por carril.

El tramo Pacarán-Zúñiga tiene una longitud de 3.743 km, su punto de inicio es la localidad de Pacarán (km 54+662) y culmina en la localidad de Zúñiga (km 58+405), A partir de este tramo, la carretera no se encuentra pavimentada, con una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal, la calzada tiene un solo carril, y presenta una plataforma de un ancho útil que varía entre 5.00 y 7.50 metros.

El tramo Zúñiga-Dv. Yauyos tiene una longitud de 70.400 km, presenta como punto de inicio la localidad de Zúñiga (km 58+405), termina en la localidad de Magdalena (km 128+805).

En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades de Zúñiga, Machuranga, San Juanito, San Juan, San Jerónimo, Huayllampi, Catahuasi, Canchán, Chinchicay, Capillucas, Calachota, Puente Aucco y Magdalena. Este tramo de la carretera tiene una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso slurry seal hasta Catahuasi, km 78+805; y un tratamiento monocapa hasta el km 99+000 aproximadamente, la calzada tiene un solo carril, y termina en la localidad de Zúñiga (km 58+405) una plataforma de un ancho útil que varía entre 3.00 y 8.50 metros.

El tramo Dv. Yauyos-Roncha tiene una longitud de 128.185 km, y presenta como punto de inicio la localidad de Magdalena (km 128+805), y termina en la

localidad de Roncha (km 256+990). En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades de Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Tinco Alis, Tomas, Huancachi, Tinco de Yauricocha, Chaucha, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa y Roncha.

El tramo Roncha-Chupaca tiene una longitud de 16.541 km, y presenta como punto de inicio la localidad de Roncha (km 256+990), y termina en el empalme de la carretera Huancayo–Chupaca (km 273+541). El tramo pasa por las localidades como Roncha, Angasmayo, Huarisca y Chupaca. La topografía del tramo es ondulada y presenta una calzada con un sólo carril y una plataforma con ancho útil variable entre 3.80 y 8.50 metros.

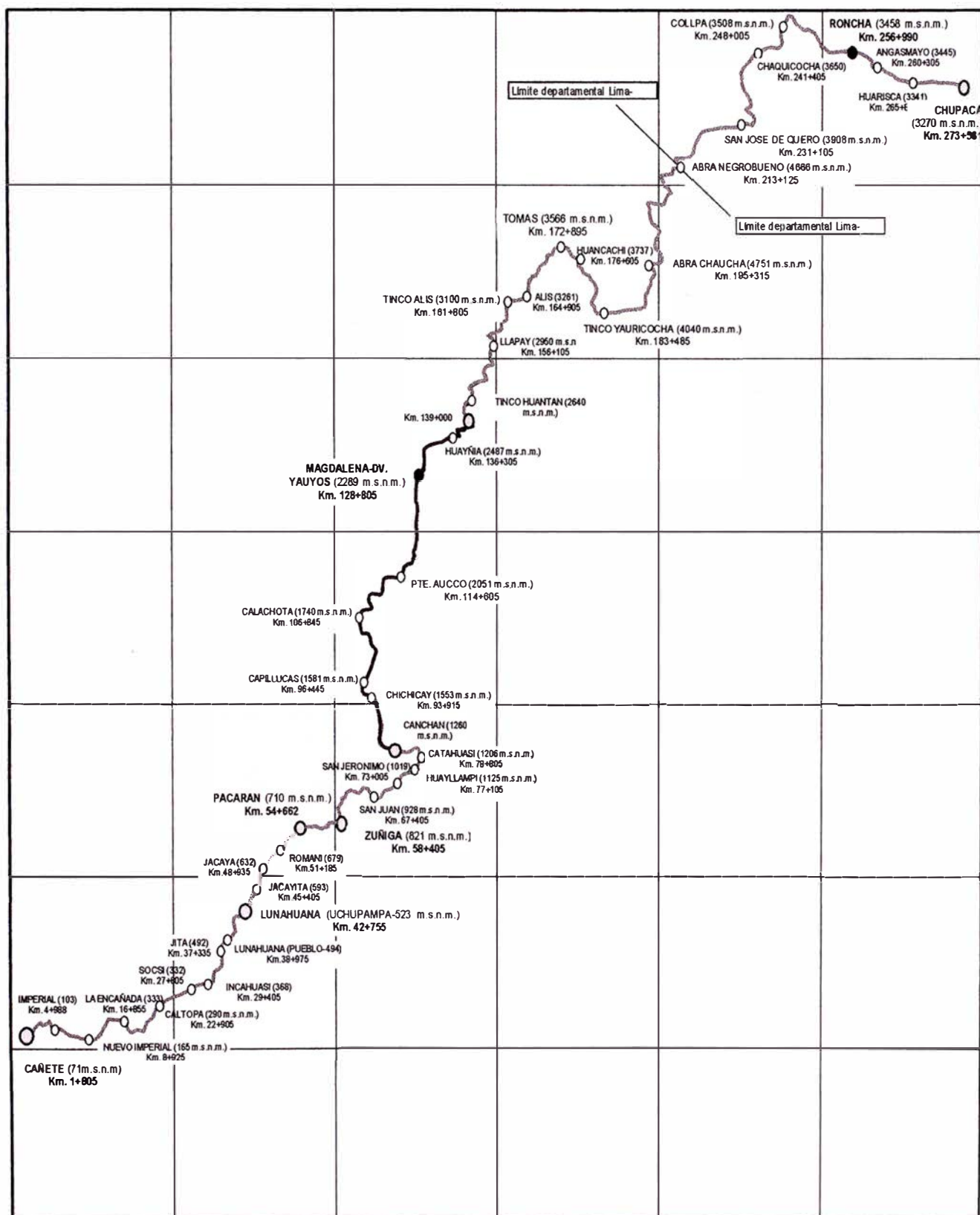


FIGURA 1.2
PLANO CARRETERA CAÑETE – YAUYOS - CHUPACA
(Fuente: MTC - Proviás Nacional – Proyecto Perú)

Clima y Topografía

El clima es templado, la temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 7°C y -4°C. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo, como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a marzo).

La vía se desarrolla sobre una topografía muy accidentada en la mayoría de sus tramos.

Clasificación de la Vía	: Red Vial Nacional
Corredor Vial	: Ruta 13
Categoría de la Vía	: 3ra. Categoría
Velocidad Directriz	: 30 km/hora
Ancho de vía útil	: Variables de 3.00 a 5.00 metros
Ancho de Bermas	: 0.50 metros en algunos sectores
Bombeo	: 1%
Longitud Total	: 271.73 km
Máxima Altitud	: 4751 msnm (Chaucha)

Cuadro N° 1.1

CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUUYOS-CHUPACA
(Elaboración Propia, a partir de datos MTC)

Estado situacional

Previo, al inicio de las actividades del Consorcio Gestión de Carreteras, la carretera se encontraba a nivel de afirmado en mal estado de conservación. Actualmente se vienen realizando trabajos de conservación rutinaria ejecutados por tramos como se describe en el cuadro N° 1.2.

N°	TRAMO	PROGRESIVAS	ALTITUD (msnm)	LONGITUD TRAMO (km)	ESTADO INICIAL	TRABAJOS REALIZADOS			
						CGC	CGE	M	SS
1	Cafiete – Lunahuaná	km 00+000 - km 40+950	71- 523	40.75	Concreto asfáltico	Solo Mant. Rutinario			
2	Lunahuaná – Pacarán	km 40+950 - km 52+857	153- 710	12.50	Tratamiento superficial bicapa	Solo Mant. Rutinario			
3	Pacarán – Zúñiga	km 52+857 - km 56+000	710- 821	4.15	Afirmado	SI	SI	NO	SI
4	Zúñiga – Catahuasi	km 56+600 - km 77+000	821- 1206	20.40	Afirmado	SI	SI	NO	SI
5	Catahuasi - Dv. Yauyos	km 77+000 - km 127+000	1206- 2289	50.00	Afirmado	SI	SI	SI	NO
6	Dv. Yauyos - Tingo Huantan	km 127+000 - km 141+000	2289- 2640	14.00	Afirmado	SI	SI	SI	NO
7	Tingo Huantaran – Alis	km 141+00 - km 163+100	2640- 3261	22.10	Afirmado	SI	SI	NO	NO
8	Alis – Rocha	km 163+100 - km 255+185	3261- 3358	92.09	Afirmado	SI	NO	NO	NO
9	Rocha - Chupaca	km 255+185 - km 271+726	3358- 3270	16.54	Afirmado	SI	NO	NO	NO
CAPA GRANULAR CON MATERIAL DE CANTERA =CGC CAPA GRANULAR ESTABILIZADA =CGE MONOCAPA = M SLURRY SEAL = SS									

CUADRO N° 1.2

TRABAJOS EJECUTADOS EN LA CARRETERA

(Fuente: MTC, Provías Nacional, Proyecto Perú)

1.2 TRAMO EVALUADO km 64+000 – km 69+000

El sub-tramo de la carretera a evaluar se inicia en la zona arqueológica Cascajal, que pertenece a la localidad de San Juan, km 64+000 hasta la comunidad de LLangas km 69+000.

La longitud del sub-tramo es de 5 km, con una altitud promedio de 821 msnm, presentando una variación de temperatura de 16 °C a 26 °C, las épocas de lluvia se presentan regularmente en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.

La solución aplicada para el tramo evaluado es un tratamiento superficial slurry seal, que consiste en una solución básica que estabiliza la plataforma con material granular y recubrimiento bituminoso.

Se desarrolla sobre una topografía accidentada y el eje de la carretera es paralelo al río Cañete, el ancho de la carretera varía entre 3.50 y 5.00 metros, no tiene un sistema de drenaje adecuado, tampoco presenta elementos de confinamiento lateral.

De acuerdo al estudio técnico (para el cambio estándar de afirmado a solución básica) de la concesionaria Consorcio Gestión de Carreteras proyectado para el periodo del 2009 al 2013, se indican los siguientes datos importantes:

EAL (Número de ejes equivalentes a 8.2tn) = 1.69 E+06.

IMDA = 53 vehículos/día

Tasa de Crecimiento = 3.6%

CBR (al 95% del MDS) = 20 %

Módulo Resiliente M_r = 13,201 psi

Coefficiente de Drenaje (CD) = 1.

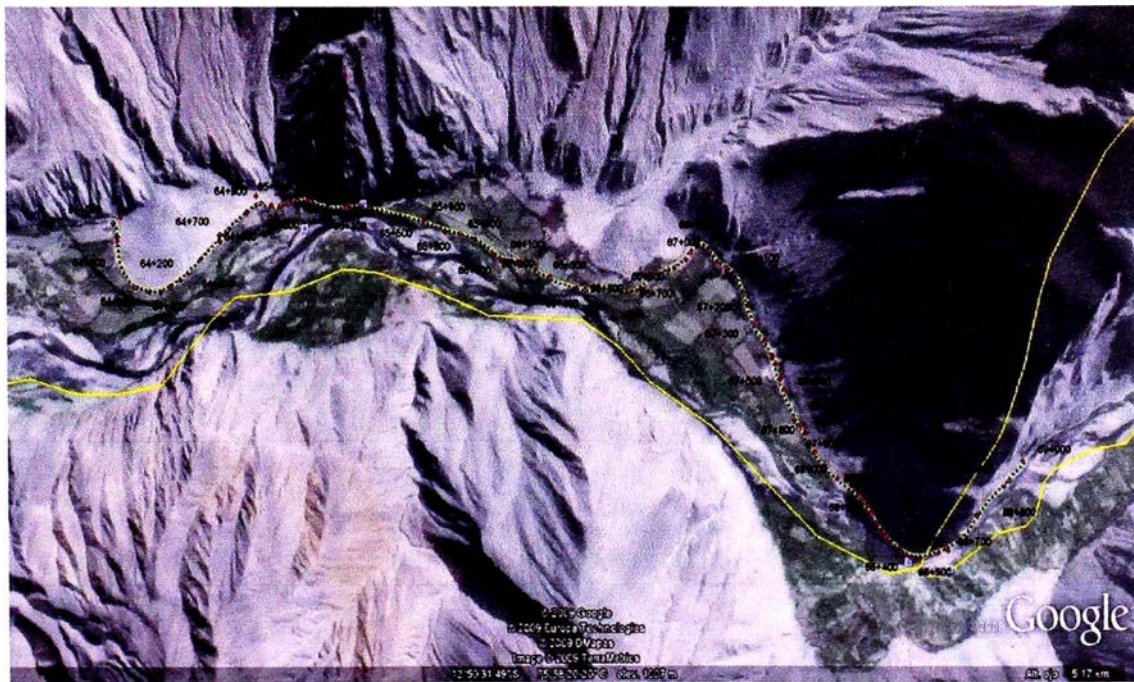


FIGURA 1.3

FOTO AEREA DEL TRAMO km 64+000 - km 69+000

(Fuente: Google Earth)

CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE

2.1 Sistemas de Análisis

A fin de llevar las propiedades y características de los suelos hacia los sistemas de análisis matemáticos es necesario idealizar qué tipo de comportamiento tendrá el suelo. A continuación se indica los principales sistemas de análisis.

2.1.1 Sistemas elásticos de capas

La teoría elástica de capas se desarrolla por la necesidad de predecir la respuesta estructural del pavimento a cargas exteriores. En este desarrollo Burmister asumió que cada capa es representada por un material homogéneo, isotrópico y linealmente elástico. Las capas son asumidas extensas infinitamente en la dirección horizontal y en la capa inferior se asume infinitamente extensa en profundidad. Las demás capas tendrán espesores pequeños.

2.1.2 Sistemas no lineales de capas

Es bien conocido que los materiales granulares y la subrasante de los suelos son no lineales y tienen un módulo de elasticidad que varía con los niveles de presión. El módulo que representa al módulo de elasticidad es el de resiliencia, obtenido a partir de un ensayo triaxial. Se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$E = K_1 \theta^{K_2} \quad (2.1)$$

Donde:

E: Módulo de Elasticidad (kg/cm²)

K₁= Coeficiente no lineal del material granular

K₂= Exponente no lineal del material granular

θ = Nivel de esfuerzo invariante

2.1.3 Sistemas lineales viscoelásticos

Ciertos materiales pueden presentar combinaciones de características sólidas y líquidas, incluso bajo presiones pequeñas. Si tal material es sometido a un esfuerzo constante, esto continúa la deformación lentamente con el tiempo.

Los sistemas viscoelásticos lineales han tenido amplio desarrollo en las últimas décadas. La temperatura, la humedad son usadas como variables aleatorias en el modelo. El sistema de pavimento generalmente es un sistema tricapa en el cual cada capa tiene propiedades que varían determinísticamente.

2.2 Ensayos no Destructivos

Son aquellos ensayos que se realizan sin la necesidad de realizar excavaciones en la vía (calicatas). Se usan equipos especializados en medir las deformaciones del terreno mediante la aplicación de cargas estáticas y/o dinámicas.

2.2.1 Viga Benkelman

La Viga Benkelman es un instrumento manual que consta de dos brazos, uno que va en contacto con el terreno y el otro que sirve de pivote donde se realizan las mediciones producidas por la carga estática normalizada (8200 kg). Este equipo se verá con más detalle en el capítulo III.



FIGURA Nº 2.1 PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952)

(Fuente: Internet, <http://strongfamilytree.org>, Nov. 2009)

2.2.2 Dynaflec

Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático de 2000 a 2100 libras (8.9 kN a 9.3 kN) se aplica al pavimento con un par de ruedas de acero rígidas. Se utiliza un

generador dinámico para producir una fuerza de hasta 4.45-kN. Para más detalle revisar HUANG, Yang H. "Pavement analysis and design".



FIGURA N° 2.2 EQUIPO DINAFLEC TRANSPORTADO

(Fuente: Internet, http://training.ce.washington.edu/wsdot/modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm, Nov. 2009)

2.2.3 Road Rater

Existen varios modelos, que varían sobre todo en la magnitud de las cargas y en las cargas estáticas dinámicas. Emplea cuatro sensores para medir la deflexión base. El dispositivo se mueve a la localización de la prueba, donde se coloca la placa de carga y los sensores de deflexión se colocan sobre el pavimento. Después de terminada la prueba, la placa y los sensores se levantan de la superficie, y el dispositivo está listo para moverse al siguiente punto de prueba.

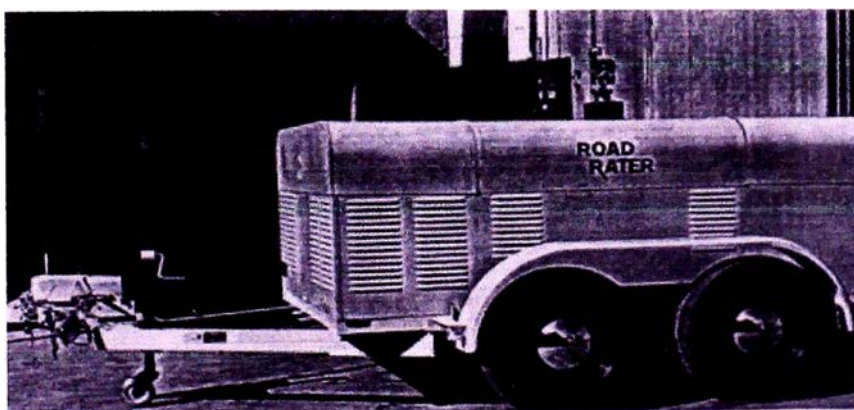


FIGURA N° 2.3. EQUIPO ROAD RATER

2.2.4 RDD

El deflectómetro dinámico de balanceo (RDD) es relativamente una nueva herramienta para determinar las condiciones del pavimento. Su principal característica es que trabaja con perfiles continuos de deflexiones.



FIGURA N° 2.4 EQUIPO RDD

(Fuente: Departamento de transportes de Texas, Diseño de Pavimentos, 2008, página 137)

2.2.5 FWD

El FWD empleado frecuentemente en los Estados Unidos es el sistema Dynatest modelo 8000. La fuerza de impulso es creada soltando un peso al pavimento. Este aparato mide las deflexiones del pavimento producidos por una carga senoidal, que impacta al mismo en una placa de carga, esta última posee 07 transductores de medida.



FIGURA N° 2.5 EQUIPO FWD EN PRUEBA

(Fuente: Internet, http://training.ce.washington.edu/wsdot/modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm, Nov 2009)

2.2.6 KUAB – FWD

La fuerza de impulso es producida por dos pesos soltados de diferentes alturas. El sistema de pesos se emplea para generar una subida gradual de un pulso de fuerza sobre el pavimento y así detectar la rigidez de la subrasante.



FIGURA N° 2.6 EQUIPO KUAB - FWD

(Fuente: Internet, http://training.ce.washington.edu/wsdot/modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm, Nov. 2007)

CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO

Para obtener las propiedades de la carpeta de rodadura se han medido las deflexiones con la Viga Benkelman. Luego se empleará un método teórico para estimar los módulos de elasticidad de la subrasante y la carpeta de rodadura. A continuación se describe el proceso de medición de las deflexiones, caracterización del material y metodología para estimar los parámetros anteriormente mencionados.

3.1 Viga Benkelman

La Viga Benkelman funciona mediante el principio de palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple, según se esquematiza en la FIGURA 3.1. A su vez la viga consta principalmente de dos partes, un brazo móvil y un brazo fijo que giran sobre un pivote.

Para la toma de medidas de las deflexiones se debe tener presente que el extremo del brazo móvil (D) es el que varía debido a la carga del vehículo, esta variación es registrada en el extensómetro.

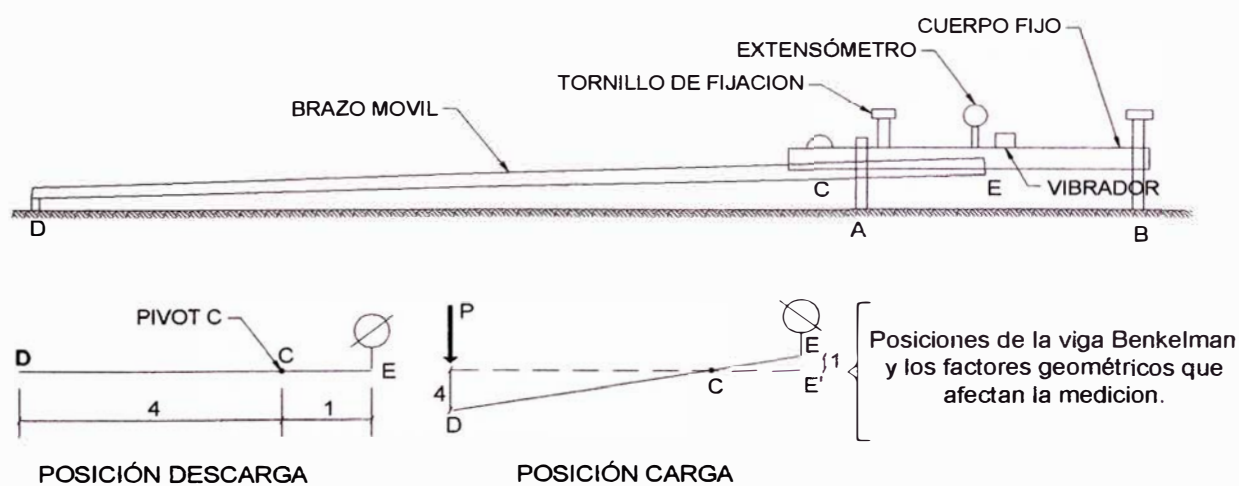


FIGURA N° 3.1. ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

Metodología de medición de deflexiones con Viga Benkelman

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada 8200 kg. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida. Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo

(usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto, de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto [ver FIGURA 3.2 (a), punto "D"]. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión [ver FIGURA 3.2 (b)], se hace coincidir las marcas de la viga con la varilla.

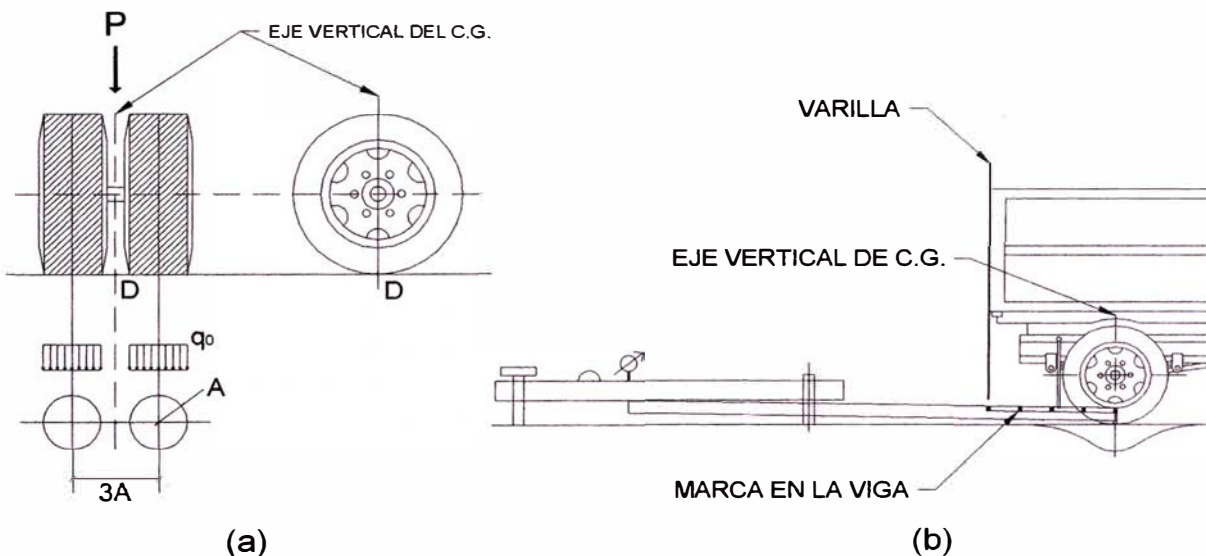


FIGURA N° 3.2 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN.

Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable si se desea tener una idea gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima. La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional.

Una vez instalada la viga en el punto de medición, haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial [ver FIGURA 3.3 (a)], se verifica que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y

mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con las marcas [ver FIGURAS 3.3 (b), (c)]. Cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo de manera que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5.00 m), se efectuará una lectura más [ver FIGURA 3.3 (d)].

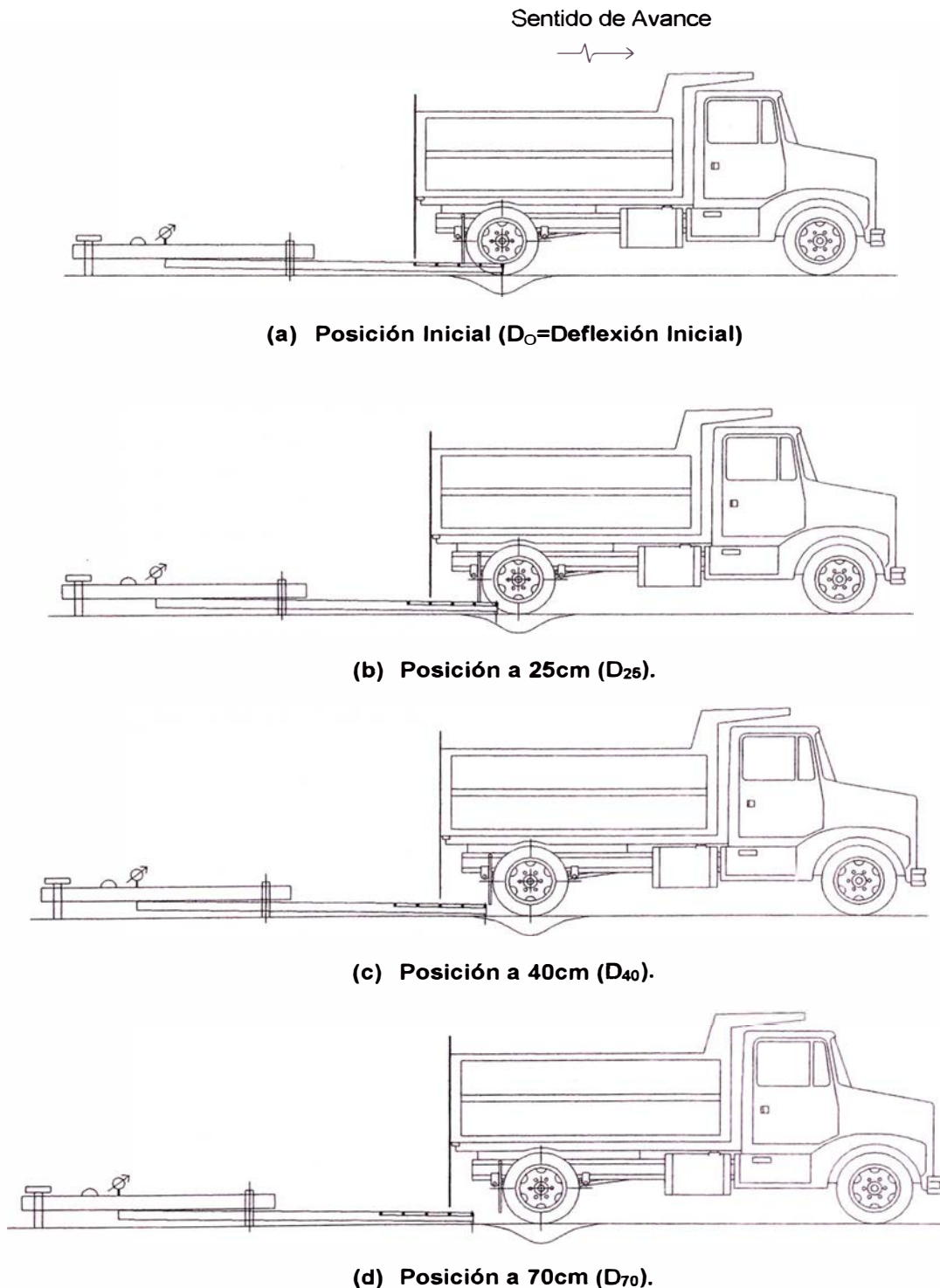


FIGURA Nº 3.3. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN.

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores:

Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez dé aviso al técnico que realiza las lecturas.

3.2 Caracterización del Material

Para la caracterización del material. Se describen diversos modelos en los siguientes párrafos.

3.2.1 Definiciones previas

Módulo resiliente

Es el módulo elástico a ser utilizado con la teoría de la elasticidad.

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (3.1)$$

Donde:

σ_d : Es el esfuerzo desviador, el cual es el esfuerzo axial en un ensayo no confinado (kg/cm^2).

ε_r : Deformación Recuperable (cm).

Ratio de Poisson

Dado un cuerpo elástico sometido a un esfuerzo longitudinal, es la relación que existe entre la deformación lateral y la correspondiente deformación longitudinal.

Módulo de Elasticidad

Está asociado directamente con los cambios de longitud que experimenta el pavimento. Cuando está sometido a la acción de esfuerzos de tracción o de compresión. Su símbolo es E.

Peso unitario

Es el peso por unidad de volumen.

CBR

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (psi) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

Coefficiente de expansión térmica

Cambio en las dimensiones de un material por variación de temperatura. También llamado dilatabilidad.

Modelos Matemáticos

Se cuenta con varios modelos mecánicos para caracterizar al material. Los modelos mecánicos se forman de dos elementos básicos un resorte y un amortiguador hidráulico, como se muestra a continuación:

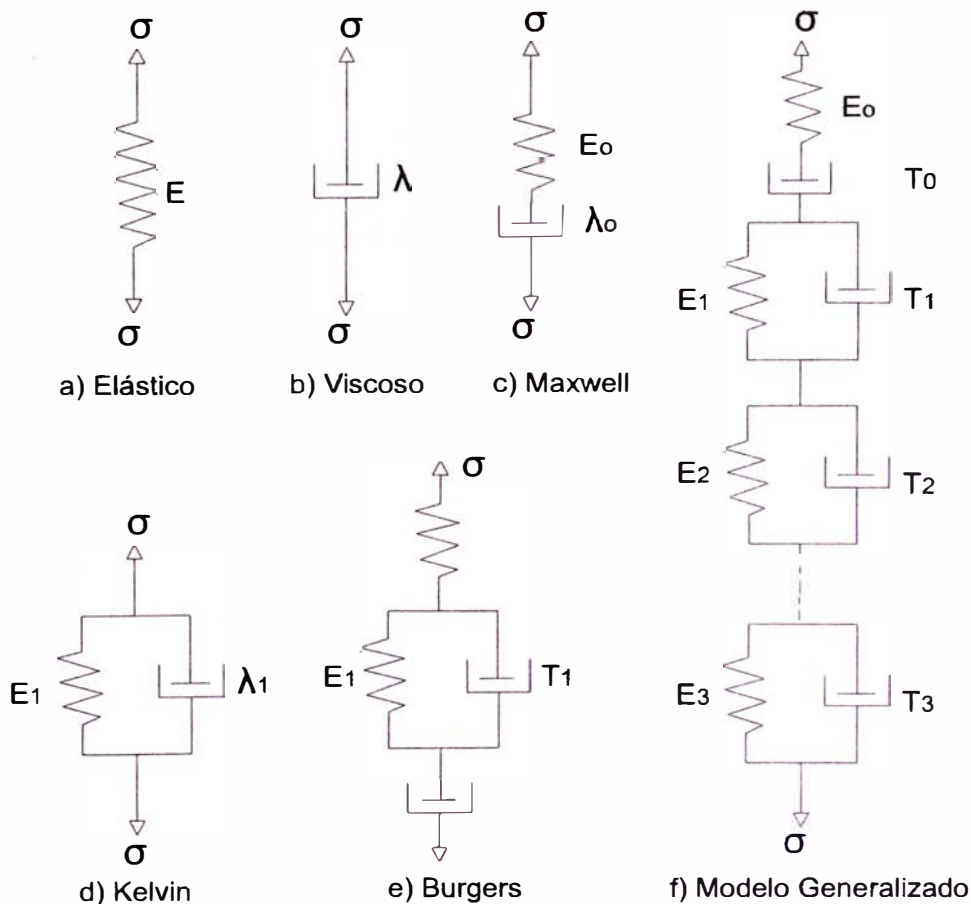


FIGURA N° 3.4 MODELOS MECÁNICOS PARA MATERIALES VISCOELÁSTICOS

3.2.2 Modelo Básico

Un material elástico se caracteriza por un resorte, según lo indicado en la FIGURA 3.4 (a), y obedece la ley de Hooke, y la tensión es proporcional a la deformación:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3.2)$$

Un material viscoso es representado por un amortiguador hidráulico, según lo indicado en FIGURA 3.4 (b), y obedece la ley de Newton, según la cual la tensión es proporcional a la variación de la deformación en el tiempo:

$$\sigma = \lambda \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (3.3)$$

3.2.3 Modelo de Maxwell

Es la combinación de resorte y de amortiguador hidráulico en serie, tal como indica en la FIGURA 3.4 (c)

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} + \frac{\sigma t}{\lambda_0} = \frac{\sigma}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) \quad (3.4)$$

3.2.4 Modelo de Kelvin

Es una combinación de resorte y amortiguador hidráulico en paralelo, según lo indicado en la FIGURA 3.4 (d). El resorte y el amortiguador hidráulico tienen la misma deformación. Se usa el subíndice 1 para indicar un modelo de Kelvin.

$$\sigma = E_1 \varepsilon + \lambda_1 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (3.5)$$

3.2.5 Modelo de Burgers

Un modelo de Burgers es una combinación del modelo del Maxwell y de Kelvin, según lo indicado en la FIGURA 3.4 (e).

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \frac{\sigma}{E_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1} \right) \right] \quad (3.6)$$

3.2.6 Modelo Generalizado

La FIGURA 3.4 (f) muestra un modelo generalizado que se puede utilizar para caracterizar cualquier material viscoelástico.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{\sigma}{E_i} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_i} \right) \right] \quad (3.7)$$

3.3 Modelos para determinar esfuerzos y deformaciones

3.3.1 Modelo de Boussinesq

Con el modelo de Boussinesq se puede determinar el desplazamiento o deflexión de un punto debido a cargas distribuidas verticales sobre el pavimento, generadas por dos llantas cuya área de contacto son dos círculos de radio "A". En el problema de Boussinesq se plantea las siguientes expresiones para la determinación de los esfuerzos.

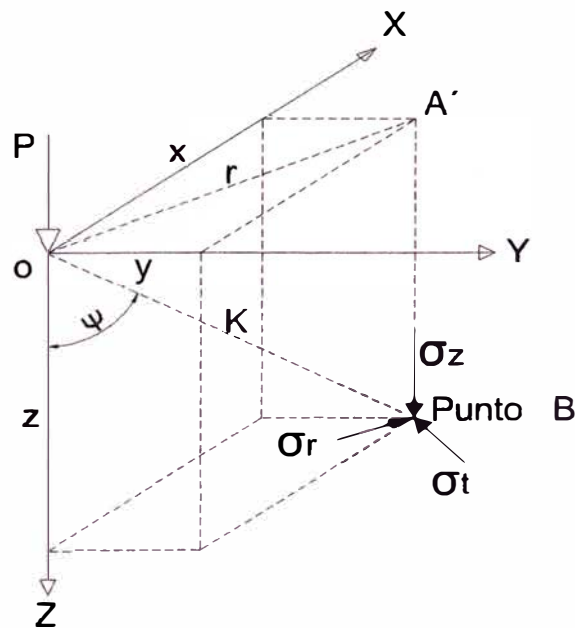


FIGURA Nº 3.5 ESFUERZOS PROVOCADOS EN UN PUNTO DE UNA MASA DE SUELO POR UNA CARGA CONCENTRADA

De la Figura Nº 3.5, los esfuerzos en el punto "B" pueden escribirse:

Esfuerzo Vertical:

$$\sigma_z = \frac{3P \cos^5 \Psi}{2\pi z^2} \quad (3.8)$$

Esfuerzo Radial:

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi z^2} \left[3 + \cos^2 \Psi \sin^2 \Psi - (1 - 2\mu) \frac{\cos^2 \Psi}{1 + \cos \Psi} \right] \quad (3.9)$$

Esfuerzo Tangencial:

$$\sigma_t = -\frac{(1 - 2\mu)P}{2\pi z^2} \left[\cos^3 \Psi - \frac{\cos^2 \Psi}{1 + \cos \Psi} \right] \quad (3.10)$$

Si se tiene una carga vertical concentrada actuando en la frontera de un medio elástico semi infinito, se estima el asentamiento bajo la carga, siguiendo el método aproximado basado en la fórmula de Boussinesq para el esfuerzo normal vertical (Ec. 3.8). El análisis que se sigue supone que los esfuerzos restantes son despreciables.

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi K^5} \quad (3.11)$$

Para puntos bajo la carga $K=z$, por tanto:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \quad (3.12)$$

Aplicando la ley de Hooke en su forma más simple, correspondiente a un estado monoaxial de esfuerzos se tiene:

$$d\rho = \frac{\sigma_z}{E_s} dz \quad (3.13)$$

En donde $d\rho$ representa la deformación vertical del elemento dz a la profundidad z bajo la carga, integrando la expresión anterior entre z e infinito (suponiendo estrato de profundidad infinita)

$$\rho = \frac{3P}{2\pi E_S} \int_z^{\infty} \frac{dz}{z^2} = \frac{3P}{2\pi E_S z} \quad (3.14)$$

Nótese que la integración fue hecha a partir del nivel z hacia abajo, para evitar la singularidad que presenta la fórmula de Boussinesq inmediatamente bajo la carga.

La fórmula obtenida por Boussinesq para el desplazamiento vertical de un punto a la profundidad z de radio K es:

$$\delta = \frac{P}{2\pi E_S} (1 + \mu) \left[2(1 - \mu) + \left(\frac{z}{K} \right)^2 \right] \frac{1}{K} \quad (3.15)$$

Donde:

μ : Ratio de Poisson.

E_S : Módulo de elasticidad del masivo semi infinito de Boussinesq.

K : Distancia donde se aplica la carga hacia el punto donde se mide el esfuerzo.

3.3.2 Modelo de Hogg

Este modelo caracteriza al pavimento en dos capas; la calzada, que es una placa de espesor delgado con rigidez a la flexión y una subrasante representada por un medio elástico, lineal, homogéneo e isotrópico.

Dado que es difícil de obtener la solución de las ecuaciones de elasticidad, los problemas de flexión adoptan ciertas hipótesis simplificadas (hipótesis de Navier sobre capas delgadas), lo que lleva a suponer de la calzada lo siguiente:

- El plano medio se confunde con la fibra neutra.
- Las secciones planas permanecen inalterables durante la deformación.
- Los esfuerzos normales que siguen una deformación transversal pueden despreciarse.
- Los desplazamientos verticales de la fibra neutra de la placa satisfacen la ecuación de Lagrange para placas delgadas.

La ecuación que resuelve Hogg es:

$$D \cdot \nabla^2 \delta = \rho \quad (3.16)$$

Donde:
$$D_{rig} = \frac{E^* h_1^3}{12(1 - \mu_1^2)}$$

D_{rig} = rigidez de la placa que representa el pavimento.

δ = desplazamiento vertical de la fibra neutra.

ρ = suma de presiones verticales $\rho = \sigma_z - q_0$ ó $\rho = \sigma_z$ en el exterior del círculo.

q_0 = Carga distribuida.

E^* = Módulo de elasticidad del Pavimento.

H = Espesor de Pavimento y capa de la subrasante.

h_1 = Espesor de Pavimento.

μ_1 = Ratio de Poisson del Pavimento.

$$\nabla^2 = \left(\frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d}{dR} \right)$$

Con la transformada de Hankel la ecuación 3.16 para $z=0$ tiene como solución:

$$D_{(R,0)} = \frac{(1 + \mu_o)(3 - 4\mu_o)q_0 A}{2(1 - \mu_o)E_o} \int_0^\infty \frac{J_0\left(\frac{mR}{L_0}\right) \cdot J_1\left(\frac{mA}{L_0}\right)}{m^4 + m\phi\left(\frac{mH}{L_0}\right)} dm \quad (3.17)$$

Donde:

$$\phi_{(m)} = \frac{\text{Senh}(m) \times \text{Cosh}(m) + \frac{m}{3 - 4\mu_o}}{\text{Senh}^2(m) - \frac{m^2}{(3 - 4\mu_o)^2}} \quad (3.18)$$

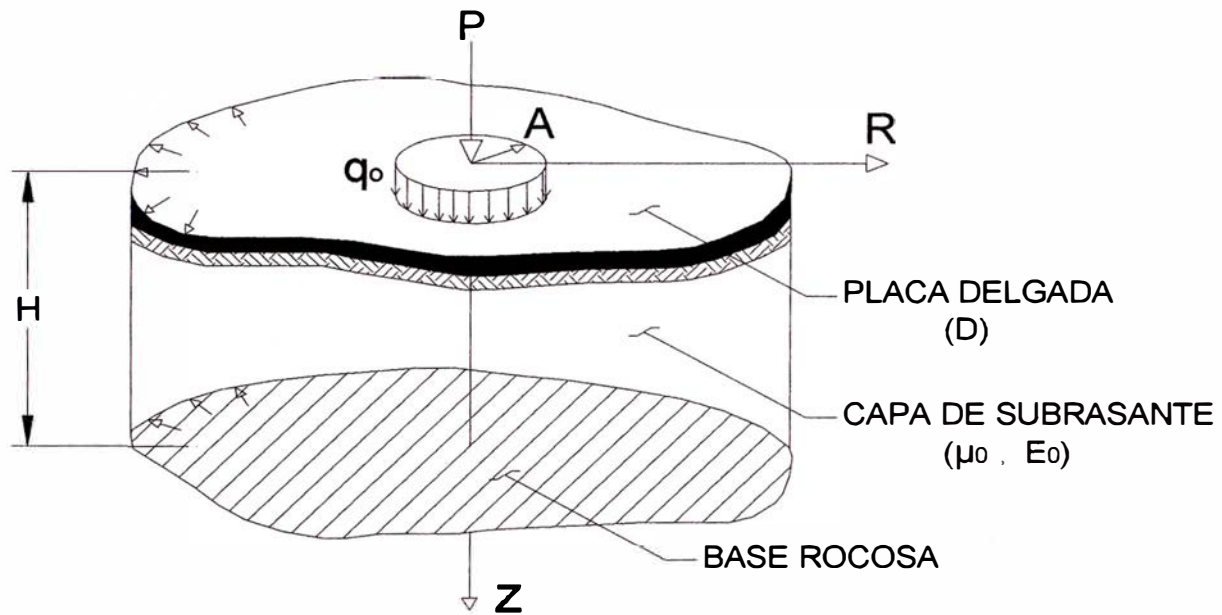


FIGURA N° 3.6 MODELO DE HOGG.

Características y empleo del modelo

Para hacer uso del modelo de Hogg no se necesita conocer el espesor de las capas del pavimento, ya que las curvas de deflexiones de superficie teórica, diseñada mediante el modelo de Hogg depende solamente de la longitud elástica L_0 . Constituye una ventaja toda vez que, en la mayoría de los pavimentos evaluados, ó se desconoce el espesor ó es difícil controlar su variación.

En el modelo se introduce, mediante la variable H , una capa rígida a una profundidad finita. Para la utilización del modelo se sugiere la introducción de una capa rígida a una profundidad igual a 10 veces la longitud elástica del pavimento ($H / L_0 = 10$).

Modelo de Carga

La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con una llanta doble de un camión. La carga del eje es de 8200 kg y la presión de inflado es de 80 psi (5.62 kg/cm²). En el modelo de carga se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, que hay una distancia de "3A" entre centros de cada llanta, por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P'}{\pi \cdot p}} \dots\dots\dots (3.19)$$

Donde:

- A = Radio de la huella circular de contacto
- P = Carga de ensayo
- P' = Carga sobre una llanta = P/2
- p = Presión de inflado

De esta manera, si la carga del eje es 18,000 libras (4,500 libras por llanta) y la presión de inflado es 80 psi:

$$A = \sqrt{\frac{4500}{\pi 80}} = 4.23" = 10.7 \text{ cm}$$

Determinación de parámetros del Modelo de Hogg

a) Determinación de R5

R5 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación DR/ D₀ = 0.5 en la curva de deflexiones. Si bien el modelo de HOGG establece que R5 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R5 = R \frac{A^c - B}{(A(D_0/DR - 1))^c - B} \dots\dots\dots (3.20)$$

Donde:

- R = Distancia a la que se mide la deflexión DR
(Ejemplo: R = 60cm)
- D₀ = Deflexión Máxima
- DR = Deflexión a la distancia R
- A, B y C = Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en el cuadro 3.1

El valor de R5 sirve para determinar la longitud elástica (L₀) del pavimento según se explica a continuación:

Determinación de la longitud elástica (L₀)

La longitud elástica del pavimento puede calcularse usando la siguiente ecuación

$$L_0 = \frac{Y.R5 + \sqrt{(Y.R5)^2 - 4.A.X.R5}}{2} \dots\dots\dots (3.21)$$

Donde:

R5 = Calculado en la ecuación (3.20)

A = Radio de la huella circular de la carga

X,Y = Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en el cuadro 3.2

El valor de L₀ sirve para determinar el módulo de elasticidad de la subrasante (E_o) según se explica a continuación.

b) Determinación del Módulo de Elasticidad de la Subrasante (E_o)

La determinación del módulo de elasticidad de la subrasante constituye un punto central de la metodología de evaluación.

Primer Paso

Consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado el valor A/ L₀. La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión máxima (s = P/ D_o).

La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$S_0/S = 1 - M (A/ L_0 - 0.10) \dots\dots\dots (3.22)$$

Donde:

S₀ = Rigidez para carga puntual

S = Rigidez para carga de área

M = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para H/ L₀ = 10; μ = 0.5, M= 0.52

Para H/ L₀ = 10; μ = 0,4, M = 0.48

Para $H/L_0 = \infty$; μ =cualquier valor, $M= 0.44$

Segundo Paso

Una vez determinado el valor de S_0/S se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:

$$E_0 = K.I.P \frac{(S_0/S)}{L_0, D_0} \dots\dots\dots (3.23)$$

Donde:

K = Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la subrasante y que adopta los siguientes valores:

Para $\mu = 0.5$; $K= 1.5$

Para $\mu = 0,4$; $K= 1,633$

I = coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para $H/L_0= 10$; $\mu = 0.4$; $I = 0.1689$

Para $H/L_0= 10$; $\mu = 0.5$; $I = 0.1614$

Para $H/L_0= \infty$; $\mu =$ cualquier valor, $I = 0.1925$

P = Carga total en la llanta doble.

L_0 = Longitud elástica (ecuación 3.21).

D_0 = Deflexión máxima.

c) 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 base granular, el módulo E^* representa a la carpeta y la base combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores de cada capa.

Una solución programable aproximada ha sido propuesta por Ullidtz (1977, 1980) y se basa en los siguientes conceptos. El módulo combinado (E^*) de la carpeta

asfáltica y la base, con un espesor $HC = H1 + H2$ se determina usando el concepto del espesor equivalente. Este espesor equivalente se determina con la siguiente ecuación:

$$He = 0.9 \times HC (E^* / E_o)^{1/3} \quad (3.24)$$

La relación entre la deflexión máxima (D_0), el módulo de elasticidad de la subrasante (E_o) y el módulo de elasticidad del pavimento (E^*) está expresada por la siguiente relación:

$$D_0 = \frac{(1+\mu)P}{2\pi} \left\{ \frac{1}{E^*} \left[\frac{2(1-\mu)}{r} - \frac{1}{R1} \left[(2(1-\mu) + \left(\frac{Z1}{R1}\right)^2) \right] \right] + \frac{1}{E_o} \left[\frac{1}{R2} \left(2(1-\mu) + \left(\frac{Z2}{R2}\right)^2 \right) - \frac{1}{R3} \left(2(1-\mu) + \left(\frac{Z3}{R3}\right)^2 \right) \right] \right\} \quad (3.25)$$

Donde:

$$r = 1.5A$$

$$Z1 = HC + 0.6 A^2 / HC$$

$$R1 = \sqrt{Z1^2 + (1.5A)^2}$$

$$Z2 = HE + 0.6 A^2 / HE$$

$$HE = \text{Ecuación (1.8)}$$

$$R2 = \sqrt{Z2^2 + (1.5A)^2}$$

$$Z3 = (HE + N L_0) + 0.6 A^2 / (HE + N L_0)$$

$$R3 = \sqrt{Z3^2 + (1.5A)^2}$$

$$N = 10 \text{ para base rocosa a espesor finito (H/ } L_0 = 10)$$

$$N = 100 \text{ para base rocosa a espesor infinito (H/ } L_0 = \infty)$$

$$P = \text{Carga de ensayo} = 2\pi A^2 p \text{ (p = presión de inflado)}$$

Esta ecuación se resuelve iterativamente para determinar el valor de E^* para cualquier combinación de valores E_o , HC , P , p , D_0 , R , DR , H/ L_0 y μ .

H/ L ₀	μ	A	B	C
∞	Cualquier Valor	3.115	0	0.584
10 DR/ D ₀ > 0.7	0.5	2.460	0	0.592
10 DR/ D ₀ < 0.7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/ D ₀ > 0.426	0.4	2.629	0	0.548
10 DR/ D ₀ < 0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

CUADRO Nº 3.1

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA EL CÁLCULO DE R5

(Fuente: MARIO HOFFMAN, PABLO DEL AGUILA, 1985)

H/ L ₀	μ	X	Y
10	0.5	0.183	0.620
10	0.4	0.192	0.602
∞	Cualquier Valor	0.180	0.525

CUADRO Nº 3.2

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE L₀

(Fuente: MARIO HOFFMAN, PABLO DEL AGUILA, 1985)

3.3.2 Modelo de Westergaard

Partiendo del principio de la hipótesis de un masivo de Boussinesq para el soporte de la vía, se obtiene una hipótesis simplificadora. Westergaard aporta otra variable que facilita los cálculos: el suelo de soporte se representa por una serie de resortes, para los cuales el desplazamiento vertical “δ” es proporcional a la presión vertical “p” en ese punto.

$$D_{rig} = \frac{E_1 h_1^3}{12(1 - \mu_1^2)} \tag{3.26}$$

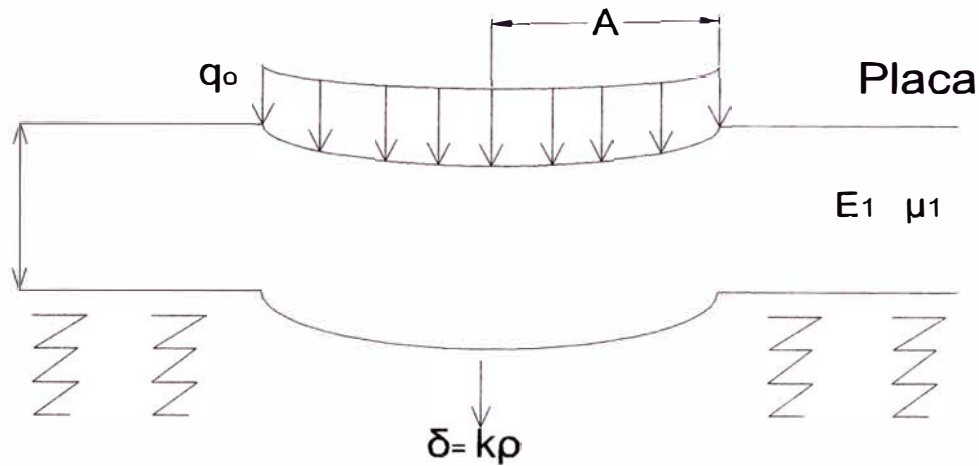


FIGURA N° 3.7 MODELO DE WESTERGAARD

3.3.3 Modelos bicapas

El comportamiento del suelo no es homogéneo. En el caso de los pavimentos es difícil caracterizar la transmisión de esfuerzos del pavimento a la subrasante, por lo que es necesario incluir una capa que representa esta transmisión.

3.3.4 Modelos multicapas (Burmister, 1943)

Estos modelos permiten determinar las grandes tendencias de variación (importancia del espesor, relación del módulo entre capas, radio de carga). Los modelos de n capas facilitan la esquematización de la estructura del pavimento y la subrasante. Una estructura tradicional se representa mejor mediante un esquema tricapa (suelo, cuerpo granular y capa asfáltica).

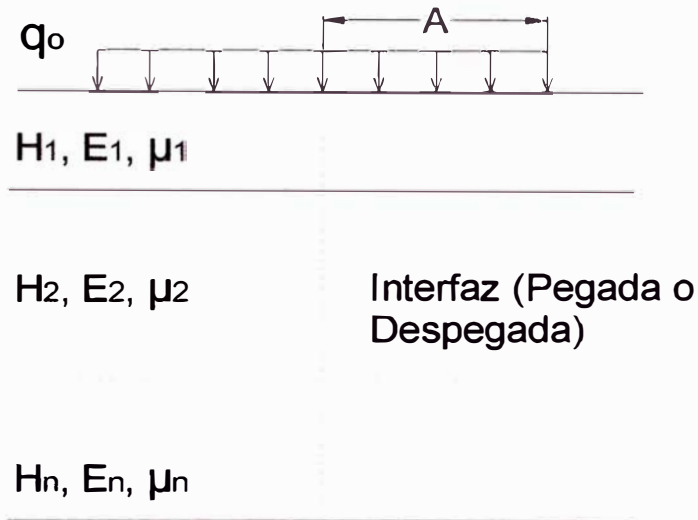


FIGURA N° 3.8 MODELO MULTICAPAS.

3.4 Métodos de Solución de Pavimentos

3.4.1 Fórmula de Boussinesq

El masivo semi infinito de Boussinesq se supone lineal, isotrópico, elástico, con módulo de elasticidad E_s y de coeficiente de Poisson μ .

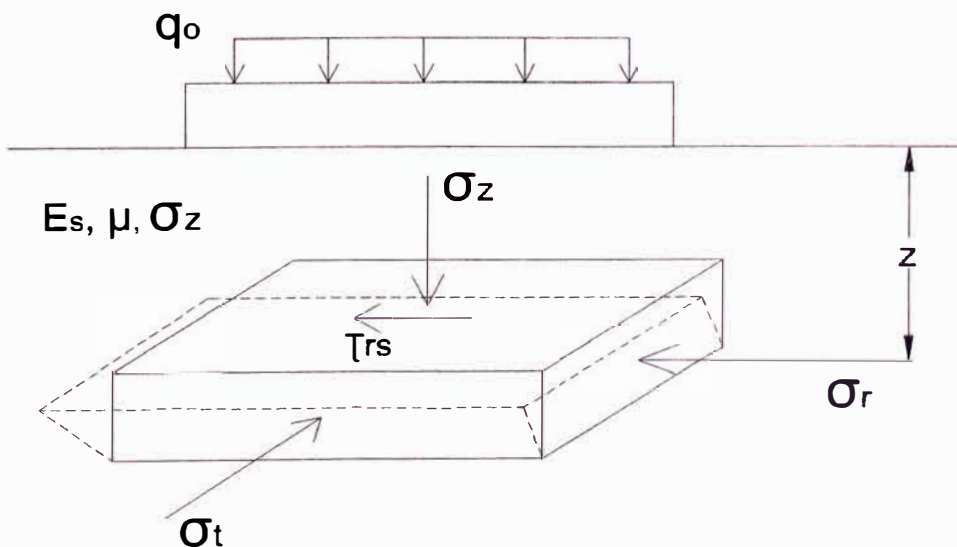


FIGURA N° 3.9 REPRESENTACIÓN DE UN MASIVO SEMI INFINITO.

Se halla la siguiente fórmula:

$$E_S = \frac{q_0}{\pi D_R} (1 + \mu^2) \left\{ \int_{-A}^A \int_{-\sqrt{A^2-x^2}}^{\sqrt{A^2-x^2}} \frac{1}{\sqrt{(x-R)^2 + y^2}} dy dx + \int_{-A}^A \int_{-\sqrt{A^2-x^2}}^{\sqrt{A^2-x^2}} \frac{1}{\sqrt{(x-R)^2 + y^2}} dy dx \right\} \quad (3.27)$$

Donde:

D_R : Deflexión a una distancia R.

E_S : Módulo de elasticidad del masivo semi infinito de Boussinesq

μ : Ratio de Poisson

A: Radio de la huella circular de contacto

q_0 : Presión de inflado.

R: Distancia a la que se mide la deflexión D_R

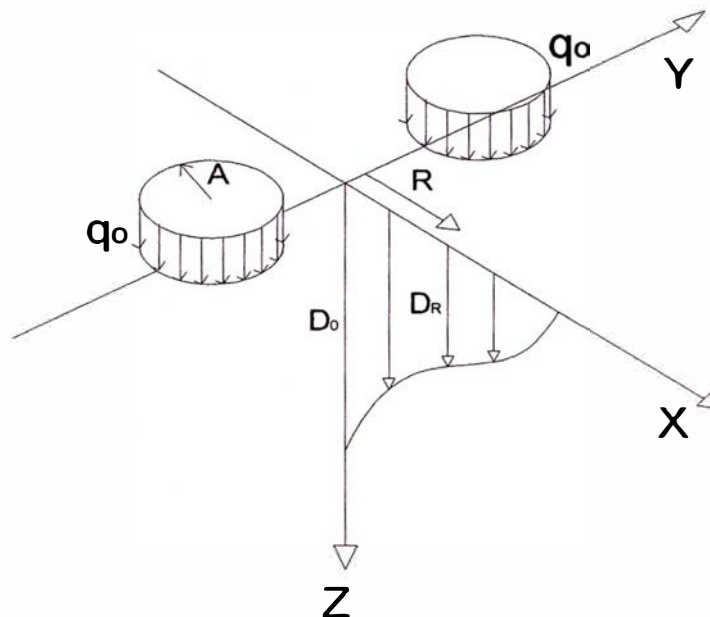


FIGURA N° 3.10 DEFLEXIÓN PRODUCIDA POR DOS LLANTAS

3.4.2 Fórmula de Westergaard

La carga P se aplica sobre un área elíptica. La calzada es una placa homogénea, isotrópica y elástica con módulo de elasticidad E y ratio de Poisson μ y su espesor h es constante.

Una manera de encontrar la rigidez del pavimento es con la siguiente ecuación:

$$D_{rig} = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}} \quad (3.28)$$

k es el módulo de reacción.

3.4.3 Fórmula de Palmer y Baber generalizada

La carga sobre la calzada se esquematiza por una presión unitaria q_0 , aplicada sobre un área circular de radio A .

La calzada está compuesta por $n-1$ capas horizontales de espesor h_i de módulo de elasticidad E_i y de coeficiente de Poisson μ_i igual a:

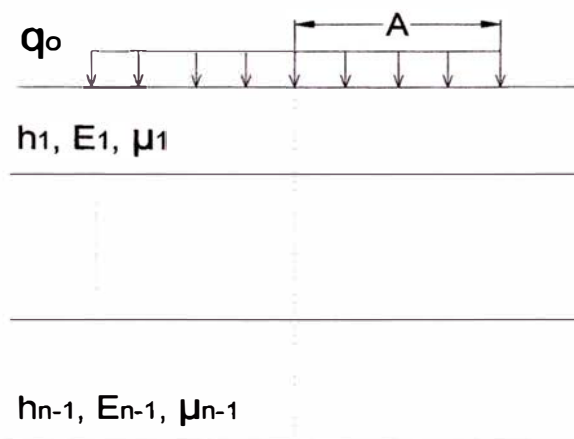


FIGURA N° 3.11 MODELO DE MULTICAPA PROPUESTO CON LA FÓRMULA DE PALMER Y BABER GENERALIZADA.

$$E_s = E_1 \left[\frac{h_1 + h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + h_3 \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + \dots + h_{n-1} \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right]^3 \quad (3.29)$$

La ecuación 3.27 será necesaria para relacionar los módulos de elasticidad del pavimento y de la subrasante, en la aplicación del método de Boussinesq.

3.4.4 Fórmula de Odemark

La carga sobre la calzada se esquematiza por una presión uniforme q_0 aplicada sobre un área circular de radio A.

La calzada está compuesta por $n-1$ capas horizontales, de espesor h_i , módulo de elasticidad E_i y de coeficiente de Poisson μ_i , la caracterización de la base es un masivo semi infinito de características mecánicas E_n y μ_n

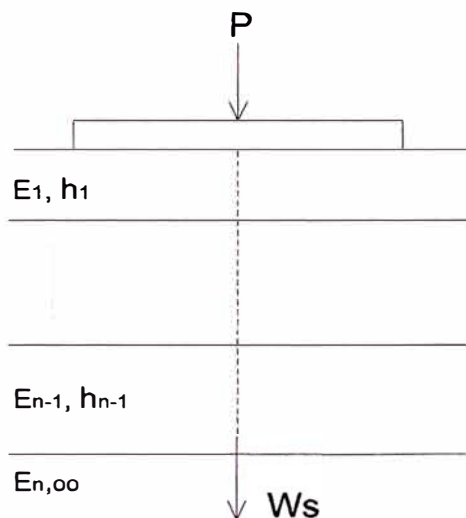


FIGURA N° 3.12 MODELO MULTICAPA PROPUESTO CON LA FÓRMULA DE ODEMARK

$$h_e = 0.8 \sum_{i=1}^{n-1} h_i \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n}} \quad (3.30)$$

3.4.5 Modelo de Elementos Finitos

Este modelo resuelve las ecuaciones constitutivas y de compatibilidad mediante la división del medio continuo en un conjunto de subdominios denominados elementos finitos. En este método se cumple principalmente las condiciones de frontera en los nodos del sistema que se resuelve.

Los puntos interiores a los elementos se aproximan con funciones de interpolación. En el caso de pavimentos existen programas como MICHIPAVE y EVERSTRESS FE que ayudan a resolver este problema.

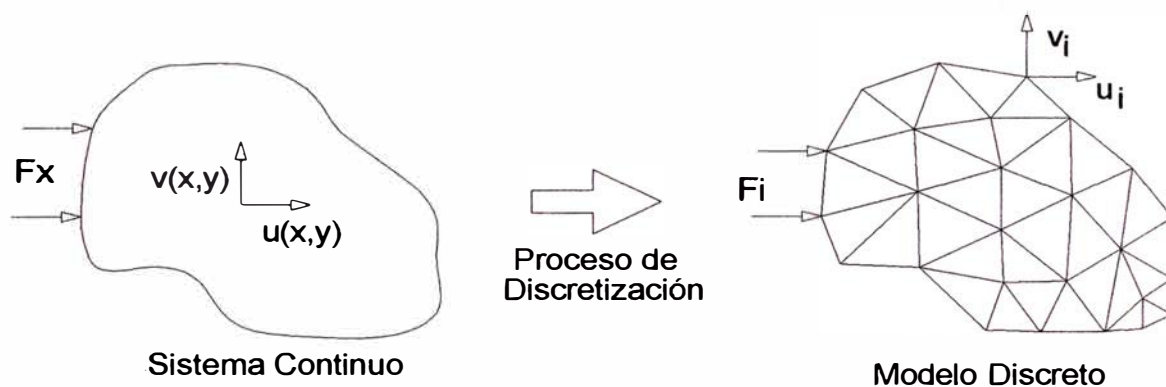


FIGURA N° 3.13 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

CAPITULO IV.- APLICACIÓN TRAMO km 64+000 – km 69+000

4.1 Aplicación de la Viga Benkelman.

Consiste en obtener las deflexiones verticales con la Viga Benkelman en la superficie de la calzada debido a la acción de una carga estándar de 8.2 toneladas, aplicada al pavimento a través de las llantas del eje trasero de un camión de eje simple con movimiento lento. Durante la evaluación de campo en el tramo del km 64+000 al km 69+000 se realizaron las siguientes actividades.

- Ubicación del segundo tramo km 64+000 al km 69+000.
- Ubicación de la progresiva de control, se registró 5 progresivas km 66+600, km 66+700, km 66+800, km 66+900 y km 67+000.
- Verificación del equipo requerido que consta de Viga Benkelman, cincel, comba, pizarra portátil, banderolas, regla de aluminio, termómetro y wincha metálica de 8 metros.



FIGURA Nº 4.1 VIGA BENKELMAN DE BRAZO SIMPLE (RELACIÓN DE BRAZOS 4/1)

- Registro de las lecturas de las deflexiones a 25cm, 40cm, 70 cm y una máxima a 100 cm.

- Registro de la temperatura de las capas asfálticas (tratamiento superficial slurry seal) medidas con termómetro digital de precisión en el centro de las capas.



FIGURA N° 4.2 REGISTRO DE LA TEMPERATURA DEL SLURRY SEAL

- Registro del espesor de las capa asfáltica (tratamiento superficial slurry seal).
- Medición del ahuellamiento.



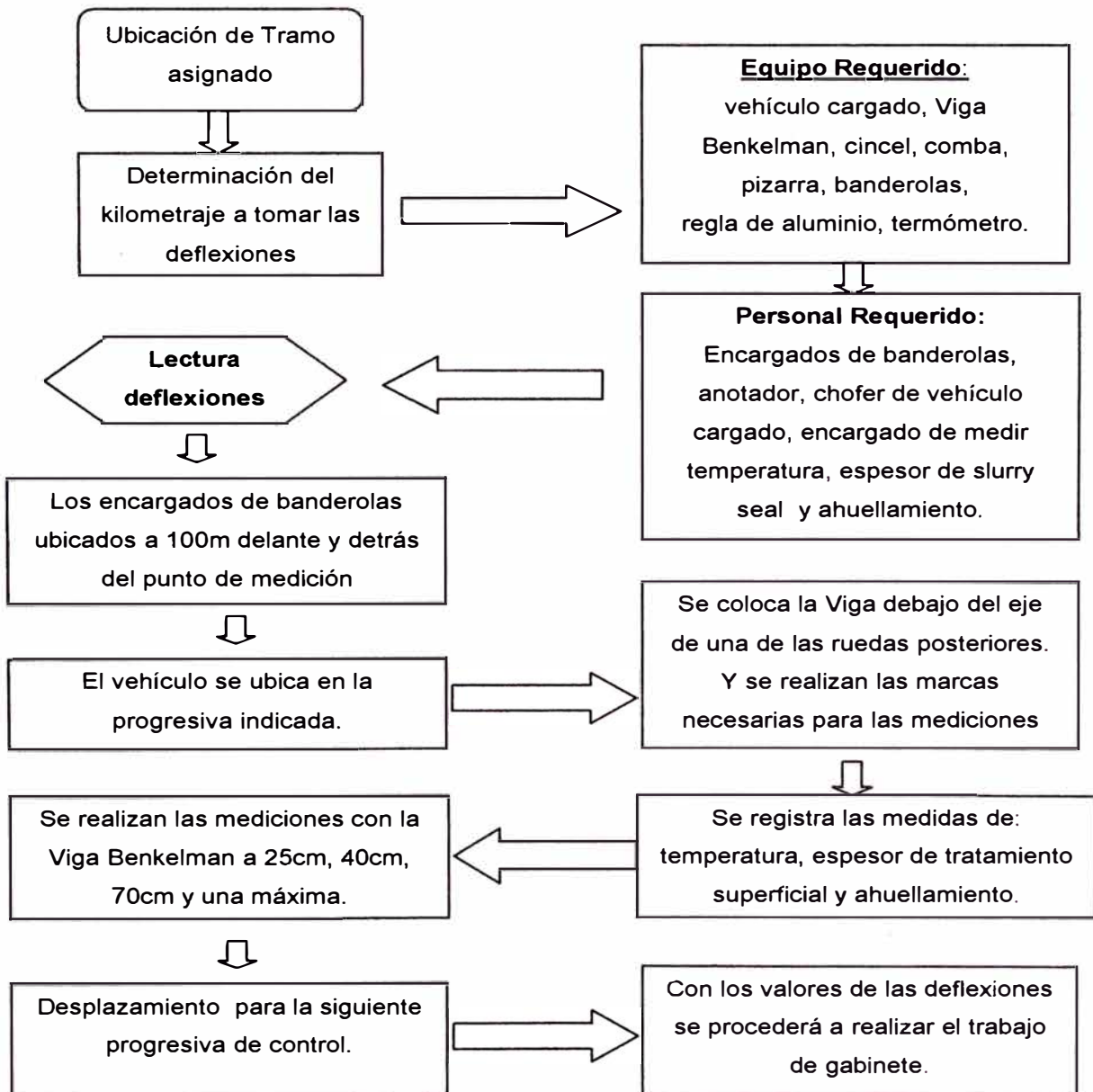
FIGURA N° 4.3 MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO.

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10^{-2} mm)				Espesor (m)	Temperat. (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS			
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}			Deflexiones(x 10^{-2} mm)			
								D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀
12	66+600	8	14	26	32	0.01	43.0	128	96	72	24
13	66+700	6	8	10	12	0.01	44.0	48	24	16	8
14	66+800	4	6	8	10	0.01	44.0	40	24	16	8
15	66+900	10	14	16	18	0.02	44.0	72	32	16	8
16	67+000	6	8	10	12	0.01	46.0	48	24	16	8

CUADRO N° 4.1 DATOS TOMADOS EN CAMPO.

(Fuente: Grupo 02 -Sección B, Curso Titulación, 2009)

Diagrama de flujo para la obtención de las deflexiones del pavimento con la Viga Benkelman.



4.2 Aplicación con el Modelo de HOGG

Para la aplicación se ha generado un cuadro desarrollado en EXCEL y automatizado con un macro.

Se realizó la evaluación de 52 puntos desde el km 59+000 hasta el km 104+000, que corresponden a los nueve tramos asignados a los nueve grupos.

Los parámetros considerados han sido:

- P (carga sobre 2 llantas del eje posterior del camión) = 4,100 kg. (para obtener el E_0 y el E^*).
- P' (carga sobre 1 llanta del eje posterior del camión) = 2,050 kg (para obtener el radio A de la huella circular de contacto).
- p (presión de inflado de la llanta del camión) = 5.62 kg/cm². (80 psi)
- μ (coeficiente de Poisson) = 0.4
- HC (espesor promedio del pavimento), se estima de 17cm.
- H =profundidad de la subrasante
- L_0 = Longitud característica.
- D_0 = Deflexión máxima.
- R_5 = Radio en la condición donde la deflexión es 0.5 D_0 .
- $H/ L_0 = 10$
- $N = 10$, para base rocosa a espesor finito ($H/ L_0 = 10$)

El proceso se inicia con la selección de un R , de los 3 puntos que se registraron en campo (el más cercano a $D_0 / 2$).

Se continúa con la obtención de los coeficientes A , B y C que dependen de la relación DR/ D_0 , estos coeficientes se obtienen del cuadro 3.1.

Se prosigue con la obtención de los coeficientes X e Y que dependen de $\mu = 0.4$ y de la relación $H/ L_0 = 10$, estos coeficientes se obtiene del cuadro 4.2.

Se continua con la obtención de los coeficientes M, K e I que dependen de $\mu=0.4$ y de la relación $H/ L_0 = 10$.

Con los coeficientes obtenidos se calcula el R5 (fórmula 3.20), L_0 (fórmula 3.21), S_0/S (fórmula 3.22) y el E_0 (fórmula 3.23).

Para hallar el E^* (módulo de elasticidad equivalente del pavimento), se utiliza los valores obtenidos de L_0 y E_0 , y mediante un proceso iterativo se resuelve la ecuación 3.25 que se inicia con un valor para E^* de 10 kg / cm^2 y finalmente se halla el valor de E^* (módulo de elasticidad del pavimento) para cada punto.

**PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E*
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 2, km 64+000 HASTA km 69+000**

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.8	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	10
Presión de Inflado	5.62	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS								Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀	μ	R	DR/D ₀				
													Deflexiones(x10 ⁻² mm)			
12	66+600	8	14	26	32	128	96	72	24	0.4	40	0.563	23.6	310.16	2.82	
13	66+700	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,250.99	11.37	
14	66+800	4	6	8	10	40	24	16	8	0.4	25	0.600	14.3	1,358.45	12.35	
15	66+900	10	14	16	18	72	32	16	8	0.4	70	0.111	12.7	793.20	7.21	
16	67+000	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,250.99	11.37	

Mínimo	9.74	310.16	2.82
Máximo	23.62	1,358.45	12.35

E* mediante fórmula de ULLIDTZ												
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm²										
		Espesor del pavimento HC (cm)										
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35	
12	66+600	132,463	32,331	16,567	7,597	5,012	3,528	2,308	1,416	1,051	873	
13	66+700	91	11	29	207	379	542	735	928	1,029	1,086	
14	66+800	217	1,120	2,465	1,987	1,873	1,806	1,744	1,684	1,648	1,624	
15	66+900	83	9	34	371	541	643	727	790	815	827	
16	67+000	91	11	29	207	379	542	735	928	1,029	1,086	

E* mediante fórmula E*= 6.171428571 Eo (Lo / HC)³												
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm²										
		Espesor del pavimento HC (cm)										
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35	
12	66+600	201,673	49,237	25,209	11,474	7,469	5,131	3,151	1,613	934	588	
13	66+700	57,142	13,951	7,143	3,251	2,116	1,454	893	457	265	167	
14	66+800	194,898	47,583	24,362	11,089	7,218	4,959	3,045	1,559	902	568	
15	66+900	79,721	19,463	9,965	4,536	2,953	2,028	1,246	638	369	232	
16	67+000	57,142	13,951	7,143	3,251	2,116	1,454	893	457	265	167	

**CUADRO N° 4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE EL MODELO DE HOGG –
ULLIDTZ Y HOGG – FÓRMULA E***

**PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 2, km 64+000 HASTA km 69+000**

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.6245	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				μ	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ² mm)									
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
12	66+600	8	14	26	32	128	96	72	24	0.4	40	0.563	37.3	232.24	2.11
13	66+700	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,196.62	10.88
14	66+800	4	6	8	10	40	24	16	8	0.4	25	0.600	23.9	1,122.51	10.20
15	66+900	10	14	16	18	72	32	16	8	0.4	70	0.111	21.7	679.19	6.17
16	67+000	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,196.62	10.88

Mínimo	18.07	232.24	2.11
Máximo	37.36	1,198.62	10.88

E* mediante fórmula de ULLIDTZ											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
12	66+600	368,148	89,873	46,026	20,993	13,718	9,491	5,945	3,253	2,110	1,553
13	66+700	183	17	1,369	1,473	1,464	1,452	1,433	1,408	1,389	1,374
14	66+800	272,108	66,399	34,051	15,716	10,487	7,523	5,134	3,429	2,734	2,387
15	66+900	91,976	22,431	11,523	5,399	3,691	2,746	2,005	1,486	1,270	1,158
16	67+000	183	17	1,369	1,473	1,464	1,452	1,433	1,408	1,389	1,374

**CUADRO N° 4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE LAS FÓRMULAS DE LA FHWA –
ULLIDTZ**

CAPITULO V.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- En la tabla 4.2 correspondiente al tramo 2; km 64+000 – km 69+000 se obtienen valores del CBR que varían entre 2.82% y 12.35%; para este tramo los datos proporcionados por la concesionaria CGC para el valor del CBR es de 20%, se puede observar que el modelo de Hogg calcula valores de CBR inferiores a los de campo.
- El MTC recomienda que la relación E^* / E_o debe estar entre el rango de 2 a 4 para que la estructura de pavimento sea considerada como adecuadamente diseñada. Los valores obtenidos para el cociente mencionado en el tramo en el tramo 2 para un espesor de pavimento de 17 cm, son 11.37, 0.43, 1.33, 0.81 y 0.43. Se puede observar que no existen valores que cumplen la condición de MTC.
- El MTC indica que la longitud característica (L_0) debe variar entre 15 cm y 80 cm, en el cuadro 4.2 se puede apreciar que los valores obtenidos son 9.7 cm, 12.2 cm, 17.5 cm, 9.7 cm y 14.3 cm, estos valores tienden al límite inferior recomendado por el MTC y corresponde a un pavimento débil sobre una subrasante débil.
- El MTC indica que a menor espesor de pavimento (HC), su módulo de elasticidad (E^*) se incrementa, en el tramo 2 se puede apreciar esa tendencia en las progresivas km 66+600 y km 66+800.

CONCLUSIONES

- Los valores de la longitud característica de la subrasante (L_0) del modelo de Hogg tienen aproximación a los valores de L_0 calculados con el modelo de Hogg teórico, y los valores del módulo de elasticidad de la subrasante (E_0) de la FHWA tienen aproximación a los valores de E_0 calculados con el modelo de Hogg teórico, ver el anexo 10.
- Para obtener una buena estimación del valor de R5 es necesario tomar como mínimo la lectura de la deflexión a 25, 40, 50, 60, 75, 100 y 200 cm en cada progresiva de control.
- Para realizar una evaluación estructural completa del tramo es necesario que se realice la lectura de deflexiones cada 100 metros de manera continua. El tramo 2 tiene una longitud de 5 km y se debió tomar 51 progresivas de control.

RECOMENDACIONES

- Las mediciones de campo deberán ser tomadas por personal calificado en progresivas de control continuas cada 100 metros.
- Calibrar adecuadamente el camión que se va utilizar.
- Se debe elaborar una lista de control de los equipos que se va utilizar para que el responsable del trabajo en campo pueda verificarlo.
- Se debe elaborar el procedimiento de la toma de datos en campo y se debe ubicar en un lugar visible cuando se realice el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. DASHKÓ R.E., A.A. KAGÁN "Mecánica de Suelos en la Práctica de la Geología Aplicada a la Ingeniería", MIR. RUSIA 1980.
2. HAZZARD, JAMES F., YACOB TRAMER E. "Stresses under footing in multilayered soils: a comparative study", University of Toronto, Canada, 2007.
3. HOFFMAN, MARIO S. - LOUIS BERGER INTERNACIONAL INC., PABLO M. DEL AGUILA,. LAGESA INGENIEROS CONSULTORES. "Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)" Octubre, 1985.
4. HUANG, YANG H. "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall. United States of America, 1993.
5. REYES, FREDY L. "Diseño de Pavimentos por Métodos Racionales". Tomo I. Universidad de Los Andes. Bogotá, 1999.
6. TIMOSHENKO S., WOINOWOSKY-KRIEGER S. "Teoría de Placas y Láminas", URMO SA, España, 1975

ANEXOS

ANEXO N° 01

Procesamiento con HOGG – ULLIDTZ (archivo excel automatizado)

Para HC = 15 cm	59
Para HC = 17 cm	60
Para HC = 20 cm	61

ANEXO N° 02 – Tramo 1 km 59+000- km 64+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	62
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	63

ANEXO N° 03 – Tramo 3 km 69+000- km 74+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	64
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	65

ANEXO N° 04 – Tramo 4 km 74+000- km 79+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	66
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	67

ANEXO N° 05 – Tramo 5 km 79+000- km 84+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	68
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	69

ANEXO N° 06 – Tramo 6 km 84+000- km 89+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	70
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	71

ANEXO N° 07 – Tramo 7 km 89+000- km 94+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	72
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	73

ANEXO N° 08 – Tramo 8 km 94+000- km 99+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	74
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	75

ANEXO N° 09 – Tramo 9 km 94+000- km 99+000

Obtención de L_0 y E_0 por Hogg. E^* por ULLIDTZ y por fórmula E^*	76
Obtención de L_0 y E_0 por FHWA. E^* por ULLIDTZ	77

ANEXO N° 10

Datos de L_0 y E_0 por HOGG TEORICO, HOGG y FHWA – Tramo 3	78
--	----

ANEXO N° 01 Procesamiento con HOGG – ULLIDTZ (archivo excel automatizado)

Para HC = 15 cm

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ CARRETERA CAÑETE -YAUYOS-CHUPACA, KM 59+000 HASTA KM 104+000

Datos Generales :
 A (radio) 10.78 cm
 HC (cm) 15 cm
 Carga de Ensayo (Kg) 2050 kg
 Presión de Inflado 5.62 kg/cm²
 Relación de brazos 4 / 1
 Coeficiente de Poisson u 0,4
 N 10
 H/Lo 10

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS						Lo cm	Eo kg/cm²	E* pavimento kg/cm²
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				R	DR / Do			
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀					
1	59+300	6	12	16	28	112	88	64	48	70	0.42858	32.1	278.6	13,039.9
2	59+400	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	458.6
3	59+500	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	458.6
4	59+600	8	10	16	20	80	48	40	16	40	0.500	19.9	559.3	4,596.8
5	59+700	10	14	14	20	80	40	24	24	25	0.500	9.7	750.3	226.9
6	59+800	12	20	22	26	104	56	24	16	25	0.538	11.5	566.0	250.6
7	59+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	933.1
8	60+000	12	16	24	26	104	56	40	8	25	0.538	11.5	566.0	250.6
9	60+100	14	32	34	36	144	88	16	8	25	0.611	14.8	370.6	643.9
10	60+200	14	34	36	38	152	96	16	8	25	0.632	15.8	339.0	886.4
11	60+300	16	32	44	48	192	128	64	16	25	0.667	17.7	251.1	1,210.9
12	66+600	8	14	26	32	128	96	72	24	40	0.563	23.6	310.1	5,008.4
13	66+700	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	378.2
14	66+800	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,866.0
15	66+900	10	14	16	18	72	32	16	8	70	0.111	12.7	793.1	538.4
16	67+000	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	378.2
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	378.2
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	458.6
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	40	0.455	17.5	552.2	2,497.3
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	378.2
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	25	0.600	14.3	679.1	933.1
22	76+600	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	2,421.7
23	76+700	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	2,421.7
24	76+800	4	8	10	12	48	32	16	8	25	0.667	17.7	1,004.5	4,843.4
25	76+900	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	458.6
26	77+000	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	458.6
27	80+100	6	10	14	18	72	48	32	16	40	0.444	17.0	687.1	2,666.5
28	80+200	8	12	20	26	104	72	56	24	40	0.538	22.1	400.0	5,048.7
29	80+300	10	16	24	30	120	80	56	24	40	0.467	18.1	396.3	2,129.3
30	80+400	8	18	24	26	104	72	32	8	25	0.692	19.3	439.6	3,134.8
31	80+500	12	18	28	32	128	80	56	16	40	0.438	16.7	391.2	1,359.1
32	84+600	6	12	14	18	72	48	24	16	25	0.667	17.7	669.7	3,228.9
33	84+700	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,866.0
34	84+800	6	8	12	14	56	32	24	8	25	0.571	12.9	1,011.7	768.4
35	84+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	933.1
36	85+000	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	283.6
37	91+100	10	16	20	22	88	48	24	8	25	0.545	11.8	664.3	324.2
38	91+200	8	14	20	22	88	56	32	8	25	0.636	16.1	580.5	1,660.8
39	91+300	8	14	18	24	96	64	40	24	40	0.417	15.8	537.1	1,392.4
40	91+400	12	16	20	48	192	144	128	112	70	0.583	47.0	117.6	17,967.3
41	91+500	8	14	16	20	80	48	24	16	25	0.600	14.3	679.1	933.1
42	97+800	20	28	40	50	200	120	88	40	40	0.440	16.8	249.3	901.7
43	97+900	12	18	20	22	88	40	16	8	70	0.091	11.1	673.2	271.7
44	98+000	8	12	14	16	64	32	16	8	25	0.500	9.7	937.8	283.6
45	98+100	8	10	12	14	56	24	16	8	40	0.286	10.3	1,069.8	357.1
46	98+200	14	24	28	30	120	64	24	8	25	0.533	11.2	492.8	204.2
47	100+500	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	283.6
48	100+600	12	14	20	22	88	40	32	8	40	0.364	13.5	632.0	625.9
49	100+700	8	10	12	14.1	56	24	16	8	40	0.291	10.6	1,060.0	369.9
50	100+800	12	14	32	44	176	128	120	48	40	0.682	32.7	174.7	8,662.8
51	100+900	12	20	24	28	112	64	32	16	25	0.571	12.9	505.8	384.2
52	101+000	8	20	28	30	120	88	40	8	40	0.333	12.3	480.7	282.7

Para HC = 17 cm

**PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , KM 59+000 HASTA KM 104+000**

Datos Generales :

A (radio)	10.78	cm
HC (cm)	17	cm
Carga de Ensayo (Kg)	2050	kg
Presión de Inflado	5.62	kg/cm ²
Relación de brazos	4 / 1	
Coefficiente de Poisson u	0.4	
N	10	
H/Lo	10	

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				R	DR/D ϕ	L ϕ cm	E ϕ kg/cm ²	E* pavimento kg/cm ²
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)								
						D ϕ	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀					
1	59+300	6	12	16	28	112	88	64	48	70	0.42858	32.1	278.6	9,036.4
2	59+400	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	572.3
3	59+500	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	572.3
4	59+600	8	10	16	20	80	48	40	16	40	0.500	19.9	559.3	3,320.9
5	59+700	10	14	14	20	80	40	24	24	25	0.500	9.7	750.3	324.6
6	59+800	12	20	22	26	104	56	24	16	25	0.538	11.5	566.0	332.9
7	59+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	900.5
8	60+000	12	16	24	26	104	56	40	8	25	0.538	11.5	566.0	332.9
9	60+100	14	32	34	36	144	88	16	8	25	0.611	14.8	370.6	582.9
10	60+200	14	34	36	38	152	96	16	8	25	0.632	15.8	339.0	731.3
11	60+300	16	32	44	48	192	128	64	16	25	0.667	17.7	251.1	912.4
12	66+600	8	14	26	32	128	96	72	24	40	0.563	23.6	310.1	3,525.0
13	66+700	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	541.1
14	66+800	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,800.8
15	66+900	10	14	16	18	72	32	16	8	70	0.111	12.7	793.1	640.6
16	67+000	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	541.1
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	541.1
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	572.3
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	40	0.455	17.5	552.2	1,895.1
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	541.1
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	25	0.600	14.3	679.1	900.5
22	76+600	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	1,824.9
23	76+700	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	1,824.9
24	76+800	4	8	10	12	48	32	16	8	25	0.667	17.7	1,004.5	3,649.6
25	76+900	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	572.3
26	77+000	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	572.3
27	80+100	6	10	14	18	72	48	32	16	40	0.444	17.0	687.1	2,062.2
28	80+200	8	12	20	26	104	72	56	24	40	0.538	22.1	400.0	3,579.1
29	80+300	10	16	24	30	120	80	56	24	40	0.467	18.1	396.3	1,587.3
30	80+400	8	18	24	26	104	72	32	8	25	0.692	19.3	439.6	2,284.7
31	80+500	12	18	28	32	128	80	56	16	40	0.438	16.7	391.2	1,067.7
32	84+600	6	12	14	18	72	48	24	16	25	0.667	17.7	669.7	2,433.1
33	84+700	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,800.8
34	84+800	6	8	12	14	56	32	24	8	25	0.571	12.9	1,011.7	885.1
35	84+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	900.5
36	85+000	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	405.8
37	91+100	10	16	20	22	88	48	24	8	25	0.545	11.8	664.3	421.1
38	91+200	8	14	20	22	88	56	32	8	25	0.636	16.1	580.5	1,347.2
39	91+300	8	14	18	24	96	64	40	24	40	0.417	15.8	537.1	1,150.7
40	91+400	12	16	20	48	192	144	128	112	70	0.583	47.0	117.6	12,383.3
41	91+500	8	14	16	20	80	48	24	16	25	0.600	14.3	679.1	900.5
42	97+800	20	28	40	50	200	120	88	40	40	0.440	16.8	249.3	704.2
43	97+900	12	18	20	22	88	40	16	8	70	0.091	11.1	673.2	368.4
44	98+000	8	12	14	16	64	32	16	8	25	0.500	9.7	937.8	405.8
45	98+100	8	10	12	14	56	24	16	8	40	0.286	10.3	1,069.8	502.2
46	98+200	14	24	28	30	120	64	24	8	25	0.533	11.2	492.8	275.3
47	100+500	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	405.8
48	100+600	12	14	20	22	88	40	32	8	40	0.364	13.5	632.0	665.6
49	100+700	8	10	12	14.1	56	24	16	8	40	0.291	10.6	1,060.0	516.1
50	100+800	12	14	32	44	176	128	120	48	40	0.682	32.7	174.7	6,000.6
51	100+900	12	20	24	28	112	64	32	16	25	0.571	12.9	505.8	442.5
52	101+000	8	20	28	30	120	88	40	8	40	0.333	12.3	480.7	350.1

Para HC = 20 cm

**PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ
 CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , KM 59+000 HASTA KM 104+000**

Datos Generales :
 A (radio) 10.78 cm
 HC (cm) 20 cm
 Carga de Ensayo (Kg) 2050 kg
 Presión de Inflado 5.62 kg/cm²
 Relación de brazos 4 / 1
 Coeficiente de Poisson u 0.4
 N 10
 H/Lo 10

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							L _ø cm	E _ø	kg/cm ²	E* pavimento kg/cm ²
		Deflexiones(x10 ⁻² mm)				D _ø	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀	R	DR/D _ø					
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}											
1	59+300	6	12	16	28	112	88	64	48	70	0.42858	32.1	278.6	5,685.0		
2	59+400	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	674.2		
3	59+500	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	674.2		
4	59+600	8	10	16	20	80	48	40	16	40	0.500	19.9	559.3	2,298.9		
5	59+700	10	14	14	20	80	40	24	24	25	0.500	9.7	750.3	440.2		
6	59+800	12	20	22	26	104	56	24	16	25	0.538	11.5	566.0	415.3		
7	59+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	870.2		
8	60+000	12	16	24	26	104	56	40	8	25	0.538	11.5	566.0	415.3		
9	60+100	14	32	34	36	144	88	16	8	25	0.611	14.8	370.6	534.4		
10	60+200	14	34	36	38	152	96	16	8	25	0.632	15.8	339.0	612.8		
11	60+300	16	32	44	48	192	128	64	16	25	0.667	17.7	251.1	680.1		
12	66+600	8	14	26	32	128	96	72	24	40	0.563	23.6	310.1	2,305.9		
13	66+700	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	733.6		
14	66+800	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,740.5		
15	66+900	10	14	16	18	72	32	16	8	70	0.111	12.7	793.1	725.8		
16	67+000	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	733.6		
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	733.6		
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	25	0.556	12.2	802.8	674.2		
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	40	0.455	17.5	552.2	1,427.9		
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	25	0.500	9.7	1,250.5	733.6		
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	25	0.600	14.3	679.1	870.2		
22	76+600	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	1,360.2		
23	76+700	8	16	22	24	96	64	32	8	25	0.667	17.7	502.3	1,360.2		
24	76+800	4	8	10	12	48	32	16	8	25	0.667	17.7	1,004.5	2,720.4		
25	76+900	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	674.2		
26	77+000	8	12	16	18	72	40	24	8	25	0.556	12.2	802.8	674.2		
27	80+100	6	10	14	18	72	48	32	16	40	0.444	17.0	687.1	1,596.9		
28	80+200	8	12	20	26	104	72	56	24	40	0.538	22.1	400.0	2,380.5		
29	80+300	10	16	24	30	120	80	56	24	40	0.467	18.1	396.3	1,162.8		
30	80+400	8	18	24	26	104	72	32	8	25	0.692	19.3	439.6	1,608.5		
31	80+500	12	18	28	32	128	80	56	16	40	0.438	16.7	391.2	844.4		
32	84+600	6	12	14	18	72	48	24	16	25	0.667	17.7	669.7	1,813.6		
33	84+700	4	6	8	10	40	24	16	8	25	0.600	14.3	1,358.3	1,740.5		
34	84+800	6	8	12	14	56	32	24	8	25	0.571	12.9	1,011.7	977.6		
35	84+900	8	12	18	20	80	48	32	8	25	0.600	14.3	679.1	870.2		
36	85+000	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	550.2		
37	91+100	10	16	20	22	88	48	24	8	25	0.545	11.8	664.3	514.0		
38	91+200	8	14	20	22	88	56	32	8	25	0.636	16.1	580.5	1,107.9		
39	91+300	8	14	18	24	96	64	40	24	40	0.417	15.8	537.1	966.1		
40	91+400	12	16	20	48	192	144	128	112	70	0.583	47.0	117.6	7,675.3		
41	91+500	8	14	16	20	80	48	24	16	25	0.600	14.3	679.1	870.2		
42	97+800	20	28	40	50	200	120	88	40	40	0.440	16.8	249.3	552.6		
43	97+900	12	18	20	22	88	40	16	8	70	0.091	11.1	673.2	469.1		
44	98+000	8	12	14	16	64	32	16	8	25	0.500	9.7	937.8	550.2		
45	98+100	8	10	12	14	56	24	16	8	40	0.286	10.3	1,069.8	666.5		
46	98+200	14	24	28	30	120	64	24	8	25	0.533	11.2	492.8	348.5		
47	100+500	8	10	14	16	64	32	24	8	25	0.500	9.7	937.8	550.2		
48	100+600	12	14	20	22	88	40	32	8	40	0.364	13.5	632.0	692.5		
49	100+700	8	10	12	14.1	56	24	16	8	40	0.291	10.6	1,060.0	678.3		
50	100+800	12	14	32	44	176	128	120	48	40	0.682	32.7	174.7	3,770.7		
51	100+900	12	20	24	28	112	64	32	16	25	0.571	12.9	505.8	488.8		
52	101+000	8	20	28	30	120	88	40	8	40	0.333	12.3	480.7	409.7		

ANEXO N° 02 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 1

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 1, km 59+000 HASTA km 64+000

Datos Generales :		
A (radio de huella)	10.77	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2060	kg
Presión de Inflado	5.626	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante Modelo de HOGG

N°	Progresiva km	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %	
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀							
1	59+300	6	12	16	28	112	88	64	48	0.4	70	0.4286	32.1	279	2.53	
2	59+400	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	12.2	803	7.30	
3	59+500	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	25	0.556	12.2	803	7.30	
4	59+600	8	10	16	20	80	48	40	16	0.4	40	0.500	19.9	559	5.08	
5	59+700	10	14	14	20	80	40	24	24	0.4	70	0.300	23.9	492	4.47	
6	59+800	12	20	22	26	104	56	24	16	0.4	70	0.154	15.4	502	4.56	
7	59+900	8	12	18	20	80	48	32	8	0.4	40	0.400	15.1	661	6.01	
8	60+000	12	16	24	26	104	56	40	8	0.4	40	0.385	14.4	520	4.73	
9	60+100	14	32	34	36	144	88	16	8	0.4	25	0.611	14.8	371	3.37	
10	60+200	14	34	36	38	152	96	16	8	0.4	25	0.632	15.8	339	3.08	
11	60+300	16	32	44	48	192	128	64	16	0.4	25	0.667	17.7	251	2.28	
													Mínimo	12.23	251.15	2.28
													Máximo	32.16	802.96	7.30

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva km	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²										
		Espesor del pavimento HC (cm)										
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35	
1	59+300	349,571	85,336	43,704	19,944	13,044	9,039	5,687	3,153	2,085	1,565	
2	59+400	78	9	30	292	460	574	676	756	790	808	
3	59+500	78	9	30	292	460	574	676	756	790	808	
4	59+600	118,551	28,927	14,839	6,867	4,602	3,325	2,301	1,575	1,279	1,130	
5	59+700	219,886	53,670	27,501	12,606	8,311	5,843	3,813	2,326	1,717	1,420	
6	59+800	22,150	5,375	2,805	1,466	1,136	966	835	738	694	668	
7	59+900	22,601	5,465	2,883	1,595	1,291	1,135	1,014	921	877	850	
8	60+000	8,830	2,071	1,187	842	767	725	690	659	641	630	
9	60+100	10,026	2,411	1,292	765	646	584	535	497	477	465	
10	60+200	18,699	4,546	2,358	1,188	889	733	614	528	489	468	
11	60+300	29,757	7,255	3,730	1,758	1,213	914	681	518	450	414	

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$

N°	Progresiva km	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²										
		Espesor del pavimento HC (cm)										
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35	
1	59+300	457,066	111,588	57,133	26,005	16,928	11,629	7,142	3,657	2,116	1,333	
2	59+400	72,528	17,707	9,066	4,127	2,686	1,845	1,133	580	336	211	
3	59+500	72,528	17,707	9,066	4,127	2,686	1,845	1,133	580	336	211	
4	59+600	218,580	53,364	27,322	12,436	8,096	5,561	3,415	1,749	1,012	637	
5	59+700	331,590	80,955	41,449	18,866	12,281	8,437	5,181	2,653	1,535	967	
6	59+800	91,343	22,300	11,418	5,197	3,383	2,324	1,427	731	423	266	
7	59+900	111,891	27,317	13,986	6,366	4,144	2,847	1,748	895	518	326	
8	60+000	76,981	18,794	9,623	4,380	2,851	1,959	1,203	616	356	224	
9	60+100	59,403	14,503	7,425	3,380	2,200	1,511	928	475	275	173	
10	60+200	66,446	16,222	8,306	3,780	2,461	1,691	1,038	532	308	194	
11	60+300	69,271	16,912	8,659	3,941	2,566	1,762	1,082	554	321	202	

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 1, km 59+000 HASTA km 64+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.7711	cm
Carga de Ensayo (T lanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.62453	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	9.99998	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

N°	Progresiva km	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				Lo y Eo mediante formulas de la FHWA						
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀	I _r	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %	
																Deflexiones(x10 ⁻² mm)
1	59+300	6	12	16	28	112	88	64	48	0.4	70	0.4268	30.0	201	1.83	
2	59+400	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	21.2	694	6.31	
3	59+500	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	25	0.556	21.2	694	6.31	
4	59+600	8	10	16	20	80	48	40	16	0.4	40	0.500	32.0	429	3.90	
5	59+700	10	14	14	20	80	40	24	24	0.4	70	0.300	37.9	367	3.33	
6	59+800	12	20	22	26	104	56	24	16	0.4	70	0.154	25.6	405	3.68	
7	59+900	8	12	18	20	80	48	32	8	0.4	40	0.400	25.1	537	4.88	
8	60+000	12	16	24	26	104	56	40	8	0.4	40	0.385	24.2	427	3.88	
9	60+100	14	32	34	36	144	88	16	8	0.4	25	0.611	24.7	302	2.75	
10	60+200	14	34	36	38	152	96	16	8	0.4	25	0.632	26.1	272	2.47	
11	60+300	16	32	44	48	192	128	64	16	0.4	25	0.667	28.9	197	1.79	
													Mínimo	21.19	196.65	1.79
													Máximo	49.99	693.69	6.31

N°	Progresiva km	E* mediante fórmula de ULLIDTZ									
		E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		6	8	10	13	15	17	20	25	30	35
1	59+300	853 281	288 314	186 688	48 596	31 689	21 839	13 533	7 152	4 391	3 023
2	59+400	79 027	19 268	9 907	4 676	3 233	2 442	1 828	1 397	1 216	1 121
3	59+500	79 027	19 268	9 907	4 676	3 233	2 442	1 828	1 397	1 216	1 121
4	59+600	386 560	94 363	48 333	22 076	14 462	10 052	6 374	3 616	2 464	1 905
5	59+700	610 979	149 154	76 984	34 837	22 760	15 742	9 853	5 378	3 476	2 547
6	59+800	140 361	34 257	17 558	8 066	5 339	3 779	2 504	1 501	1 204	1 019
7	59+900	168 231	41 057	21 046	9 679	6 419	4 558	3 043	1 950	1 504	1 285
8	60+000	110 487	26 962	13 825	6 374	4 246	3 037	2 060	1 361	1 076	935
9	60+100	87 723	21 408	10 975	5 052	3 356	2 390	1 605	1 041	811	698
10	60+200	104 223	25 437	13 036	5 983	3 953	2 790	1 836	1 143	859	721
11	60+300	116 821	28 516	14 609	6 684	4 392	3 070	1 975	1 165	830	668

ANEXO N° 03 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 3

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 3, km 69+000 HASTA km 74+000

Datos Generales :

A (radio de huella) 10.7711 cm
Carga de Ensayo (1 llanta) 2060 kg
Presión de Inflado 5.62453 kg/cm²
Presión de Inflado 80 psi
N 10
H/Lo 10
Relación de brazos 4 / 1
Factor de CBR 110

Lo y Eo mediante Modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				I	R	DR/D ₀			
						D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,251	11.37
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	12.2	803	7.30
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	0.4	40	0.455	17.5	552	5.02
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,251	11.37
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	0.4	25	0.600	14.3	679	6.17

Mínimo 9.7 552 5.02
Máximo 17.5 1,251 11.37

E* mediante fórmula de ULLIDTZ											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
17	71+500	91	11	29	207	379	542	735	928	1,029	1,086
18	71+600	78	9	30	292	460	574	676	756	790	808
19	71+700	60,810	14,825	7,625	3,607	2,502	1,898	1,430	1,102	964	892
20	71+800	91	11	29	207	379	542	735	928	1,029	1,086
21	71+900	8,687	561	1,232	993	937	903	872	842	824	812

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
17	71+500	57,142	13,951	7,143	3,251	2,116	1,454	893	457	265	167
18	71+600	72,528	17,707	9,066	4,127	2,686	1,845	1,133	580	336	211
19	71+700	146,563	35,782	18,320	8,339	5,428	3,729	2,290	1,173	679	427
20	71+800	57,142	13,951	7,143	3,251	2,116	1,454	893	457	265	167
21	71+900	97,449	23,791	12,181	5,544	3,609	2,479	1,523	780	451	284

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 3 km 69+000 HASTA km 74+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.6245	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA																		
N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				μ	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %			
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀							Deflexiones(x10 ² mm)		
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,196.62	10.88			
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	21.1	695.91	6.33			
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	0.4	40	0.455	28.5	434.82	3.95			
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,196.62	10.88			
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	0.4	25	0.600	23.9	561.25	5.10			

Mínimo	18.1	434.82	3.95
Máximo	28.5	1,196.62	10.88

E* mediante fórmula de ULLIDTZ											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
17	71+500	183	17	1,369	1,473	1,464	1,452	1,433	1,408	1,389	1,374
18	71+600	77,121	18,802	9,670	4,570	3,166	2,398	1,802	1,384	1,208	1,116
19	71+700	242,958	59,304	30,383	13,906	9,144	6,399	4,127	2,450	1,759	1,423
20	71+800	183	17	1,369	1,473	1,464	1,452	1,433	1,408	1,389	1,374
21	71+900	136,054	33,200	17,025	7,858	5,243	3,762	2,567	1,714	1,367	1,194

ANEXO N° 04 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 4

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*

CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 4, km 74+000 HASTA km 79+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.7711	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.62453	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	9.99998	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				μ	R	DR/D ₀	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	D ₀	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
22	76+600	8	16	22	24	96	64	32	8	0.4	25	0.667	17.7	502	4.57
23	76+700	8	16	22	24	96	64	32	8	0.4	25	0.667	17.7	502	4.57
24	76+800	4	8	10	12	48	32	16	8	0.4	25	0.667	17.7	1,005	9.13
25	76+900	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	70	0.111	12.7	793	7.21
26	77+000	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	70	0.111	12.7	793	7.21

Minimo 12.67 502 4.57
Máximo 17.74 1,005 9.13

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
22	76+600	59,512	14,510	7,460	3,516	2,426	1,828	1,362	1,036	899	828
23	76+700	59,512	14,510	7,460	3,516	2,426	1,828	1,362	1,036	899	828
24	76+800	119,024	29,022	14,918	7,032	4,852	3,656	2,724	2,072	1,799	1,657
25	76+900	83	9	34	371	541	643	727	790	815	827
26	77+000	83	9	34	371	541	643	727	727	815	827

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
22	76+600	138,543	33,824	17,318	7,882	5,131	3,525	2,165	1,108	641	404
23	76+700	138,543	33,824	17,318	7,882	5,131	3,525	2,165	1,108	641	404
24	76+800	277,086	67,648	34,636	15,765	10,262	7,050	4,329	2,217	1,283	808
25	76+900	79,721	19,463	9,965	4,536	2,953	2,028	1,246	638	369	232
26	77+000	79,721	19,463	9,965	4,536	2,953	2,028	1,246	638	369	232

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 4, km 74+000 HASTA km 79+000

Datos Generales :
A (radio de huella) 10.8 cm
Carga de Ensayo (1 llanta) 2050 kg
Presión de Inflado 5.62 kg/cm²
Presión de Inflado 80 psi
N 10
H/Lo 10
Relación de brazos 4 / 1
Factor de CBR 110

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS								Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do				
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀							
22	76+600	8	16	22	24	96	64	32	8	0.4	25	0.667	28.8	394	3.59	
23	76+700	8	16	22	24	96	64	32	8	0.4	25	0.667	28.8	394	3.59	
24	76+800	4	8	10	12	48	32	16	8	0.4	25	0.667	28.8	789	7.17	
25	76+900	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	70	0.111	21.7	679	6.17	
26	77+000	8	12	16	18	72	40	24	8	0.4	70	0.111	21.7	679	6.17	

Mínimo 21.70 394 3.59
Máximo 28.79 789 7.17

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²								
		Espesor del pavimento HC (cm)								
		5	10	13	15	17	20	25	30	35
22	76+600	231,251	28,918	13,232	8,697	6,081	3,914	2,311	1,650	1,329
23	76+700	231,251	28,918	13,232	8,697	6,081	3,914	2,311	1,650	1,329
24	76+800	462,502	57,836	26,464	17,394	12,161	7,828	4,622	3,300	2,657
25	76+900	91,976	11,523	5,399	3,691	2,746	2,005	1,486	1,270	1,158
26	77+000	91,976	11,523	5,399	3,691	2,746	2,005	1,486	1,270	1,158

ANEXO N° 05 : Obtención de L_0 , E_o y E^* (para diferentes HC) – Tramo 5

CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 5, km 79+000 HASTA km 84+000

Datos Generales :			
A (radio de huella)	10.771	om	
Carga de Ensayo (1 llanta)	2060	kg	
Presión de Inflado	6.6246	kg/cm²	
Presión de Inflado	80	psi	
N	10		
H/Lo	10		
Relación de brazos	4 / 1		
Factor de CBR	110		

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo om	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				A	R	DR/Do			
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
27	80+100	6	10	14	18	72	48	32	16	0.4	40	0.444	17.0	687	6.25
28	80+200	8	12	20	26	104	72	56	24	0.4	40	0.538	22.1	400	3.64
29	80+300	10	16	24	30	120	80	56	24	0.4	40	0.467	18.1	396	3.60
30	80+400	8	18	24	26	104	72	32	8	0.4	25	0.692	19.3	440	4.00
31	80+500	12	18	28	32	128	80	56	16	0.4	40	0.438	16.7	391	3.56
						Mínimo			16.65	391	3.56				
						Máximo			22.14	687	6.26				

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
27	80+100	63,225	15,409	7,936	3,795	2,672	2,066	1,599	1,271	1,132	1,057
28	80+200	132,650	32,374	16,594	7,627	5,053	3,582	2,383	1,515	1,162	988
29	80+300	53,033	12,933	6,645	3,116	2,133	1,590	1,164	866	742	678
30	80+400	80,109	19,544	10,030	4,657	3,139	2,288	1,610	1,132	937	838
31	80+500	31,451	7,661	3,951	1,909	1,362	1,070	846	688	619	583

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_o (L_o / HC)^3$

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
27	80+100	166,779	40,718	20,847	9,489	6,177	4,243	2,606	1,334	772	486
28	80+200	214,243	52,305	26,780	12,190	7,935	5,451	3,348	1,714	992	625
29	80+300	116,861	28,530	14,608	6,649	4,328	2,973	1,826	935	541	341
30	80+400	155,836	38,046	19,480	8,866	5,772	3,965	2,435	1,247	721	454
31	80+500	89,226	21,784	11,153	5,077	3,305	2,270	1,394	714	413	260

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 5, km 79+000 HASTA km 84+000

Datos Generales:

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.6245	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				L	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
27	80+100	6	10	14	18	72	48	32	16	0.4	40	0.444	27.7	544	4.95
28	80+200	8	12	20	26	104	72	56	24	0.4	40	0.538	35.2	302	2.75
29	80+300	10	16	24	30	120	80	56	24	0.4	40	0.467	29.4	310	2.82
30	80+400	8	18	24	26	104	72	32	8	0.4	25	0.692	31.0	340	3.09
31	80+500	12	18	28	32	128	80	56	16	0.4	40	0.438	27.2	311	2.83

Mínimo	27.23	302	2.76
Máximo	36.18	644	4.96

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
27	80+100	271,727	66,325	33,982	15,564	10,247	7,186	4,660	2,802	2,039	1,668
28	80+200	386,387	94,324	48,308	22,043	14,416	9,988	6,281	3,478	2,296	1,720
29	80+300	197,247	48,148	24,665	11,281	7,409	5,173	3,319	1,943	1,374	1,098
30	80+400	270,024	65,915	33,763	15,428	10,115	7,041	4,481	2,569	1,774	1,387
31	80+500	143,452	35,014	17,941	8,222	5,418	3,806	2,478	1,505	1,106	911

ANEXO N° 06 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 6

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*

CARRETERA CAÑETE -YAUYS- CHUPACA , TRAMO 6, km 84+000 HASTA km 89+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	6.6245	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				L	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
32	84+600	6	12	14	18	72	48	24	16	0.4	25	0.667	17.7	670	6.09
33	84+700	4	6	8	10	40	24	16	8	0.4	40	0.400	15.1	1,322	12.02
34	84+800	6	8	12	14	56	32	24	8	0.4	25	0.571	12.9	1,012	9.20
35	84+900	8	12	18	20	80	48	32	8	0.4	40	0.400	15.1	661	6.01
36	85+000	8	10	14	16	64	32	24	8	0.4	70	0.125	13.6	867	7.88

Mínimo	12.94	661	6.01
Máximo	17.74	1,322	12.02

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
32	84+600	79,345	19,348	9,947	4,689	3,234	2,437	1,816	1,381	1,199	1,104
33	84+700	608	320	5,765	3,189	2,582	2,270	2,028	1,843	1,753	1,701
34	84+800	112	12	49	563	772	888	980	1,044	1,068	1,078
35	84+900	304	160	2,883	1,595	1,291	1,135	1,014	921	877	850
36	85+000	112	11	72	789	789	938	967	981	982	979

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
32	84+600	184,724	45,099	23,090	10,510	6,842	4,700	2,886	1,478	855	539
33	84+700	223,783	54,634	27,973	12,732	8,288	5,694	3,497	1,790	1,036	652
34	84+800	108,327	26,447	13,541	6,163	4,012	2,756	1,693	867	502	316
35	84+900	111,891	27,317	13,986	6,366	4,144	2,847	1,748	895	518	326
36	85+000	108,198	26,416	13,525	6,156	4,007	2,753	1,691	866	501	315

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 6, km 84+000 HASTA km 89+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado (kg/cm ²)	5.6245	kg/cm ²
Presión de Inflado (lb/pulg ²)	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							R5 cm	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				I _a	R	DR/Do				
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀							
32	84+600	6	12	14	18	72	48	24	16	0.4	25	0.667	36.6	28.8	526	4.78
33	84+700	4	6	8	10	40	24	16	8	0.4	40	0.400	32.4	25.0	1077	9.79
34	84+800	6	8	12	14	56	32	24	8	0.4	25	0.571	29.3	22.1	861	7.82
35	84+900	8	12	18	20	80	48	32	8	0.4	40	0.400	32.4	25.0	538	4.89
36	85+000	8	10	14	16	64	32	24	8	0.4	70	0.125	30.3	23.0	726	6.60
													Mínimo	22.08	526	4.78
													Máximo	28.79	1077	9.79

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
32	84+600	308,335	75,263	38,558	17,643	11,596	8,107	5,219	3,081	2,200	1,772
33	84+700	331,917	81,004	41,524	19,100	12,671	9,002	6,018	3,866	2,989	2,557
34	84+800	130,319	31,787	16,322	7,617	5,175	3,817	2,746	1,994	1,683	1,524
35	84+900	165,959	40,502	20,762	9,550	6,335	4,501	3,009	1,933	1,495	1,278
36	85+000	141,835	34,605	17,755	8,229	5,529	4,011	2,798	1,940	1,589	1,412

ANEXO N° 07 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 7

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*

CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 7, km 89+000 HASTA km 94+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.6245	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ² mm)				I _a	R	DR/Do			
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
37	91+100	10	16	20	22	88	48	24	8	0.4	70	0.091	11.2	673	6.12
38	91+200	8	14	20	22	88	56	32	8	0.4	40	0.364	13.5	632	5.75
39	91+300	8	14	18	24	96	64	40	24	0.4	40	0.417	15.8	537	4.88
40	91+400	12	16	20	48	192	144	128	112	0.4	25	0.750	23.5	208	1.89
41	91+500	8	14	16	20	80	48	24	16	0.4	25	0.600	14.3	679	6.17
													11.15	208	1.89
													23.45	679	6.17

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
37	91+100	56	6	19	156	273	369	470	560	603	627
38	91+200	80	8	48	544	628	668	694	708	710	709
39	91+300	29,261	7,113	3,691	1,862	1,396	1,153	968	834	773	739
40	91+400	86,460	21,103	10,814	4,960	3,273	2,305	1,510	930	693	577
41	91+500	108	561	1,232	993	937	903	872	842	824	812

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
37	91+100	46,103	11,256	5,763	2,623	1,708	1,173	720	369	213	134
38	91+200	77,572	18,938	9,696	4,414	2,873	1,974	1,212	621	359	226
39	91+300	104,820	25,591	13,103	5,964	3,882	2,667	1,638	839	485	306
40	91+400	132,377	32,319	16,547	7,532	4,903	3,368	2,068	1,059	613	386
41	91+500	97,449	23,791	12,181	5,544	3,609	2,479	1,523	780	451	284

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 7, km 89+000 HASTA km 94+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.7711	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.62453	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi

N	9.99998
H/Lo	10
Relación de brazos	4 / 1

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS								R5 cm	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/D _o					
37	91+100	10	16	20	22	88	48	24	8	0.4	70	0.091	26.8	19.7	604	5.50	
38	91+200	8	14	20	22	88	56	32	8	0.4	40	0.364	30.1	22.9	530	4.82	
39	91+300	8	14	18	24	96	64	40	24	0.4	40	0.417	33.6	26.0	432	3.93	
40	91+400	12	16	20	48	192	144	128	112	0.4	25	0.750	45.6	37.1	156	1.42	
41	91+500	8	14	16	20	80	48	24	16	0.4	25	0.600	31.2	23.9	561	5.10	
													Mínimo	19.73	156	1.42	
													Máximo	37.11	604	5.50	

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
37	91+100	35,965	8,749	4,531	2,254	1,666	1,357	1,122	953	877	835
38	91+200	100,834	24,601	12,623	5,854	3,938	2,861	2,002	1,395	1,146	1,020
39	91+300	162,195	39,586	20,288	9,313	6,155	4,347	2,865	1,788	1,348	1,133
40	91+400	241,380	58,926	30,177	13,765	8,995	6,224	3,900	2,137	1,389	1,023
41	91+500	136,054	33,200	17,025	7,858	5,243	3,762	2,567	1,714	1,367	1,194

ANEXO N° 08 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 8

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*

CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 8, km 94+000 HASTA km 99+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.6245	kg/cm²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				μ	R	DR/Do	Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
42	97+800	20	28	40	50	200	120	88	40	0.4	40	0.440	16.8	249.32	2.27
43	97+900	12	18	20	22	88	40	16	8	0.4	70	0.091	11.2	673.41	6.12
44	98+000	8	12	14	16	64	32	16	8	0.4	70	0.125	13.6	867.08	7.88
45	98+100	8	10	12	14	56	24	16	8	0.4	70	0.143	14.8	954.31	8.68
46	98+200	14	24	28	30	120	64	24	8	0.4	25	0.533	11.2	492.94	4.48

Minimo 11.16 249.32 2.27
Máximo 18.78 964.31 8.68

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
42	97+800	21,067	5,132	2,645	1,273	904	706	553	446	400	376
43	97+900	56	6	19	156	273	369	470	560	603	627
44	98+000	112	11	72	789	892	938	967	981	982	979
45	98+100	195	15	3,210	1,925	1,636	1,486	1,367	1,271	1,223	1,193
46	98+200	42	5	14	118	205	276	349	414	445	462

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
42	97+800	58,150	14,197	7,269	3,309	2,154	1,480	909	465	269	170
43	97+900	46,103	11,256	5,763	2,623	1,708	1,173	720	369	213	134
44	98+000	108,198	26,416	13,525	6,156	4,007	2,753	1,691	866	501	315
45	98+100	151,752	37,049	18,969	8,634	5,620	3,861	2,371	1,214	703	442
46	98+200	34,619	8,452	4,327	1,970	1,282	881	541	277	160	101

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 8, km 94+000 HASTA km 99+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.77107	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050	kg
Presión de Inflado	5.624527	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	
Factor de CBR	110	

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS								Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ² mm)				I	R	DR/Do				
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀							
42	97+800	20	28	40	50	200	120	88	40	0.4	40	0.440	27.4	198	1.80	
43	97+900	12	18	20	22	88	40	16	8	0.4	70	0.091	19.7	604	5.50	
44	98+000	8	12	14	16	64	32	16	8	0.4	70	0.125	23.0	726	6.60	
45	98+100	8	10	12	14	56	24	16	8	0.4	70	0.143	24.6	781	7.10	
46	98+200	14	24	28	30	120	64	24	8	0.4	25	0.533	19.9	441	4.01	

Mínimo	19.73	198	1.80
Máximo	27.41	781	7.10

E* mediante fórmula de ULLIDTZ											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
42	97+800	93,953	22,932	11,750	5,383	3,546	2,490	1,619	979	717	589
43	97+900	35,965	8,749	4,531	2,254	1,666	1,357	1,122	953	877	835
44	98+000	141,835	34,605	17,755	8,229	5,529	4,011	2,798	1,940	1,589	1,412
45	98+100	220,341	53,772	27,568	12,695	8,438	6,015	4,050	2,638	2,063	1,779
46	98+200	28,026	6,820	3,528	1,742	1,276	1,030	843	709	650	617

ANEXO N° 09 : Obtención de L_0 , E_0 y E^* (para diferentes HC) – Tramo 9

PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL MODELO DE HOGG - ULLIDTZ y HOGG - FÓRMULA E^*
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 9, km 99+000 HASTA km 104+000

Datos Generales :

A (radio de huella) 10.7711 cm
Carga de Ensayo (1 llanta) 2050 kg
Presión de Inflado 6.62453 kg/cm²
Presión de Inflado 80 lbs / pulg²

N 9.99998
H/Lo 10
Relación de brazos 4 / 1
Factor de CBR 110

Lo y Eo mediante modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do			
						Do	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
47	100+500	8	10	14	16	64	32	24	8	0.4	40	0.375	14.0	856	7.78
48	100+600	12	14	20	22	88	40	32	8	0.4	40	0.364	13.5	632	5.75
49	100+700	8	10	12	14.1	56	24	16	8	0.4	70	0.291	23.4	710	6.45
50	100+800	12	14	32	44	176	128	120	48	0.4	40	0.682	32.7	175	1.59
51	100+900	12	20	24	28	112	64	32	16	0.4	25	0.571	12.9	506	4.60
52	101+000	8	20	28	30	120	88	40	8	0.4	25	0.733	22.1	347	3.15

Mínimo 12.94 175 1.59
Máximo 32.72 856 7.78

E* mediante fórmula de ULLIDTZ											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
47	100+500	125	12	841	1,047	1,054	1,050	1,040	1,024	1,011	1,001
48	100+600	80	8	48	544	628	668	694	708	710	709
49	100+700	290,604	70,928	36,347	16,673	11,006	7,755	5,085	3,138	2,343	1,954
50	100+800	232,317	56,713	29,045	13,253	8,666	6,003	3,772	2,084	1,372	1,024
51	100+900	56	6	25	282	386	444	490	522	534	539
52	101+000	114,908	28,044	14,374	6,607	4,377	3,103	2,064	1,313	1,007	856

E* mediante fórmula $E^* = 6.171428571 E_0 (L_0 / HC)^3$											
N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
47	100+500	116,416	28,422	14,552	6,624	4,312	2,962	1,819	931	539	339
48	100+600	77,572	18,938	9,696	4,414	2,873	1,974	1,212	621	359	226
49	100+700	446,468	109,001	55,809	25,402	16,536	11,359	6,976	3,572	2,067	1,302
50	100+800	302,350	73,816	37,794	17,202	11,198	7,693	4,724	2,419	1,400	881
51	100+900	54,163	13,223	6,770	3,082	2,006	1,378	846	433	251	158
52	101+000	185,615	45,316	23,202	10,561	6,875	4,723	2,900	1,485	859	541

PROCESAMIENTO DE DATOS CON LAS FÓRMULAS DE LA FHWA - ULLIDTZ
CARRETERA CAÑETE -YAUYOS- CHUPACA , TRAMO 9, km 99+000 HASTA km 104+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.771
Carga de Ensayo (1 llanta)	2050
Presión de Inflado	5.6245
Presión de Inflado	80
N	10
H/Lo	10
Relación de brazos	4 / 1
Factor de CBR	110

Lo y Eo mediante fórmulas de la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo cm	Eo kg/cm ²	CBR %
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/D _o			
						D _o	D ₂₅	D ₄₀	D ₇₀						
47	100+500	8	10	14	16	64	32	24	8	0.4	40	0.375	23.5	711	6.46
48	100+600	12	14	20	22	88	40	32	8	0.4	40	0.364	22.9	530	4.82
49	100+700	8	10	12	14.1	56	24	16	8	0.4	70	0.291	37.0	532	4.84
50	100+800	12	14	32	44	176	128	120	48	0.4	40	0.682	50.8	126	1.15
51	100+900	12	20	24	28	112	64	32	16	0.4	25	0.571	22.1	430	3.91
52	101+000	8	20	28	30	120	88	40	8	0.4	25	0.733	35.2	262	2.38

Mínimo 22.06 126 1.15
Máximo 60.85 711 6.46

E* mediante fórmula de ULLIDTZ

N°	Progresiva (km)	E* (Módulo de elasticidad del pavimento) en Kg / cm ²									
		Espesor del pavimento HC (cm)									
		5	8	10	13	15	17	20	25	30	35
47	100+500	158,880	38,768	19,884	9,191	6,147	4,427	3,045	2,062	1,661	1,460
48	100+600	100,834	24,601	12,623	5,854	3,938	2,861	2,002	1,395	1,146	1,020
49	100+700	813,541	198,603	101,709	46,394	30,320	20,982	13,150	7,209	4,690	3,460
50	100+800	564,506	137,814	70,568	32,149	20,962	14,444	8,948	4,723	2,893	1,986
51	100+900	65,160	15,893	8,161	3,809	2,588	1,909	1,373	997	841	762
52	101+000	334,744	81,717	41,851	19,097	12,489	8,653	5,442	3,013	1,989	1,490

ANEXO N° 10 · Datos de L_0 y E_0 por HOGG TEORICO, HOGG y FHWA – Tramo 3

CARRETERA CAÑETE -YAUYS- CHUPACA , TRAMO 3, km 69+000 HASTA km 74+000

Datos Generales :

A (radio de huella)	10.7711	cm
Carga de Ensayo (1 llanta)	2060	kg
Presión de Inflado	5.62453	kg/cm ²
Presión de Inflado	80	psi
N	10	
H/Lo	10	
Relación de brazos	4 / 1	

Lo y Eo mediante Modelo de HOGG TEORICO

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS							Lo cm	Eo kg/cm ²
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do		
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	12.4	920
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	16.3	493
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	0.4	40	0.455	19.9	340
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	12.4	920
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	0.4	25	0.600	18.2	404

Mínimo 12.4 340
Máximo 19.9 920

Lo y Eo mediante Modelo de HOGG

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS							Lo cm	Eo kg/cm ²
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do		
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,251
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	12.2	803
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	0.4	40	0.455	17.5	552
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	9.7	1,251
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	0.4	25	0.600	14.3	679

Mínimo 9.7 552
Máximo 17.5 1,251

Lo y Eo mediante la FHWA

N°	Progresiva (km)	Lecturas de campo con Viga Benkelman (10 ⁻² mm)				RESULTADOS							Lo cm	Eo kg/cm ²
		L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}	Deflexiones(x10 ⁻² mm)				μ	R	DR/Do		
17	71+500	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,197
18	71+600	8	14	16	18	72	40	16	8	0.4	25	0.556	21.1	696
19	71+700	8	12	16	22	88	56	40	24	0.4	40	0.455	28.5	435
20	71+800	6	8	10	12	48	24	16	8	0.4	25	0.500	18.1	1,197
21	71+900	8	14	18	20	80	48	24	8	0.4	25	0.600	23.9	561

Mínimo 18.1 435
Máximo 28.5 1,197