

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



**EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE
DEL PAVIMENTO,
CARRETERA CAÑETE - CHUPACA
METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

GIOMAR PAULO SORIANO CONTRERAS

Lima- Perú

2011

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, por sus enseñanzas y su apoyo incondicional durante todo este tiempo, a mis hermanos por su comprensión y solidaridad y a quienes siempre me brindaron su amistad y compañerismo y supieron valorar el esfuerzo y dedicación.

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2 CARACTERÍSTICAS	9
1.3 UBICACIÓN	11
1.4 CLIMA	12
1.5 TRÁFICO	13
1.6 TRAMO EVALUADO KM 134+000 – KM 139+000	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1 SUPERFICIE DE RODADURA	16
2.2 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	16
2.2.1 Perfil Transversal	17
2.2.2 Perfil Longitudinal	17
2.3 TEXTURA	18
2.3.1 Amplitud y Longitud de la Onda de Textura	19
2.3.2 Microtextura	19
2.3.3 Macrotextura	19
2.3.4 Megatextura	19
2.3.5 Regularidad Superficial	20
2.3.6 Profundidad de Textura.	20
2.3.7 Método Volumétrico.	21
2.3.8 Profundidad Media de Textura.	21
2.3.9 Profundidad Media del Perfil.	21
2.3.10 Profundidad estimada de textura.	22
2.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO – MICROTERTURA	22

2.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA	
– MACROTEXTURA.	23
2.5.1 Método Volumétrico	25
2.5.2 Perfilómetros.	28
2.5.3 Drenómetros	29
2.6 CONSIDERACIONES INFLUYENTES EN EL COMPORTAMIENTO DE LA TEXTURA DEL PAVIMENTO.	29
2.6.1 Vías de Bajo Volumen de Tránsito	29
2.6.2 Tipos de Pavimentos en Vías de Bajo Volumen de Tránsito	29
2.7 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE SUPERFICIES	33
2.7.1 Técnicas Preventivas.	33
2.7.2 Técnicas Correctivas.	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN	34
3.1 CONCEPTOS PREVIOS	35
3.1.1 Espacio muestral	35
3.1.2 Distribución de Probabilidad	35
3.1.3 Población	36
3.1.4 Muestra	37
3.1.5 Parámetro estadístico	37
3.1.6 Estadístico muestral	38
3.1.7 Hipótesis Estadísticas	38
3.2 SECTORIZACIÓN	42
3.3 NÚMEROS DE DATOS POR SECCIÓN	42
3.4 EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS	42
3.4.1 Medición de condición	42
3.4.2 Estimación	43
CAPÍTULO IV: APLICACIÓN	53
4.1 CARRETERA CAÑETE – CHUPACA TRAMO KM 134+000 AL KM 139+000	53
4.1.1 Sectorización	53
4.1.2 Números De Datos Por Sección	55

4.1.3 Evaluación De La Macrotextura De La Superficie Del Pavimento	56
4.1.4 Estimación	57
CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	62
5.1 SECTORIZACIÓN	62
5.2 NÚMEROS DE DATOS POR SECCIÓN	62
5.3 ESTIMACIÓN	63
5.3.1 Test de normalidad	63
5.3.2 Intervalo de confianza para la media	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	68
ANEXO N°1 PANEL FOTOGRÁFICO	
ANEXO N°2 DATOS OBTENIDOS EN EL TRAMO DE EVALUACIÓN	
ANEXO N°3 MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES E-1005	

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia, forma parte del convenio de cooperación interinstitucional para el acompañamiento y monitoreo de los trabajos de conservación vial por niveles de servicios del corredor vial N°13: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca, entre la UNI y el MTC. De acuerdo al referido convenio, los trabajos presentan un alcance que permitirá elaborar un proyecto de norma o manual (tal como se menciona en el convenio) de diseño para pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito (BVT).

La textura de pavimentos está cobrando importancia en el ámbito nacional como elemento adicional para describir la condición funcional, confortabilidad y seguridad de las vías, siendo la Macrotextura aquella que corresponde a las irregularidades de un pavimento en un intervalo de longitudes de onda comprendidos entre 0.5 mm a 50 mm.

Actualmente, en las Especificaciones Generales de Carreteras en el Perú no se encuentra detalladamente especificado el tema de la evaluación de la Macrotextura de un pavimento con tratamiento superficial, una vez concluida su construcción.

Mediante el Ensayo de Círculo de Arena se puede determinar valores que permitan determinar el deterioro de la superficie del pavimento con tratamiento superficial, por la pérdida de fricción.

El alcance del presente trabajo propone una metodología para el procesamiento de datos obtenidos, mediante el Ensayo de Círculo de Arena, en el tramo evaluado de la carretera Cañete – Chupaca desde el Km 134+000 hasta el Km 139+000, los cuales son procedimientos estadísticos que muestran la confiabilidad de los datos obtenidos en campo para su posterior utilización que facilite la labor de análisis y rehabilitación de la carretera en estudio.

LISTA DE CUADROS

Descripción	Pág.
Cuadro N°1.01 Tramos y Longitudes de la carretera en estudio	10
Cuadro N°1.02 Clasificación del clima en la carretera	12
Cuadro N°1.03 Resumen clasificado por grandes grupos de vehículo del IMDA por estación de control	15
Cuadro N°2.01 Clasificación conforme al ahuellamiento	17
Cuadro N°2.02 Clasificación del Perfil Longitudinal	18
Cuadro N°2.03 Clasificación de Textura	20
Cuadro N°2.04 Escala de textura ensayada con el Círculo de Arena	27
Cuadro N°2.05 Escala de textura ensayada con el Marco Portátil de Textura	28
Cuadro N°3.01 Tipo de error	41
Cuadro N°4.01 Estructura de Pavimento	53
Cuadro N°4.02 Tráfico sobre la carretera en estudio	54
Cuadro N°4.03 Regiones Naturales del Perú	54
Cuadro N°4.04 Datos del ensayo	56

LISTA DE FIGURAS

Descripción	Pág.
Figura N°1.01 Área de Influencia Indirecta	10
Figura N°1.02 Plano Vial Proyecto Perú	11
Figura N°1.03 Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Zúñiga-Dv. Yauyos -Ronchas	12
Figura N°1.04 Zona crítica por vía angosta. Presenta talud en roca	14
Figura N°1.05 Topografía accidentada. Tramo con monocapa deteriorado	15
Figura N°2.01 Clasificación de textura	18
Figura N°2.02 Clasificación del Perfil	20
Figura N°2.03 Profundidad Media del Perfil (MPD)	22
Figura N°2.04 Medición del CRD con Péndulo TRRL	23
Figura N°2.05 Medición de Macrotextura	26
Figura N°2.06 Medición de Macrotextura con esferas de vidrio	27
Figura N°3.01 Gráfico de Distribución Normal	36
Figura N°3.02 Límite de decisión	41
Figura N°3.03 Reporte de minitab de igualdad de varianzas	51
Figura N°3.04 Reporte de minitab de igualdad de medias poblacionales	52
Figura N°4.01 Sectorización por Deflectometría	55
Figura N°4.02 Carretera Sectorizada	55
Figura N°4.03 Progresiva vs PT (mm)	57
Figura N°4.04 Histograma de la Profundidad de Textura vs Frecuencia	58
Figura N°4.05 Test de Normalidad	58
Figura N°4.06 Gráfico de Probabilidad Normal y Lognormal	59
Figura N°4.07 Gráfico de Probabilidad e intervalo de confianza	60
Figura N°4.08 Resumen de estadísticos de la muestra	61
Figura N°5.01 Histograma de los datos de PT (mm) vs Frecuencia	62
Figura N°5.02 Test de Normalidad	63
Figura N°5.03 Intervalo de confianza para la media poblacional	64

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

Símbolo o Sigla	Descripción
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
BVT	Bajo volumen de tránsito
ICCGSA	Consortio Gestión de Carreteras
TSB	Tratamiento superficial bicapa
IMD	Índice medio diario
TMC	Tubería de Metal Corrugado
AEPO	Empresa consultora
AIPCR	Asociación Mundial de Carreteras
ISO	Organización Internacional para la Normalización
PT	Profundidad de Textura
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
MTD	Profundidad Media de textura
MPD	Profundidad Media del Perfil
ETD	Profundidad Estimada de Textura
CRD	Coficiente de Resistencia al deslizamiento
RMS	Media Cuadrática de textura
IMDA	Índice medio diario Anual
V	Volumen
D	Diámetro medio de círculo
cm ³	Centímetro cúbico
Km	Kilometro
mm	Milímetro

INTRODUCCIÓN

En la actualidad no se cuenta con información adecuada para llevar a cabo un programa de conservación, mejoramiento y mantenimiento de vías de bajo volumen de tránsito, razón por la que se toma la decisión de emplear un método que combine métodos de campo con métodos estadísticos, que ayuden a la evaluación de este tipo de vías.

El siguiente informe tiene como objetivo, determinar el deterioro de la superficie del pavimento con tratamiento superficial, por la pérdida de fricción, mediante la evaluación de la Macrotextura de la superficie del pavimento. Aplicar en el tramo de prueba, del km 134+000 al km 139+000 de la carretera, la metodología de discriminación de datos, de tal forma de obtener información de evaluaciones superficiales, útiles y fidedignas que permita continuar con investigaciones.

El presente Informe de Suficiencia, consta de cinco capítulos:

- Capítulo I: Generalidades; donde se destaca los antecedentes del proyecto, algunas características de la carretera en estudio, y se desarrolla un resumen breve y conciso del tramo de la carretera a evaluar.
- Capítulo II: Marco teórico; donde se desarrollarán los conceptos básicos de la superficie del pavimento, la Textura, métodos de medición y consideraciones influyentes en el comportamiento de la superficie del pavimento.
- Capítulo III: Metodología de Discriminación; se desarrollará la teoría necesaria y las consideraciones básicas de la metodología de discriminación de datos.
- Capítulo IV: Aplicación; con los datos obtenidos del tramo evaluado de la carretera se realiza la aplicación de la discriminación de datos.
- Capítulo V: Análisis e Interpretación de resultados; se realiza el análisis e interpretación de los resultados producto de la discriminación de datos.
- En la sección de anexos se indica información complementaria de datos necesarios para la elaboración del presente informe.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), representada por la Facultad de Ingeniería Civil y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) representado por PROVIAS NACIONAL, han firmado el convenio de cooperación interinstitucional para el acompañamiento y monitoreo de los trabajos de conservación vial por niveles de servicios del corredor vial N°13: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca (rehabilitación del tramo Zuñiga – Dv. Yauyos – Ronchas).

De acuerdo al referido convenio, los trabajos presentan un alcance que permitirá elaborar un proyecto de norma o manual (tal como se menciona en el convenio) de diseño para pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito (BVT), basado en la implementación de un sistema de acompañamiento y monitoreo de los trabajos que realiza la empresa constructora, contratada por el MTC para realizar la conservación vial por niveles de servicio de la carretera mencionada.

La Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca es una vía de 271.73 km. que integra los centros poblados de las provincias de Lima y Junín, como también las zonas rurales que se encuentran a todo lo largo de ésta. El mantenimiento, conservación y mejora de esta vía ayuda a la integración de los poblados, eleva la calidad de vida, produce mejoras económicas y propicia el desarrollo sostenido de la zona.

1.2 CARACTERÍSTICAS

Nombre de la Carretera: "CAÑETE-LUNAHUANA-PACARÁN- ZUÑIGA- DV. YAUYOS-RONCHAS".

Lugar de inicio: CAÑETE, Km.1+805.

Lugar de término: CHUPACA, Km.273+531.

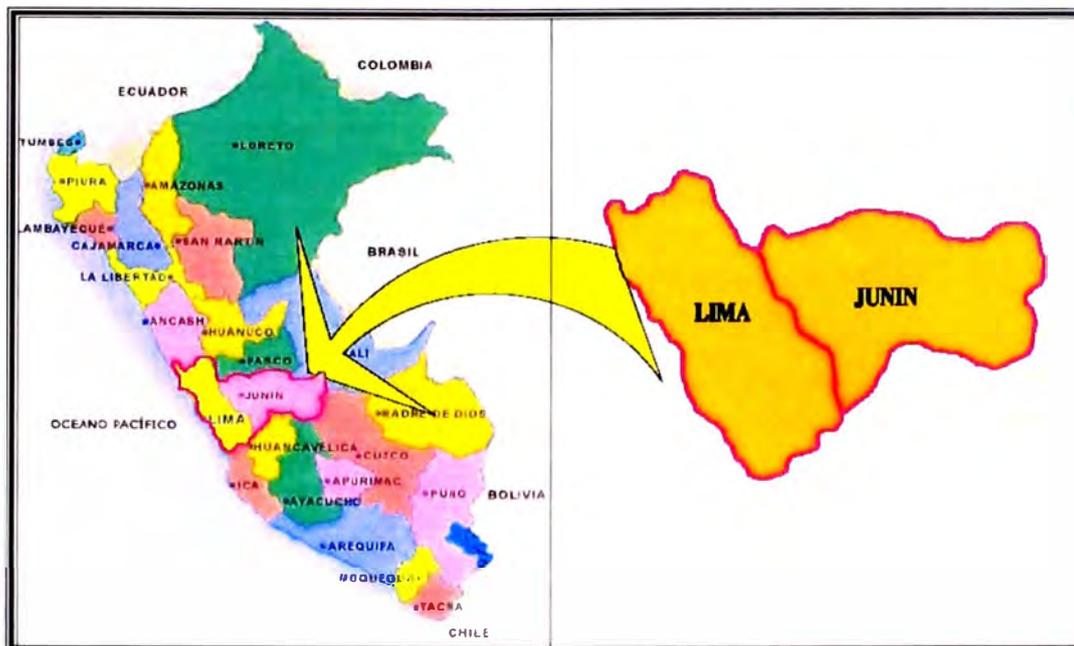
Longitud: 271.73 Km.

Corredor Vial N°13.

Ruta Nacional: 024.

Carretera de 3er Orden.

FIGURA N°1.01 AREA DE INFLUENCIA INDIRECTA



(Fuente: MTC)

La carretera se encuentra dividida en cinco tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado que cuenta con una infraestructura vial insuficiente e inadecuada. Esta tramificación se describe en el siguiente CUADRO N° 1.1 antes y después de la intervención del mantenimiento.

CUADRO 1.01 TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

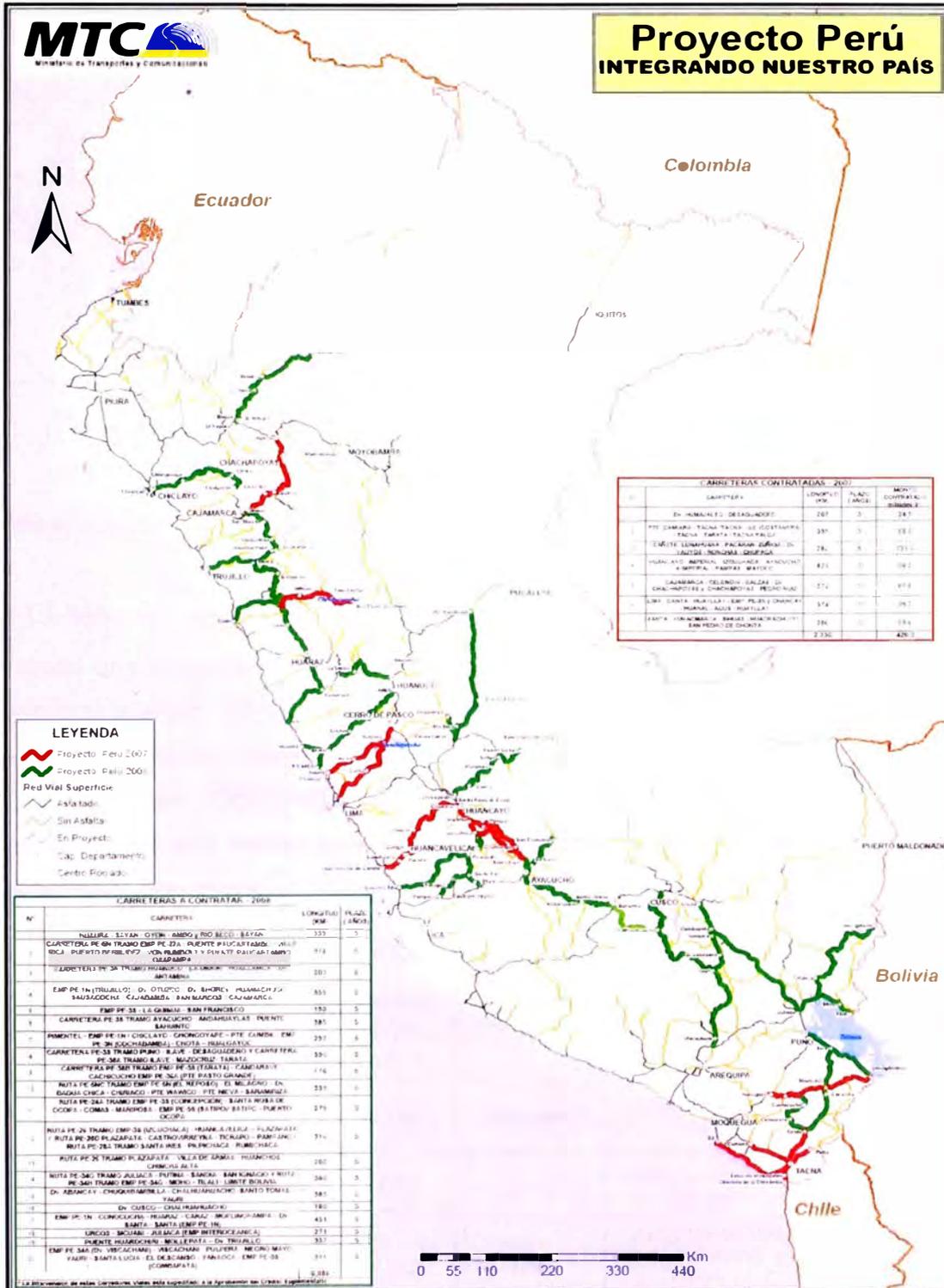
Tramo	Longitud (Km)	Tipo de superficie de rodadura (antes)	Tipo de superficie de rodadura (actual)
Cañete - Pacarán	52.857	Carpeta Asfáltica	Asfaltado – TSB
Pacarán - Catahuasi	24.143	Afirmado	Slurry Seal
Catahuasi-Tinco Yauricocha	104.68	Afirmado	Monocapa
Tinco Yauricocha-San José de Quero	47.62	Afirmado	Monocapa (Deteriorado)
San José de Quero -Chupaca	42.426	Afirmado	Monocapa (Deteriorado)

(Fuente: Elaboración Propia)

1.3 UBICACIÓN

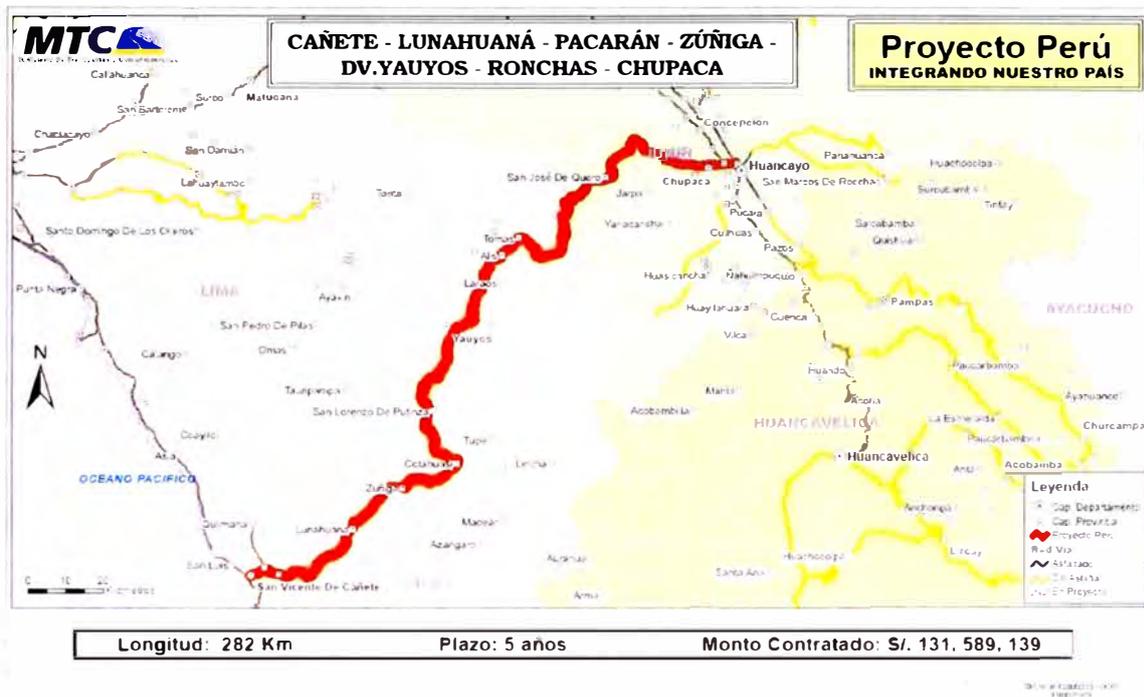
El tramo en estudio está ubicado entre las provincias de Cañete, Yauyos (departamento de Lima) y Chupaca (departamento de Junín).

FIGURA N°1.02 PLANO VIAL PROYECTO PERÚ



(Fuente: MTC)

**FIGURA N°1.03 CARRETERA CAÑETE-LUNAHUANA-PACARAN-ZUÑIGA-DV. YAUYOS-
RONCHAS**



(Fuente: MTC)

1.4 CLIMA

El clima que se presenta en la carretera en estudio es variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su "Geografía del Perú"). En el siguiente CUADRO N° 1.2 se señalan las temperaturas típicas y precipitaciones que se dan en estas regiones.

CUADRO N° 1.02. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA EN LA CARRETERA

Región	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura Máxima	Precipitación	Característica
Yunga (500-2300 msnm)		20° a 27°C		Pprom=100-150 mm	Sol dominante casi todo el año
Quechua (2300-3500 msnm)	-4 a 7°C	11° a 16°C	22° a 29°C	Pprom=800-1200 mm	Clima templado
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	-1 a -16°C	7° a 10°C	>20°C	Pprom.= 800 mm por año	Clima frío
Puna (4000-4800msnm)	-25° a -9°C	0° a 7°C	22°C	Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año	Clima muy frío

(Fuente: Recopilación del informe del cambio estandar y estudios de pre inversión a nivel de perfil para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera)

1.5 TRÁFICO

Del "INVENTARIO VIAL Carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca", hecho por el "Consortio Gestión de Carreteras" en 2008, los conteos fueron realizados durante una semana completa (7 días) en las estaciones E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, E-7, E-8.

**CUADRO 1.03 RESUMEN CLASIFICADO POR GRANDES GRUPOS DE VEHICULOS DEL
IMDA POR ESTACION DE CONTROL (veh/día)**

Tramo	Cañete- Lunahuaná	Lunahuaná - Pacarán	Pacarán - Zúñiga	Zúñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	San José de Quero- Ronchas	Ronchas- Chupaca	Chichicay- Pueblo Nuevo	Pueblo-San Nuevo-San Juan	Chichicay- Capilluca
Tipo Vehículo	E1	E 2	E 3	E 4	E5	E6	E7	E 8	E 7A
VL (Auto+SW+ Camioneta)	707	210	223	21	217	336	292	200	60
Camta Rural +Micro	220	132	122	4	42	38	129	122	26
Ómnibus	11	10	8	8	8	9	14	16	14
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	53	49	46	20	44	41	48	57	34
Camión Acoplado	19	16	19	0	36	30	86	66	98
IMDa (Veh/día)	1010	417	418	53	347	454	569	461	232

(Fuente: ICCGSA)

1.6 TRAMO EVALUADO KM 134+000 – KM 139+000

El tramo en estudio de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca Km. 134+000 – Km. 139+000, presenta las siguientes características que a continuación se describen:

Este tramo de la carretera en estudio se inscribe dentro de los poblados de Magdalena ubicado en el Km. 128+805 a una altitud de 2287 msnm y Tinco Huantan ubicado en el Km 142+165 a una altitud de 2640 msnm , ambos poblados pertenecen a la región Quechua. Como ya se ha mencionado en el Cuadro N° 1.02 este tramo presenta un clima templado. Temperatura varía entre 11°C y 16°C durante el día.

Según el Cuadro N°1.01 que muestra los detalles del tipo de superficie de rodadura existente y longitudes de los tramos, el tramo en estudio está ubicado en el tramo 3.

Tramo 3. Catahuasi – Tinco Yauricocha

Este tramo inicia en la localidad de Catahuasi (km 78+805), ubicada a 1206 m.s.n.m. y finaliza en la localidad de Tinco Yauricocha (km 181+680), a 4040 m.s.n.m., tiene una longitud de 104.68 km, el cual presenta una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa en regular estado, los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son deformaciones (hundimientos y ahuellamientos) y baches. Su orografía es accidentada, presenta al inicio secciones a media ladera que bordean el río y posteriormente secciones de medio túnel. El ancho de plataforma es muy variable cuyo valor oscila entre 3.0 m y 8.5 m, este valor mínimo es probablemente debido a la acción erosiva del río. Del análisis del tráfico, le corresponde un índice medio diario (IMD) de 722. El drenaje transversal está conformado por puentes, pontones, alcantarillas tipo marco de concreto armado y tipo TMC en buenas condiciones estructurales pero que necesitan limpieza, dos badenes en regular estado y muros, mayormente de piedra, cuyo estado no es bueno. Las estructuras de drenaje longitudinal como canales y cunetas, en su mayoría de tierra, requieren ser reemplazadas.

FIGURA N°1.04 ZONA CRÍTICA POR VÍA ANGOSTA. PRESENTA TALUD EN ROCA.



(Fuente: elaboración propia)

En cuanto a la señalización se tiene elementos de seguridad y señalización horizontal, existe algunas señales verticales, que son insuficientes, estas señales presentan regulares condiciones. Se ha visualizado la existencia de gibas de concreto en los centros poblados. Sus diversas zonas críticas entre las predominantes se tienen por vía angosta y por erosión; también por inestabilidad

de taludes y huaycos. En el tramo se tienen puentes y pontones de madera (truncos) con vigas metálicas y de tablonos de madera, los problemas que se han visualizado en los puentes son la pérdida que estos han sufrido en lo que corresponde a las barandas, lo cual constituye un peligro constante para los usuarios de la vía.

FIGURA N°1.05 TOPOGRAFÍA ACCIDENTADA. TRAMO CON MONOCAPA DETERIORADO.



(Fuente: elaboración propia)

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1 SUPERFICIE DE RODADURA

Es la capa superficial del pavimento que por razones constructivas de rodadura tiene un espesor que puede ir desde apenas 5mm hasta 5 ó 6cm.

La superficie de rodadura es una superficie no plana (es decir, que no está contenida en un plano) por lo tanto complicada de examinar. A efectos prácticos esta superficie se estudia analizando líneas perpendiculares y paralelas al eje de la carretera, es decir, estudiando el perfil transversal y el perfil longitudinal.

2.2 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES

Desde el punto de vista general la superficie de rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con el neumático.

Las características del pavimento se clasifican por las dimensiones de las irregularidades superficiales. Para analizarlas se estudia su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) y además si las características son globales (corresponden a un tramo concreto) o localizadas (específicas de una zona más pequeña). Por ejemplo el tipo de pavimento de un tramo es un atributo global. La existencia de un bache es un atributo local. Las características superficiales de un tramo recién construido son homogéneas y por lo tanto se trata de un atributo global, aunque con el uso del pavimento pueden aparecer defectos localizados que deben ser estudiados como atributos locales.

La determinación de si un atributo es global o local es importante en términos de su medida. Los atributos globales, por pequeños que sean, normalmente se pueden medir fiablemente usando procedimientos estadísticos aplicados sobre el área de análisis. Los atributos locales sólo se miden fácilmente si se extienden sobre un área relativamente grande. Los pequeños atributos localizados son los más difíciles de medir.

La geometría del pavimento afecta a la seguridad, comodidad y costos de los usuarios. Las características que se consideran importantes incluyen:

- Regularidad superficial
- Fricción o Resistencia al deslizamiento
- Textura

2.2.1 Perfil Transversal.

Desde el punto de vista de la calidad en la construcción no es habitual estudiar el perfil transversal ya que sus características más importantes son el peralte y los ahuellamientos. Durante el proceso constructivo no es imaginable que se produzcan ahuellamientos por lo que no se considera necesario establecer especificación o criterio de calidad o de limitación del valor de ahuellamiento. Correspondiendo en todo caso al diseño de mezclas resistentes a las deformaciones plásticas o a las prácticas de conservación, para cuando las huellas como consecuencia del uso del firme puedan llegar a producirse.

Las huellas son una característica que se mide durante la conservación, ya que con el uso el tráfico va produciendo deformaciones del perfil transversal que deben mantenerse dentro de unos determinados valores. Con carácter informativo se muestra la siguiente tabla de valoración de la profundidad de huellas:

CUADRO N° 2.01. CLASIFICACIÓN CONFORME AL AHUELLAMIENTO

Ahuellamiento (mm)	CALIFICACIÓN
< 10	BUENO
10 - 15	ACEPTABLE
> 15	NO DESEABLE

(Fuente: AEPO Ingenieros Consultores)

2.2.2 Perfil Longitudinal.

El análisis de la calidad de la superficie de rodadura se realiza principalmente mediante la medida e interpretación del perfil longitudinal. Para este propósito es conveniente comenzar clasificando el perfil de acuerdo a convenios

internacionales. La Clasificación más conocida y aceptada del perfil es la establecida por la Asociación Mundial de Carreteras que es la siguiente:

CUADRO N° 2.02. CLASIFICACIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL

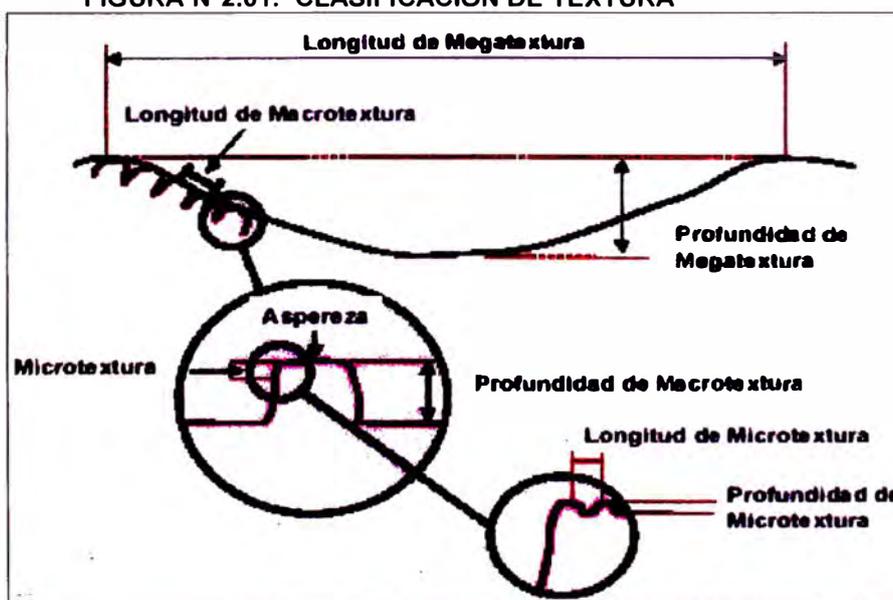
Dominio	Longitud de Onda	Amplitud
TRAZADO	50 - 1000 m	0.5 - 50 m
REGULARIDAD SUPERFICIAL	0.5 - 50 m	0.001 – 0.5 m
TEXTURA	0 – 0.5 m	0.001 - 50 mm

(Fuente: AEPO Ingenieros Consultores)

2.3 TEXTURA

En el Congreso Mundial de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), celebrado en Bruselas en 1987 se definieron los conceptos referentes a textura: microtextura, macrotextura y megatextura. Su definición se expone en el diagrama, tal como fue establecida por un grupo de trabajo de la ISO a partir de la propuesta inicial de la AIPCR. Igualmente se establecen definiciones para las distintas formas de evaluar la textura que resultan esenciales en el desarrollo de este capítulo.

FIGURA N°2.01. CLASIFICACIÓN DE TEXTURA



(Fuente: Giuliana Barraza)

Estas definiciones también proceden del borrador de la ISO/CD13473 y son las siguientes:

2.3.1 Amplitud y Longitud de la Onda de Textura.

El perfil del pavimento se describe por el desplazamiento a lo largo de su superficie y por el desplazamiento en dirección normal a ella. Aquí se llama distancia al primero y ancho al segundo. La distancia puede medirse en sentido longitudinal o transversal respecto a la dirección de la marcha, o en cualquier inclinación intermedia. Se define la longitud de onda de textura como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.

2.3.2 Microtextura

La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0.5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales de no más de 0.4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0.001 y 0.5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

2.3.3 Macrotextura.

La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0.5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales entre 0.5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0.01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los elementos del neumático en la zona de contacto con el pavimento.

2.3.4 Megatextura.

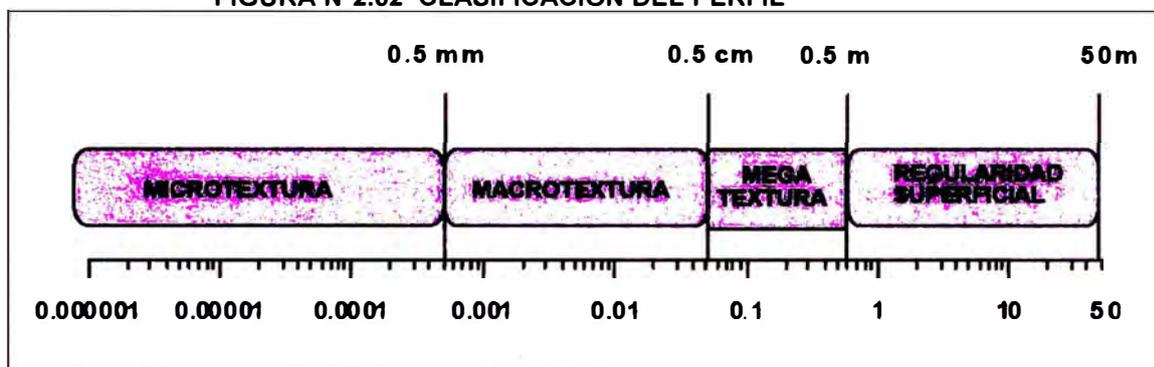
La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales entre 63 y 500

mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0.1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

2.3.5 Regularidad Superficial

La regularidad superficial es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana con dimensiones características en sentido longitudinal mayores de 0.5 m (correspondiente a las longitudes de onda comprendidas entre 0.5 y 50 m).

FIGURA N°2.02 CLASIFICACIÓN DEL PERFIL



(Fuente: AIPCR)

CUADRO N° 2.03. CLASIFICACIÓN DE TEXTURA

Dominio	Longitud de Onda	Amplitud
MEGATEXTURA	50 - 500 mm	0.1 - 50 mm
MACROTEXTURA	0.5 - 50 mm	0.01 - 20 mm
MICROTEXTURA	0 - 0.5 mm	0.001 - 0.5 mm

(Fuente: AIPCR)

2.3.6 Profundidad de Textura.

En un análisis tridimensional, el término profundidad de textura (PT) es, para un área similar a la de contacto con el neumático, la distancia media entre la superficie del pavimento y un plano que pase por los tres vértices más altos y "claramente espaciados" de dicha superficie.

2.3.7 Método Volumétrico.

El método conocido como círculo de arena se viene empleando desde hace muchos años en la medida de textura de pavimentos. Se realiza esparciendo un volumen conocido de arena sobre el pavimento en forma de círculo y midiendo su diámetro. Dividiendo el volumen de arena entre la superficie del círculo, se obtiene la profundidad media de arena equivalente a la profundidad media de textura. En los últimos años la arena ha sido sustituida por microesferas de vidrio. En vista de que realmente se trata de un método basado en la medida de un volumen de material, el nombre apropiado es el de "método volumétrico". Este método se describe en el anexo A de la norma ISO 10844 y en la norma ASTM E-065.

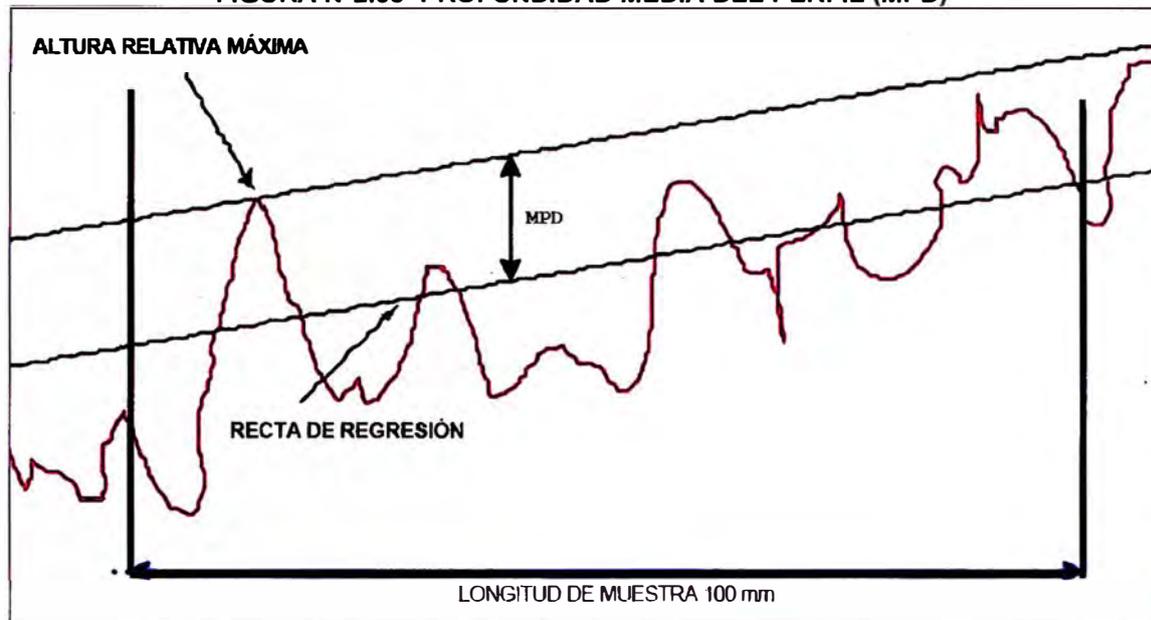
2.3.8 Profundidad Media de Textura.

En la aplicación del "método volumétrico" (descrito anteriormente), el «plano» se determina en la práctica por el contacto entre una zapata de caucho y la superficie con la que roza. Por tanto, la superficie de referencia que se obtiene no es exactamente un «plano», sino una superficie curva difícil de definir. La profundidad de textura que se obtiene con el método volumétrico se denomina profundidad media de textura MTD (Mean Texture Depth)

2.3.9 Profundidad Media del Perfil.

En el caso bidimensional, es decir, en el estudio de una línea del perfil, el término profundidad media del perfil MPD (Mean Profile Depth) es la diferencia (en una distancia del mismo orden de magnitud que el contacto pavimento-neumático) entre la recta de regresión de los puntos del perfil y una paralela trazada por su punto más alto.

FIGURA N°2.03 PROFUNDIDAD MEDIA DEL PERFIL (MPD)



(Fuente: AEPO Ingenieros Consultores)

2.3.10 Profundidad estimada de textura.

Cuando la profundidad media de textura (MTD) se calcula a partir de la profundidad media del perfil (MPD) mediante una ecuación de transformación, el resultado se denomina profundidad estimada de textura (ETD).

2.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO – MICROTEXTURA

Existe gran variedad de equipos para cuantificar el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD), alguno de ellos son de medición continua y de gran rendimiento y otros de medición puntual. En el primer caso trata del equipo conocido como Mu Meter (ASTM E-670), el cual consiste en un remolque liviano de tres ruedas, en la que las dos ruedas delanteras son las medidoras, debido a que cuentan con un ángulo de divergencia de 15° , esta cuantifica la fuerza que se genera para abrir las mismas, a través de una celda de carga ubicada entre ellas; mientras que la tercera rueda ubicada en la parte posterior es la odométrica. En el Perú no se cuenta con este equipo o por lo menos no se ha efectuado mediciones anteriores.

En el caso de los equipos de medición puntual se encuentra el Péndulo de Fricción TRRL (ASTM E-303). Este equipo es liviano y de fácil operación y consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características

conocidas, provisto en su extremo de una zapata de caucho. Cuando la arista de la zapata roza con una presión determinada sobre la superficie a ensayar, en una longitud fija, esta pérdida de energía es medida por el ángulo suplementario de oscilación del péndulo. En el Perú pocas empresas privadas cuentan con este equipo, tampoco se han efectuado mediciones anteriores.

FIGURA N°2.04 MEDICIÓN DEL CRD CON PÉNDULO TRRL



(Fuente: Departamento de Transportes CESEL S A)

2.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA – MACROTEXTURA.

La macrotextura de la superficie del pavimento es un factor que influye de manera significativa en la fricción entre rueda y pavimento, en la emisión de ruido de la interfaz rueda-pavimento y en la pulverización de agua del tráfico en pavimentos húmedos.

Durante muchos años se ha descrito la textura de la superficie a partir del resultado del método del círculo de arena. El resultado del círculo de arena se obtiene depositando una determinada cantidad de arena sobre el pavimento y dividiendo el volumen (predeterminado) entre el área de pavimento (medida)

cubierta por la arena; el valor que representa la profundidad media de arena se define como la macrotextura.

La norma ISO 13473 describe cómo determinar la Profundidad de Medida de Perfil (MPD) como la profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento con la medición de una curva de perfil. La definición de macrotextura que da la norma ISO es la siguiente:

“Macrotextura: La desviación de la superficie de un pavimento de una superficie totalmente plana con dimensiones características a lo largo de la superficie de 0.5 mm a 50 mm (correspondientes a longitudes de onda de textura con bandas de tres octavos incluyendo variación de 0.5 mm a 50 mm de longitudes de onda centrales)”.

Además de la definición de macrotextura, la ISO 13473 explica detalladamente el procedimiento de medición y tratamiento de datos. El filtrado de paso alto debería eliminar longitudes de onda mayores de 100 mm y el filtrado de paso bajo aquellas por debajo de 2.5 mm.

Los resultados tratados a partir de medición de macrotextura se calculan para intervalos de longitud de onda de 0.5 - 50 mm.

La textura de los pavimentos es una de las características del pavimento que permite su identificación.

La textura es una cualidad conferida por el proyectista al decidir el tipo de capa de rodadura a construir, aunque en muchas ocasiones el proyecto no llega a realizar una especificación expresa del valor de textura a conseguir.

El funcionamiento del pavimento está ligado en muchos aspectos a su característica de textura. La capacidad de suministrar un buen nivel de adherencia con los neumáticos de los vehículos y de evacuar el agua de la interfase neumático/pavimento es misión de la textura.

Hoy en día existen diferentes tipos de ensayos para evaluar la macrotextura de un pavimento. Estos ensayos varían mucho, tanto en la rapidez del trabajo, tipo de medida y costo del equipo. Estos ensayos se dividen en tres tipos de medida:

2.5.1 Método Volumétrico

La forma más antigua y conocida de cuantificar la macrotextura es el ensayo del Círculo de Arena (ASTM E-965). Se trata de un ensayo puntual que determina la Profundidad de Textura (PT) en milímetros y se cuantifica como el cociente entre un volumen conocido de arena de granulometría normalizada y el área sensiblemente circular de la arena esparcida, aplicada con un accesorio de caucho sobre la superficie del pavimento.

Círculo de Arena (MTC E 1005 – 2000).

a) Aparatos y Materiales.

- Cilindro de bronce de 10, 25 y 50 cm³ de capacidad.
- Recipiente plástico para guardar arena, de unos 250 cm³ de capacidad.
- Disco de madera de 15 cm de diámetro con vástago de madera que sirva de mango y con base de goma aproximadamente de 1 ½ mm de espesor.
- Una regla marcada en mm.
- Una brocha.
- Arena pasante el tamiz de 300 mm (N° 50) y retenido en el de 150 mm (N° 100). Se puede emplear arena natural con partículas redondeadas.

b) Procedimiento de Ensayo.

- Limpiar cuidadosamente con brocha el área de pavimento debiendo estar seco.
- Llenar con arena el cilindro de bronce para el ensayo y golpeándose unas tres veces para acomodar la arena, la cual debe enrasarse posteriormente para garantizar el volumen adecuado.
- Se vierte la arena sobre la superficie del pavimento que se va a ensayar.
- Con el disco de madera se distribuye la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual debe extenderse de manera que llene las asperezas del pavimento hasta el instante en que se advierte visualmente los picos de estas asperezas.

- Se determina, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

c) Cálculos.

Conocido el volumen de arena empleado para el ensayo (V) y el diámetro medio del círculo (D), se calcula la profundidad de penetración de la arena dentro de las asperezas o "profundidad de textura" (PT), mediante la siguiente expresión:

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$

FIGURA N°2.05 MEDICIÓN DE MACROTEXTURA



(Fuente: Elaboración Propia)

Actualmente también se está realizando este ensayo con esferas de vidrio, como se muestra en la siguiente figura, de tal manera que la homogeneidad del material sea más confiable:

FIGURA N°2.6 MEDICIÓN DE MACROTEXTURA CON ESFERAS DE VIDRIO



(Fuente: AIPCR)

Este ensayo es útil para valores de textura superiores a los 0.25mm y se debe hacer en un pavimento seco, limpio y sin viento. Se debe también indicar la escala de textura de la superficie ensayada con el siguiente cuadro:

CUADRO N°2.04 ESCALA DE TEXTURA ENSAYADA CON EL CÍRCULO DE ARENA

	Superficie	Clases de Textura	
		Macro	Micro
A		Gruesa	Áspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Áspera
D		Fina	Pulida

(Fuente: Manual MTC E-1005 2000)

Marco Portátil de Textura:

Este ensayo consiste en:

- Un marco de madera de 70 x 20 x 1 cm. sin fondo ni tapa
- A todo lo largo, por ambos bordes longitudinales hay una escala graduada en centímetros.

- Una banda metálica de 200 x 50 x 1cm. favorece en los primeros 5 cm. el inicio del ensayo coincidiendo con el cifrado de cero.
- 25cm³ de arena granulada que pasa por el tamiz 50 y retiene el tamiz 100.
- Paleta de madera fina de 3mm de espesor y 19mm de ancho para extender y enrasar la arena.
- La altura de la macrotextura (H_Amm.) se determina de la siguiente forma:

$$HA(mm) = \frac{12.5}{La(cm)}$$

La (cm) = longitud de la mancha de arena

TABLA N°2.5 ESCALA DE TEXTURA ENSAYADA CON EL MARCO PORTÁTIL DE TEXTURA

La (cm)	TIPO DE TEXTURA
> 66	Muy Fina
45 – 66	Fina
30 – 45	Media
15 – 30	Gruesa
< 15	Muy Gruesa

(Fuente: Manual de ensayo-Cuba)

2.5.2 Perfilómetros.

Obtienen un perfil digital de la macrotextura. Existen tres tipos en general: láser, fotoseccionamiento y aguja de contacto. El más común es del tipo láser. Estos equipos miden la altura de un punto sobre el pavimento.

Normalmente van instalados en otros equipos pudiendo ser desplazados para su medida hasta una velocidad de 72Km/h.

Uno de los Perfilómetros más usados es el siguiente:

Perfilómetro Video Láser RST 24

La evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo ha originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura.

Con este equipo se determina un valor de la Media Cuadrática de Textura (RMS) de las amplitudes del perfil filtrado de determinadas bandas de longitud de onda.

Se obtienen valores medios cada 20m y para cada uno de los tres rangos de medidas, es decir, evalúa la megatextura, la macrotextura gruesa y la macrotextura fina.

La textura se mide usando cámaras láser de 32 kHz. para cada rodada, pudiéndose configurar para cada usuario.

2.5.3 Drenómetros

Miden el tiempo de drenaje. Se utiliza un cilindro transparente con un volumen establecido. Este cilindro tiene un obturador de caucho entre el cilindro y el pavimento. El cilindro es llenado de agua y se mide, con un cronómetro, el tiempo que tarda en evacuar el agua. El inverso del tiempo representa la medida de textura, que es la que determina el flujo de agua.

El tiempo en una superficie perfectamente lisa sería infinito.

2.6 CONSIDERACIONES INFLUYENTES EN EL COMPORTAMIENTO DE LA TEXTURA DEL PAVIMENTO.

2.6.1 Vías de Bajo Volumen de Tránsito

Vías de bajo volumen de tránsito son definidas como carreteras troncales y locales que tienen un índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA) de menor de 350 vehículos por día por carril.

2.6.2 Tipos de Pavimentos en Vías de Bajo Volumen de Tránsito

Se clasifican en función a la superficie de rodadura y capas superiores.

a) Con Superficie de Rodadura no Pavimentada.

Este tipo de superficies está conformado básicamente de una base sin protección drenante. Representa en mayor parte las carreteras vecinales de bajo volumen de tránsito comúnmente existente en la red vial nacional.

FIGURA N°2.07 SUPERFICIE DE RODADURA NO PAVIMENTADA.



(Fuente: MTC.)

b) Con Superficie de Rodadura Pavimentada.

b.1) Pavimentos Flexibles.

Con capas granulares (sub base y base drenante) y una capa bituminosa de espesor variable mayor a 25 mm, como son las carpetas asfálticas en frío y en caliente.

b.2) Tratamientos Superficiales.

Con capas granulares (sub base y base drenante) y una superficie bituminosa de espesor variable menor a 25 mm, como son los tratamientos superficiales monocapa, bicapa y slurry seal.

Monocapa, es un tratamiento superficial que consiste en un riego con un ligante bituminoso y la posterior extensión de una gravilla de tamaño uniforme. Se denomina riego monocapa porque sólo se realiza una extensión de ligante y de gravilla.

Es un tratamiento superficial muy utilizado, y por su bajo costo es una buena solución como pavimento en carreteras con tráficos ligeros.

En el riego monocapa se suelen utilizar emulsiones de rotura rápida como ligante. La gravilla que se utilicen deberá tener unas características muy concretas (resistencia al desgaste, etc.), ya que se trata de un pavimento, en contacto con las ruedas de los vehículos.

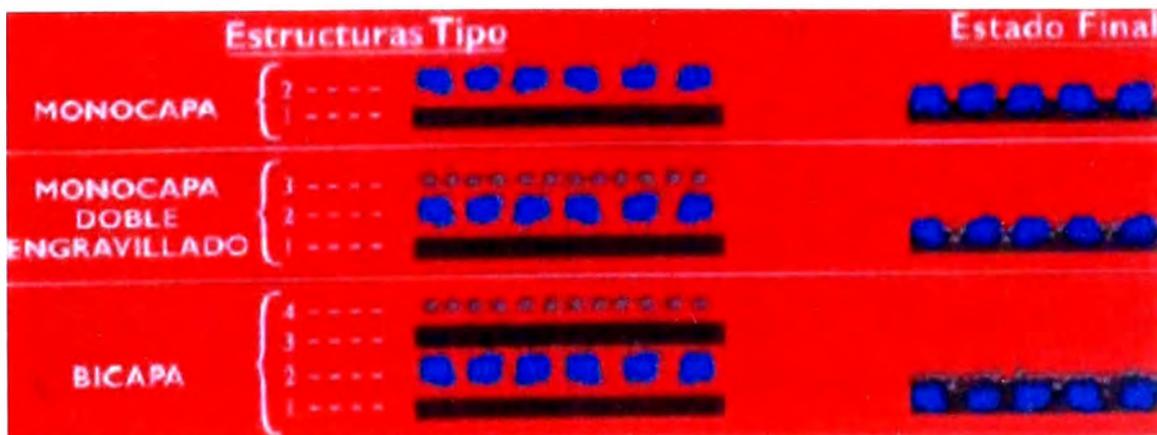
Monocapa Doble Engravillado, es un tratamiento superficial que consiste en un solo riego de ligante bituminoso, y la posterior extensión de una capa de gravilla gruesa, y sucesivamente de otra grava fina, que acomoda las partículas de mayor tamaño.

Bicapa, es un tratamiento superficial que consiste en la extensión de un ligante bituminoso y, posteriormente, de una gravilla de tamaño uniforme, realizando varias aplicaciones, con tamaños decrecientes de gravilla.

Este tratamiento superficial tiene una relación costo/durabilidad baja por lo que es una solución muy utilizada como pavimento para tráfico ligero y mediano, ya que si está bien ejecutado puede superar incluso los cinco o seis años con tráfico mediano.

Los ligantes más recomendables para realizar el riego bicapa son las emulsiones de rotura rápida como ligante. Los agregados que se utilicen serán con caras frecuradas (material chancado), deberán tener unas características muy concretas (resistencia al desgaste, etc.), y se suministrarán por separado los dos tamaños que se utilicen.

FIGURA N°2.08 ESQUEMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL.



(Fuente: Elaboración propia.)

Mortero Asfáltico (Slurry Seal), es una mezcla asfáltica de alto rendimiento para pavimentación, compuesta de agregados de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, filler mineral, y agua, la cual es aplicada de manera efectiva como sello de pavimentos envejecidos, sello de grietas superficiales, detienen la desintegración y dotan de propiedades antiderrapantes, también cuenta con propiedades impermeabilizantes.

Se aplica para mantenimiento preventivo o correctivo con espesores desde 5 – 15 mm. Su diseño y aplicación están normados en ISSA A-105 y ASTM D-3910 El mortero asfáltico se aplica en capas delgadas (1½ veces el tamaño máximo del agregado).

Morteros asfálticos de mayor rendimiento pueden ser diseñados para aumentar ciertas características del mortero para una particular finalidad ya sea con la adición de polímeros o algún otro material para la recuperación de ahuellamientos, resistencia al agrietamiento, incremento de rugosidad, etc.

FIGURA N°2.09 TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL.



(Fuente: MTC.)

2.7 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE SUPERFICIES

Las técnicas de mantenimiento y rehabilitación de superficies son trabajos realizados a la superficie del pavimento, con fines de preservar o extender su vida útil, hasta que sea necesario una rehabilitación o reconstrucción completa. Estas técnicas se clasifican en preventivas y correctivas de acuerdo a la funcionalidad.

2.7.1 Técnicas Preventivas.

Son usadas para mantener el pavimento por encima de un nivel mínimo aceptable y para retardar el deterioro del pavimento, a un nivel en el cual requiera corrección o reconstrucción. El sellado de superficies se considera una forma de mantenimiento.

2.7.2 Técnicas Correctivas.

Son necesarias para reparar deficiencias en la superficie del pavimento. Pueden incluir reparaciones temporales y permanentes. La reparación de ahuellamientos y mejoramiento de la textura superficial, son usualmente considerados como mantenimiento correctivo.

CAPÍTULO III.- METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN

El objetivo del siguiente capítulo es establecer la teoría básica y necesaria, para establecer los pasos a seguir para la discriminación de datos, obtenidos de la evaluación de la Macrotextura del pavimento, mediante el ensayo del Círculo de Arena (Profundidad de Textura).

Desafortunadamente, es la primera vez que se realiza este tipo de evaluación en la carretera en estudio, y solo se obtuvieron datos de una sola muestra, tomados el día que se hizo la evaluación del tramo asignado al grupo de trabajo. Por lo que solo se desarrolla la parte teórica básica para la metodología de discriminación de datos.

Los pasos a seguir para la metodología de discriminación de datos, son:

- Sectorización de la vía en estudio (sub capítulo 3.2)
- Obtener datos en los sectores preestablecidos, Profundidad de Textura. (sub capítulo 3.4.1).
- Obtener valores representativos de los sectores preestablecidos, como es la Estimación del Promedio de los datos obtenidos y su intervalo de confianza. (sub capítulo 3.4.2 - Sección)
- Con los valores representativos de cada sector, establecer que sectores pueden ser homogeneizados, mediante pruebas estadísticas de igualdad de medias poblacionales e igualdad de varianzas, y pueden ser tomados como una sola población. Pasando así a discriminar todos los datos obtenidos de la carretera en estudio. (sub capítulo 3.4.2 - Secciones)

Como se expuso en los párrafos precedentes, existe el inconveniente de que solo se tienen datos de un solo tramo de la carretera, por lo que a pesar que se está desarrollando la parte teórica básica para la metodología de discriminación de datos, en la parte aplicativa solo se llegará a la estimación del promedio de la población del tramo evaluado y su correspondiente intervalo de confianza.

3.1 CONCEPTOS PREVIOS

3.1.1 Espacio Muestral

Conjunto de todos los resultados de un experimento aleatorio.

Variable aleatoria (v.a.).- Es una función que asocia un número real con cada elemento del espacio muestral.

3.1.2 Distribución de Probabilidad

Modelo matemático que relaciona el valor de la v.a. con la probabilidad de ocurrencia de este valor en la población.

Se denomina distribución de probabilidad de variable discreta a aquella cuya función de probabilidad sólo toma valores positivos en un conjunto de valores de X finito o infinito numerable.

Se denomina distribución de probabilidad de variable continua a aquella que puede tomar cualquiera de los infinitos valores existentes dentro de un intervalo. Para el tema en evaluación, se obtendrán datos (profundidad de textura) que producirán una distribución de probabilidad de variable continua.

Como ejemplos de distribución normal de variable continua tenemos:

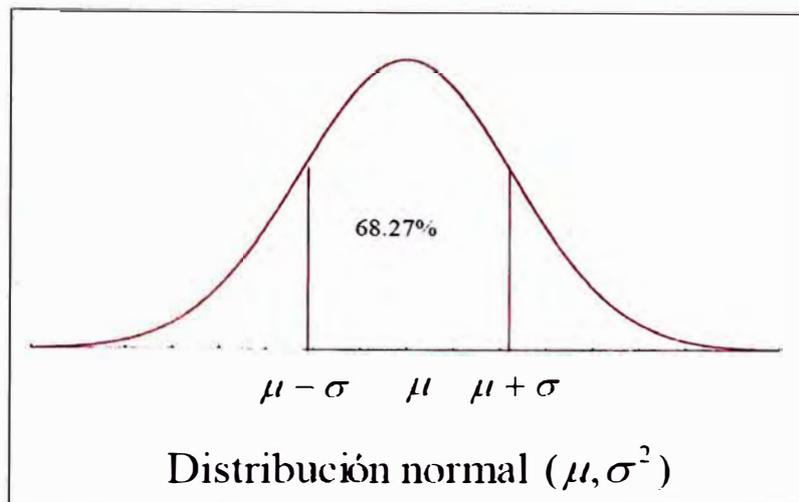
Distribución Normal

Uno de los modelos probabilísticos más importantes de una distribución de probabilidad continua es la distribución normal, algunas veces denominada la distribución gaussiana. La distribución está dada por la variable aleatoria X en el intervalo de $(-\infty, \infty)$ y con una función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Los parámetros μ y σ^2 son la media y la varianza respectivas de la distribución.

FIGURA 3.01. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN NORMAL



(Fuente: Apuntes de Clase)

Algunas características de una distribución Normal:

- Simetría alrededor de la media.
- Asimetría estandarizada (sesgo) cero.
- Curtosis estandarizada cero.
- Media, moda y mediana son iguales.

Distribución Lognormal

Una variable aleatoria X tiene una distribución lognormal, si la variable $Y = \ln X$ tiene una distribución normal, y con una función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0$$

μ_y : media de $Y = \ln X$

σ_y : desviación estándar de $Y = \ln X$

Se utiliza cuando distribución de X tiene sesgo positivo. Si X es una v.a. tal que $\ln X$ tiene distribución normal, entonces X tiene una distribución lognormal de dos parámetros.

3.1.3 Población

Conjunto finito o infinito de todos los elementos que estamos estudiando, que presentan características comunes, de los cuales intentamos sacar conclusiones.

3.1.4 Muestra

Parte de la población a estudiar que sirve para representarla.

a) Muestreo.- Procedimiento empleado para obtener una o más muestras de una población; el muestreo es una técnica que sirve para obtener una o más muestras de población.

Muestreo Aleatorio Simple.- En una población de tamaño N se pueden realizar extracciones de n elementos, de tal manera que cada vez el elemento extraído es repuesto al total de la población. Por lo tanto cada individuo de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido y puede ser extraído más de una vez. Es decir la probabilidad de que se elegido en cualquiera de las extracciones es 1/N.

3.1.5 Parámetro estadístico

Es el valor representativo de una población.

a) Medidas de posición

Media.- Es el punto de equilibrio o centro de masas de un conjunto de datos.

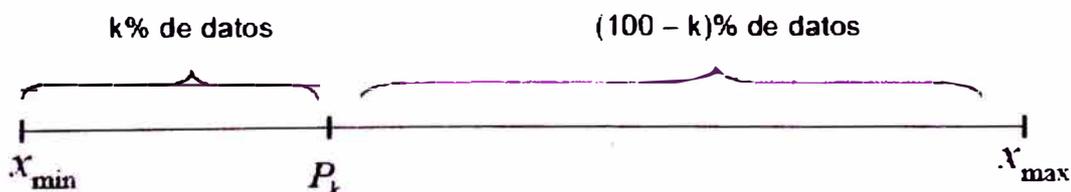
Dado un conjunto numérico de datos, se define su media aritmética como:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Mediana.- Valor que deja el 50% de los datos no superior a él y el otro 50% no inferior a él.

Moda.- Valor más frecuente.

Percentil.- Valor que deja el k% de los datos no superior a él y el otro (100-k)% no inferior a él



b) Medidas de dispersión

Rango.- Diferencia entre los valores máximo y mínimo.

Varianza.- Es la media de las desviaciones respecto de la media, al cuadrado.

Para una variable aleatoria está definido como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Desviación estándar.- Se define como la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Coefficiente de Variación.- Es el número de veces que la media está contenida en la desviación estándar. Generalmente se expresa en porcentaje.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \%$$

3.1.6 Estadístico Muestral

Es una medida cuantitativa, derivada de un conjunto de datos de una muestra, con el objetivo de estimar o inferir características de una población o modelo estadístico.

Por ejemplo, la media de los valores de una muestra (media muestral, \bar{x}) sirve para estimar la media de la población de la que se ha extraído la misma; del mismo modo la varianza muestral (S^2) podría usarse para estimar la varianza poblacional (σ^2).

3.1.7 Hipótesis Estadísticas

Una hipótesis estadística es hacer determinados supuestos o conjeturas acerca de las poblaciones que se estudian, que pueden ser ciertos o no. Para llegar a tomar decisiones. La verdad o falsedad de una hipótesis estadística nunca se sabe con absoluta certidumbre a menos que se examine toda la población, esto es poco práctico en la mayoría de los casos. Lo práctico es tomar una muestra aleatoria de la población y utilizar los datos de esta muestra para proporcionar evidencia que apoye o no la hipótesis.

Hipótesis Nula y Alternativa

La hipótesis nula se refiere a cualquier hipótesis que se desea probar y se denota con H_0 . Cualquier hipótesis que difiera de una hipótesis dada se llama hipótesis alternativa y se denota por H_A . Una hipótesis nula con respecto a un parámetro poblacional siempre se establecerá de modo que especifique un valor

exacto del parámetro, mientras que la hipótesis alternativa permite la posibilidad de varios valores.

Prueba de Hipótesis

Un problema de estimación incluye un parámetro poblacional θ , para el cual no se tiene una noción de su valor. En tales casos, con base en una muestra aleatoria simple (m.a.s.) se obtiene una aproximación (estimación) a este valor (puntualmente y por intervalos de confianza). Si se tiene una conjetura de su valor, significa que se está estableciendo una *hipótesis* respecto del parámetro. Es decir, se está proponiendo una teoría respecto del valor (o los valores) del parámetro θ . Esta teoría debe ser contrastada con la realidad mediante una muestra aleatoria simple (m.a.s.) de la población

Probar una hipótesis implica *tomar una decisión* al comparar la muestra observada respecto de la *conjetura* para el parámetro poblacional (realidad). Una prueba estadística consiste en *verificar una hipótesis* respecto de uno o más valores de los parámetros. Probar su validez indicando (antes de tomar la muestra) que grado de evidencia es necesario para no rechazar la conjetura.

Lineamientos para hacer un test de hipótesis

Si se pone a prueba una hipótesis sobre el valor de un parámetro θ , la declaración de igualdad siempre se incluye en H_0 . Lo que se detecte o sustente es la hipótesis alternativa. La hipótesis de investigación es H_A , de modo que se espera que los datos lleven a rechazar H_0 y en consecuencia aceptar H_A .

Elementos esenciales en un test de hipótesis:

La hipótesis nula H_0

La hipótesis alterativa H_A

El estadístico de la prueba de H_0

La región de rechazo de H_0

Planteamiento de hipótesis

Hipótesis nulas

$$H_0 : \theta = \theta_0 \text{ (conocido)}$$

$$H_0 : \theta_1 = \theta_2$$

Hipótesis alternativas

$$H_A : \theta \neq \theta_0 \text{ (bilateral)}$$

$$H_A : \theta > \theta_0 \text{ (unilateral)}$$

$$H_A : \theta < \theta_0 \text{ (unilateral)}$$

Comparar con un estándar

$$H_A : \theta_1 \neq \theta_2 \text{ (bilateral)}$$

$$H_A : \theta_1 > \theta_2 \text{ (unilateral)}$$

$$H_A : \theta_1 < \theta_2 \text{ (unilateral)}$$

Comparar dos poblaciones

Errores en pruebas de hipótesis

Si en el supuesto de que una hipótesis determinada es cierta, se encuentra que los resultados observados en una muestra aleatoria difieren marcadamente de aquellos que cabía esperar con la hipótesis y con la variación propia del muestreo, se diría que las diferencias observadas son significativas y se estaría en condiciones de rechazar la hipótesis (o al menos no aceptarla de acuerdo con la evidencia obtenida). Por ejemplo, si en 20 lanzamientos de una moneda se obtienen 16 caras, se estaría inclinado a rechazar la hipótesis de que la moneda está bien, aunque sería posible que fuese un rechazamiento erróneo.

Los procedimientos que facilitan el decidir si una hipótesis se acepta o se rechaza o el determinar si las muestras observadas difieren significativamente de los resultados esperados se llaman ensayos de hipótesis, ensayos de significación o reglas de decisión.

Errores de Tipo I y Tipo II

Si se rechaza una hipótesis cuando debería ser aceptada, se dice que se comete un error del Tipo I. Si por el contrario, se acepta una hipótesis que debería ser rechazada, se dice que se comete un error del Tipo II. En cualquiera de los dos casos se comete un error al tomar una decisión equivocada.

Para que cualquier ensayo de hipótesis o reglas de decisión sea bueno, debe diseñarse de forma que minimice los errores de decisión. Para un tamaño de muestra dado, un intento de disminuir un tipo de error, va generalmente acompañado por un incremento en el otro tipo de error. En la práctica, un tipo de error puede tener más importancia que el otro, y así se tiende a conseguir poner una limitación al error de mayor importancia. La única forma de reducir en el

tiempo ambos tipos de errores es incrementar el tamaño de la muestra, lo cual puede ser o no posible.

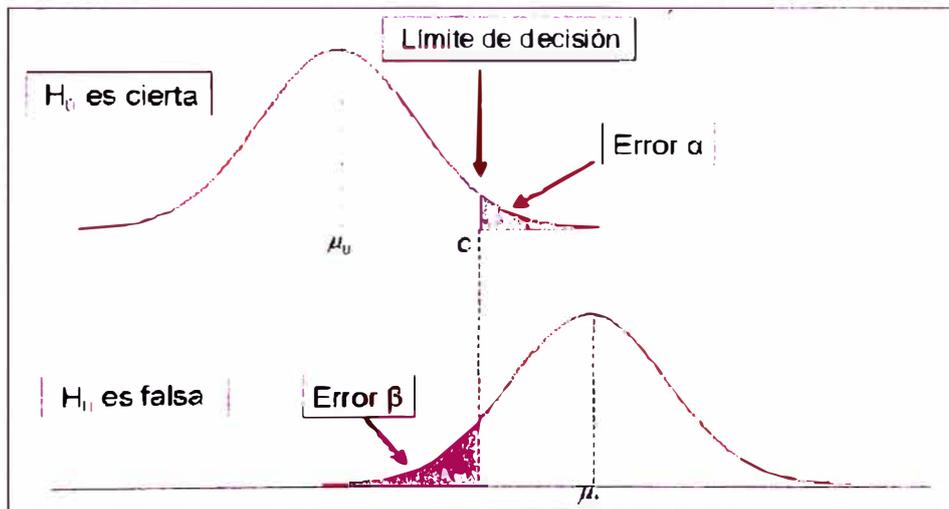
CUADRO N° 3.01. TIPO DE ERROR

		Muestra / Pruebas (Decisión)	
		NO RECHAZAR H_0	RECHAZAR H_0
VERDAD Población / Realidad	H_0 VERDADERA	Decisión correcta $1 - \alpha$	Error tipo I α
	H_0 FALSA	Error tipo II β	Decisión correcta $1 - \beta$

(Fuente: Apuntes de clase)

En el error de Tipo I: α define un límite de decisión c (valor crítico) para rechazar H_0 .

FIGURA N° 3.02. LÍMITE DE DECISIÓN



(Fuente: Apuntes de clase)

β depende de α y de los valores que realmente tienen los parámetros.

3.2 SECTORIZACIÓN

Dada la extensión de las vías, que corresponde en muchos casos a tramos de cientos de kilómetros, es indispensable definir sectores que permitan evaluar de manera más precisa las características particulares de cada proyecto y las propiedades de los materiales constituyentes. Para ello es necesario definir los sectores homogéneos a lo largo de la vía.

El procedimiento consiste en definir sectores homogéneos a partir de datos como:

- Estructura

Las diferentes capas que conforman el pavimento.

- Tránsito

La cantidad de vehículos que se desplazan por la vía.

- Clima

Se consideran los factores naturales como latitud, altitud, continentalidad, etc.

- Deflectometría

Mediante las medidas de deflexiones, se grafican en función de la progresiva para obtener el deflectograma, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos, que permite diferenciar secciones de distinta capacidad estructural.

Como cada vía tiene este tipo de características particulares, se realiza la sectorización de la carretera en estudio, en el capítulo IV Aplicación.

3.3 NUMEROS DE DATOS POR SECCIÓN

Es recomendable recopilar por lo menos 30 mediciones por sección para garantizar que la *media* de la medida de evaluación utilizada sea caracterizada por una Distribución Normal. Sin embargo, en general se puede trabajar con un conjunto de datos menores a 30

3.4 EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS

3.4.1 Medición de condición

El manual de ensayo de materiales del MTC E 105 2000 describe el procedimiento para realizar la medición de la Macrotextura de la superficie del pavimento, que consiste en determinar la profundidad de penetración de un

volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie del pavimento, valor que se denomina “profundidad de textura”.

Procedimiento de medición.

La toma de medidas hechas durante el ensayo de campo se basa en el siguiente procedimiento:

- Se limpia cuidadosamente con brocha el área de pavimento, cuidando que este seco.
- Se llena con arena cilindros graduados hasta el nivel del volumen requerido, en este caso volúmenes de 10 cm³, 25 cm³ y 50 cm³.
- Se vierte la arena sobre el pavimento.
- Con el disco de madera se distribuye la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual se fue extendiendo llenando las asperezas del pavimento hasta el instante que son visibles los picos de las asperezas.
- Se determina, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

De acuerdo a los formatos establecidas para la anotación de las diámetros de los círculos de arena se realizan las medidas cada 200m. y de forma alternada (lado derecho e izquierdo de la vía).

Finalmente, obtenida toda la información de campo se procede a calcular los valores de la “profundidad de textura” (PT), conocido el volumen de arena empleado para el ensayo (V) y el diámetro medio del círculo (D), mediante la expresión:

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$

3.4.2 Estimación

Es el conjunto de técnicas que permiten dar un valor aproximado de un **parámetro** (para este caso, Media de la Profundidad de Textura) de una población a partir de los datos proporcionados por la **muestra**, obtenida de la evaluación del tramo de la carretera en estudio.

A) Sección

A.1) Prueba de Hipótesis

El objetivo de la prueba de hipótesis es comparar si la distribución de la muestra se ajusta a una distribución conocida, en este caso a una Distribución Normal. Se tiene un conjunto de “n” datos asociados a la medición:

$$X_1, X_2, \dots, X_n$$

Se prueba la hipótesis:

H₀: La muestra se ajusta a una distribución normal

Contra la hipótesis alternativa:

H_A: La muestra no se ajusta a una distribución normal

Anderson y Darling proponen un método para probar la hipótesis H₀. A valores más pequeños del estadístico de Anderson - Darling mejor es el ajuste a la distribución normal. Una medida cuantitativa para la calidad del ajuste de los datos a la distribución normal la proporciona un valor probabilístico p (p-value). En las pruebas de significación y diseño de experimentos, Fisher utilizó el valor p (p-value) que es la probabilidad que permite declarar la significación de una prueba. El estudio hecho por CONREVAL sugiere utilizar un nivel de significación (α) de 0.05 o 5%. Si P-Value es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula.



El método de Anderson – Darling también se puede utilizar para verificar otras distribuciones de probabilidades continuas.

Test de Normalidad

Un Test de Normalidad es un método estadístico para determinar si la distribución de una muestra tiene las características de una distribución normal.

Mediante el software MINITAB 15.1, se maneja varios tipos de pruebas de ajuste para una distribución normal, como la prueba de Anderson-Darling y la de Kolmogorov-Smirnov, por ejemplo. Conviene tener en cuenta que la prueba

Kolmogórov-Smirnov es más sensible a los valores cercanos a la mediana que a los extremos de la distribución. La **prueba de Anderson-Darling** proporciona igual sensibilidad con valores extremos. Para esta aplicación se utilizará la prueba de Anderson-Darling.

Mediante el software se puede verificar hasta de 4 formas diferentes el Test de Normalidad.

Graph > Probability plot

Stat > Basic Statistics > Normality test

Stat > Basic Statistics > Graphical Summary

Stat > Quality tools > Individual distribution identification

A.2) Media Poblacional

Mediante una estimación puntual, que consiste en la estimación del valor del parámetro (media poblacional) mediante un sólo valor, obtenido de una fórmula determinada. Para nuestro caso al comprobar que la distribución de la muestra se ajusta a una distribución normal, la estimación de la **media** de la Profundidad de textura (PT) de una **población** de tamaño N, sería la media de esta misma característica para una **muestra** de tamaño n.

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria simple de la distribución normal con media μ y varianza σ^2 .

Hipótesis:

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_A : \mu \neq \mu_0$$

$$H_{A_1} : \mu > \mu_0$$

$$H_{A_2} : \mu < \mu_0$$

Comparar la media poblacional con un estándar

Entonces el mejor estimador de μ es: la media muestral, \bar{X}
Análogamente para la varianza y la desviación estándar.

$$\hat{\sigma}^2 = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

$$\hat{\sigma} = S = \sqrt{S^2}$$

A.3) Intervalos de confianza

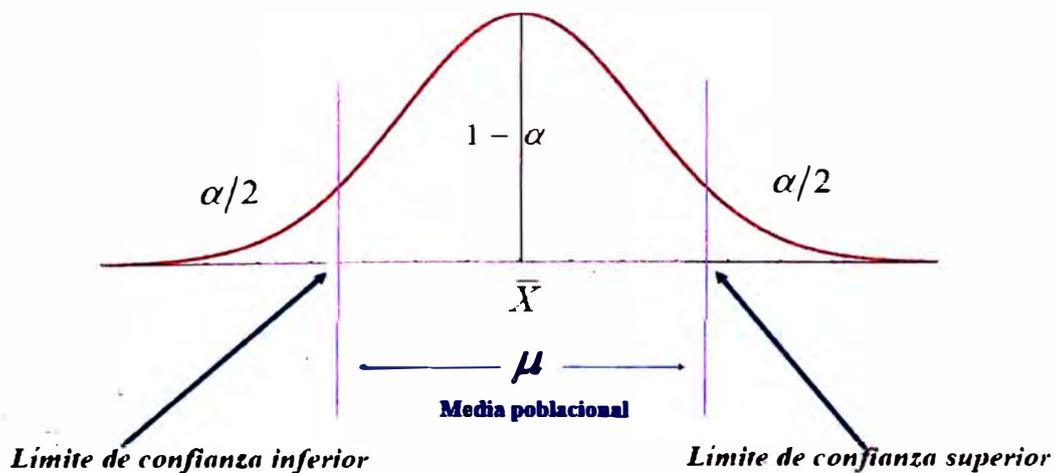
Es el par de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido (media de la PT) con una determinada probabilidad de acierto. Formalmente, estos números determinan un **intervalo**, que se calcula a partir de datos de una **muestra**. La probabilidad de éxito en la estimación se representa con $1 - \alpha$ y se denomina *nivel de confianza*. El nivel de confianza y la amplitud del intervalo varían conjuntamente, de forma que un intervalo más amplio tendrá más posibilidades de acierto (mayor nivel de confianza), mientras que para un intervalo más pequeño, que ofrece una estimación más precisa, aumentan sus posibilidades de error.

Para la construcción de un determinado intervalo de confianza es necesario conocer la **distribución** teórica que sigue el parámetro a estimar, θ . Es habitual que el parámetro presente una **distribución normal**.

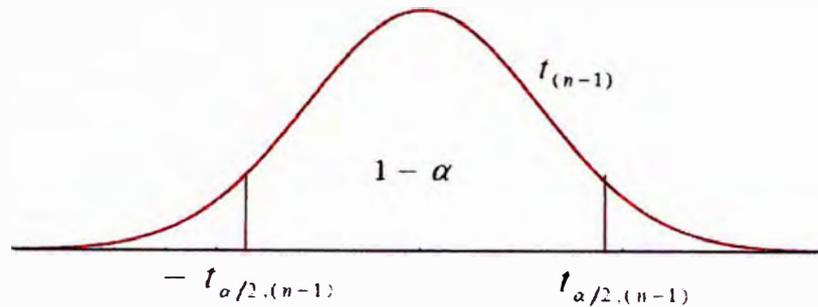
Intervalo de confianza para la media poblacional

$$\frac{(\bar{X} - \mu)}{S/\sqrt{n}} \text{ tiene distribución } t_{(n-1)}$$

Basado en:



$$\Pr\left(\bar{X} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

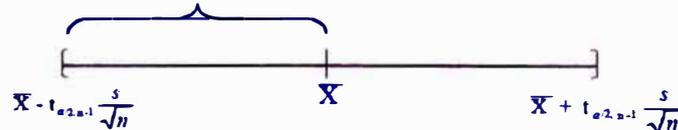


En un intervalo de confianza para la media poblacional de la forma:

$$\bar{X} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{s}{\sqrt{n}} = \text{Error estándar (SE)}$$

$$t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} = \text{Error de estimación}$$



Mediante el software MINITAB 15.1 se puede observar el intervalo de confianza.

Graph > Probability plot > single > ok

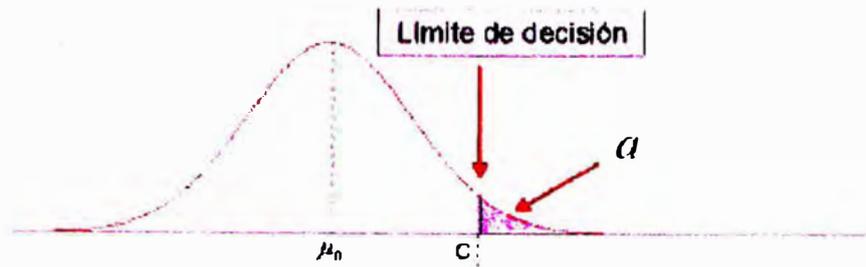
B) Secciones

Nivel de Significación

La probabilidad máxima con la que en el ensayo de una hipótesis se puede cometer un error del Tipo I se llama nivel de significación del ensayo. Se denota frecuentemente por α .

En la práctica se acostumbra a utilizar niveles de significación del 0.05 ó 0.01, aunque igualmente pueden emplearse otros valores. El estudio hecho por CONREVIAl sugiere utilizar un nivel de significación de 0.05 o 5%. Si, por ejemplo se elige un nivel de significación del 0.05 o 5%, al diseñar un ensayo de hipótesis, entonces hay aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se está con un 95% de confianza de que se toma la decisión adecuada. En tal caso se dice que

la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0.05.



El valor crítico (límite de decisión) define una región de rechazo de la Hipótesis nula. En el caso del gráfico, se *rechazará* H_0 con nivel de significación α , si el estadístico de prueba de H_0 es mayor o igual al valor c .

B.1) Test – t de una muestra

Grados de Libertad

Considerar una m.a.s. de tamaño $n=5$; X_1, X_2, X_3, X_4, X_5

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{5} = 12$$

Con promedio

Es claro que existe una gran cantidad de muestras de tamaño 5, con promedio 12.

$$\sum_{i=1}^5 x_i = 60$$

Es decir

Para que la suma sea siempre 60, basta con seleccionar cuatro de ellas.

Entonces, para un tamaño de muestra n , y un promedio \bar{X} fijado existen $(n-1)$ grados de libertad para tomar observaciones; la n -ésima esta necesariamente determinada.

Test t-Student

Es un test que permite decidir si dos variables aleatorias con distribuciones normales y con la misma varianza tienen medias diferentes. El test opera decidiendo si una diferencia en la media muestral entre dos muestras es estadísticamente significativa, y entonces poder afirmar que las dos muestras corresponden a distribuciones de probabilidad de media poblacional distinta, o

por el contrario afirmar que la diferencia de medias puede deberse a oscilaciones estadísticas desafortunadas.

La eficacia del test aumenta con el número de datos del que constan las dos muestras, en concreto del número de grados de libertad conjunto de las dos muestras, este número viene dado por $GL = N_1 + N_2 - 2$ (siendo N_i el número de datos en cada muestra i). La prueba consiste en examinar el estadístico t obtenido a partir de la dos muestras como:

$$t = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{s_{X_A - X_B}} \quad s_{X_A - X_B} := \sqrt{\frac{(N_1 - 1)s_1^2 + (N_2 - 1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)}$$

Y este valor se compara con un valor de referencia basado en el número de grados de libertad y el nivel de significación. Dicho valor de referencia se obtiene a partir de la distribución t de Student. Al comparar las 2 medias, frecuentemente siempre se supone que el nivel de significación α sea menor que 0,05.

B.2) Test de hipótesis sobre la diferencia de dos medias poblacionales $\mu_1 - \mu_2$

Homogeneidad de varianzas

En algunos casos, para comparar medias de dos poblaciones, se debe verificar que las varianzas poblacionales son iguales.

Hipótesis
$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$
$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
$H_A : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$
$H_A : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

Estadístico de prueba de H_0

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Se usa el test – F.

Prueba F (de Fisher)

Es cualquier prueba en la que el estadístico utilizado sigue una distribución F si la hipótesis nula no puede ser rechazada. En estadística aplicada se prueban muchas hipótesis mediante el test F, entre ellas:

- La hipótesis de que las medias de múltiples poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar son iguales. Esta es, quizás, la más conocida de la hipótesis verificada mediante el test F y el problema más simple del análisis de varianza.
- La hipótesis de que las desviaciones estándar de dos poblaciones normalmente distribuidas son iguales.

Hipótesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$		$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$
$H_{A_1} : \mu_1 \neq \mu_2$	\longleftrightarrow	$H_{A_1} : \mu_1 \neq \mu_2$
$H_{A_1} : \mu_1 > \mu_2$		$H_{A_1} : \mu_1 - \mu_2 > 0$
$H_{A_2} : \mu_1 < \mu_2$		$H_{A_2} : \mu_1 - \mu_2 < 0$

Supuestos:

- Muestras aleatorias independientes
- Distribuidas aproximadamente normales
- Con varianzas iguales

Estadístico de prueba de Ho

x_1, x_2, \dots, x_n m. a. s. de $N(\mu_1, \sigma^2)$
 y_1, y_2, \dots, y_m m. a. s. de $N(\mu_2, \sigma^2)$

Independientes

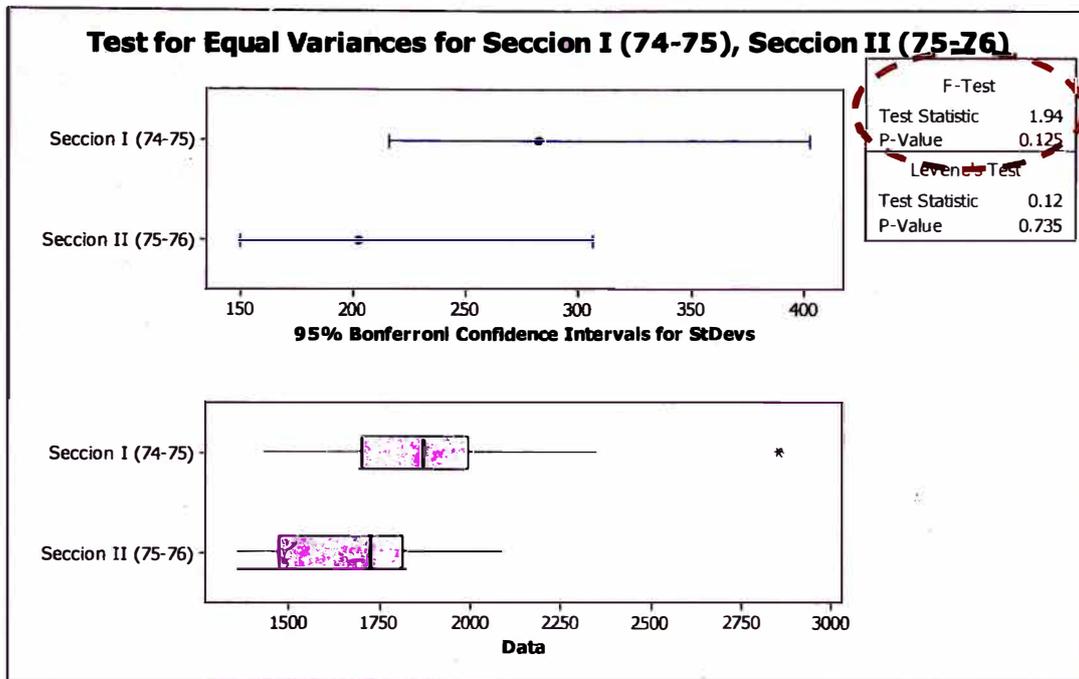
$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{n+m-2} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)}}$$

Mediante el software MINITAB 15.1 se puede verificar el test de hipótesis. Además el software permite saber si dos muestras tienen igual varianza:

Stat > Basic Statistics > 2 Variances

Según el gráfico si P-Value > 0.05 se acepta la hipótesis, ya que no se tiene evidencia suficiente para rechazar que las dos muestras tienen igual varianza, con un nivel de significación del 95%.

FIGURA N° 3.03. REPORTE DE MINITAB DE IGUALDAD DE VARIANZAS



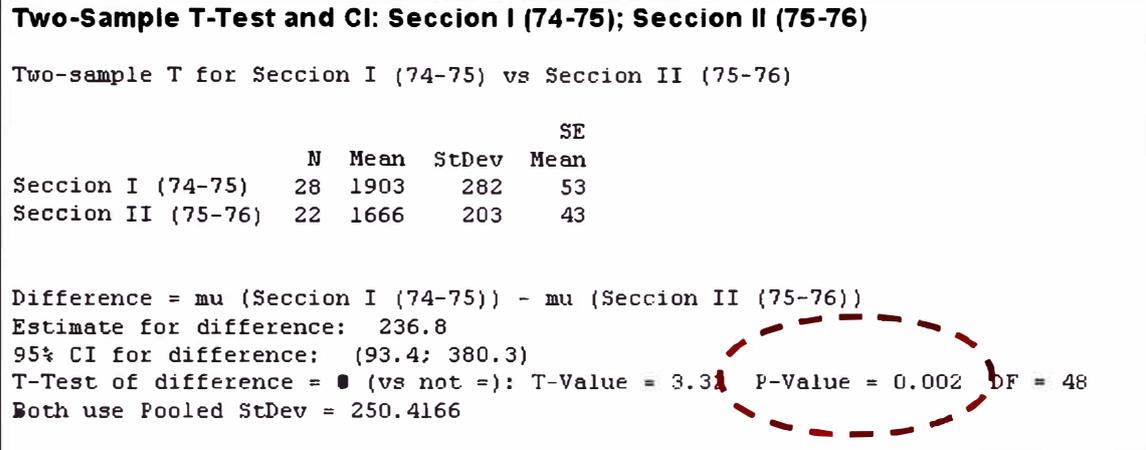
(Fuente: Apuntes de clase)

Para luego hacer la hipótesis que compare dos medias poblacionales, el software permite comparar dos muestras con igual o diferente varianza mediante:

Stat > Basic Statistics > 2-Sample t

De la figura mostrada a continuación se evalúa el P-Value, si es mayor que 0.05 se acepta la hipótesis nula, caso contrario se rechaza. Del ejemplo se rechaza la Hipótesis Nula, es decir las dos secciones estudiadas deben ser clasificadas de manera diferente, con un nivel de significancia del 95%.

FIGURA N° 3.04. REPORTE DE MINITAB DE IGUALDAD DE MEDIAS POBLACIONALES



(Fuente: Apuntes de clase)

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN

4.1 CARRETERA CAÑETE – CHUPACA TRAMO KM 134+000 AL KM 139+000

La medición de la Macrotextura de la superficie del pavimento consistió en determinar la profundidad de penetración de un volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie del pavimento, valor que se denomina “profundidad de textura”.

Durante la evaluación de campo se cumplió con las siguientes pautas:

- Se hicieron las medidas desde el km 134+000 en forma alternada hasta el km 139+000.
- Se utilizó una probeta graduada.
- Se utilizó un recipiente de plástico para guardar la arena.
- Un disco de madera de 15 cm de diámetro con un pequeño vástago que sirve de mango.
- Una wincha.
- Arena natural con partículas redondeadas.

4.1.1 Sectorización

Dada la extensión de la vía, que corresponde a 257 km desde Cañete a Ronchas, fue indispensable definir sectores que permitan evaluar de manera más precisa las características particulares del proyecto y las propiedades de los materiales constituyentes. Para ello es necesaria la definición de los sectores homogéneos a lo largo de la vía, a partir de datos como:

• Estructura

Mediante las diferentes capas que conforman el pavimento

CUADRO 4.01. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

SECTOR		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO		
		Superficie de rodadura(cm)	Afirmado estabilizado(cm)	Afirmado(cm)
Sector I: Zúñiga - Dv. Yauyos - Alis	57+450 – 130+000	0,9	5	8
	130+000 – 163+100	0,9	5	11
Sector II: Alis - San José de Quero	163+100 – 200+000	0,9	5	11
	200+000 – 220+000	0,9	5	17
	220+000 – 229+300	0,9	5	45
Sector III: San José de Quero - Ronchas	229+300 – 240+000	0,9	5	40
	240+000 – 248+000	0,9	5	20
	248+000 – 255+185	0,9	5	42

(Fuente: Apuntes de clase)

• Tránsito

Se observa la cantidad de vehículos que pasan sobre la vía en estudio.

CUADRO 4.02. TRÁFICO SOBRE LA CARRETERA EN ESTUDIO

Descripción vehículo	IMD (veh/día)										
	Zúñiga	Pácoran	Zúñiga	San Juan	Pueblo Nuevo	Chichio y	Capilluea	Dv. Yauyo	Alla	San Jose de Quero	San Jose de Quero
	56+000 Ronchas	62+667 Zúñiga	68+000 San Juan	66+000 Pueblo Nuevo	66+880 Chichio y	62+100 Capilluea	64+040 Dv. Yauyo	67+000 Alla	63+100 San Jose de Quero	229+300 Ronchas	
	266+86	58+000	66+800	66+580	62+10	64+840	67+000	63+100	229+300	266+86	
		3.74	0.00	0.08	25.63	2.63	22.36	36.10	66.20	26.89	
Auto	1	76	6	6	3	2	1	1	1	9	
Camioneta	9	147	194	194	289	58	20	20	20	208	
Conbi rural	4	105	74	74	61	18	4	4	4	37	
Micro	0	17	48	48	68	8	0	0	0	5	
Omnibus 2	15	8	15	15	14	13	8	8	8	8	
Omnibus +2	9	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
Camión 2 Ejes	0	36	47	47	42	30	9	9	9	37	
Camión 3 Ejes	7	8	9	9	4	2	11	11	7	7	
Camión 4 Ejes	0	2	1	1	2	2	0	0	0	0	
Semitraylers	1	19	28	28	53	98	0	0	20	36	
Traylers	0	0	38	38	33	0	0	0	0	0	
IMD	46	418	461	461	569	232	53	53	69	347	

(Fuente: Apuntes de Clase)

• Clima

Para la vía en estudio se considero la división mediante regiones naturales.

CUADRO 4.03. REGIONES NATURALES DEL PERÚ

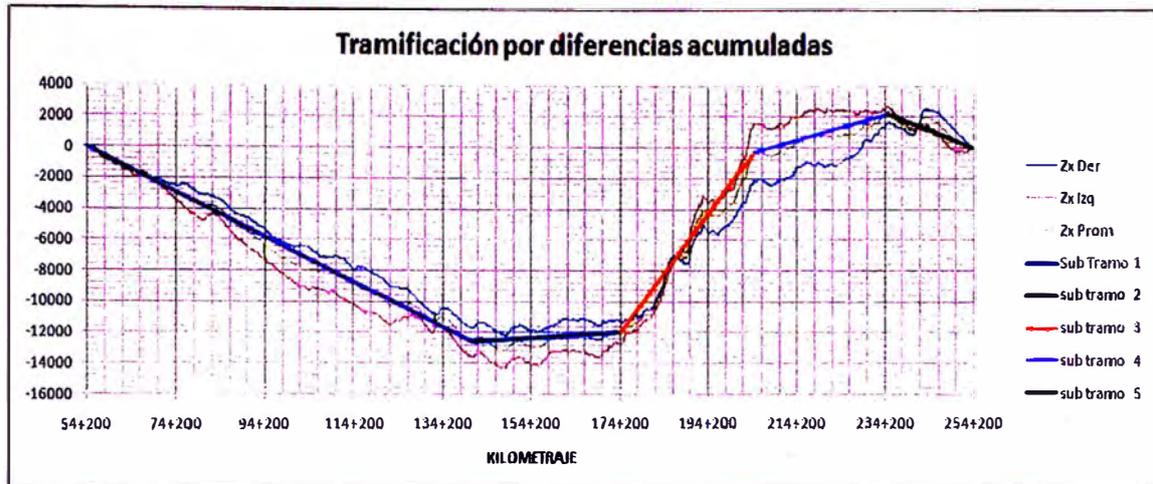
Región Natural	Rango de Temperaturas (°C)	Rango de Temperaturas Máx. (°C)	Rango de Temperaturas Min. (°C)	Observaciones
Yunga Marítima	20 a 27			Precipitación promedio de 100 y 150 mm por año
Quechua	11 a 16	22 a 29	7 a -4	Precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo.
Suni o Jalca	7 a 10	> 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: Apuntes de clase)

• Deflectometría

Mediante la Deflectometría se identificaran tramos y secciones en estado bueno, regular, malos y pésimos según su resistencia como pavimento.

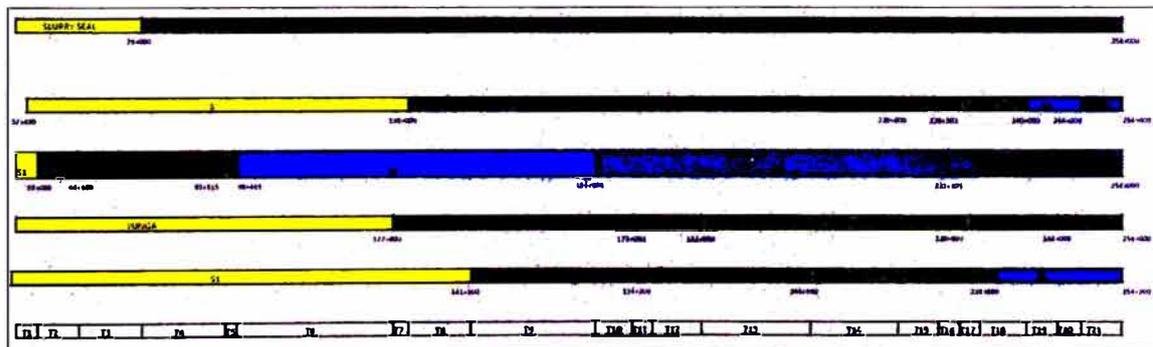
FIGURA 4.01. SECTORIZACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA



(Fuente: Apuntes de clase)

Luego de realizar la sectorización con los datos antes mencionados, se procede a obtener todas las secciones de la vía a evaluar:

FIGURA 4.02. CARRETERA SECTORIZADA



(Fuente: Apuntes de clase)

Obteniendo 21 secciones. De los cuales el tramo en estudio pertenece a una sola sección.

4.1.2 Números de Datos por Sección

Es recomendable recopilar por lo menos 30 mediciones por sección para garantizar que la *media* de la medida de evaluación utilizada sea caracterizada por una Distribución Normal. Sin embargo, de acuerdo a los formatos establecidos para la anotación de los diámetros de los círculos de arena se realizaron las medidas cada 200m, obteniéndose 26 datos.

4.1.3 Evaluación de la Macrotextura de la Superficie del Pavimento

Procedimiento de medición

La toma de medidas hechas durante el ensayo de campo se basó en el siguiente procedimiento:

- Se limpió cuidadosamente con brocha el área de pavimento, cuidando que este seco.
- Se llenó con arena la probeta graduada hasta el nivel del volumen requerido, en este caso volúmenes de 50 cm³, 100 cm³ y 150 cm³.
- Se vertió la arena sobre el pavimento.
- Con el disco de madera se distribuyó la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual se fue extendiendo llenando las asperezas del pavimento hasta el instante que son visibles los picos de las asperezas.
- Se determinó, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

De acuerdo a los formatos establecidas para la anotación de las diámetros de los círculos de arena se realizaron las medidas cada 200m y de forma alternada (lado derecho e izquierdo de la vía), obteniéndose datos en 26 puntos.

Finalmente, obtenida toda la información de campo se procede a calcular los valores de la "profundidad de textura" (Pt), conocido el volumen de arena empleado para el ensayo (V) y el diámetro medio del círculo (D), mediante la expresión:

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$

CUADRO 4.04. DATOS DEL ENSAYO

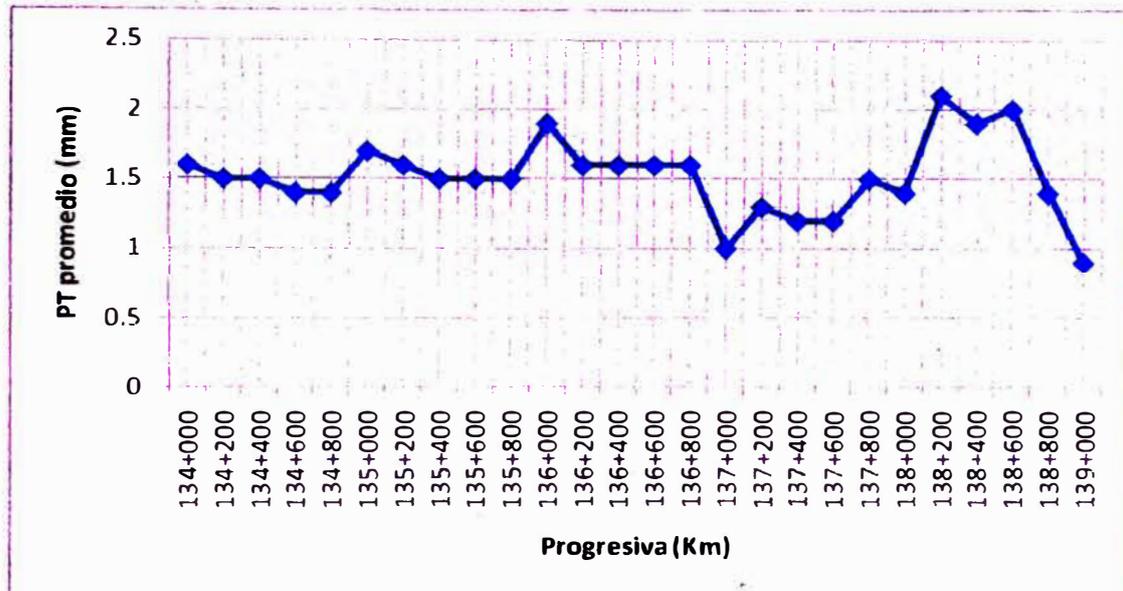
LD	PROGRESIVA	PT PROM (mm)	LD	PROGRESIVA	PT PROM (mm)
I	134+000	1.6	D	136+600	1.6
D	134+200	1.5	I	136+800	1.6
I	134+400	1.5	D	137+000	1
D	134+600	1.4	I	137+200	1.3
I	134+800	1.4	D	137+400	1.2
D	135+000	1.7	I	137+600	1.2
I	135+200	1.6	D	137+800	1.5
D	135+400	1.5	I	138+000	1.4
I	135+600	1.5	D	138+200	2.1
D	135+800	1.5	I	138+400	1.9

I	136+000	1.9	D	138+600	2
D	136+200	1.6	I	138+800	1.4
I	136+400	1.6	D	139+000	0.9

(Elaboración propia)

Se gráfica los datos obtenidos en función de la progresiva, a modo de deflectograma, para permitir una visión global del conjunto de datos obtenidos.

FIGURA 4.03. PROGRESIVA VS. PT (MM)



(Fuente: Elaboración propia)

4.1.4 Estimación

Permite obtener el valor aproximado de un **parámetro** (para este caso, Media de la Profundidad de Textura) de una población a partir de los datos proporcionados por la **muestra**, obtenidos de la evaluación del tramo de la carretera en estudio.

En la sección analizada - Prueba de Hipótesis

El objetivo de la prueba de hipótesis es comparar si la distribución de la muestra obtenida en el tramo ensayado se aproxima a una Distribución Normal.

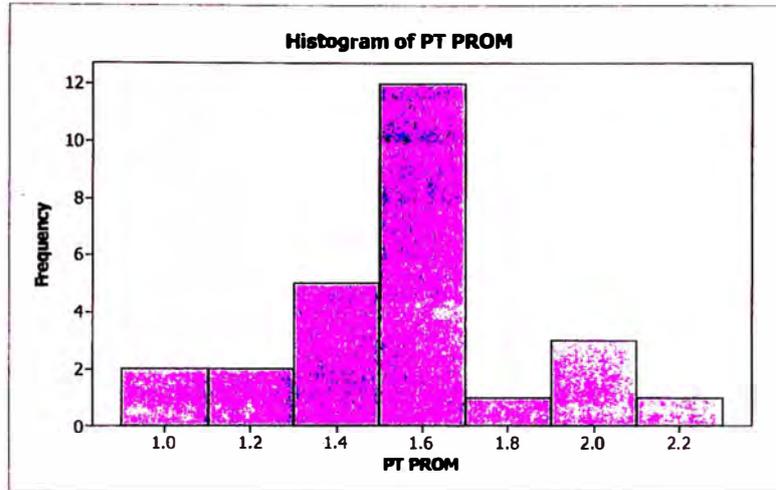
Se probará la hipótesis:

Ho: La muestra se ajusta a una distribución normal

Contra la hipótesis alternativa:

H_A : La muestra no se ajusta a una distribución normal

FIGURA 4.04. HISTOGRAMA DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA (mm) VS FRECUENCIA



(Fuente: Elaboración propia)

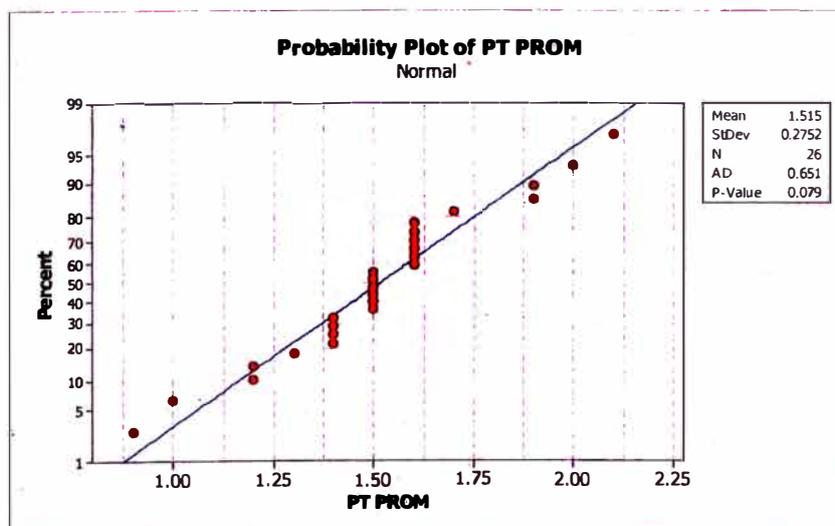
Como se puede observar en la figura 4.04 la distribución de los datos de profundidad de textura se aproxima a una distribución normal.

Test de Normalidad

Mediante el software MINITAB 15.1 se puede verificar el Test de Normalidad.

a) Stat > Basic Statistics > Normality test

Figura 4.05. Test de Normalidad



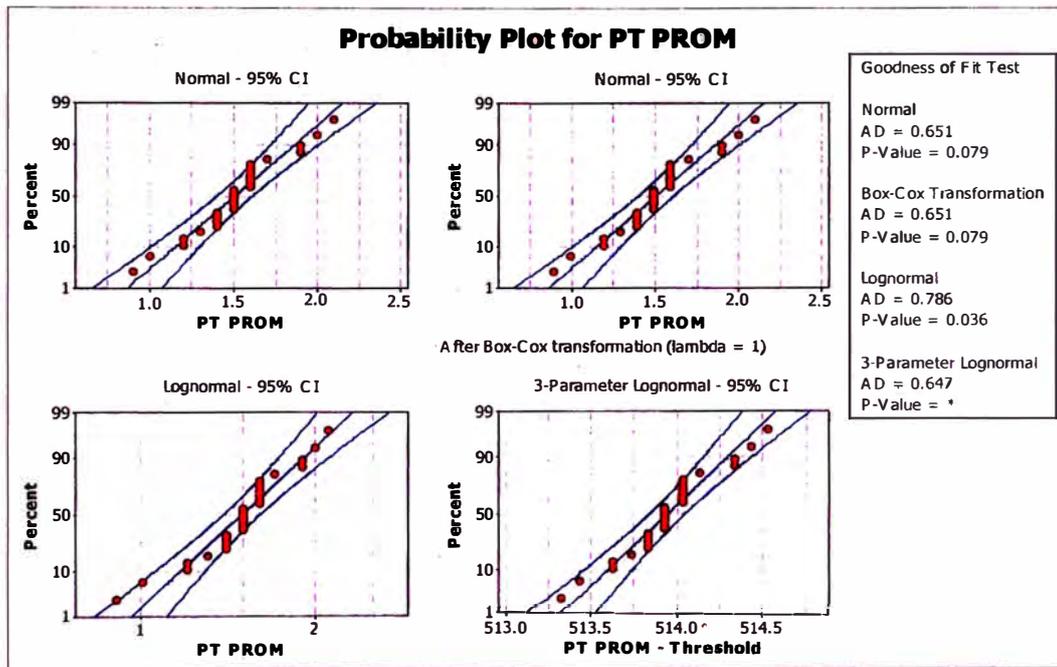
(Fuente: Elaboración propia)

La figura 4.05 muestra los datos de Profundidad de textura (color rojo) vs el Percentil, del cual, mientras los datos se aproximen a la recta trazada (color azul) en la figura, más se aproxima a una distribución normal.

P-Value = 0.079 > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula Ho.

b) Stat > Quality tools > Individual distribution identification

FIGURA 4.06. GRÁFICO DE PROBABILIDAD NORMAL Y LOGNORMAL



(Fuente: Elaboración propia)

De la figura 4.06 se puede observar que los datos obtenidos no solo se pueden aproximar a una distribución normal.

Se obtiene la Media Muestral: $\bar{X}=1.5154$ mm

Intervalo de Confianza de la media

Se Obtendrá el par de números entre los cuales se estima que estará la media poblacional, la media de la Profundidad de Textura, con una determinada probabilidad de acierto. Para este caso aplicativo con un nivel de confianza del 95%.

\bar{X} =media muestral,

$t_{\alpha/2}$ = 1.96,

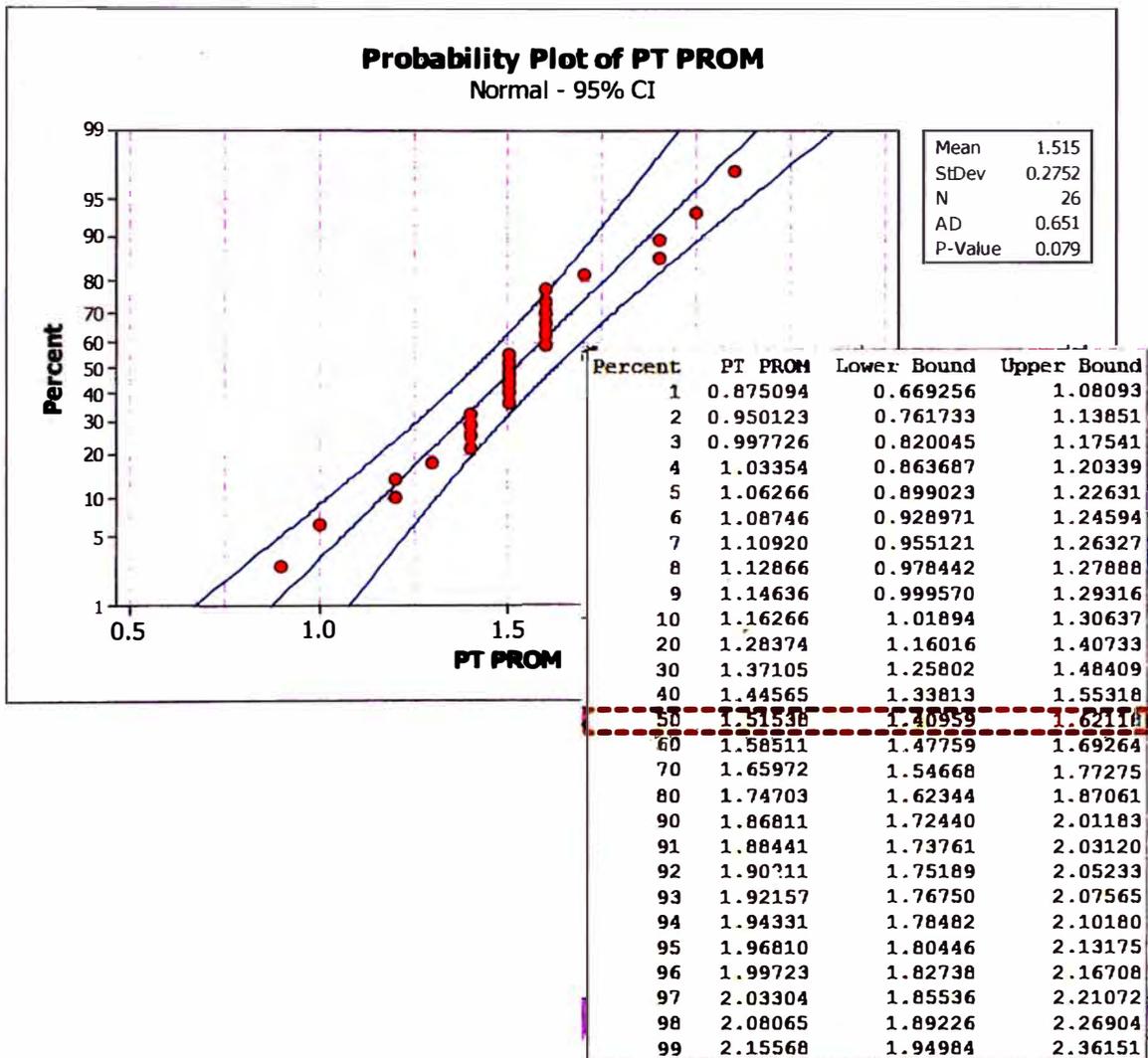
s=desviación típica de la muestra y

n=número de datos

$$\bar{X} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

a) Graph > Probability plot

FIGURA 4.07. GRÁFICO DE PROBABILIDAD E INTERVALO DE CONFIANZA



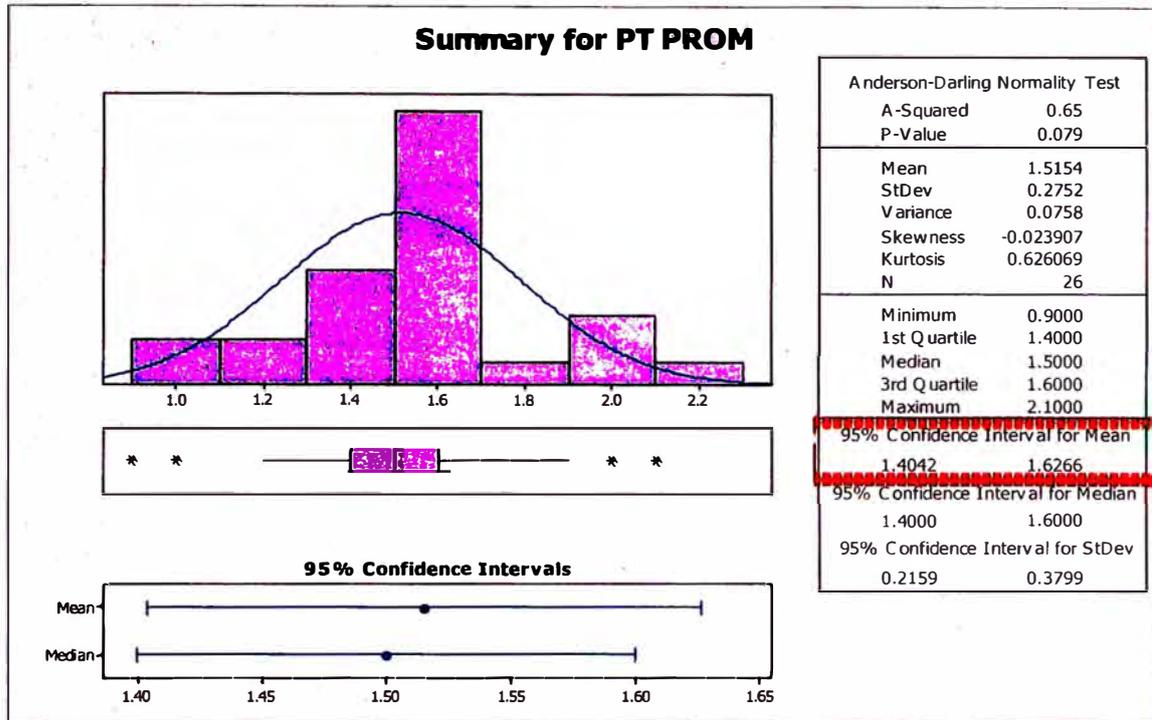
(Fuente: Elaboración propia)

Media muestral: $\bar{X}=1.51538$ mm

Intervalo de confianza: [1.409mm, 1.621mm]

b) Stat > Basic Statistics > Graphical Summary

FIGURA 4.08. RESUMEN DE ESTADÍSTICOS DE LA MUESTRA



(Fuente: Elaboración propia)

De la figuras 4.07 y 4.08 se obtienen los estadísticos de la muestra.

Media muestral: $\bar{X}=1.51538$ mm

Desviación estándar: $S=0.2752$

Varianza: $S^2=0.0758$

Intervalo de confianza: [1.404 mm, 1.626 mm]

De estos datos se puede concluir, que la media de la población estará dentro del intervalo de confianza [1.404, 1.626] con un nivel de confianza del 95%.

CAPÍTULO V.- ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Según el procedimiento descrito en el capítulo IV, se obtuvo los siguientes resultados para el tramo ensayado del km 134+000 hasta el km 139+000.

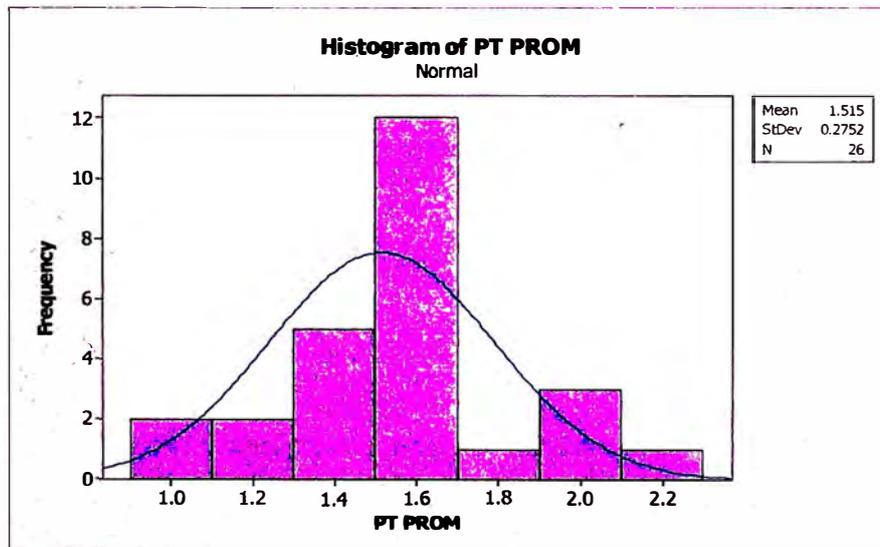
5.1 SECTORIZACIÓN

El tramo evaluado, se dividió en 21 sectores, pero por tener una longitud de 05 km quedó dentro de un solo sector, lo que originó que no sea necesario dividir la cantidad de datos obtenidos.

5.2 NÚMERO DE DATOS POR SECCIÓN

Cabe precisar que en el tramo evaluado solo se obtuvieron 26 datos de profundidad de textura (PT), aún así con los datos obtenidos, se logró que la *media* de la profundidad de textura (PT) sea caracterizada por una Distribución Normal.

FIGURA 5.01. HISTOGRAMA DE VALOR DE PT (mm) VS NÚMERO DE DATOS



(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la figura 5.01 la distribución de los datos de profundidad de textura se aproxima a una distribución normal.

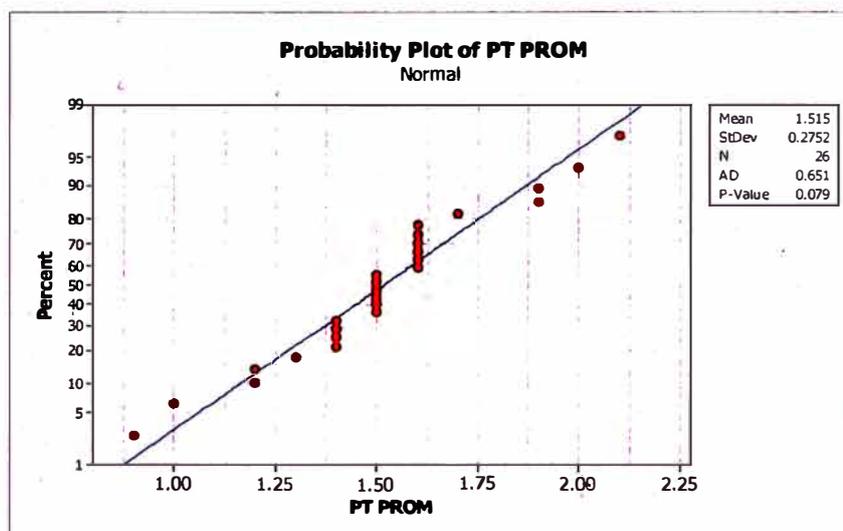
5.3 ESTIMACIÓN

Mediante el conjunto de técnicas, permitió dar un valor aproximado de un **parámetro** (para nuestro caso, Media de la Profundidad de Textura) de una población a partir de los datos proporcionados por la **muestra**, obtenida de la evaluación del tramo de la carretera en estudio.

5.3.1 Test de Normalidad

Al realizar el test de normalidad, para los datos del tramo evaluado, se obtuvieron los siguientes resultados:

FIGURA 5.02. TEST DE NORMALIDAD



(Fuente: Elaboración propia)

Siendo la hipótesis nula:

Ho: La muestra se ajusta a una distribución normal

Se obtuvo como Media muestral: $\bar{X}=1.5154$ mm.

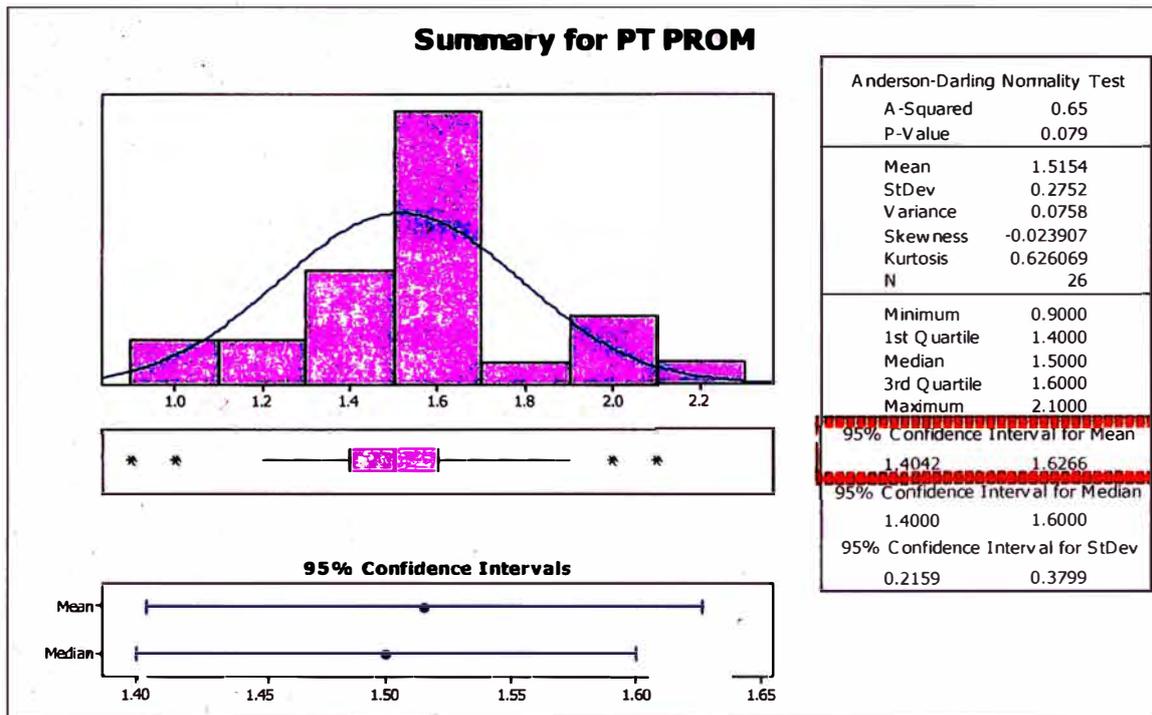
El P-Value obtenido es: P-Value = 0.079.

$0.079 > 0.05$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula Ho, los datos generan una muestra que se ajusta a una distribución normal. Con un nivel de significación sugerido por el CONREVIAL del 5% y tomado como aplicación para este tramo evaluado.

5.3.2 Intervalo de Confianza para la media

Al realizar el test de normalidad, para los datos obtenidos en el tramo de prueba, se probó que la muestra se ajusta a una distribución normal, posteriormente es necesario obtener el intervalo de confianza de la media poblacional:

FIGURA 5.03. INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA POBLACIONAL



(Fuente: Elaboración propia)

Media Muestral: $\bar{X}=1.51538$ mm

Intervalo de confianza: [1.4042, 1.6266]

De estos datos se puede concluir, que la media de la Profundidad de textura estará dentro del intervalo de confianza [1.4042, 1.6266] con un nivel de confianza del 95%.

$$1.4042 < \mu < 1.6266$$

CONCLUSIONES

1.- La textura de la superficie del pavimento es un parámetro que permite la identificación del pavimento, parámetro crítico en la comodidad y seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras; aunque todavía no está especificado en la Norma Peruana que valor de textura se debe mantener o conseguir.

2.- La Macrotextura de la superficie del pavimento es un factor que influye de manera significativa en la fricción entre rueda y pavimento, en la emisión de ruido de la interfaz rueda-pavimento, en el desgaste de las ruedas y en la evacuación del agua de la interfaz rueda-pavimento.

3.- Se ha utilizado los conceptos de análisis estadístico, para establecer los pasos a seguir para el procedimiento de discriminación de datos, como son: sectorización, número de datos por sección, medición de la condición del pavimento, estimación de la media poblacional y su intervalo de confianza y homogenización de secciones.

4.- De acuerdo a los resultados de los ensayos en el tramo de evaluación del km 134+000 al km 139+000, se obtuvo una muestra que se ajusta a una distribución normal y tiene una profundidad de textura (PT) de 1.515 mm y un intervalo de confianza entre [1.404 mm, 1.626 mm] con un nivel de confianza del 95%. No se pudo aplicar la parte de homogenización de secciones al solo tener datos del tramo evaluado que comprende una sola sección de toda la vía.

5.- Actualmente en el Perú poco se conoce con respecto a la valoración del tema de la Macrotextura. Es importante crear conciencia sobre esto, ya que una de las responsabilidades más importantes de todo ingeniero es proporcionar seguridad a los usuarios de una vía.

RECOMENDACIONES

- 1.- Darle una mayor importancia al tema de la Macrotextura del pavimento, intensificando los trabajos de evaluación y recolección de datos que permita incrementar el tamaño de la muestra, ya que en nuestro país no existe una política de conservación de carreteras en lo que se refiere a confortabilidad, calidad funcional y seguridad.
- 2.- Futuros trabajos de investigación deben seguir con las evaluaciones de la Macrotextura con el círculo de arena, y la resistencia al deslizamiento con el péndulo de fricción, a fin de actualizar la normatividad de medición, diseño de normas de control y establecer los parámetros que tienen que tener la superficie de los pavimentos para cumplir con estándares de calidad funcional.
- 3.- Es importante realizar el mantenimiento preventivo, como el sellado de superficies, a fin de retardar el deterioro de la superficie del pavimento, ya que una buena conservación y mantenimiento dará como resultado una vida útil mayor o igual a la que fue proyectado el pavimento.
- 4.- Existen diferentes tipos de ensayos para evaluar la Macrotextura, unos más sofisticados que otros. Por tal motivo, es importante que en el Perú exista una tendencia de adquirir equipos sofisticados para una evaluación más eficiente.
- 5.- Debido a la cantidad insuficiente de datos, no se pudo aplicar todas las pautas desarrolladas en la parte teórica de Metodología de discriminación, por lo que se recomienda continuar con la evaluación de la Macrotextura del pavimento, a fin de que a posteriori se apliquen los conceptos vertidos en el siguiente informe.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraza Elespúru, Giuliana; Resistencia al Deslizamiento en pavimentos flexibles: Propuesta de Norma Peruana; Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Tesis de Grado; Lima – Perú; 2004.
- Comité Técnico AIPCR; Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de las Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento; París - Francia; 1995.
- FIC-UNI; Apuntes de Clase – Curso de Titulación 2010-II Taller de vialidad; Universidad Nacional de Ingeniería; Lima-Perú; 2010.
- Gutiérrez, W; Modelamiento Geotécnico de Pavimentos Flexibles; Universidad Nacional de Ingeniería; Tesis de Maestría; Lima – Perú; 2007
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones; Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País; Capítulo VI, Volumen-C CONREVIAl; Perú; 1983.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones; Manual de Ensayo de Materiales E-1005; Perú; 2000.
- Murray, Spiegel; Probabilidad y Estadística, Ed. Mc Graw Hill. Colección Schaum; México; 1977.
- Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon; Probabilidad y Estadística para Ingenieros; 6ta edición; Prince-Hall Hispanoamérica S.A.; México; 1999.

ANEXOS

- ANEXO N° 1 : PANEL FOTOGRÁFICO
- ANEXO N° 2 : DATOS OBTENIDOS EN EL TRAMO DE EVALUACIÓN
- ANEXO N° 3 : MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES E-1005

ANEXO N° 1

PANEL FOTOGRAFICO



GRUPO DE TRABAJO EN EL TRAMO EN EVALUACIÓN



MATERIALES UTILIZADOS EN EL TRAMO EN EVALUACIÓN



LIMPIEZA DE LA ZONA A ENSAYAR



MEDIDA DE LA ARENA CON LA PROBETA GRADUADA



FORMACION DEL CÍRCULO DE ARENA CON EL DISCO DE MADERA



MEDICION DEL CIRCULO DE ARENA

ANEXO N° 2

DATOS OBTENIDOS EN EL TRAMO DE EVALUACIÓN



ACOMPANAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA (REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV. YAUYOS - RONCHAS)

MEDICION DE TEXTURA - METODO DEL CIRCULO DE ARENA

Obra: CORREDOR VIAL N° 13

Tramo: KM 134+000 AL KM 139+000

Lugar: DV. YAUYOS - MAGDALENA - TINCO HUANTAN

Estructura: TRATAMIENTO MONOCAPA

RESPONSABLE: Grupo N° 8

TÉCNICO :

ID	PROGRESIVA	Vál.	D1	D2	D3	DPROM	PT (mm)	PT PROM (mm)	RMS	FECHA
D	138+200	50	220	200	200	206.67	1.49	2.1	2.2	11/06/2010
		100	240	220	200	220.00	2.63			11/06/2010
		150	290	270	300	286.67	2.32			11/06/2010
I	138+400	50	290	260	280	276.67	0.83	1.9	2.0	11/06/2010
		100	200	260	200	220	2.63			11/06/2010
		150	330	290	260	293.33	2.22			11/06/2010
D	138+600	50	190	160	210	186.67	1.83	2.0	2.0	11/06/2010
		100	240	240	250	243.33	2.15			11/06/2010
		150	300	290	320	303.33	2.08			11/06/2010
I	138-800	50	280	260	260	266.67	0.9	1.4	1.5	11/06/2010
		100	320	280	290	296.67	1.45			11/06/2010
		150	320	310	330	320	1.87			11/06/2010
D	139+000	50	340	330	340	336.67	0.56	0.9	0.9	11/06/2010
		100	370	400	350	373.33	0.91			11/06/2010
		150	420	430	410	420	1.08			11/06/2010

ANEXO N° 3

MANUAL DE ENSAYO DE

MATERIALES E-1005

TEXTURA SUPERFICIAL MÉTODO DEL CÍRCULO DE ARENA

MTC E 1005 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM E 965 , la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO

1.1 Determinar la profundidad de penetración de un volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie de un pavimento, valor que se denomina "profundidad de textura".

2. APARATOS Y MATERIALES

2.1 Cilindros de bronce de 10, 25 y 50 centímetros cúbicos (cm^3) de capacidad.

2.2 Un recipiente plástico para guardar arena, de unos 250 (cm^3) centímetros cúbicos de capacidad.

2.3 Un disco de madera de 15 cm de diámetro, con una base de caucho de aproximadamente 1 ½ mm de espesor y un pequeño vástago que sirva de mango.

2.4 Una regla marcada en mm.

2.5 Una brocha.

2.6 Arena que pasa por el tamiz de 300 mm (No. 50) y quede retenida en el de 150 mm (No. 100). Puede emplearse arena natural con partículas redondeadas.

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1 Limpiarse cuidadosamente con brocha el área de pavimento debiendo estar seca además.

3.2 Llenar con arena el cilindro de bronce para el ensayo y golpeándose unas tres veces para acomodar la arena, la cual debe enrasarse posteriormente para garantizar el volumen adecuado.

3.3 Se vierte la arena sobre la superficie del pavimento que se va a ensayar.

3.4 Con el disco de madera se distribuye la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual debe irse extendiendo de manera que llene las asperezas del pavimento hasta el instante en que se advierten visualmente los picos de estas asperezas

3.5 Se determina, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

4. CALCULOS

4.1 Conocido el volumen de arena empleado para el ensayo (V) y el diámetro medio del círculo (D), se calcula la profundidad de penetración de la arena dentro de las asperezas o "profundidad de textura" (Pt), mediante la expresión (Figura 1).

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$

5. INFORME

5.1 En el informe deberá relacionarse el sitio de ensayo con el abscisado de la carretera, indicando además el tipo de capa de rodadura, la "profundidad de textura" y una clasificación visual de la textura, con base en las indicaciones de la Figura 2.

6. REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	E 965.
------	--------

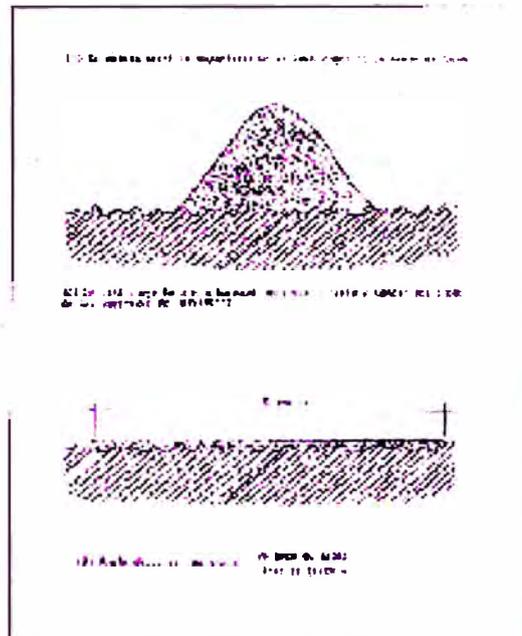


Figura 1. Mecanismo de compactación de suelos por rodillos pesados.

Categoría	Estructura del suelo	
	Porosidad	Densidad
1.1	Alta	Baja
1.2	Alta	Alta
1.3	Baja	Baja
1.4	Baja	Alta

Figura 2. Clasificación de suelos por compactación en función de la densidad y la porosidad.