

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA
CAÑETE – YAUYOS – CHUPACA
CON VIGA BENKELMAN – MÉTODO EMPÍRICO
TRAMO Km. 59 + 000 – Km. 64 + 000

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JORGE LUIS VILCAPOMA VEGA

Lima – Perú

2009

DEDICATORIA

Dedicado a Jorge y Marina, mis padres, porque mis sueños son sus sueños, gracias papas por todo el apoyo que me han brindado desde que nací y hasta ahora.

ÍNDICE

RESUMEN

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	01
1.1 Antecedentes.....	01
1.2 Ubicación	04
1.3 Características de la carretera	05
1.3.1 Geografía.....	07
1.3.2 Geología.....	08
1.3.3 Hidrología.....	08
1.3.4 Clima.....	09
1.3.5 Estudio de suelos.....	10
1.4 Tramo Km 59+000 – Km 64+000	10
CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE	11
2.1 Estado del Arte de la Viga Benkelman	11
CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO	14
3.1 Evaluación estructural.....	14
3.1.1 Procedimiento de medición.....	15
3.2 Deflectometría método empírico CONREVIAl	16
3.2.1 Determinación de la deflexión recuperable.....	18
3.2.2 Análisis de tránsito-ejes equivalentes.....	19
3.2.3 Factores de equivalencia.....	19
3.2.4 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura....	20
3.2.5 Corrección de las deflexiones por estacionalidad.....	21
3.2.6 Determinación del radio de curvatura.....	21
3.2.7 Deflectograma.....	23
3.2.8 Análisis estadístico de los resultados.....	24

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 59+000 – KM 64+000...	26
4.1 Recopilación de datos de campo	26
4.2 Procesamiento de datos	27
CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADO	29
5.1 Gráfico de Deflectograma	29
5.2 Alternativa de solución	30
5.3 Interacción con otros tramos	32
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	38

RESUMEN

La evaluación estructural de un pavimento, aplicando la Viga Benkelman – método empírico, es muy importante para determinar dentro de un conjunto de evaluaciones complementarias, el estado actual de la carretera en el periodo de estudio. Así proponer o plantear un conjunto de alternativas de solución que sea técnicamente factible y económicamente viable.

El informe plantea un estudio en la carretera CAÑETE – YAUYOS – CHUPACA en el tramo del Km 59+000 al 64+000 aplicando la metodología de CONREVIAl.

Para eso se describen todos los aspectos importantes y característicos de la carretera que sean relevantes al momento del análisis.

Junto con la descripción del Estado del Arte de la Viga Benkelman se presenta el marco teórico base para el desarrollo de la aplicación e importante para el análisis de resultados que nos conllevarán a unas conclusiones y recomendaciones.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01:	Datos generales del contrato	02
Cuadro N° 1.02:	Estado Inicial de la vía	03
Cuadro N° 1.03:	Estado actual de la vía	03
Cuadro N° 1.04:	Localidades de la región Yunga	06
Cuadro N° 1.05:	Localidades de la región Quechua	06
Cuadro N° 1.06:	Localidades de la región Suni o Jalca	07
Cuadro N° 1.07:	Localidades de la región Puna	07
Cuadro N° 1.08:	Temperaturas y precipitaciones de las regiones naturales de la vía de estudio	10
Cuadro N° 3.01:	Número de IMDs	19
Cuadro N° 3.02:	Cálculo de los EE	20
Cuadro N° 3.03:	Corrección por estacionalidad.....	21
Cuadro N° 3.03:	Corrección por estacionalidad.....	21
Cuadro N° 3.04:	Valores estadísticos para "t"	25
Cuadro N° 4.01:	Datos obtenidos de campo	26
Cuadro N° 4.02:	Resultados deflectométricos	27
Cuadro N° 4.03:	Estadística de la deflectometría y Rc del tramo....	29
Cuadro N° 5.01:	Estadística de la deflectometría y Rc_ de la Carretera	33

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01:	Plano de ubicación del proyecto	05
Figura N° 2.01:	Viga Benkelman	12
Figura N° 2.02:	Modelo de formato de toma de datos	13
Figura N° 3.01:	Esquema de la Viga Benkelman	14
Figura N° 3.02:	Principio de operación de Viga Benkelman	16
Figura N° 3.03:	Deflexiones presentes.....	17
Figura N° 5.01:	Deflectograma D ₀ y D ₂₅ del tramo	29
Figura N° 5.02:	Deflectograma del tramo	30
Figura N° 5.03:	Caracterización deflectometría	32
Figura N° 5.04:	Deflectograma general	33

LISTA DE SÍMBOLOS

- dt : Deflexión Total
- dr : Deflexión Recuperable o Elástica
- dp : Deflexión Permanente o Residual
- D_c : Deflexión característica
- \bar{D} : Deflexión promedio
- σ : Desviación estándar
- D_T : Deflexión recuperable, medida a la temperatura "t" °C
- D_{20} : Deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C)
- e : Espesor de mezcla asfálticas en cm, medido en el borde del pavimento.
- K : Factor de conversión 1×10^{-3}
- R : Radio de Curvatura en metros
- D_0 : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga
- D_{25} : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, a 25 cm del eje

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia desarrolla la aplicación de la Viga Benkelman, método empírico para determinar la capacidad estructural de la carretera “Cañete-Yauyos-Chupaca”, el cual es de sumo interés porque es una metodología práctica y económica en comparación con otras metodologías existentes.

Este trabajo pretende determinar las condiciones estructurales del pavimento por un método no destructivo, utilizando la Viga Benkelman y aplicando el método empírico, para identificar su condición estructural actual, a través de la interpretación y correlación de los resultados obtenidos con la deflectometría, que a su vez permita presentar alternativas de mitigación.

El trabajo se desarrolló de la siguiente manera: mediante una investigación y estudio preliminar, un viaje de campo para el obtener datos, luego se realizó el procesamiento de los datos que acompañado de una metodología de investigación se elaboró un informe muy detallado del tema.

El informe se ha dividido en 5 capítulos:

En el capítulo 1 se trata de las generalidades de la carretera, los antecedentes, la ubicación, sus características particulares y como parte final de este capítulo se describirá el tramo en evaluación del presente informe.

En el capítulo 2 se comenta sobre el estado del arte de la Viga Benkelman, su evolución en el tiempo hasta llegar a Perú y su uso en las carreteras.

En el capítulo 3 se desarrolla en un marco teórico que permita sustentar la aplicación a realizar, de la metodología aplicada con la Viga Benkelman. Además en este capítulo se desarrollará el marco teórico para hallar la deflectometría aplicando el método de CONREVIAl.

En el capítulo 4 se aplica lo desarrollado en el capítulo 3 en conjunto a la información obtenida de campo realizando el procesamiento de la información.

En el capítulo 5 se analiza los resultados obtenidos, para luego presentar algunas alternativas de solución que permitan mantener o mejorar las condiciones del pavimento dependiendo del estado de las mismas.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones consecuentes del desarrollo tanto en campo como en gabinete del presente informe.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La carretera de penetración y enlace entre Cañete - Yauyos - Huancayo, fue proyectada y ejecutada por tramos durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930 mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú; sin embargo, debido a hechos lamentables ocurridos durante la construcción, y coincidiendo con la caída del gobierno de turno, todos los trabajos de la carretera quedaron paralizados hasta los años 1954 y 1957.

Por el lado de la costa, y durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 en conjunto con las autoridades de Yauyos, se avanzan los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en abril de 1944, siendo inaugurado por el propio Presidente en junio del mismo año. Después, quedó postergado todo trabajo vial entre Yauyos y Huancayo.

Posteriormente entre los años 1956 y 1957, el esfuerzo de los pobladores de Alis y de las autoridades de los poblados vecinos, logran enlazar la carretera con dicho poblado, solicitando directamente para que el Gobierno Central prosiga los trabajos hasta concluir la carretera hasta Huancayo.

El primer estudio definitivo lo elaboró el consorcio AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 mediante contrato con PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

Como antecedentes a nivel de pre-inversión se cuenta con el perfil elaborado por el Ing. Floriano Palacios León en el año 2003. Este perfil fue aprobado por la Oficina General de Presupuesto y Planificación (OPP) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC) autorizando la elaboración del Estudio de Factibilidad del proyecto.

Como parte de la política del estado de mantener la Red Vial del Perú en buenas condiciones de transitabilidad, el MTC mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, crea el Programa “Proyecto Perú”, definiéndose como un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de

competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial nacional, departamental y vecinal.

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (03) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista - Conservador. Bajo este sistema se desarrolla una cultura preventiva, con la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

Es así que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones convoca a Concurso Público CP N° 0034-2007-MTC/20 para el Servicio de Conservación Vial de la Carretera Cañete - Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación de Tramo Zuñiga - Dv. Yauyos – Roncha; y luego, con fecha 27 de diciembre de 2007 se firma el contrato entre el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Consorcio Gestión de Carreteras (ICCGSA, CORPORACIÓN MAYO S.A.C., Empresa de Mantenimiento Vial La Marginal S.R.L.) para la prestación del Servicios de Conservación Vial por Niveles de Servicio.

En el Cuadro N° 1.01 se presenta los datos generales del contrato firmado entre el MTC y el Contratista – Conservador ICCGSA.

Cuadro N° 1.01: DATOS GENERALES DEL CONTRATO

Carretera	Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca
Longitud Total del Tramo	281.73 Km.
Contrato de Servicios	N° 288-2007-MTC/20
Contratista-Conservador	Consorcio Gestión de Carreteras (ICCGSA, Corporación Mayo S.A.C., Empresa de Mantenimiento Vial La Marginal S.R.L.
Valor Referencial	S/. 131'895,292.01
Monto del Contrato	S/. 131'589,139.71
Periodo del Contrato	05 años
Inicio del Contrato	01 de Febrero, 2008

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N° 1.02 se presentan las condiciones de la vía antes de la intervención del Contratista – Conservador ICCGSA la vía materia de estudio se encontraba a nivel de afirmado y en mal estado de conservación

Cuadro N° 1.02: ESTADO INICIAL DE LA VÍA

Tramo	Vía	Tipo de Superficie de rodadura	Longitud (Km.)
Cañete-Lunahuana	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40.950
Lunahuana-Pacarán	Asfaltada	Tratamiento superficial	11.907
Pacarán-Zuñiga	Afirmada	Afirmado	3.743
Zuñiga-Dv. Yauyos	Afirmada	Afirmado	70.400
Dv. Yauyos-Roncha	Afirmada	Afirmado	128.185
Roncha-Chupaca	Afirmada	Afirmado	16.541
Total			271.726

Fuente: Elaboración propia

A la fecha, en parte de la carretera se vienen efectuando actividades de conservación rutinaria cumpliendo su compromiso contractual, mejorándose por tanto la serviciabilidad, salvo por el sector comprendido entre Zúñiga (Km. 56+600) y Capillucas (Km. 94+640), donde se ha apreciado un acelerado deterioro de esta capa por el intenso tráfico ocasionado por las labores de construcción del proyecto hidroeléctrico El Platanal. En el Cuadro N° 1.03 se presentan las condiciones de la vía después de la intervención del Contratista – Conservador ICCGSA.

Cuadro N° 1.03: ESTADO ACTUAL DE LA VÍA

Tramo	Vía	Tipo de Superficie de rodadura	Longitud (Km.)
Cañete – Lunahuaná	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40.950
Lunahuaná-Pacarán	Asfaltada	Tratamiento superficial	11.907
Pacarán – Catahuasi	Afirmada	Slurry Seal	3.743
Catahuasi - Dv. Yauyos	Afirmada	Monocapa	70.400
Dv. Yauyos - Tinco Alis – Roncha	Afirmada	Monocapa (33 Km.) - Afirmado (95.185 Km.)	128.185
Roncha-Chupaca	Afirmada	Afirmado	16.541
Total			271.726

Fuente: Elaboración propia

En este contexto el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a firmado un convenio de mutuo apoyo con la Universidad Nacional de Ingeniería, con su facultad de Ingeniería Civil y es en este marco que el Curso de Actualización de Conocimientos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, aportará con investigaciones elaboradas por los alumnos, quienes expondrán sus apreciaciones acerca del estado actual de la carretera luego de la intervención de las partes comprometidas con el proyecto.

1.2 Ubicación

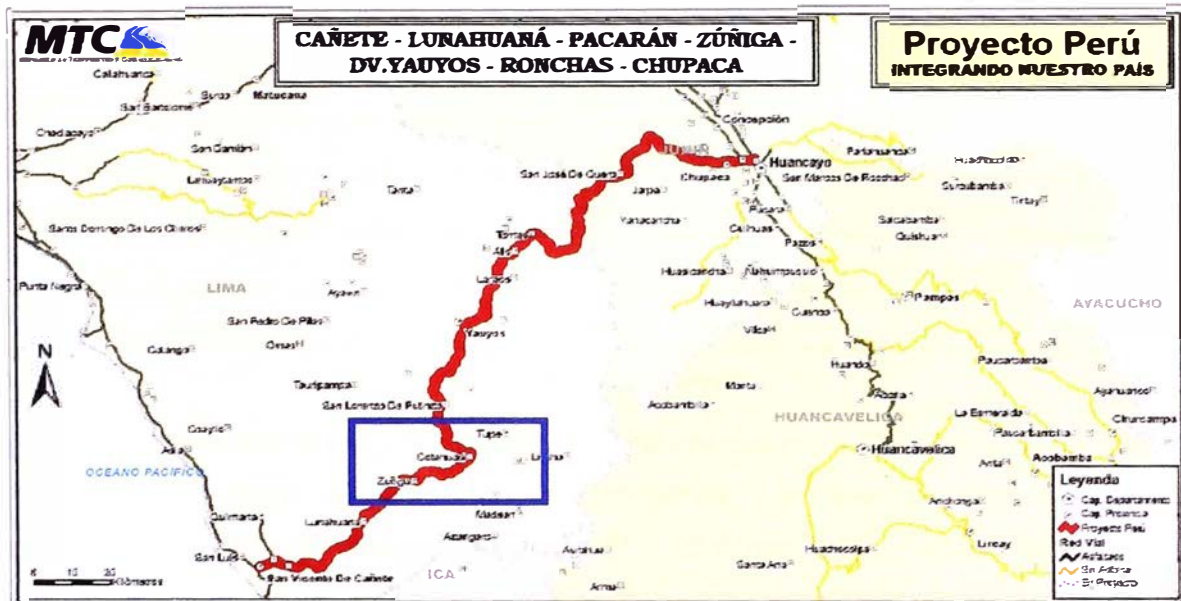
El tramo Lunahuaná – Dv. Yauyos - Chupaca, pertenece a la Red Vial Nacional, con código de ruta R22 de 243.76 Km. de longitud, con origen en Lunahuaná (Km. 42+500) y destino en Chupaca (Km. 285+900), siendo nuestra área de evaluación el tramo correspondiente entre las progresivas (Km. 59+000 al Km. 64+000).

La carretera limita por el Norte con los cuadrángulos de Huarochirí y La Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantará y Chincha y por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

Políticamente el tramo une las provincias de Cañete, Yauyos (Departamento de Lima) y Chupaca, Concepción (Departamento de Junín).

La altitud de este tramo varía entre los 450 m.s.n.m. y 4,600 m.s.n.m. y su longitud total es de 281.73 Km. En la figura N° 1.01 se presenta el plano de ubicación de la carretera.

Figura N° 1.01: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones

1.3 Características de la carretera

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplia en el límite con la región Chala o Costa y el vértice por el lugar donde ingresa generalmente uno de los afluentes principales del río; en este sector se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo. Una especie de quebrada se forma a manera de una estrecha garganta cuanto más se aproxima a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, resacas y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua.; estas características corresponden a la región Yunga (500 m.s.n.m. - 2300 m.s.n.m.). Las localidades que se encuentran con esta configuración se presentan en el Cuadro N° 1.04.

Cuadro N° 1.04: LOCALIDADES DE LA REGIÓN YUNGA

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Zúñiga	821	56+600
Catahuasi	1206	77+000
Capillucas	1581	94+640
Calachota	1740	105+040
Dv. Yauyos o Magdalena	2289	127+000

Fuente: Elaboración propia

La vía continúa por la región **Quechua** (2300 m.s.n.m. – 3500 m.s.n.m.), donde por lo general luego de una estrecha garganta o pongo, se abre una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidas por lomas. Entre loma y loma quedan pequeñas hondonadas, en cuyos fondos corren pequeños arroyos o nacen los puquiales. Sus aguas provienen de las filtraciones de las lluvias o de remotas lagunas de las regiones superiores. Las localidades ubicadas en esta región se presentan en el Cuadro N° 1.05.

Cuadro N° 1.05: LOCALIDADES DE LA REGIÓN QUECHUA

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tinco Huantan	2640	140+360
Llapay	2950	154+300
Alis	3261	163+100
Ronchas (al otro lado de la cordillera)	3358	255+185

Fuente: Elaboración propia

Se continúa ascendiendo llegando a la región **Suni o Jalca** (3500 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m.), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados y cerros. En este sector normalmente no se encuentran valles, más por el contrario se tienen quebradas estrechas que abren cañones muy profundos, erosionando las rocas vivas, de modo que al recorrer esta región por el fondo de las quebradas, a orillas del río, el horizonte perceptible se cierra en

circuitos pequeños que dan la sensación de un lugar amurallado. Las localidades que corresponden a esta región se presentan en el Cuadro N° 1.06.

Cuadro N° 1.06: LOCALIDADES DE LA REGIÓN SUNI O JALCA

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tomas	3566	171+090
San José de Quero (al otro lado de la cordillera)	3908	229+300
Chaquicocha (al otro lado de la cordillera)	3650	239+600
Collpa (al otro lado de la cordillera)	3508	246+200

Fuente: Elaboración propia

La carretera atraviesa también la región **Puna**, que comprende alturas entre los 4000 m.s.n.m. y 4800 m.s.n.m. Esta región aparece a ambos lados del declive andino, separando cumbres nevadas entre sí, reuniendo las cumbres, de menos de 4800 metros para formar nudos y mesetas, y agrietando las cordilleras para dar paso a las abras. Se considera a la Puna como una gran llanura elevada o altiplano; sin embargo esta región ofrece muy variados relieves en relación con su ubicación. Las localidades que corresponden a esta región se presentan en el Cuadro N° 1.07.

Cuadro N° 1.07: LOCALIDADES DE LA REGIÓN PUNA

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tinco Yauricocha	4040	181+680
Abra Chaucha	4751	193+510
Abra Negro Bueno	4666	211+320

Fuente: Elaboración propia

1.3.1 Geografía

Políticamente, la Cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima.

La Cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6192 Km², de los cuales el 78.4% (4856 km²) corresponde a la cuenca húmeda.

El río Cañete nace en la laguna Ticllacocho, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Sus recursos

hídricos provienen de los aportes de la lluvia, así como los derivados de lagunas y deshielo de los nevados, ubicados estos principalmente en el extremo norte de la cuenca y sobre los 4500 m.s.n.m.

La longitud del río Cañete, entre su nacimiento y desembocadura, es de aproximadamente 220 Km., presentando una pendiente promedio de 2%; sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es mucho más pronunciada, especialmente en la parte alta, llegando hasta 8% en el tramo comprendido entre la localidad de Huancaya y la desembocadura del río Alis.

Las zonas generalmente afectadas por las lluvias están localizadas en las alturas de Matucana, Huarochirí, Oyón, Lunahuaná, etc. En general todas las cuencas hidrográficas de Lima aumentan su caudal, poniendo en peligro a las poblaciones y originan desabastecimiento, por el bloqueo de carreteras.

La cuenca del río Cañete acusa igualmente los embates de las persistentes lluvias, así como la del río Lurín.

1.3.2 Geología

La ruta del tramo de estudio atraviesa las siguientes formaciones geológicas como son: Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo.

Los procesos geodinámicos existentes en el área de estudio son esporádicos, no evidenciando procesos geodinámicos de mayor envergadura, y no existen puntos críticos que requieran tratamiento especial; sin embargo existe la posibilidad que debido a cortes de talud superior se generen procesos geodinámicos tales como: derrumbes, desprendimientos y desplomes.

Con relación a los problemas geotécnicos son mínimos, se aprecia pequeños hundimientos de plataforma por encharcamientos, debido a las aguas superficiales, asentamientos y ahuellamientos aislados.

1.3.3 Hidrología

El patrón hidrográfico que constituye la zona de estudio se halla constituido por dos cuencas principales: la Cuenca del río Cunas y la Cuenca del río Cañete.

La cuenca del río Cunas, comprende aproximadamente los últimos 52 Km. del trazo, siendo su divisoria de aguas respecto a la cuenca del río Cañete, representado por los caseríos tales como: Laguna Cunacocha, Millpo, Pishapampa y Gentilmacha; toda esta red de drenaje se ha entallado sobre

rocas calizas; este río Cunas, cambia de nombre al pasar por Chupaca, cambiando su nombre por río Chupaca.

En la parte alta de la cuenca, no existen explotaciones mineras, por lo cual, la contaminación por residuos mineros es casi nula y las aguas son claras y libres de minerales pesados.

En lo que respecta a la cuenca del río Cañete, es la más larga, comprende aproximadamente 155 Km.; se halla integrada por los tributarios principales, tales como: el río Allis, río Yauyos, río Huangascar y numerosas quebradas. Este río, en las partes bajas se halla contaminado tanto por el aporte directo de aguas servidas de la mayoría de los poblados aledaños a la red hidrográfica del río Cañete.

Las precipitaciones pluviométricas entre Lunahuaná y Yauyos se encuentran entre 100 a 150 mm anuales.

1.3.4 Clima

A continuación se señalan las temperaturas típicas que se dan en las regiones que atraviesan la carretera:

Yunga Marítima: El tramo en estudio perteneciente a esta región, se caracteriza por presentar sol dominante durante casi todo el año con noches frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

Quechua: El clima es templado con notable diferencia entre el día y la noche, el sol y la sombra. 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).

Suni o Jalca: El clima es frío debido a la elevación de los vientos locales. El aire es transparente y las nubes se presentan en grandes cúmulos aborregados, simulando nítidas y caprichosas esculturas, muy blancas y brillantes.

Puna: La temperatura media anual es superior a 7°C e inferior a 0°C. La máxima entre setiembre y abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las mínimas absolutas, entre mayo y agosto oscilan entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200 mm y 1000 mm al año.

En el Cuadro N° 1.08 se presentan las temperaturas y las precipitaciones promedio anuales de las regiones por donde pasa la carretera en estudio.

Cuadro N° 1.08: TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES DELAS REGIONES NATURALES DE LA VÍA EN ESTUDIO

Región Natural	Rango de Temperaturas (°C)	Rango de Temperaturas Máx. (°C)	Rango de Temperaturas Mín. (°C)	Observaciones
Yunga Marítima	20 a 27	-	-	Precipitación promedio de 100 y 150 mm por año.
Quechua	11 a 16	22 a 29	7 a -4	Precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo.
Suni o Jalca	7 a 10	> 20	-1 a -16	Precipitación promedio de 800 mm por año.
Puna	0 a 7	15 a 22	-9 a -25	Precipitación promedio de 200 - 1000 mm por año

Fuente: Elaboración propia

1.3.5 Estudio de suelos

En el tramo de estudio se tiene una capa superior de 30 cm de espesor, que corresponde a antiguos trabajos de mantenimiento del afirmado, se trata de una arenas y gravas limosas que se clasifican en el Sistema SUCS como SC-SM y GC-GM, mientras que en el sistema AASHTO como A-1-b(0) y A-1-a(0); la forma de los agregados gruesos es sub-angular, su matriz de color marrón claro es de escasa plasticidad; tiene bolonería comprendido entre 3% y 10% con tamaño máximo de 7". Bajo estos 30 cm se encuentra un material areno-limoso, cuya clasificación SUCS es SC y AASHTO es A-2-4(0), siendo los agregados gruesos también de forma sub-angular; este estrato también contiene bolonerías entre 2% y 8% cuyo tamaño máximo es de 6".

En este sector se tiene áreas de cultivo a ambos lados de la vía.

1.4 Tramo Km 59+000 – Km 64+000

En el tramo de evaluación se tiene un tratamiento superficial de tipo Slurry Seal que está deteriorada y la altitud promedio es de 480 msnm que pertenece a la región Yunga dentro de la cuenca del río Cañete. La formación a la que pertenece es la formación Cañete, no hay mayores problemas de procesos geodinámicos solo ahuellamientos, no hay mayor contaminación en el río en el tramo y las precipitaciones se encuentran entre 100 a 150 mm anuales.

CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE

2.1 Estado del Arte de la Viga Benkelman

La Viga Benkelman como algunos otros equipos de medición se desarrollaron en el marco del crecimiento de la construcción de las carreteras asfaltadas y se necesitaba de instrumentos para medir el estado de la carretera desde el punto de vista de las deflexiones, es así que investigadores e instituciones realizaron estudios en busca de nuevos métodos prácticos y confiables de control para conocer las deflexiones.

La Viga Benkelman se desarrolló en los Estados Unidos por su creador Alvin C. Benkelman, (1895-1987) ingeniero civil graduado de la Universidad de Michigan.

En 1953 Alvin C. Benkelman propuso un método para medir las deflexiones, la denominada "Viga Benkelman", en el instituto WASHO; desde entonces ha sido ampliamente usada para el control de las deflexiones en la construcción y supervisión de carreteras.

Una versión modificación más limitada es el deflectómetro, desarrollado en Argentina que es una especie de Viga Benkelman de 2 brazos, que sólo permite la medición de la deflexión máxima y la deflexión a 25 cm. Los métodos de análisis utilizados han sido empíricos y mecánicos.

En el Perú se viene usando desde hace casi 20 años la Viga Benkelman de brazo simple y aplicando el método Canadiense para la determinación de curvas de deflexiones adoptado y normado en el método de CONREVIAl.

La Viga Benkelman ya no se usa en los países desarrollados porque lo han reemplazado por equipos más especializados y precisos. Estos reemplazos se dan por la constante investigación que desarrollan acompañados de financiamiento; lo opuesto ocurre en países subdesarrollados. Los nuevos aparatos desarrollados son caros de adquirir en países como los de Sudamérica por lo cual se usa equipos alternativos de menor costo como la Viga Benkelman.

Desde 1990 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha empezado a solicitar el uso de la Viga Benkelman para los estudios de evaluación de pavimentos tanto la construcción de carreteras en los controles de calidad como para la rehabilitación.

El aporte que a brindado la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC) a través de su Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil que viene desarrollando una automatización de la Viga Benkelman con una carga estática que permite realizar la toma de datos de manera más rápida, las medidas son tomadas de manera continua cada 5 cm hasta alcanzar una longitud de 1.5 metros, lo cual permite una gráfica mas precisa de la recuperación del pavimento.

Para la medición de la distancia se usa un sensor de ultrasonido, para la medición de recuperación se usa un sensor de desplazamiento en base a galgas extensiométricas. Las gráficas de ambos sensores se muestran a continuación.

En la figura N° 2.01 se muestra una Viga Benkelman en la actualidad.

Figura N° 2.01: VIGA BENKELMAN



Fuente: Estudio de Evaluación Estructural por Mario Hoffman.

En la figura N° 2.02 se presenta el formato que se usaba para la toma de registros, actualmente sólo ha sufrido pequeñas variaciones en el formato para al aumentar columnas donde se registran datos adicionales a 40 cm y 70 cm que es información relevante para un análisis matemático usando las fórmulas de Hogg.

Figura Nº 2.02: MODELO DE FORMATO DE TOMA DE DATOS

PROYECTO: _____
 TIPO DE PAVIMENTO: _____
 CARGA DE EJE: _____
 PREBIDM DE INFLADO: _____
 FECHA: _____
 REALIZADO POR: _____

ESTACION	LECTURAS DE DEFLECTOMETRO				DEFLEXIONES (10 ² mm)			OBSERVACIONES
	R0+0	R1+	R2+	∞	DE	DR1	DR2	
								<div style="border: 1px dashed black; height: 100%; width: 100%;"></div>

Fuente: Estudio de Evaluación Estructural por Mario Hoffman.

CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 Evaluación estructural

La Viga Benkelman es un dispositivo mecánico que mide las deformaciones en dos puntos de contacto, esta viga se coloca entre las ruedas duales de un camión normalizado bajo el eje de carga estándar 8.2 tn y con una presión de inflado de llantas de 80 psi, es decir que mide la flecha máxima de la línea de deformación bajo una carga constante mientras el camión avanza y se retira a una velocidad muy baja 1 – 3 Km/h.

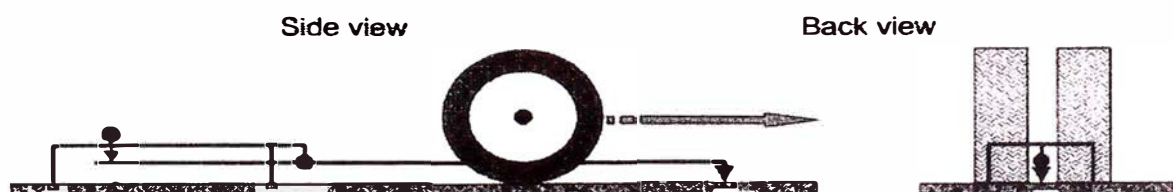
Las lecturas de las deflexiones, y el cálculo de los radios de curvatura determinado según modelo de capas elásticas, permitirán determinar la condición, estructural, actual del pavimento.

El procedimiento de toma de datos es secuencial en puntos asignados en tramos de la carretera y separación de punto y punto en función de la normativa o grado de seguridad en el control que se le requiera dar.

Se utilizará el método de la Viga Benkelman porque da valores confiables para el análisis estructural del tramo en estudio del presente informe. Además de ser un método aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

En la figura N° 3.01 se muestra el mecanismo de funcionamiento de la Viga Benkelman.

Figura N° 3.01: ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN



Fuente: Del artículo Análisis de la Viga Benkelman por M.Sc. D. Priambodo Koesrindartono

3.1.1 Procedimiento de medición

En primer lugar, las condiciones del ensayo en campo deben ser estandarizadas. Por tal motivo, previo a la ejecución de las tareas de campo, se elaboraron instrucciones particulares.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura N° 3.02, la viga consta esencialmente de dos partes:

- (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y
- (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

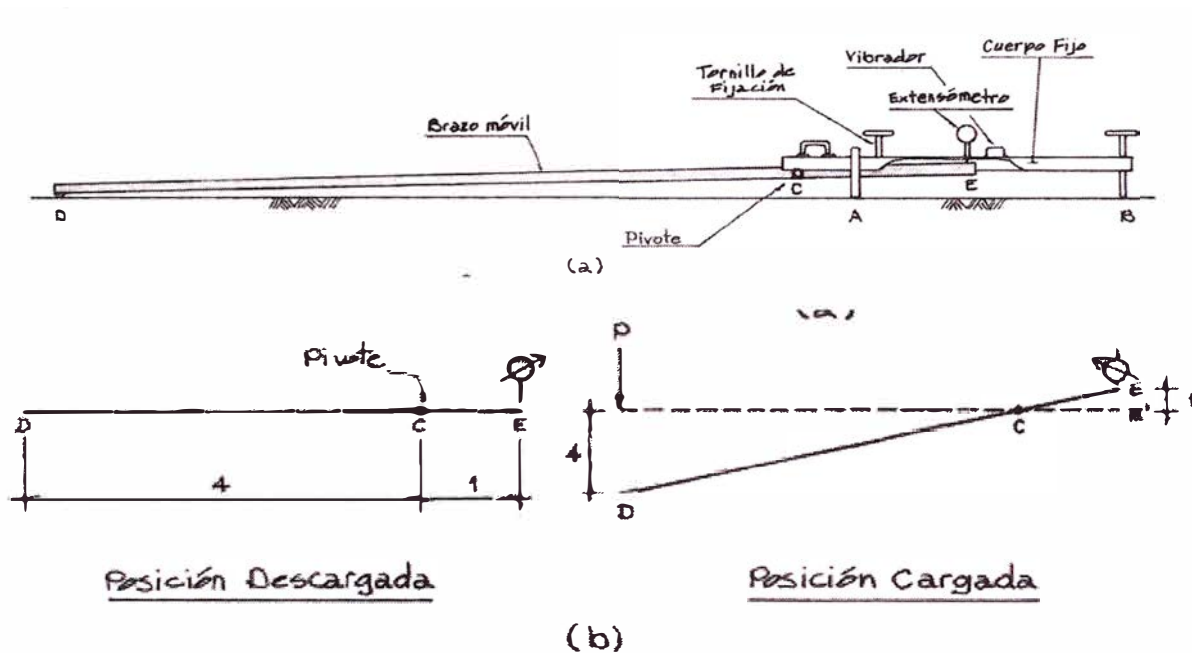
El extremo "D" o "punta de la viga" es colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión con peso normalizado.

Por el peso aplicado se produce una deformación en la superficie de rodadura, en la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie.

Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" recupera su posición inicial antes de aplicada la carga generando otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son los cálculos de la base de datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo

que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura N° 3.02)

Figura N° 3.02: PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN



Fuente: Del artículo Análisis de la Viga Benkelman por M.Sc. D. Priambodo Koesrindarto

3.2 Deflectometría método empírico CONREVIAL

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada a consecuencia de la acción de una carga estandarizada.

La deflexión recuperable se genera en el rango elástico de la carpeta de rodadura; pero también se presentan las deflexiones no recuperables que se generan en el rango plástico. Los primeros desaparecen en cuanto se renueve la carga mientras que los segundos son permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones o ahuellamientos en la superficie del pavimento. Así haremos las siguientes definiciones preliminares:

Deflexión Total (d_t)

Flecha hacia abajo de la deformación producida por la carga

Deflexión Recuperable o elástica (d_r)

Flecha hacia arriba de la recuperación de la superficie que se produce al retirar la carga.

Deflexión Permanente o Residual (d_p)

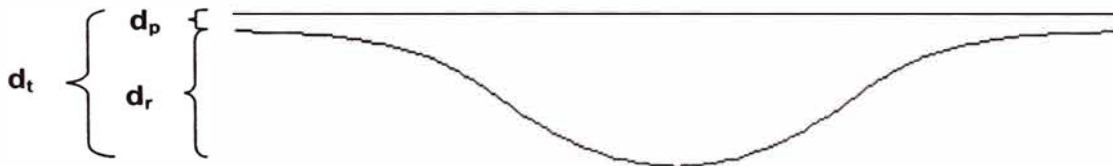
Diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirada normalmente es luego conocida o determinada como el ahuellamiento.

La relación existente entre estas relaciones son y gráficamente se muestran en la figura N° 3.03.

:

$$d_t = d_p + d_r$$

Figura N° 3.03: DEFLEXIONES PRESENTES



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Volumen B, Lima – Perú

En general, se ha concentrado la atención en la medida de las deflexiones recuperables, es decir en la deformabilidad de la estructura del pavimento por elasticidad instantánea y retardada. Ello se debe a que los resultados son reproducibles, la mas fácil interpretación de los resultados y su correlación con la performance de las estructuras en evaluación.

3.2.1 Determinación de la deflexión recuperable

Cálculos de Deflexiones

Determinar comportamientos estructurales similares. En el Perú el análisis de deflexiones se resume en el simple contraste de las denominadas Deflexión Característica y Deflexión Admisible. Si la característica es menor que la admisible se establece que es un adecuado comportamiento estructural.

Lo inverso conlleva al empleo de métodos empíricos para determinar los trabajos de rehabilitación que generalmente son refuerzos.

Deflexión Característica

De acuerdo al estudio realizado por el MTC CONREVIAl las deflexiones recuperables se asemejan a una distribución normal por lo que la deflexión característica la define como :

$$D_c = \bar{D} + 1.645\sigma$$

Donde:

D_c : Deflexión característica

D : Deflexión promedio

σ : Desviación estandar

Deflexión Admisible

El principio en este caso es que el comportamiento de un pavimento hasta alcanzar niveles críticos es inversamente proporcional a su deflexión, lo que se representa de la siguiente manera:

$$D_A = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{1/4}$$

Donde:

D_A : Deflexión admisible

N : Numero de Ejes equivalentes (8.2 tn)

3.2.2 Análisis del tránsito – ejes equivalentes

El concepto de eje equivalente se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce determinada carga y compararla con otra de referencia. El Eje Equivalente o estándar es el eje único que produce efectos críticos o daños en el pavimento equivalente a aquellos producidos por los distintos ejes mixtos que conforman el espectro de cargas. Un incremento en los niveles de carga tiene como consecuencia un aumento mayor en el número de ejes equivalentes aunque permanezca constante el volumen de tránsito.

De acuerdo al estudio de tráfico que se realizó en el mes de junio del 2008, se tienen los siguientes IMDs en el cuadro N° 3.01.

Cuadro N° 3.01: NÚMERO DE IMDS

Composición Vehicular	IMDs		
	Omnibus 2E	Camión 2E	Camión 3E
Zuñiga 56+600 a San Juan 65+600	15	47	9
San Juan 65+600 a Pueblo Nuevo 66+580	15	47	9
Pueblo Nuevo 66+580 a Chichicay 92+110	14	42	4

Fuente: Estudio de tráfico Junio 2008

3.2.3 Factores de equivalencia

De los estudios experimentales, se han obtenido ecuaciones crecientes, de relación exponencial del orden de 4, entre la carga real y la del eje referencial. Estas experiencias ampliamente difundidas, dan lugar a establecer factores de equivalencia de carga, tanto para cada tipo de composición vehicular, que permiten cuantificar el efecto destructivo de los vehículos más pesados.

El eje estándar adoptado es un eje simple de 8.2 ton, luego se determinan los factores de equivalencia siguiendo la metodología de AASHO Road Test, que tiene como criterio de comparación la valorización de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de la carga. En el cuadro N° 3.02 se indica las fórmulas para el cálculo de los ejes equivalentes en función al tipo de ejes.

Cuadro N° 3.02: CÁLCULO DE LOS EE

Tipo de Eje	Eje Equivalente (N18 = EE8.2Tn)
Eje simple de ruedas simples	$EES1 = (P/6.6)^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EES2 = (P/8.2)^4$
Eje tandem de ruedas dobles	$EETA = (P/15.1)^4$
Ejes tridem de ruedas dobles	$EETR = (P/22.9)^4$

Fuente: Reglamento para pavimentos de bajo volumen de tránsito

3.2.4 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura

La temperatura del pavimento afecta las deflexiones recuperables, de forma tal que dos mediciones realizadas en el mismo punto pero a distinta temperatura, indicarán resultados diferentes.

Para un pavimento dado, la magnitud de la deflexión aumenta con un incremento en la temperatura de las capas asfálticas. Esto es atribuido a una disminución de la rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá de espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

Existen procedimientos para evaluar tal corrección y llevar las determinaciones a una temperatura estándar de 20°C. El rango de temperatura evaluado va desde los 5°C hasta los 38°C para el caso de tratamiento superficial según el estudio realizado por CONREVIAL.

$$D_{20} = \frac{D_T}{K(T - 20^\circ C)e + 1}$$

Donde:

D_T : Deflexión recuperable, medida a la temperatura "t" °C en centésimas de mm

D_{20} : Deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C)

e : Espesor de mezcla asfálticas en cm, medido en el borde del pavimento.

K : factor de conversión 1×10^{-3}

De esta fórmula se puede inferir que a mayor temperatura entonces obtenemos mayores deflexiones, lo opuesto sería que a menor temperatura obtenemos menores deflexiones.

3.2.5 Corrección de las deflexiones por estacionalidad

La deflexión de un pavimento varía a través del año a lo largo de los ciclos estacionales, particularmente cuando la diferencia de los mismos es marcada.

Se trata de un efecto combinado de factores climáticos y características inherentes al pavimento.

La necesidad de corregir o no a las deflexiones obtenidas dependerá de si se ha medido fuera del periodo definido como crítico, o en él, respectivamente. Habiéndose constatado experimentalmente que la frecuencia de distribución de los resultados se mantiene aproximadamente constante, el factor de corrección se aplica directamente, si corresponde, a la deflexión característica representativa de la condición actual del pavimento adoptada para el diseño.

La evaluación se debe hacer en tiempos críticos (épocas de estiaje, lluviosas) consideradas críticos.

Los datos que ayudan son los de SENAMHI, a continuación en el cuadro N° 3.03 se incorporan datos de factores a tomar en cuenta según el tipo de estación y tipo de suelo.

Cuadro N° 3.03: CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACIÓN LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
Arenosa – permeable	1.0	1.1 a 1.3
Arcillosa – sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

Fuente: Reglamento para pavimentos de bajo volumen de tránsito

3.2.6 Determinación del Radio de curvatura

El significado de las medidas de deflexiones puede ser ampliado introduciendo junto a ellas la magnitud de la curvatura en la zona donde ella es mayor, es decir, bajo el eje vertical de la carga. Dicha curvatura se la expresa generalmente por el denominado “radio de curvatura”, por el “índice de curvatura” bien por la “pendiente de la deformada”. Para determinada deflexión,

la deformación por tracción en la superficie de rodadura depende de su espesor y de dicho radio de curvatura.

Las primeras tentativas para expresar numéricamente la curvatura se basaron en relacionar la deflexión máxima con el diámetro del área superficial deformada (índice de curvatura), lo que resulta algo aleatorio por las dificultades para fijar el punto donde la línea de deflexión es tangencial a la horizontal.

El grado de curvatura de la línea elástica de deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación, en la cual se considera que la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del círculo osculador en dicho punto.

Por lo tanto , considerando una deflexión auxiliar a 25 cm, se puede determinar el radio de curvatura con la formula siguiente.

$$R = \frac{10 \times (25)^2}{2 \times (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R : Radio de Curvatura en metros

D_0 : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga

D_{25} : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, a 25 cm del eje

10 : Coeficiente por cambio de unidades

Se ha observado que mientras que el valor de la deflexión máxima depende en gran medida del modulo de elasticidad de los materiales en profundidad, además de los de las capas superiores el radio de curvatura depende principalmente de los módulos de elasticidad de las capas superiores y muy poco de las inferiores.

De esta manera y teniendo en cuenta las características y espesor de las capas asfálticas, se podrían diferenciar dos casos límites.

Caso 1: Si la mayor parte de la deflexión se produce en la subrasante, se obtendrán grandes radios de curvatura (en relación con la magnitud de la deflexión)

Caso 2: Si la mayor parte ocurre en las capas superiores, situación indicativa de la deficiente calidad de éstas, se obtendrán pequeños radios de curvatura aún a veces con deflexiones tolerables.

3.2.7 Deflectograma

Las medidas de deflexiones han permitido un aporte de interés en el campo de la mecánica de calzadas al revelar la no uniformidad de su capacidad estructural, aún en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio con criterio probabilístico.

Una variación en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinante lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas del suelo, principalmente a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, la determinación de la deflexión se ha realizado en la huella externa del carril considerado como crítico.

La no uniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aún para determinaciones muy próximas entre sí, debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

Dado que para interpretar los resultados no se pueden considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento y por ende de una evaluación estadística.

Con este propósito, los resultados obtenidos se vuelcan en un gráfico en función a las progresivas, que se denomina deflectograma. Los resultados tanto de deflexiones y radios de curvatura, como del relevamiento de condición son representados en correspondencia con las progresivas de medición, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo. Por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento – considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son procesadas estadísticamente.
- Luego eliminar los valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las calicatas requeridas para interpretar los resultados en zonas representativas de un adecuado o deficiente comportamiento.
- Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.

El deflectograma es usado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

3.2.8 Análisis estadístico de los resultados

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencia que se asemejan a una distribución normal.

Por ende a partir de las deflexiones individuales asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la campana de Gauss se determina la deflexión media \bar{D} , la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (Cv) usando las siguientes expresiones

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n-1)^*}} \quad * n \geq 30$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

El valor de σ representa la dispersión de resultados en pavimentos que posean el mismo valor medio D mientras que el coeficiente de variación porcentual indica un mayor o menor grado de dispersión aún cuando las secciones posean distinto valor medio. Dicho coeficiente varía generalmente entre 10% y 40%.

Dado que la desviación estandar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles, puede concluirse que estos son en general más variables y que la deflexión de diseño cuando se utiliza en algún método para el cálculo del refuerzo – debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadísticos, se puede establecer como deflexión característica el valor.

$$D_c = \bar{D} + t\sigma$$

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la característica D_c correspondiente.

En el cuadro N° 3.04 se indican los valores más frecuentes

Cuadro N° 3.04: VALORES CARACTERÍSTICOS DE t

Valor diseño %	D_c	$D > D_c$
50	D	50
75	$D + 0.674\sigma$	25
85	$D + 1.000\sigma$	15
90	$D + 1.300\sigma$	10
95	$D + 1.645\sigma$	5
98	$D + 2.000\sigma$	2
99	$D + 2.330\sigma$	1
99.9	$D + 3.000\sigma$	0.1

Fuente: Informe Conrevial

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 59+000 – KM 64+000

4.1 Recopilación de datos de campo

Luego de realizar el plan de toma de datos en campo con la Viga Benkelman se procedió a tomar los datos por estacas ya determinadas por tramo y siguiendo el procedimiento ya establecido y mencionado en el capítulo anterior.

Para efectos de presentación, también se incorpora los valores no sólo de L_0 y L_{25} sino también de L_{40} y L_{70} .

Por otro lado también se incorpora los valores de las principales variables que afectan a los valores de las deflexiones finales a ser calculadas, así se tomaron los datos de la temperatura, espesor de la carpeta asfáltica y el ahuellamiento.

La data recopilada en el campo sobre el tramo representativo son 11 estacas las cuales se presentan en el cuadro N° 4.01.

Cuadro N° 4.01: DATOS OBTENIDOS DE CAMPO

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10^{-3} mm)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)
	L_{25}	L_{40}	L_{70}	L_{max}		Ahue 1	
59+300	6.00	12.00	16.00	28.00	0.010	3.0	29.0
59+400	8.00	14.00	16.00	18.00	0.007	4.0	38.0
59+500	8.00	12.00	16.00	18.00	0.006	3.0	44.0
59+600	8.00	10.00	16.00	20.00	0.008	3.0	44.0
59+700	10.00	14.00	14.00	20.00	0.007	4.0	46.0
59+800	12.00	20.00	22.00	26.00	0.007	3.0	48.0
59+900	8.00	12.00	18.00	20.00	0.006	3.0	48.0
60+000	12.00	16.00	24.00	26.00	0.009	2.0	49.0
60+100	14.00	32.00	34.00	36.00	0.006	3.0	49.0
60+200	14.00	34.00	36.00	38.00	0.006	4.0	48.0
60+300	16.00	32.00	44.00	48.00	0.005	4.0	40.0

Fuente: Elaboración propia

4.2 Procesamiento de datos

Luego de aplicar las fórmulas correspondientes, según el capítulo anterior, se presenta posterior de los cálculos y a manera de resumen el cuadro N° 4.02 las deflexiones corregidas en conjunto con los radios de curvatura calculados.

Cuadro N° 4.02: RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS

Estaca (km)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	Deflexiones Corregidas		
	$D_{25} \times 10^{-2} \text{mm}$	$D_{\text{MAX}} \times 10^{-2} \text{mm}$	
59+300	95.9	122.1	119.4
59+400	43.5	78.2	89.9
59+500	43.4	78.1	90.1
59+600	51.8	86.3	90.5
59+700	43.2	86.4	72.3
59+800	60.4	112.2	60.3
59+900	51.9	86.5	90.3
60+000	60.0	111.5	60.7
60+100	95.1	155.7	51.6
60+200	103.9	164.4	51.6
60+300	139.4	209.1	44.8

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado y a manera de complemento para el análisis estadístico se calculó en el cuadro N° 4.03 los resultados estadísticos de la deflectometría y el radio de curvatura correspondientes al tramo en estudio, esto permitirá saber que tan consistentes son los resultados obtenidos.

Cuadro Nº 4.03: Estadística de la Deflectometría y el Rc del tramo

Tramo 1	Deflexiones X10-2 mm.	Radio de Curvatura m.
Minimo	78.08	44.83
Maximo	209.11	119.44
Promedio	117.33	74.69
Desviación	42.58	23.08
Coefi Variación	0.36	0.31
Caracteristico	187.38	112.65
Percentil 85	82.28	51.60
Percentil 87.5	80.25	51.59
Percentil 90	78.21	51.58

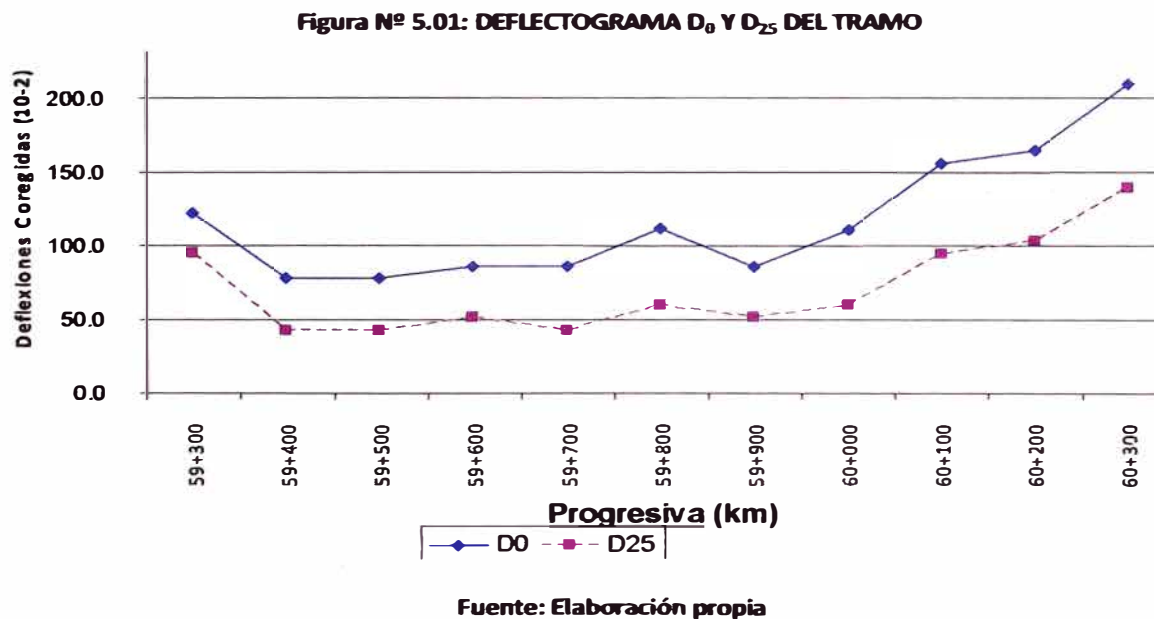
Fuente: Elaboración propia

Todos los resultados se podrán apreciar en el anexo 1 donde se incorporan toda la base de datos obtenidas de los 9 tramos evaluados durante la visita a campo.

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

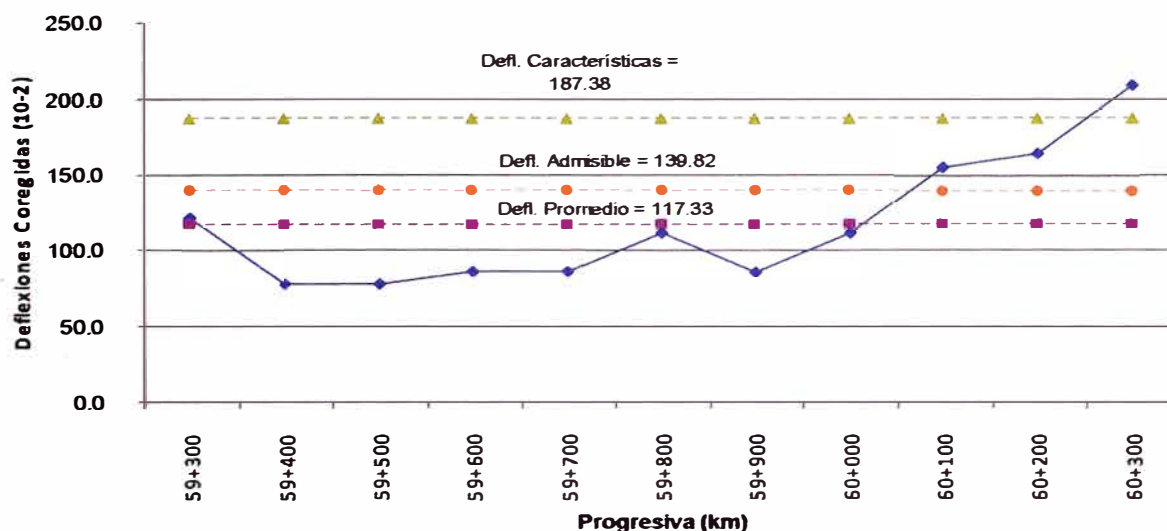
5.1 Gráfico de deflectograma

De los cálculos realizados en el capítulo anterior se puede plotear el deflectograma del tramo en estudio donde se visualizará las deflexiones corregidas tanto en su punto máximo D_0 y la deflexión a 25 cm de la máxima deformada, esta deflexión se representada por D_{25} , Ver figura N° 5.01.



También se presenta el deflectograma incluyendo las deflexiones características, admisibles y promedio en la figura N° 5.02.

Figura N° 5.02: DEFLECTOGRAMA DEL TRAMO



Fuente: Elaboración propia

La deflexión admisible ha sido calculado para un periodo de de 03 años y un IMD de 3.009E+05. Lo que resalta a primera vista es que la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible por lo cual se puede inferir inicialmente que se requiere de un refuerzo estructural, esto se planteará como opciones de alternativa en siguiente ítem.

Esta interpretación también es válida cuando se calcula para 5, 10 y 20 años, estos gráficos se verán en el anexo 02.

Por otro lado para interpretar los resultados obtenidos se debe tener en cuenta que, si bien las deflexiones altas son indicativas de una mayor debilidad estructural, estas son comparadas con niveles de deflexión admisible o tolerable que básicamente dependen de la intensidad del tránsito.

5.2 Alternativa de solución

Luego del análisis de la información obtenida y de sintetizar los resultados en la evaluación deflectométrica en el tramo de estudio, las secciones determinadas en estos tramos predeterminados están asociadas, generalmente, a distintas necesidades de rehabilitación, ya sea por el tipo de mejora (superficial, refuerzo o reconstrucción o en los espesores de refuerzo); la delimitación de las mismas

resultaría según la experiencia acumulada en aproximada, aunque suficiente para una estimación de los costos de rehabilitación.

Dentro de un contexto técnico económico se plantean posible soluciones que mejorarían los resultados, estas van desde el aumento del espesor de la capa superior, el tratamiento de fisuras, sellados o hasta parchado en zonas puntuales de deformación más extrema.

Posibles actividades a proponer

Tratamiento de fisuras (Emulsiones Asfálticas)

Tratamiento de fisuras (Slurry Seal)

Parchado Superficial

Carpeta Asfáltica

Aunque en términos prácticos, por el tipo de modalidad de contrato sólo se busca la serviciabilidad de la pista, por tal motivo a pesar de dejar constantemente con un IRI promedio de 2.5 a 3 en la carretera, siempre tendría problemas estructurales de orden interior (rasante subrasante).

5.3 INTERACCIÓN CON OTROS TRAMOS

En este caso se presentará a manera de resumen los resultados obtenidos de todos los tramos evaluados, que si bien es cierto cumplen con la rigurosidad del procedimiento, no lo es en la continuidad Ver Figura .Nº 5.03

Figura N° 5.03: CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMETRÍA
CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMETRÍA
MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO : Km 059+000 - Km 101+000
CARRIL : Derecho
CAPA : Tratamiento Superficial

OPERADOR : Jorge Vicaporra
RELACIÓN VP : 1.4
FECHA : 03/10/2009

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ³ mm)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas		
										D ₂₅ x 10 ⁻³ mm	D _{max} x 10 ⁻³ mm	
59+300	6.00	12.00	16.00	28.00	0.010	3.0			29.0	95.9	122.1	119.4
59+400	8.00	14.00	16.00	18.00	0.007	4.0			38.0	43.5	78.2	89.9
59+500	8.00	12.00	16.00	18.00	0.006				44.0	43.4	78.1	90.1
59+600	8.00	10.00	16.00	20.00	0.008				44.0	51.8	86.3	90.5
59+700	10.00	14.00	14.00	20.00	0.007	4.0			46.0	43.2	86.4	72.3
59+800	12.00	20.00	22.00	26.00	0.007	3.0			48.0	60.4	112.2	60.3
59+900	8.00	12.00	18.00	20.00	0.006	3.0			48.0	51.9	86.5	90.3
60+000	12.00	16.00	24.00	26.00	0.009	2.0			49.0	60.0	111.5	60.7
60+100	14.00	32.00	34.00	36.00	0.006	3.0			49.0	95.1	155.7	51.6
60+200	14.00	34.00	36.00	38.00	0.006	4.0			48.0	103.9	164.4	51.6
60+300	16.00	32.00	44.00	48.00	0.005	4.0			40.0	139.4	209.1	44.8
66+600	8.00	14.00	26.00	32.00	0.014	6.0			43.0	102.3	136.4	91.6
66+700	6.00	8.00	10.00	12.00	0.007	2.0			44.0	26.0	51.9	120.4
66+800	4.00	6.00	8.00	10.00	0.014	3.0			44.0	25.5	42.6	183.5
66+900	10.00	14.00	16.00	18.00	0.020	3.0			44.0	33.6	75.6	74.4
67+000	6.00	8.00	10.00	12.00	0.009	3.0			46.0	25.8	51.6	121.1
71+500	6.00	8.00	10.00	12.00	0.011	2.0			40.0	25.8	51.7	121.0
71+600	8.00	14.00	16.00	18.00	0.012	2.0			40.0	43.0	77.3	90.9
71+700	8.00	12.00	16.00	22.00	0.013	4.0			39.0	60.1	94.5	91.0
71+800	6.00	8.00	10.00	12.00	0.007	3.0			43.0	26.0	52.0	120.3
71+900	8.00	14.00	18.00	20.00	0.006	4.0			44.0	52.1	86.8	90.1
76+600	8.00	16.00	22.00	24.00	0.015	4.0			49.0	67.5	101.2	92.6
76+700	8.00	16.00	22.00	24.00	0.010	1.0			48.0	68.5	102.7	91.3
76+800	4.00	8.00	10.00	12.00	0.008	3.0			50.0	34.4	51.6	181.8
76+900	8.00	12.00	16.00	18.00	0.020	4.0			50.0	41.5	74.7	94.1
77+000	8.00	12.00	16.00	18.00	0.016	2.0			52.0	41.9	75.3	93.3
80+100	6.00	10.00	14.00	18.00	0.013	1.0			55.0	50.5	75.8	123.8
80+200	8.00	12.00	20.00	26.00	0.009	2.0			52.0	77.0	111.2	91.3
80+300	10.00	16.00	24.00	30.00	0.011	4.0			56.0	84.6	127.0	73.8
80+400	8.00	18.00	24.00	26.00	0.011	3.0			56.0	76.2	110.0	92.3
80+500	12.00	18.00	28.00	32.00	0.011	2.0			54.0	84.8	135.7	61.4
84+600	6.00	12.00	14.00	18.00	0.011	3.0			54.0	50.9	76.3	122.8
84+700	4.00	6.00	8.00	8.00	0.009	5.0			56.0	17.0	34.1	183.3
84+800	6.00	8.00	14.00	14.00	0.012	1.0			57.0	33.7	59.0	123.6
84+900	8.00	12.00	18.00	20.00	0.013	1.0			60.0	50.2	83.7	93.4
85+000	8.00	10.00	14.00	16.00	0.013	3.0			61.0	33.4	66.8	93.5
91+100	10.00	16.00	20.00	22.00	0.009	5.0			54.0	51.2	93.9	73.2
91+200	8.00	14.00	20.00	22.00	0.011	3.0			53.0	59.4	93.4	92.0
91+300	8.00	14.00	18.00	24.00	0.007	4.0			53.0	68.8	103.2	90.8
91+400	12.00	16.00	20.00	48.00	0.009				54.0	153.7	204.9	61.0
91+500	8.00	14.00	16.00	20.00	0.012	1.0			54.0	50.7	84.6	92.4
97+800	20.00	28.00	40.00	50.00	0.004	1.0			52.0	130.3	217.2	36.0
97+900	12.00	18.00	20.00	22.00	0.004	3.0			55.0	43.4	95.5	60.0
98+000	8.00	12.00	14.00	16.00	0.004	1.0			57.0	34.7	69.4	90.1
98+100	8.00	10.00	12.00	14.00	0.005	3.0			58.0	25.9	60.5	90.5
98+200	14.00	24.00	28.00	30.00	0.005	3.0			50.0	69.4	130.0	51.5
100+500	8.00	10.00	14.00	16.00	0.006	3.0			52.0	34.5	69.1	90.5
100+600	12.00	14.00	20.00	22.00	0.007				53.0	43.0	94.6	60.6
100+700	8.00	10.00	12.00	12.00	0.010	2.0			54.0	17.0	51.1	91.8
100+800	12.00	14.00	32.00	44.00	0.007	10.0			54.0	137.5	189.1	60.6
100+900	12.00	20.00	24.00	28.00	0.008	5.0			54.0	68.5	119.9	60.8
101+000	8.00	20.00	28.00	30.00	0.010	7.0			52.0	93.8	127.9	91.6

Fuente: Elaboración propia

De igual manera presentamos los estadísticas de la deflectometría y el radio de curvatura asociados a todo el tramo en general de la carretera, es decir de todos los grupos y como interactúan entre sí.

El que se verá en el cuadro N° 5.01

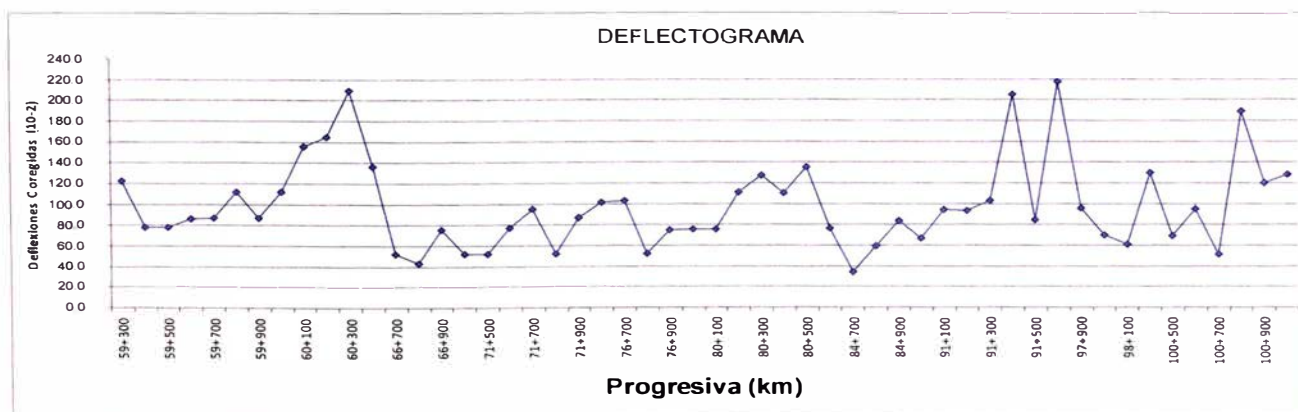
Cuadro N° 5.04: ESTADÍSTICOS DE LA DEFLECTOMETRIA Y RC DE LA CARRETERA

Tramo Total	Deflexiones	Radio de Curvatura
Mínimo	34.10	35.97
Máximo	217.22	183.52
Promedio	98.08	90.99
Desviación	42.44	31.71
Coefi Variación	0.43	0.35
Caracteristico	167.90	143.15
Percentil 85	56.52	51.60
Percentil 87.5	51.94	51.59
Percentil 90	51.69	51.58

Fuente: Elaboración propia

Además y en función a la información proporcionada por los otros grupos se tiene el deflectograma general de toda la carretera donde se ve claramente que se distingue 3 tipos de segmentos. Ver Figura N° 5.04.

Figura N° 5.05: DEFLECTOGRAMA GENERAL



Fuente: Elaboración propia

Como se ve el primer segmento coincide con el tramo asignado materia de estudio de este informe Km 59+000 a Km 64+000 y dentro de este el tramo representativo Km 59+300 hasta Km 60+300 (11 estacas)

CONCLUSIONES

1. El deterioro prematuro de esta carretera de bajo tránsito de volumen se relaciona directamente a una falta de sistemas de drenaje y al exceso de tráfico vehicular ocasionado por la construcción de una planta hidroeléctrica: El Platanal.
2. De acuerdo al análisis obtenido la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible para un periodo de evaluación de 3 años, 5 años y cada vez se, la deflexión característica, se aleja a medida que se evalúa para mayores años.
3. Para este tipo de carreteras de bajo volumen de tránsito no es recomendable hacer una evaluación a plazos mayores de 5 años, ya que sólo tienen tratamiento superficial.
4. El deflectograma marca 03 sectores claramente identificados, lo que indica que existe una variable de deflexión según el tipo de superficie de rodadura que son la de tratamiento monocapa y Slurry Seal.
5. Los radios de curvatura tiene valores muy bajos menores a 100 m esto es inversamente proporcional a las deflexiones encontradas en el tramo de evaluación, lo que indica estructuralmente un mal comportamiento.
6. La temperatura juega un papel muy importante debido a que una variación de esta puede generar valores diferentes de deflexiones y generan malas interpretaciones, ya que en evaluación se determinó un rango de 5°C a 38°C para tratamientos superficiales.
7. Los coeficientes de variación son relativamente altos lo cual indica la relativa variabilidad de los puntos de deflectometría y radios de curvatura.
8. La metodología para la toma de datos en campo con la Viga Benkelman es de suma importancia ya que de esto depende que los datos sean comparables y reproducibles.
9. Otro factor importante en la toma de datos en la lectura de la misma que requiere mucha precisión y concentración al momento de señalar los valores in situ.
10. Independientemente de las mejoras que se pueda realizar, subsiste el problema que bajo el esquema de contratación actual de la carretera sólo permite la mejora a nivel superficial siempre en cuando tenga una plataforma de rodadura con un IRI de entre 2.5 y 3.

RECOMENDACIONES

1. Realizar tratamiento de fisuras en tramos donde las deflexiones son mayores, es acompañado de alguna evaluación superficial.
2. Es necesario hacer también un parchado en zonas puntuales según se observó en el tramo estudiado
3. Estas recomendaciones obedecen a soluciones económicas ya que la carretera es de baja transitabilidad donde incluso un recapeo tiene un costo relativamente alto.
4. Proyectar un recapeo total por sectores según muestra el deflectograma.
5. Referente al procedimiento, es recomendable tener en paralelo un relevamiento superficial para complementar la información.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabello Morales, Denis Julio, Determiación de Fallas y Recomendaciones de Reparación de Pavimentos Asfálticos, Lima – Perú, 2003.
- Melchor Areche, José, Evaluación Integral del Pavimento Carretera Panamerica Norte, Lima – Perú, 1996.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Volumen A, Lima – Perú
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Volumen B, Lima – Perú
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Volumen C, Lima – Perú
- Vigo Jáuregui, Fernando, Metodología para la evaluación Integral de Pavimentos Flexibles Carretera Central Cocachacra – Matuca, Lima – Perú, 1999.
- Auris Cortez, Carlos Manuel, Evaluacion y rehabilitación del pavimento empleando el método de la deflectometria en el aeropuerto de Huamanga – Ayacucho, Informe de Ingeniería, Perú, 2002.
- Gutiérrez Lázares, José Wilfredo , Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, Perú, 2007.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.

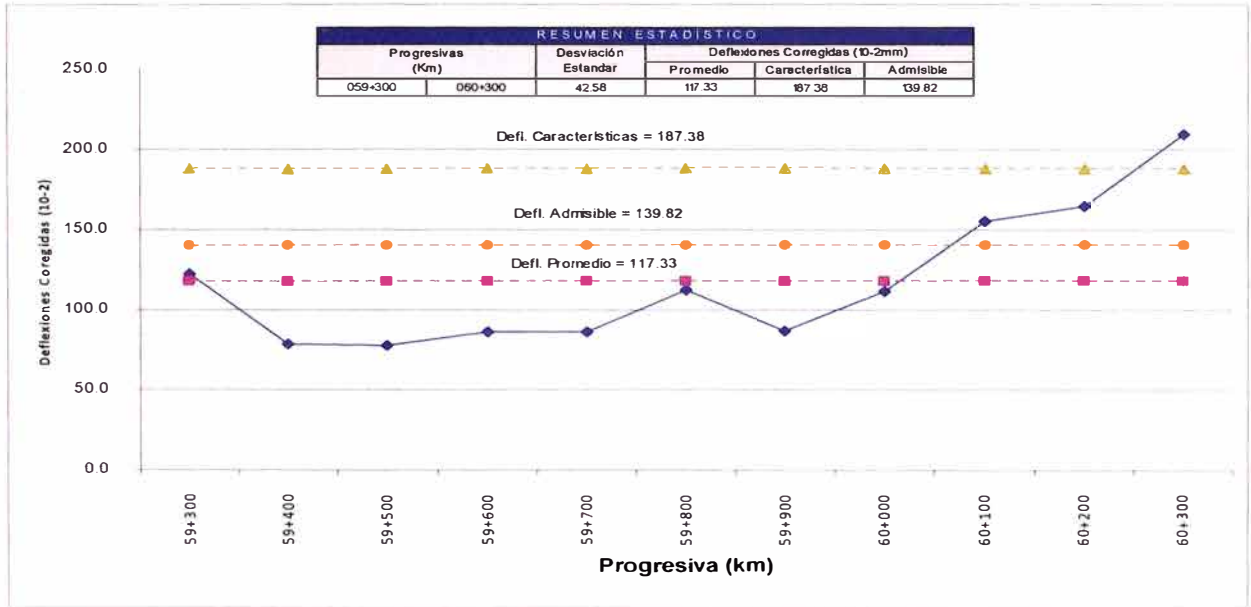
BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA:

www.proviasnac.gob.pe

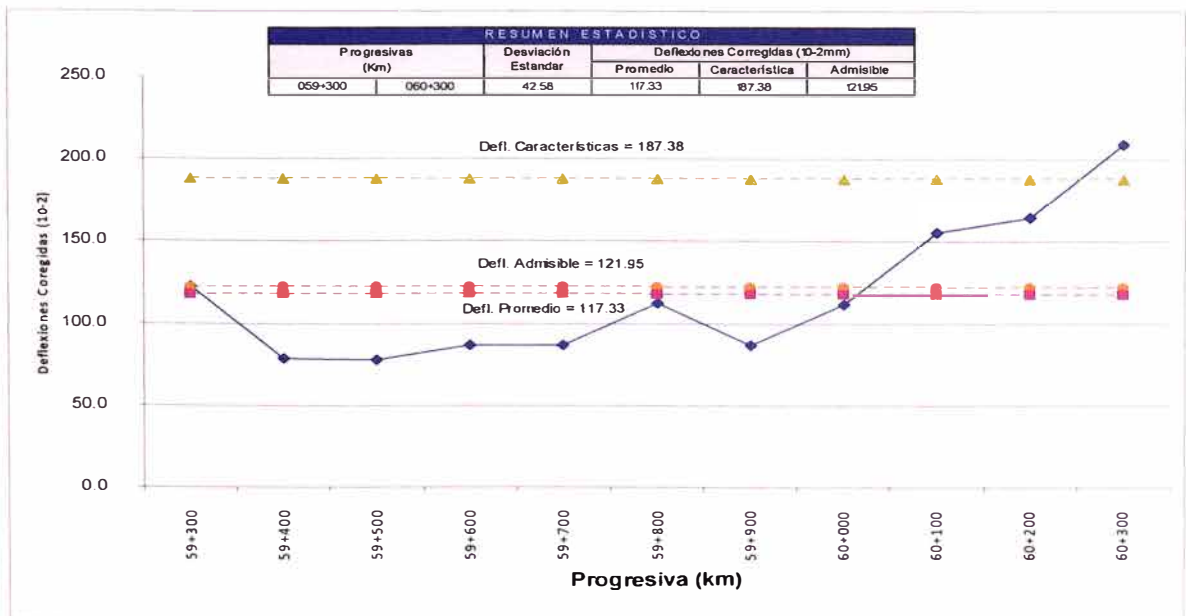
www.camineros.com

ANEXO

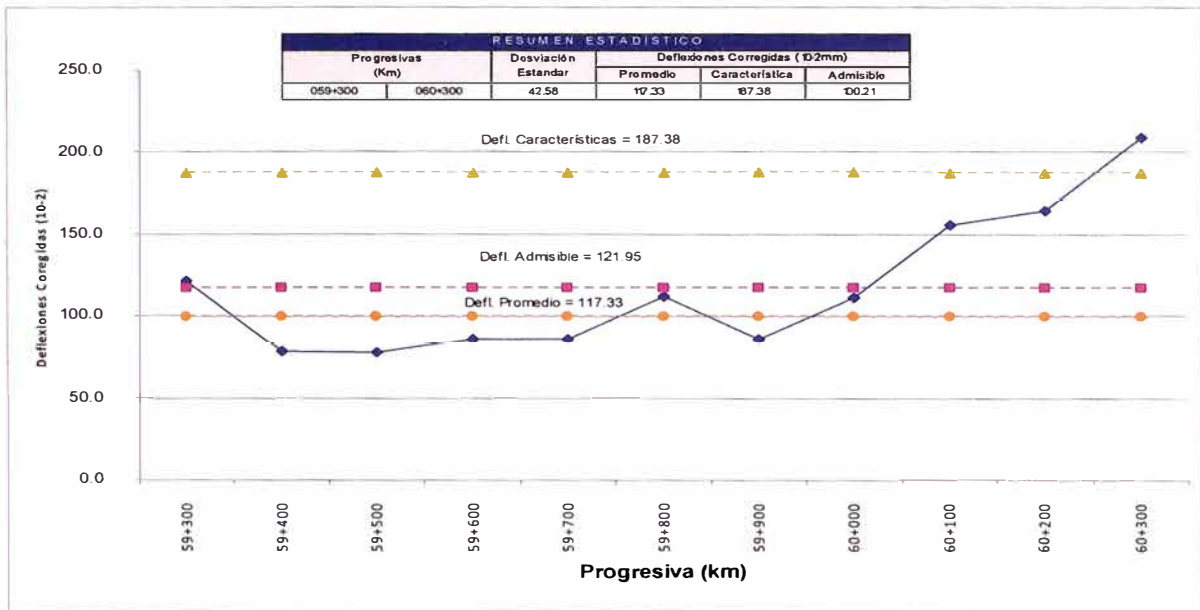
CARACTERIZACION DEFLECTOMETRIA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA PERIODO DE DISEÑO = 3AÑOS



CARACTERIZACION DEFLECTOMETRIA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA PERIODO DE DISEÑO = 5AÑOS



CARACTERIZACION DEFLECTOMETRIA
MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CANETE - YAUYOS - CHUPACA
PERIODO DE DISEÑO = 10 AÑOS



CARACTERIZACION DEFLECTOMETRIA
MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CANETE - YAUYOS - CHUPACA
PERIODO DE DISEÑO = 20 AÑOS

