

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 ANTECEDENTES

El pavimento flexible es la estructura de las vías de comunicación terrestre, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática.

Contar con una infraestructura vial adecuada permite el desarrollo de cualquier región. De ahí que el mantenimiento de la infraestructura vial es importante para garantizar el buen funcionamiento de la misma. Considerando que en nuestro país durante los últimos años se ha tenido una gran inversión en proyectos viales y muchos de ellos al no tener un adecuado mantenimiento presentan daños prematuros, es necesario, por lo tanto, realizar la evaluación vial y establecer un plan de rehabilitación y mantenimiento.

Sin embargo, existen diferentes factores que producen fallas en el pavimento antes de cumplir su tiempo de vida útil, tales como, defectos constructivos, volúmenes de tránsito no esperados, malos y/o nulos mantenimientos, cargas excesivas, etc. Tal es el caso del tramo Cañas-Chaguaya, donde el flujo vehicular en la zona se puede ver limitado y condicionado y/o incrementado especialmente en época de la festividad de la Virgen de Chaguaya debido a la alta asistencia de peregrinos a esta festividad religiosa muy arraigada a nivel local, departamental e incluso nacional e internacional. La zona también presenta variedad de cultivos que se comercializan especialmente en los mercados de la región, cultivos que presentan volúmenes considerables de comercialización donde los medios de transporte utilizados para los productos agropecuarios es únicamente el carretero.

El Tramo Cañas-Chaguaya, en la actualidad con una longitud de 7200 metros; en su superficie de rodado tiene en todos los tramos pavimento flexible, el camino en su situación actual es transitable en toda época del año, cuenta con deterioro en la superficie

de rodadura, tales como bacheos, agrietamientos y otros aspectos que dificultan actualmente una circulación vehicular acorde a las necesidades.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La problemática a nivel general en las carreteras de Bolivia, es el deterioro prematuro de las vías, ya sea por los materiales que lo constituyen, insuficiente fiscalización o diseños que no corresponden a la realidad. Las consecuencias a futuro son graves, el no intervenir a tiempo, postergando su mantenimiento o rehabilitación vial, implica el deterioro de la red vial generando costosas reconstrucciones.

Existen muchas razones para que un proyecto de pavimentación, de cualquier tipo, demande una superficie de rodamiento ya terminada lo más plana y libre de irregularidades posible; o sea que ofrezca las mejores características superficiales. Esta exigencia bien puede visualizarse en dos vertientes. La primera, se relaciona con la percepción de seguridad y comodidad del usuario, mientras que la segunda se refiere a las ventajas que ofrece una buena superficie de rodamiento desde el punto de vista de su desempeño y en general, una mejor calidad de servicio.

La presente investigación se justifica en la necesidad de conocer las fallas en el tramo Cañas-Chaguaya del departamento de Tarija, para analizar la Clase de Daño, Severidad del mismo y Cantidad o Densidad, para formular una propuesta de mejoras a efectuar según las fallas encontradas. Con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de las personas y la comunicación dentro del lugar mismo.

A su vez ha sido preparado con el propósito de ofrecer a los ingenieros viales, en especial a los que se dedican al mantenimiento, un apoyo para la planificación, ejecución y control de sus labores.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.3.1 Situación problemática**

Un pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales. Entre

las características fundamentales que debe cumplir tenemos; resistencia estructural, deformabilidad, durabilidad, costo, requerimientos de conservación y comodidad.

En el tramo “Cañas-Chaguaya” del Municipio de Padcaya en la totalidad de su tramo, se puede observar falencias que afectan de manera directa, a la circulación vehicular de la población que usa esta ruta, debido al flujo vehicular que transita por la zona, más referida al sector productivo del agro de la región y al turismo, a ello se debe tomar en cuenta que cada vez se incrementa el número de vehículos que transitan diariamente.

Si los componentes de la vía no son las adecuadas, que mayormente se deben a defectos constructivos, factores ambientales y en algunos a deterioro por el tránsito vehicular, el efecto se verá involucrado afectando la comodidad del usuario, que pueden producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos, aparte de provocar demoras en la transitabilidad habitual de los usuarios y la vida de servicio.

El presente trabajo, está destinado a realizar un diagnóstico actual de la carpeta de rodadura y de las capas base y sub base con el fin de determinar los factores agresivos que han agredido el tramo vial; para posteriormente mejorar los componentes del pavimento y así dar alternativas de solución ya sea un tratamiento superficial y/o mantenimiento.

### **1.3.2 Formulación del problema**

¿Será que el estudio de las características físicas de la vía, puede brindar información en función a las fallas, de las condiciones actuales del pavimento para proyectar una rehabilitación o refuerzo del pavimento?

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Estudiar superficial y estructuralmente el estado actual del pavimento flexible del tramo “Cañas-Chaguaya” mediante métodos no destructivos de identificación de fallas, para plantear las mejoras técnicas correspondientes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Estudiar las teorías respaldatorias sobre las características superficiales y atributos funcionales de los pavimentos flexibles.
- Determinar el levantamiento de información del tramo “Cañas-Chaguaya”.
- Caracterizar las fallas encontradas en el tramo.
- Clasificar el tipo de falla en cada unidad de estudio.
- Especificar el tipo de solución correspondiente a cada falla encontrada.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Si realizamos un estudio del nivel de fallas y deterioros existentes en el pavimento del tramo “Cañas-Chaguaya”, para determinar sus deficiencias se podrá diseñar las acciones de rehabilitación o refuerzo necesarias.

## **1.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1 Variable independiente**

- Determinación de las fallas y deterioros

### **1.6.2 Variable dependiente**

- Propuesta de conservación o refuerzo.

### **1.6.3 Conceptualización y operacionalización de las variables**

**Cuadro 1.1: Variable independiente**

Variable independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/acción
Determinación de las fallas y deterioros	Permite conocer las deficiencias y la condición actual de la estructura del paquete estructural y la carpeta asfáltica de la carretera en estudio.	Fallas	Nivel de severidad	Índice de deterioro
		Características	Capa base, capa sub base y sub rasante mejorada	Clasificación
				Densidades
				C.B.R.
				Viga de Benkelman
		Métodos de evaluación	P.C.I.	Identificación de fallas
			I.R.I.	Rugosidad superficial
			I.F.I.	Fricción y textura superficial

*Fuente: Elaboración Propia*

**Cuadro 1.2: Variable dependiente**

Variable dependiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/acción
Propuesta de conservación o refuerzo	El proceso incluye acciones que se aplican a áreas del pavimento para corregir fallas, mejorar su rendimiento y/o mejorar la durabilidad de las estructuras del mismo.	Mantenimiento menor	Preventivo correctivo	Sellado de grietas
				Bacheo; superficial, de carpeta o profundo
				Sello asfáltico localizado
				Fresado y/o texturización localizada
		Mantenimiento mayor	Efectivo correctivo	Tratamiento superficial
				Capas asfálticas de nivelación, de fricción o estructurales
				Remoción por fresado
				Reciclado; en frío o caliente

*Fuente: Elaboración Propia*

## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.7.1 Criterios del diseño metodológico**

#### **1.7.1.1 Unidades de estudio o muestra**

Evaluación de los pavimentos flexibles.

#### **1.7.1.2 Población**

Para la presente Investigación la población está dada por la ruta de las comunidades de Cañas hasta Chaguaya, con una longitud de 14,4 kilómetros lineales de pavimento flexible; equivalente a 7200 metros lineales de pista correspondiente a cada sentido de la vía.

#### **1.7.1.3 Muestra**

Evaluación del estado del pavimento en los tramos:

- Cruce de Chaguaya – Chaguaya 3,6 km - Red Departamental.
- Cruce de Chaguaya – Cañas 3,6 km - Red Fundamental.

#### **1.7.1.4 Tamaño de la muestra**

Para la obtención de los datos de fallas existentes en el sitio de estudio se llevó a cabo una división de la totalidad de la superficie del tramo en unidades homogéneas de esta división se deberá considerar los tipos de fallas existentes siendo la aplicación de los métodos elegidos en las áreas que presenten la mayor afectación de fallas para que los datos que se obtengan puedan ser más representativos.

### **1.7.2 Métodos y técnicas empleadas**

#### **1.7.2.1 Métodos**

El trabajo de investigación requiere del uso de un método y/o procedimiento que lo conduzca al conocimiento. Para llevar a cabo el trabajo se debe seguir una acción y un procedimiento metódico. Dentro de los tipos de métodos aplicados al trabajo intelectual tenemos al Método Deductivo y Método Inductivo. En nuestro caso empleamos el método inductivo ya que se acomoda al estudio que se pretende hacer.

El método inductivo va de lo particular a lo general, lo empleamos cuando queremos llegar a un principio general a partir de realizar el análisis de algún fenómeno o de un tema en particular, ya que en nuestro trabajo se pretende realizar la evaluación de pavimento flexible a partir de las fallas existentes en el mismo y proponer una alternativa de refuerzo.

Para la recolección de datos se siguió el siguiente procedimiento:

Para llevar a cabo este estudio se procederá a seleccionar 7,2 kilómetros de pavimento flexible en estudio: Cañas-Chaguaya; donde se analizó segmentos de estudio de 34 metros cada uno, en los tramos más críticos teniendo un total de 15 segmentos de medición, establecido según la norma ASTM para determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI).

De igual manera se ejecutó la evaluación empleando los métodos IRI, IFI y PSI, para determinar la serviciabilidad, rugosidad, fricción que existe a lo largo del tramo y la textura superficial en los puntos de severidad alta.

Y por último se realizó el ensayo de la viga Benkelman para su evaluación estructural del pavimento para determinar la deflexión característica y deflexión admisible.

De esta manera al estudiar las partes más críticas de nuestro tramo podremos realizar una evaluación completa sobre el tipo de daño y su respectiva rehabilitación y/o mejoramiento que deberá tener.

#### **1.7.2.2 Técnicas**

**Microsoft Excel:** Para elaborar gráficas cuadros y tablas dinámicas para vincular los resultados y datos obtenidos de los ensayos no destructivos y procedimientos de ingeniería.

**Microsoft Word:** Para la elaboración de la parte descriptiva de la ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos.



## **1.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

El procesamiento para la ejecución del caso en estudio se realizó a través de hojas de cálculo elaboradas bajo los procedimientos de las metodologías aplicadas; este análisis se presentó a través de gráficos de sectorización, histogramas, gráficos de líneas, tablas de registro y gráfico de barras (Microsoft Excel) de datos que se tomaron de la medición mediante los diferentes ensayos en el campo. De igual manera para el cálculo de las deflexiones máximas y admisibles.

## **1.9 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación corresponde a la aplicada o tecnológica, a un nivel de investigación descriptiva se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos, se diagnostica las fallas tanto de la estructura y la superficie de la vía dando los posibles motivos de falla.

## **1.10 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance de la presente investigación se refleja en el estudio de la evaluación del pavimento aplicado al tramo “Cañas-Chaguaya”, para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: carpeta asfáltica y paquete estructural.

Primeramente, se ejecutará una detallada inspección visual y un recorrido general en ambos sentidos, de este modo se logrará obtener un conocimiento de los segmentos más deteriorados, secciones donde se analizará cada una de las fallas que se logren observar, y de este modo llevar a cabo los ensayos correspondientes.

Para el presente trabajo se realizará una identificación y valoración de fallas apoyándose en la metodología PCI (Índice de Condición Presente); este índice está basado en el cálculo de la densidad de las fallas sobre el área estudiada, y del Valor de Deducción del Pavimento por efectos de cada tipo de falla y nivel de severidad. Para evaluar la serviciabilidad, también se procedió a medir la rugosidad mediante el ensayo del Merlín, el cual es un instrumento de medición estático, y mediante correlaciones del IRI con el PSI se determinará el valor del Índice de Serviciabilidad Presente. Además, se realizará el

método IFI (Índice de Fricción Internacional) con mediciones de campo de dos parámetros que son la textura y fricción con los ensayos del círculo de arena y péndulo británico, se adoptará el criterio de hacer los ensayos en los puntos más críticos de deterioro.

Para medir las deflexiones del pavimento se llevará a cabo mediante el ensayo de la viga de Benkelman en su totalidad del tramo, a partir de estas mediciones se obtienen valores de deflexiones máximas y radios de curvatura mediante los cuales se evaluará la condición estructural.

Finalmente se pretende alcanzar una actividad de mantenimiento apropiada que se puede dar como solución en función a los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO II**

### **ESTADO DE CONOCIMIENTO**

## **CAPÍTULO II**

### **ESTADO DE CONOCIMIENTO**

#### **2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO**

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

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

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

#### **2.2 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS**

De acuerdo a la estructura que presenta el pavimento se puede definir los siguientes tipos de pavimentos:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento semirrígido
- Pavimento articulado

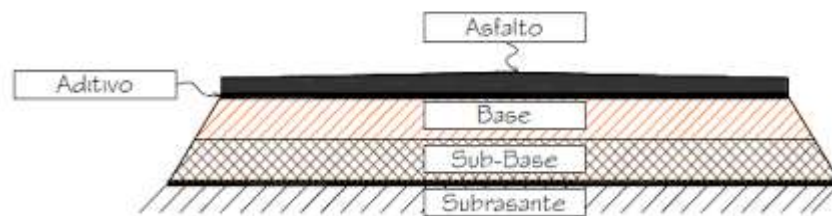
Nota: En el presente trabajo se hace énfasis en los pavimentos flexibles que es el que corresponde a la vía en estudio.

### 2.2.1 Pavimento flexible

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

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

**Figura 2.1: Estructura del pavimento flexible**



*Fuente: Civilneting (Proceso constructivo del pavimento flexible).*

### 2.2.2 Pavimento rígido

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

### 2.2.3 Pavimento semirrígido

Los pavimentos semirrígidos contienen la misma estructura de un pavimento flexible, con la variación que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; los cuales permitan incrementar la capacidad portante del suelo.

### 2.2.4 Pavimento articulado

Son pavimentos cuyas capas de rodadura la conforman concretos prefabricados, que se denominan adoquines, son iguales entre sí y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante.

## 2.3 CLASIFICACIÓN DE RED VIAL

**Cuadro 2.1: Clasificación vial**

Red Vial Fundamental	Red Vial Departamental	Red Vial Municipal
Son las principales carreteras de Bolivia de primer orden, las cuales tienen el objetivo de conectar las grandes capitales de departamento con los países vecinos limítrofes, o si no también con otras ciudades capitales departamentales. La institución encargada de la construcción y mantenimiento de los caminos de la Red Vial Fundamental es la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).	Son carreteras departamentales de segundo orden, las cuales conectan a las capitales de cada provincia con las carreteras de Red Vial Fundamental, o si no también con otras capitales provinciales. Los encargados de la construcción y el mantenimiento de los caminos de la Red Vial Departamental son los diferentes Servicios Departamentales de Caminos, los cuales pertenecen a los 9 Gobiernos Autónomos Departamentales (gubernaciones).	Son caminos municipales de tercer orden, los cuales conectan las capitales de cada municipio con otras pequeñas localidades del mismo municipio, con las carreteras de la Red Vial Fundamental o con las carreteras de la Red Vial Departamental, o si no también con otras capitales municipales y localidades. Los Gobiernos Autónomos Municipales son los encargados de la administración de las rutas de la Red Vial Municipal.

*Fuente: RED VIAL DE BOLIVIA – E – Asfalto.*

## **2.4 TRÁFICO VIAL**

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

En lo que corresponde a la sección de Suelos y Pavimentos, la necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectará a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

## **2.5 FACTOR DIRECCIONAL Y FACTOR CARRIL**

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD.

**Cuadro 2.2: Factor de distribución direccional y de carril**

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado Fd*Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDA total de calzada)	1 sentido	1	1,00	1,00	1,00
	1 sentido	2	1,00	0,80	0,80
	1 sentido	3	1,00	0,60	0,60
	1 sentido	4	1,00	0,50	0,50
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
2 calzadas con separador central (para IMDs total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 sentidos	3	0,50	0,60	0,30
	2 sentidos	4	0,50	0,50	0,25

*Fuente: Manual de carreteras MTyC. (2013).*

## 2.6 NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES



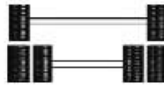
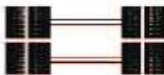
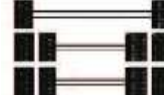

Según el Ministerio de transportes y comunicaciones, para el diseño de pavimento la demanda que corresponde al del tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (E.E.) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 Tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Los Ejes Equivalentes (E.E.) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.



**Figura 2.2: Configuración de ejes equivalentes**

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
<b>EJESIMPLE</b> (Con rueda simple)	1RS	2	
<b>EJESIMPLE</b> (Con rueda doble)	1RD	4	
<b>EJETANDEM</b> (1 Eje Rueda simple + 1 Eje Rueda doble)	1RS + 1RD	6	
<b>EJETANDEM</b> (2 Ejes Rueda doble)	2RD	8	
<b>EJETRIDEM</b> (1 Eje Rueda simple + 1 Eje Rueda doble)	1RS + 2RD	10	
<b>EJETRIDEM</b> (3 Ejes Rueda doble)	3RD	12	

*Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones. (2013). Perú*

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento:




















**Cuadro 2.3: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (E.E.) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos**

Tipo de eje	Eje equivalente (EE 8.2 Tn)
Eje Simple de ruedas simples (EES1)	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EES2)	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$ET_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	$ET_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$ET_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2) EETR2	$ET_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones. (2013) Perú.

## 2.7 CLASIFICACIÓN VEHICULAR

**Figura 2.3: Formato de clasificación vehicular**

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																						
TRAMO DE LA CARRETERA										ESTACION												
SENTIDO										DIA												
UBICACIÓN										FECHA												
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
0-1																						
1-2																						
2-3																						
3-4																						
4-5																						
5-6																						
6-7																						
7-8																						
8-9																						
9-10																						
10-11																						
11-12																						
12-13																						
13-14																						
14-15																						
15-16																						
16-17																						
17-18																						
18-19																						
19-20																						
20-21																						
21-22																						
22-23																						
23-24																						
TOTALES																						

Fuente: Documento de la Norma AASTHO 93.

### 2.7.1 Volumen de tránsito promedio diario

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que transitan durante un periodo dado de días completos, igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

De acuerdo al número de días de este periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dado en vehículos por día:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

- Tránsito promedio mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

- Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

### 2.7.2 Índice medio diario (IMD)

Es el promedio aritmético simple del volumen de tráfico de cada día de conteo. El cálculo del IMD se ha efectuado con la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{\sum \frac{Vi}{n}}{PT}$$

Donde:

Vi=Volumen de tráfico registrado.

n=Número de días de conteo.

PT=Porcentaje de tráfico (%).

**Porcentaje de tráfico.** Es el porcentaje de conteos que realizan durante todo el día, por lo tanto 24 horas de conteo representan el 100% de tráfico contado.

### 2.7.3 Índice medio diario anual (IMDa)

Los promedios así hallados son ponderados por un factor denominado factor de corrección estacional, que se emplea para el cálculo del índice medio diario anual (IMDa) y se ha empleado en la siguiente formula.

$$IMD_a = IMD_s * FCE$$

Donde:

IMDs=Índice medio diario semanal.

1. Factor de Corrección Estacional (FCE).

El factor de corrección estacional se determina a partir de una serie histórica de tráfico registrada, con la finalidad de hacer una corrección para eliminar las fluctuaciones diversas del volumen de tráfico por causa de las estaciones climatológicas, las épocas de cosecha, las festividades, las vacaciones, los viajes diversos, etc.

$$FCm = \frac{IMD \text{ anual}}{IMD \text{ del mes de estudio de la unidad peaje}}$$

Donde:

FCm=Factor de corrección del mes.

## 2.8 CÁLCULO DEL ESAL

El procedimiento de análisis de tráfico recomendado, permite determinar el número de aplicaciones de carga equivalentes a un eje simple de 18 KLb. a ser usado en la determinación de los espesores del pavimento.

$$ESAL = (F \cdot IMDA) * 365 * Fd * Fc * \left( \frac{(1+r)^n}{r} - 1 \right)$$

Dónde:

(F. IMDA)= $\Sigma$  de ejes equivalentes simples de 8,2 toneladas.

Fd=Factor direccional.

Fc=Factor carril.

r=Tasa de crecimiento del tráfico (%).

n=Periodo de diseño del pavimento (años).

**Cuadro 2.4: Periodo de diseño en función al tipo de carretera**

<b>Tipo de carretera</b>	<b>Periodo de diseño</b>
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10-20 años
Afirmadas o lastradas	5-10años

*Fuente: Documento de la Norma AASTHO 93.*

## **2.9 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

### **2.9.1 Evaluación superficial**

Se entiende por evaluación superficial o funcional, aquella evaluación realizada en una vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.

Existen diferentes métodos que son sencillos de aplicar y no requieren de equipos experimentados. La evaluación visual que se realiza, es una de las herramientas más importantes en la aplicación de estos métodos, y forma parte esencial de toda la investigación.

### **2.9.2 Evaluación de la adherencia**

La adherencia neumático-calzada es una de las características superficiales del pavimento que tiene influencia en la seguridad del conductor, ya que permite: reducir la distancia de frenado y mantener en todo momento la trayectoria deseada del vehículo. Para el caso de parámetros de seguridad del pavimento, la micro textura puede ser considerada a través de la determinación del coeficiente de fricción mediante el péndulo de fricción del “Transport Research Laboratory” (TRL) o péndulo inglés. En cuanto a la macro textura, se determina con el ensayo de círculo de arena el que consiste en esparcir un volumen conocido de arena de granulometría normalizada sobre el camino en forma circular con un accesorio de caucho, y valorar luego cual es la altura de arena (H) que entró, en promedio, en el círculo definido.

### **2.9.3 Evaluación estructural**

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico de vehículos y la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad, etc.

Estos dos componentes se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento, y verificación de la capacidad portante de la estructura.

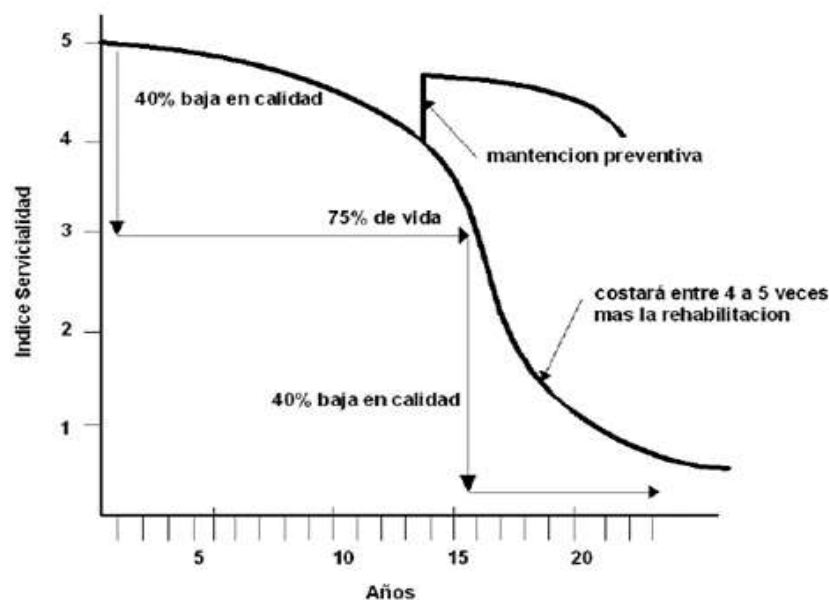
## 2.10 MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

### 2.10.1 Serviciabilidad del pavimento

Existen en la actualidad diversos indicadores, todos, tienen en común la preponderancia de las irregularidades (rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.).

La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural. En la figura 2.4 se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja cómo se va deteriorando un pavimento en el tiempo.

**Figura 2.4: Curva de deterioro del pavimento**



*Fuente: Jugo A. (2005).*

**Serviciabilidad funcional.** La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta.

**Serviciabilidad estructural.** Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento.

Para poder evaluar correctamente un pavimento se deben estudiar 4 características:

- Serviabilidad, facilidad para el rodamiento.
- Daños al pavimento, estado de la superficie.
- Falla estructural, deflexión del pavimento.
- Resistencia al deslizamiento.

Una vez obtenidas dichas características se puede emitir una evaluación más precisa, lo que conllevará a una selección de rehabilitación adecuada.

#### **2.10.1.1 Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

Es el Índice de Servicio Presente; es la comodidad de la condición del pavimento dentro de los límites prescritos como: muy bueno, bueno, regular, pobre y muy pobre, son las escalas de medida que dependerán del índice de rugosidad internacional.

Es una combinación matemática de valores obtenidos de ciertas dimensiones físicas como para predecir la condición de los pavimentos dentro de límites prescritos. Representa una medida de la rugosidad superficial del pavimento en una escala de 0 a 5, siendo 5 una superficie absolutamente lisa.



**Cuadro 2.5: Escala de calificación de la serviciabilidad AASHTO**

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5	Muy Buena	Solo los pavimentos nuevos o casi nuevos son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificarían como muy buenos.
4	Buena	Los pavimentos de esta categoría no son tan suaves como los “Muy Buenos” pero entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco signo de deterioro superficial. En pavimentos flexibles pueden comenzar a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.
3	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y puede presentar problemas para altas velocidades. Los defectos superficiales pueden incluir parches ahuellamiento y agrietamiento.
2	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito. Pueden tener grandes baches y grietas profundas. Incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento y ocurre en un 50% o más de la superficie.
1	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas.

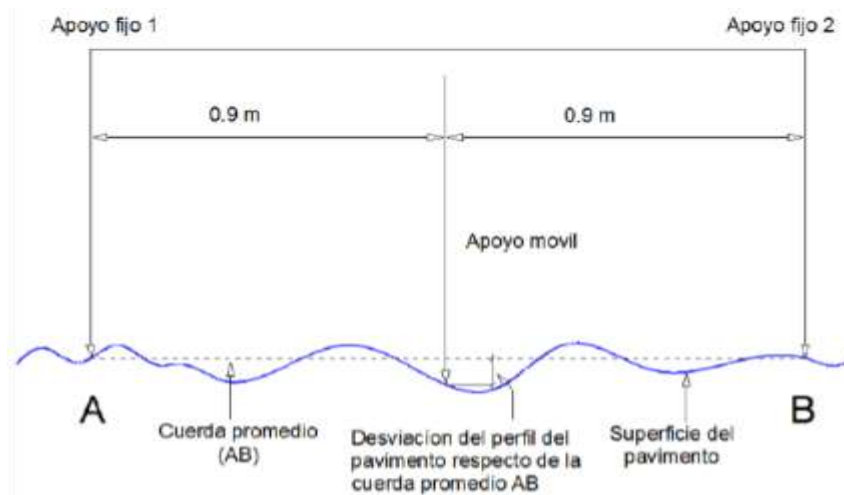
*Fuente: AASHTO (1662).*

### **2.10.2 Metodología para determinar del (IRI) con el rugosímetro de Merlín**

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros.

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. El Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

**Figura 2.5: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio**

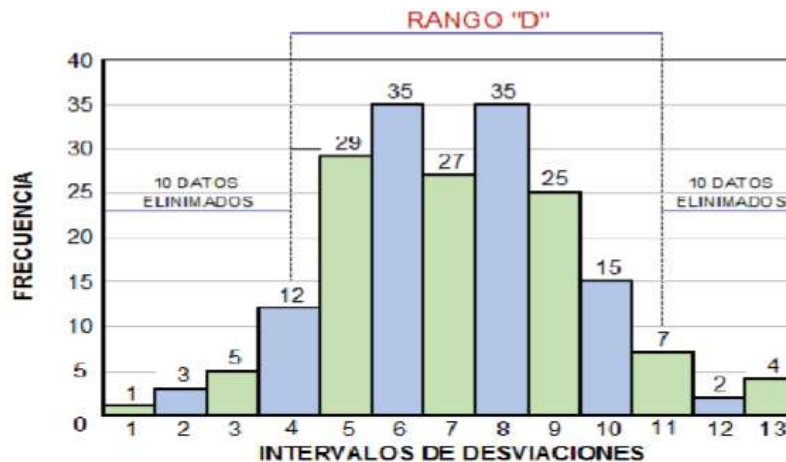


*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

### 2.10.2.1 Histograma de la distribución de frecuencias

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias, en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones, en la figura que sigue se muestra el parámetro estadístico “D” que representa la rugosidad del pavimento en escala MERLIN, luego de hacer la depuración de 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango “D” debe ser convertido a unidades IRI mediante ecuaciones de correlación.

**Figura 2.6: Histograma de la distribución de frecuencias**



*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

### 2.10.2.2 Correlaciones D versus IRI

A partir de las investigaciones por encargo del Banco Mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI.

Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlín con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

*Cuando:*  $2,4 < IRI < 15,9$  entonces  $IRI = 0,593 + 0,0471D$  ecuación (1)

*Cuando:*  $IRI < 2,4$  entonces  $IRI = 0,0485D$  ecuación (2)

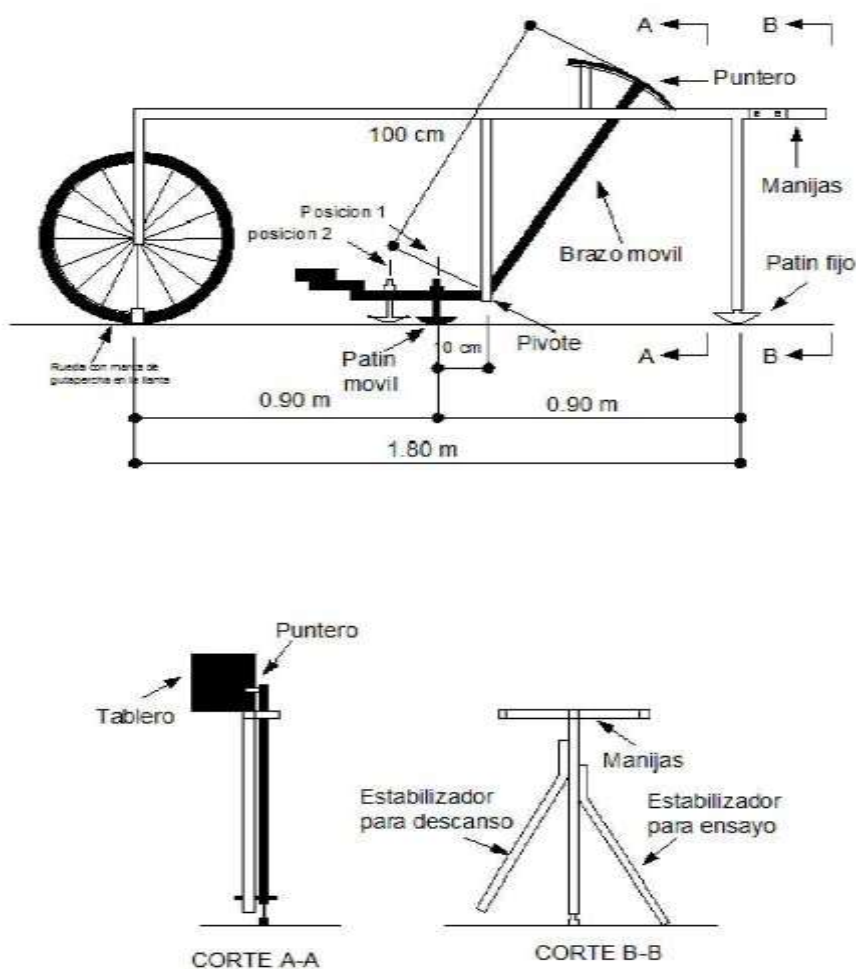
La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del Banco Mundial en el año 1982, la segunda ecuación es el resultado de las investigaciones en el Perú, el cual debe ser aplicado a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.

### 2.10.2.3 Rugosímetro Merlín

Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

Según la clasificación de equipos para medición de la regularidad superficial de pavimentos, propuesta por el Banco Mundial, el Merlín pertenece a la Clase 1, por obtener resultados muy exactos solo superado por el método de Mira y Nivel y además de ser una variación del perfilómetro estático.

**Figura 2.7: Esquema del rugosímetro de Merlín**



*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

#### 2.10.2.4 Método de ejecución de los ensayos

**El tablero del Merlín.** La relación entre patín móvil – pivote y pivote – puntero es de 1 a 10, lo cual da a entender que un movimiento en la parte inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm (10mm) en el puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero.

**Figura 2.8: Configuración del tablero de Merlín**

RUGOSIMETRO MERLIN		
1 DIVISION = 5 mm	DEPRESIONES	50
		49
		48
		47
		46
		45
		44
		43
		42
		41
		40
		39
		38
		37
		36
		35
		34
		33
		32
		31
		30
		29
		28
		27
		26
	ELEVACIONES	25
		24
		23
		22
		21
		20
		19
		18
		17
		16
		15
		14
		13
		12
		11
		10
		9
		8
		7
		6
		5
		4
		3
		2
		1

*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

#### 2.10.2.5 Procedimiento de ensayo

Se debe seleccionar una longitud de tramo de carretera de aproximadamente 400 m, es necesario dos personas uno que opera el equipo y el otro que anota las desviaciones.

Las desviaciones detectadas por el patín móvil son indicadas en el tablero, se realizan las observaciones cada 2 m, hasta completar las 200 lecturas, la velocidad de recorrido aproximado es de 2 km/h.

**Figura 2.9: Formato de recolección de datos**

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN  
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO : \_\_\_\_\_ OPERADOR : \_\_\_\_\_  
 SECTOR : \_\_\_\_\_ SUPERVISOR : \_\_\_\_\_  
 TRAMO : \_\_\_\_\_ FECHA : \_\_\_\_\_  
 CARRIL : \_\_\_\_\_

ENSAYO N°  KM  +  HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

### 2.10.2.6 Método para el cálculo de la rugosidad

**Cálculo del Rango “D”.** El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros.

**Factor de corrección para el ajuste de “D”.** La condición de relación de los brazos del Rugosímetro de 1 a 10 en ocasiones se cambia, como consecuencia del desgaste del patín del brazo móvil, lo cual debe ser ajustado con el factor de corrección “FC”.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas.
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$FC = \frac{EP * 10}{(L_i - L_f) * 5}$$

Donde:

EP=Espesor de la pastilla.

$L_i$ =Posición inicial del puntero.

$L_f$ =Posición final del puntero.

Para corregir el rango “D” multiplicamos por el factor de corrección (F.C.) y por porque el tablero tiene 50 divisiones de 5 mm cada una.

**Determinación de la rugosidad en la escala del IRI.** Para transformar la rugosidad de unidades Merlín a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2). Aplicando la expresión para el caso de  $IRI < 2,5$ .

#### **2.10.2.7 La escala de valores de IRI del Banco Mundial**

El Banco Mundial en 1986 propuso las escalas de medición del IRI en pavimentos de concreto asfáltico y aquellos con tratamientos superficial, así como también para aquellas carreteras cuya superficie de rodadura es a nivel de afirmado y/o trochas carreteras.

**Figura 2.10: Escala de clasificación del IRI**



*Fuente: Del Águila, P. (1993).*

Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para no pavimentados la escala se puede extender hasta el valor 20.

### 2.10.3 Relación entre el PSI y el IRI

Una vez obtenido el índice de regularidad internacional, los investigadores en busca de obtener un valor de Serviciabilidad (PSI) actual, decidieron correlacionar al IRI con el PSI. Como la rugosidad es el factor que más afecta la serviciabilidad en las ecuaciones originales de la AASHTO Road Test, el investigador Paterson propuso la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{(-0,18*IRI)}$$

Donde:

PSI=Índice de servicio.

IRI=Índice de Regularidad Internacional (m/km).



La Serviciabilidad final que aconseja el método AASHTO para pavimentos flexibles es de 2,5 y al utilizar estas correlaciones se obtiene valores de IRI entre 3,4 y 2,6. Estos valores de IRI son considerados como aceptables, por tal motivo los diseños pueden estar sub o sobre dimensionados.

## **2.11 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

La resistencia al deslizamiento, denominada a veces fricción superficial, es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos, que resiste el deslizamiento de estos últimos cuando se aplican los frenos al vehículo.

El deslizamiento de un vehículo se produce en dos direcciones, cada una de las cuales son diferentes en cuanto a las leyes que lo rigen:

- Deslizamiento en dirección longitudinal o en la dirección de marcha del vehículo. Ocurre cuando se aplica un esfuerzo de frenado. En la resistencia al deslizamiento longitudinal intervienen fundamentalmente dos componentes: (a) el rozamiento por adherencia neumático-pavimento y (b) la pérdida de energía debido a la histéresis del neumático, es decir, el neumático no absorbe toda la energía aplicada; siempre existe pérdida de energía que se transforma en "calor", esto ocurre con materiales elásticos como el caucho.  
(Histéresis: tendencia de un material a conservar una propiedad en ausencia del estímulo que la ha generado).
- Deslizamiento en dirección transversal al eje de la vía. Se producen esfuerzos tangenciales que deben ser compensados con las fuerzas de rozamiento transversal.

### **2.11.1 Factores que afectan la fricción neumático - pavimento**

La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes según la influencia de factores tales como:

- **La película de agua sobre la superficie del pavimento.** Actúa como lubricante y disminuye el contacto neumático-pavimento.

- **Los neumáticos.** Influye significativamente la presión de inflado, el material, el dibujo y la profundidad de la banda de rodadura. Esta última contribuye en la pronta eliminación de la película de agua.
- **La velocidad de circulación.** A mayor velocidad menor adherencia neumático-pavimento en presencia de agua, aunque el dibujo del neumático cuente con una buena profundidad de dibujo.
- **Época del año.** Además de los cambios de humedad estacional (verano-invierno) que condicionan la presencia de agua en la calzada o superficie del pavimento. Adicionalmente, la característica termoplástica del ligante asfáltico condiciona su viscosidad o grado de fluidez en función la temperatura, haciéndolo menos fluido (aumentando su rigidez) a bajas temperaturas y haciéndolo más fluido a medida que aumenta la temperatura.
- **La textura de la superficie del pavimento. Es el único factor que puede ser controlado por el Ingeniero de pavimentos,** ya que el mismo está relacionado con el origen mineralógico de la fuente de agregados (préstamos) y con la composición porcentual de los diferentes agregados seleccionados para la producción de las mezclas a ser empleadas en la capa de rodadura. La textura se sub - divide en dos elementos; la macro textura y la micro textura.

### 2.11.2 Caracterización de la superficie

La textura tiene un rol muy importante en la evacuación del agua en el sistema neumático – pavimento y afecta directamente a la adherencia entre los neumáticos del vehículo y la capa de rodadura, estos aspectos de la textura son determinantes en la seguridad de circulación, puesto que mantienen al vehículo en la vía al momento de frenado en o en una curva en cualquier lugar aun cuando esta se encuentre bajo los efectos de la lluvia. Esta textura se ve disminuida en el tiempo por los efectos del tráfico que genera pulimento de los agregados y otros tipos de falla que disminuyen la adherencia entre el vehículo y el pavimento. La textura también influye directamente en los niveles de sonoridad que percibe tanto el usuario al interior de su vehículo. En el aspecto económico afecta en el consumo de combustible, el desgaste de los vehículos y el desgaste de los neumáticos.

### 2.11.3 Micro textura

Es la que se encarga de otorgar resistencia al deslizamiento en superficies mojadas en el interfaz neumático – pavimento, permite la penetración del agua entre el neumático y el pavimento de manera que se genere el agarre necesario.

Depende de la naturaleza mineralógica de los áridos, de su textura superficial, aspereza y resistencia al pulimento. La longitud de onda ( $\lambda$ ) de las irregularidades superficiales originadas por la micro textura oscila entre 0 y 0,5 mm y la amplitud (A) o altura de onda o profundidad, oscila entre 0 y 0,2 mm aproximadamente.

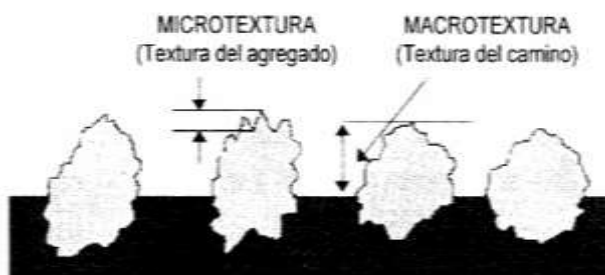
La micro textura gruesa o áspera aumenta la resistencia al deslizamiento, ya que facilita el rompimiento de la película fina de agua remanente en la superficie, luego que el neumático, por su paso especialmente a bajas velocidades, ha eliminado el exceso de agua (capa gruesa).

### 2.11.4 Macro textura

La macro textura es la que se encarga de la capacidad drenante del pavimento.

Depende de la composición de la mezcla de agregados y ligante y está definida por el espaciamiento entre las partículas de agregado superficial. La longitud de onda ( $\lambda$ ) de las irregularidades superficiales originadas por la macro textura oscila entre 0,5 y 50 mm y la amplitud (A) oscila entre 0,2 y 10 mm aproximadamente.

**Figura 2.11: Micro textura y macro textura**



*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

## **2.11.5 Medición de la fricción por medio del Péndulo Inglés**

### **2.11.5.1 Descripción**

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

### **2.11.5.2 Equipo**

- Péndulo británico
- Termómetro de piso
- Recipiente con agua
- Cepillo
- Cinta métrica

### **2.11.5.3 Procedimiento**

- a) **Nivelación.** Nivelar el instrumento exactamente (con precisión) girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja este centrada en el ojo la burbuja niveladora.
- b) **Ajuste a ceros.** Se eleva la cabeza del aparato, de tal forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplaza la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Se suelta el péndulo y anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura

no es cero, se afloja el anillo del seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura nuevamente. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que la aguja llegue a cero.

- c) **Ajuste de la longitud de deslizamiento.** Con el péndulo colgando libre colocar el espaciado abajo del tornillo de ajuste. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto. Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descansa en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm en superficies de prueba planos o entre 75 y 78 mm en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

A cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste. Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y sin demora se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y se registran los resultados.

**Figura 2.12: Péndulo de fricción británico**



*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

Se realizará cinco mediciones en campo para cada muestra en la que se analizará la fricción.

#### 2.11.5.4 Cálculo

El coeficiente de resistencia al deslizamiento es obtenido de la siguiente manera:

$$c. d. r = \frac{\text{Lectura Efectiva}}{100}$$

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor a la lectura efectiva.

#### 2.11.5.5 Rangos de fricción

Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

**Cuadro 2.6: Valores de fricción con Péndulo Británico**

Fricción, valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0,5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a bueno
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
> 0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

#### 2.11.6 Medición de la textura por medio de la prueba del círculo de arena

##### 2.11.6.1 Descripción

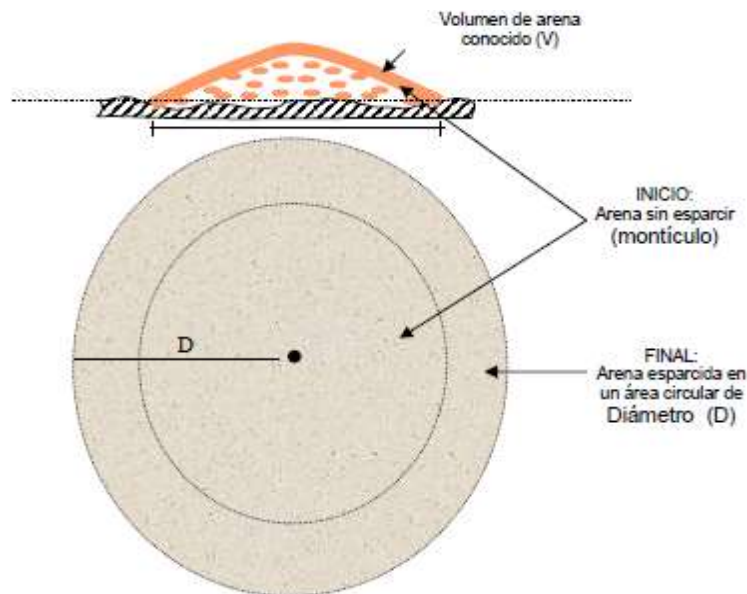
El ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena. El conocimiento del espesor de la macro textura sirve como una herramienta en la

caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos. Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macro textura puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado.

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales, y partículas, agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales y de servicio normales.

**Figura 2.13: Círculo de arena**



*Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Corros, Urbáez y Corredor (2009).*

#### 2.11.6.2 Equipo

- Se debe contar con **arena** normalizada (retenido el tamiz N°200) obtenidas mediante la preparación de estas en laboratorio, debido a que deben ser limpias de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar en ensayo.
- **Tubo cilíndrico graduado** para medir el volumen de arena a utilizar.
- **Un tapón**, para extender la arena formado por un disco de madera con un mango y provisto de un disco de goma dura en su cara inferior.

- **Una regla graduada**, para medir el diámetro resultante.

### 2.11.6.3 Procedimiento

- Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, debe estar seca y limpia.
- Con ayuda de la cara plana de goma del tampón se extiende con movimientos circulares hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular y asegurándose de que la arena ocupe todos los vacíos generados por las depresiones.
- Se mide el diámetro del círculo de arena con una regla. El mismo operador deberá desarrollar al menos cinco mediciones del espesor de la macro textura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores se debe considerar como el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento.
- Se debe proteger del viento al momento en que se esté desarrollando el ensayo.

### 2.11.6.4 Cálculo

El espesor promedio de la macro textura de la superficie del pavimento se obtiene con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

Donde:

H=Tx=Promedio del espesor de la macro textura de la superficie, plg (mm).

V=Volumen de la muestra, plg<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>).

d=Diámetro promedio del área cubierta por el material, plg (mm).

### 2.11.6.5 Rangos de calificación

Para valores de la textura superficial con el ensayo círculo de arena es propuesto lo siguiente:



**Cuadro 2.7: Textura en pavimentos para el círculo de arena**

<b>Tx</b>	<b>Textura</b>
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

### **2.11.7 Procedimiento de evaluación de la resistencia al deslizamiento**

Como se definió anteriormente, El ensayo se realizará en los tramos de sección más críticos que se obtengan en función a la evaluación por el método PCI, tomando en cuenta tanto el carril de ida como también el carril de vuelta, en función del deterioro de la carretera, para estas condiciones se tomará en cuenta para la realización de los cálculos.

### **2.11.8 Índice de fricción internacional o resistencia al deslizamiento**

El índice de fricción internacional, designado como IFI, es el segundo de una probablemente larga serie de indicadores internacionales que definen el estado de una carretera. El uso de este índice presenta la gran ventaja la permitir la comparación entre los pavimentos empleados en cualquier parte del mundo y por lo tanto el intercambio de información entre profesionales y las administraciones.

La materialización de representar en un solo índice las características relacionadas con la seguridad vial en condiciones de frenado se ha conseguido realizando el Experimento Internacional (Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Publicación AIPCR- 01-04. T-1995). Las conclusiones del Experimento han probado la necesidad de representar ese índice, el IFI, por dos números procedentes de dos medidas, una de fricción y otra de macro textura.

El modelo PIARC que se describirá es la base de la definición del Índice de Fricción Internacional, a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores (F60, Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macro textura. El primero es

un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno adherencia.

### 2.11.8.1 Modelos matemáticos de referencia

La obtención del índice de fricción internacional se basa en el modelo PIARC y este a su vez en el modelo de Pennsylvania, por lo que a continuación se hace una breve explicación de estos modelos.

#### Modelo de Pensilvania

El modelo de Pennsylvania (Henry. 1992) asocia la fricción  $F(S)$  en una prueba de deslizamiento con la correspondiente velocidad de medición ( $S$ ) en una forma definida por la ecuación siguiente:

$$F(S) = F_o * l^{\frac{-S}{S_o}}$$

Donde:

$F(S)$ =Fricción medida con un cierto equipo.

$S$ =Velocidad de deslizamiento de la llanta de prueba.

$S_o$ =Velocidad del vehículo afectada por la condición de la llanta de prueba.

$F_o$ =Valor de la fricción a una velocidad del deslizamiento cero, o sea que el equipo se considera estático o estacionario.

El modelo traduce matemáticamente el hecho experimental de que a mayor velocidad menor valor de la fricción. Se modificó de manera que la velocidad de referencia fuera 10km/h en lugar de 0 km/h; esto se debió a que el modelo no se adaptaba lo suficiente a las mediciones experimentales y presentaba mucha dispersión en los resultados.

Por tanto, el modelo modificado adopta la siguiente forma:

$$F(S) = F_1 * e^{\frac{10-S}{S_1}}$$

Donde:

$F_1$ =Valor de la fricción obtenida para una velocidad del deslizamiento a 10 km/h.

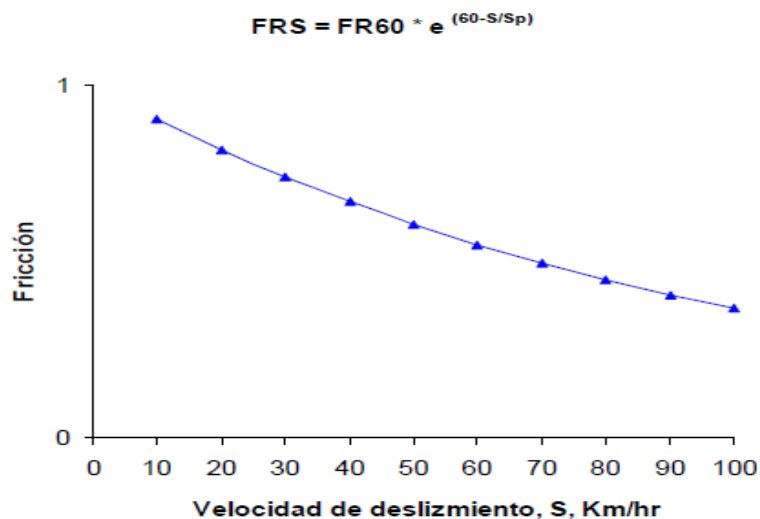
$S_1$ =Velocidad del vehículo afectada por la condición de la llanta de prueba.

### Modelo de PIARC

El modelo PIARC es simplemente una modificación del de Pensilvania para el caso en que la velocidad de referencia es de 60 km/h. El modelo se describe entonces en función de una constante “FR60” que corresponde al valor de la fricción medida para esa velocidad de deslizamiento y su ecuación queda de la siguiente manera:

$$F(S) = F_{60} * e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

**Figura 2.14: Curva de fricción-velocidad de deslizamiento aplicando el método PIARC**



*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

De acuerdo a lo establecido en el experimento internacional de PIARC, al valor de la mejor estimación para el caso de la fricción se le denominará  $F_{60}$  y para el parámetro de velocidad la mejor estimación es directamente  $S_p$ .

## Calibración de los distintos equipos utilizados en el experimento de PIARC

### Determinación del parámetro Sp

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento PIARC, se ha comprobado que la constante de velocidad **Sp** puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la Macro textura (Tx) tal que:

$$Sp = a + (b * Tx)$$

Donde:

Sp=Velocidad de referencia.

“a” y “b” toman los siguientes valores según la norma ASTM E 965:

a= -11,5981

b= 113,63246

**Cuadro 2.8: Valores de a y b para la constante de velocidad**

Prueba	a	b
MTD por ASTM E 1845	14,2	89,7
MTD por ASTM E 965	-11,6	113,6

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

### Determinación del parámetro F60

Para la estimación de F60 se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en el cuadro.

**Cuadro 2.9: Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo**

Tipo de equipo	Ecuación para determinar S
Con rueda bloqueada	S = V
Con rueda parcialmente bloqueada	S = V por el % de deslizamiento
Con rueda oblicua	S = V por el Sen $\alpha$ , donde $\alpha$ =ángulo de esviaje

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir de una ecuación, de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Donde:

S=Velocidad del péndulo (10 km/h).

Sp=Velocidad de referencia.

FRS=Valor de fricción obtenido en campo.

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento PIARC:

$$F60 = A + (B * FR60)$$

Donde:

“A” y “B” toman los siguientes valores de acuerdo a la norma ASTM E 274.

A=0,078

B=0,01071

**Cuadro 2.10: Equipos utilizados para medir la fricción**

Llantas lisas		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km/hr	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0,002	1,008	0
Rueda parcialmente bloqueada	OSCAR a 86% (N) <sup>2</sup>	B4E	52	-0,03	0,864	0
	OSCAR a 20% (N) <sup>2</sup>	B4E	12	0,119	0,643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0,019	0,868	0
	Griptester (UK)	D8	9,4	0,082	0,910	0
Rueda Oblicua	Stradograph (DK)	C9	12,5	0,054	0,770	0
	Odoliograph Wallon (B)	C10	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM Flemish (B)	C3B	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX	C4	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT	C8	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA	D3	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	D4	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)		20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17,1	0,033	0,872	0
Equipos con neumáticos gravados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	60	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-0,023	0,607	0,098
	Equipo de Fricción (PL)	C10	60	-0,025	0,807	0,068
	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer	B2	12	0,03	0,918	-0,014
	BV - 11 (S)	B3	12	0,04	0,856	-0,016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0,02	0,867	-0,006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 Km/h (J)	A13	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester at 20 Km/h (J)	A13	20	0,081	0,723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0,056	0,008	0
	péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0,044	0,01	0

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

## 2.12 ÍNDICE DE CONDICIÓN PRESENTE (PCI)

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. por M.Y. Shahin y S.D. Khon y publicado en 1978; con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. Ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación, conocida como procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

El cálculo se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente.

Este método de evaluación superficial se caracteriza por no requerir ningún equipo especial o sofisticado para la evaluación; por suministrar información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y la condición final que este presenta; porque es un método estándar y más detallado para evaluar pavimentos y por ser la base para determinar necesidades de mantenimiento o rehabilitación del pavimento.

Esta metodología califica la condición integral del pavimento basándose en una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

**Cuadro 2.11: Escala de clasificación del PCI**

PCI	Clasificación
85 – 100	Excelente
70 – 85	Muy Bueno
55 – 70	Bueno
40 – 55	Regular
25 – 40	Malo
10 – 25	Muy Malo
0 – 10	Fallado

*Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.*

### 2.12.1 Procedimiento de Medición del PCI

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican cuidadosamente los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. En la Figura 2.16 se ilustra el formato adoptado para el presente trabajo, y una segunda etapa que será el cálculo.

**Figura 2.15: Hoja de registro de fallas visuales**

NOMBRE DE LA VIA:  
 REALIZADO POR:  
 ANCHO VIA:  
 FECHA:

UNIDAD DE MUESTREO:  
 AREA DE LA MUESTRA:  
 PROGRESIVAS:

TIPOS DE FALLAS					
1	Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	11	Baches y zanjas reparadas	m <sup>2</sup>
2	Exudación	m <sup>2</sup>	12	Agregados pulidos	m <sup>2</sup>
3	Fisuramiento en bloque	m <sup>2</sup>	13	Huecos	Nº
4	Abultamientos - Hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>
5	Corrugación	m <sup>2</sup>	15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
6	Depresión	m <sup>2</sup>	16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>
7	Grieta de borde	m	17	Fisuramiento de Resbalamiento	m <sup>2</sup>
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desmoronamiento / Intemperismo	m <sup>2</sup>
10	Grietas longitudinales y Transversales	m			

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
Falla	Unidad	Severidad	LARGO m	ANCHO m	PROF. m	TOTAL

*Fuente: Elaboración propia.*

#### Severidad:

Representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, ósea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:

Bajo (L= Low): se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad.



Medio (M= Medium): las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad.

Alto (H= High): las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad.

#### a) Unidad de muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

**Cuadro 2.12: Longitudes de unidades de muestreo**

Ancho de calzada	Longitud de unidad de muestreo (m)
5,00	46,00
5,50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30 (máx.)	31,50

*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ .

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud para el cálculo.

#### b) Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

En la evaluación de una red vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la evaluación de un proyecto se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se

obtiene mediante la ecuación líneas abajo, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{(N * \sigma^2)}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n=Número mínimo de secciones a muestrear.

N=Número total de secciones en el tramo en estudio (área total/área de sección).

e=Error admisible en la estimación del PCI, normalmente 5%.

$\sigma$ =Desviación estándar del PCI entre las secciones medidas, normalmente se asume un valor de 10% para pavimentos asfálticos y de 15% para pavimento de concreto.

### c) Selección de las unidades de muestreo para inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{N}{n}$$

Donde:

N=Número total de unidades de muestreo disponible.

n=Número mínimo de unidades para evaluar.

I=Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3,7 se redondea a 3).

El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i

Así, si  $i=3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como  $(S)$ ,  $(S + 1)$ ,  $(S + 2)$ , etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo ( $i$ ) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Para la evaluación del tramo Cañas-Chaguaya se consideró realizar 15 unidades de muestra significativas en relación a la longitud total del tramo.

El cálculo del PCI, comprende las siguientes etapas:

**Etapas 1.** Cálculo de los valores deducidos (VD):

- Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas por el formato. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- Se divide la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado en porcentaje. Esta será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas y tablas denominadas “valor deducido del daño”.

**Etapas 2.** Determinación del número máximo admisible de valores deducidos ( $m$ ):

- Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” (VDT) en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), obteniendo en la Etapa 4, de lo contrario se seguirán los pasos que continúan.
- Se listan los valores deducidos individuales en orden descendente.
- Se determina el “Número máximo de valores deducidos” ( $m$ ), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1,00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Donde:

$m_i$ =Número máximo admisible de “valores deducidos”.

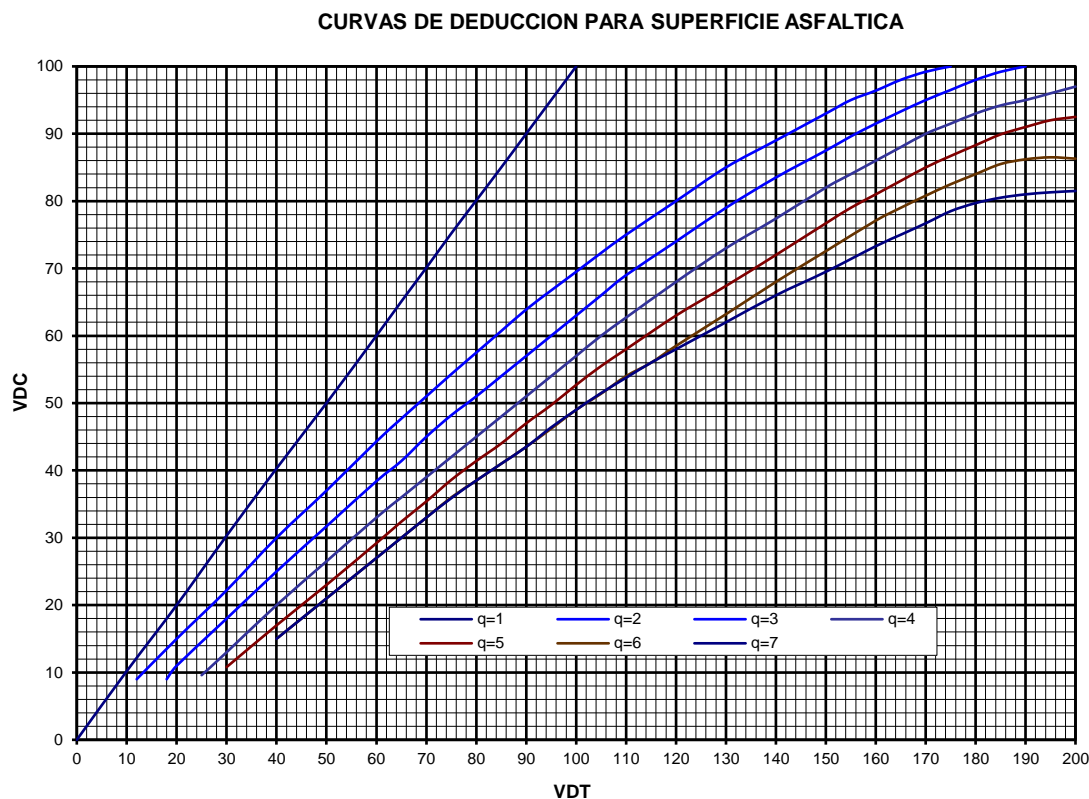
$HDV_i$ =El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo  $i$ .

- El número de valores individuales deducidos se reduce a “ $m$ ”, inclusive la parte fraccionaria. Si se repone de menos valores deducidos que “ $m$ ” se utilizan los que se tengan.

**Etapas 3.** Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se realiza mediante un proceso iterativo que se describe a continuación:

- Se determina el número de valores deducidos ( $q$ ) mayores que 2.
- Determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.
- Calcular el CDV con el “ $q$ ” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- Se reduce a 2 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que y repita las etapas iniciales de esta etapa hasta que sea igual a 1.
- El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en este proceso.

**Gráfico 2.1: Curvas de corrección del valor deducido (CDV)**

*Fuente: Shahin, M. Y. y Khon, S. D. (1978).*

**Etapa 4:** Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la ETAPA 3.

$$PCI = 100 - CDV_{m\acute{a}x}$$

Donde:

PCI=Índice de condición presente.

CDV<sub>máx</sub>=Máximo valor corregido deducido.

### 2.12.2 Criterios a considerar en la inspección de fallas

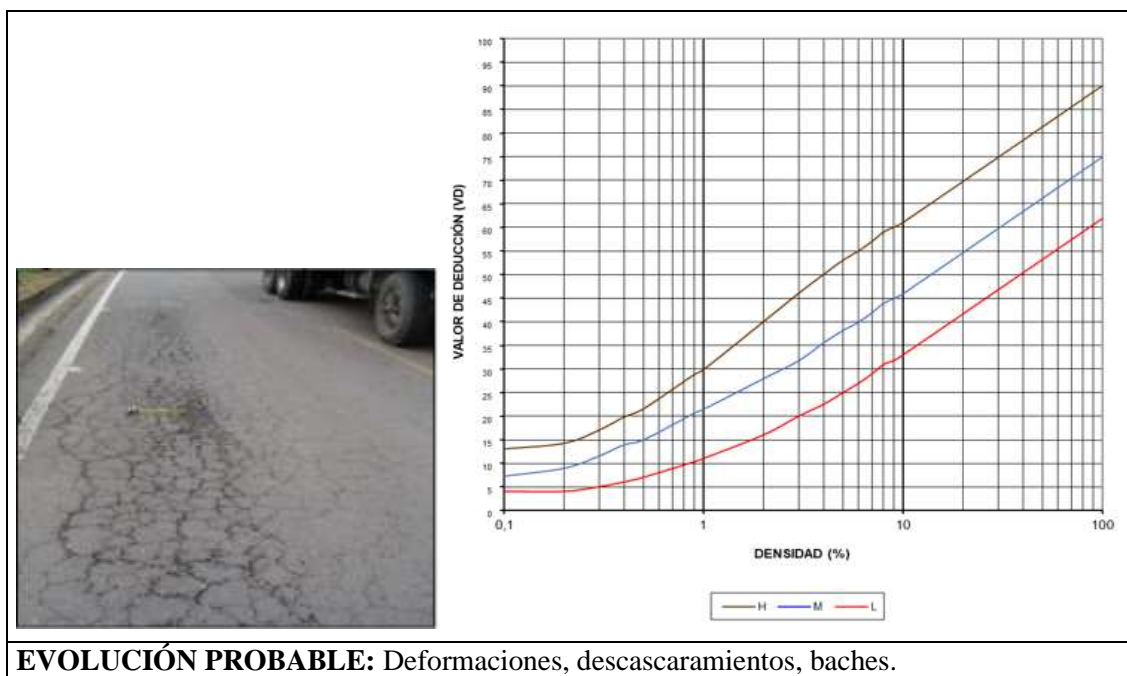
A continuación, se detallan algunos criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

1. Si el agrietamiento tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurren en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.
2. Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.
3. El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.
4. Si una fisura no tiene un mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con diferente nivel de severidad debe ser registrada en forma separada. Sin embargo, si los diferentes niveles de severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.
5. Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, esta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.
6. Se dice que una falla está desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

### **2.12.3 Descripción de las fallas, nivel de severidad y unidad de medida.**

**Cuadro 2.13: Falla 1 – Piel de cocodrilo**

<b>FALLA N° 1</b>		
NOMBRE: Fisuramiento "Piel de Cocodrilo"		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>El fisuramiento “Piel de Cocodrilo” o de fatiga es una serie de fisuras interconectadas causadas por fatiga de la carpeta asfáltica, bajo las cargas repetitivas del tráfico. Comienza en la parte inferior de la capa de superficie donde se desarrolla los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión bajo la carga, y se propagan hacia la superficie, inicialmente como una serie de fisuras longitudinales paralelas. Bajo repeticiones adicionales de carga, las fisuras se interconectan formando como un mosaico que asemeja la piel de cocodrilo. Las piezas tienen menos de 60 cm en su lado mayor.</p> <p>Ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).</p> <p>La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. No presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.	Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.	Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área. La mayor dificultad al medir esta falla, es que el fisuramiento puede presentarse a 2 o 3 niveles de severidad dentro del área afectada. De ser posible, se tratará de registrar cada nivel por separado; caso contrario se registrará la falla en su nivel de severidad más alto para toda el área.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada, sello superficial. Sobre carpeta.	Parqueo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobre carpeta. Reconstrucción.	Parqueo parcial o Full Depth. Sobre carpeta. Reconstrucción.

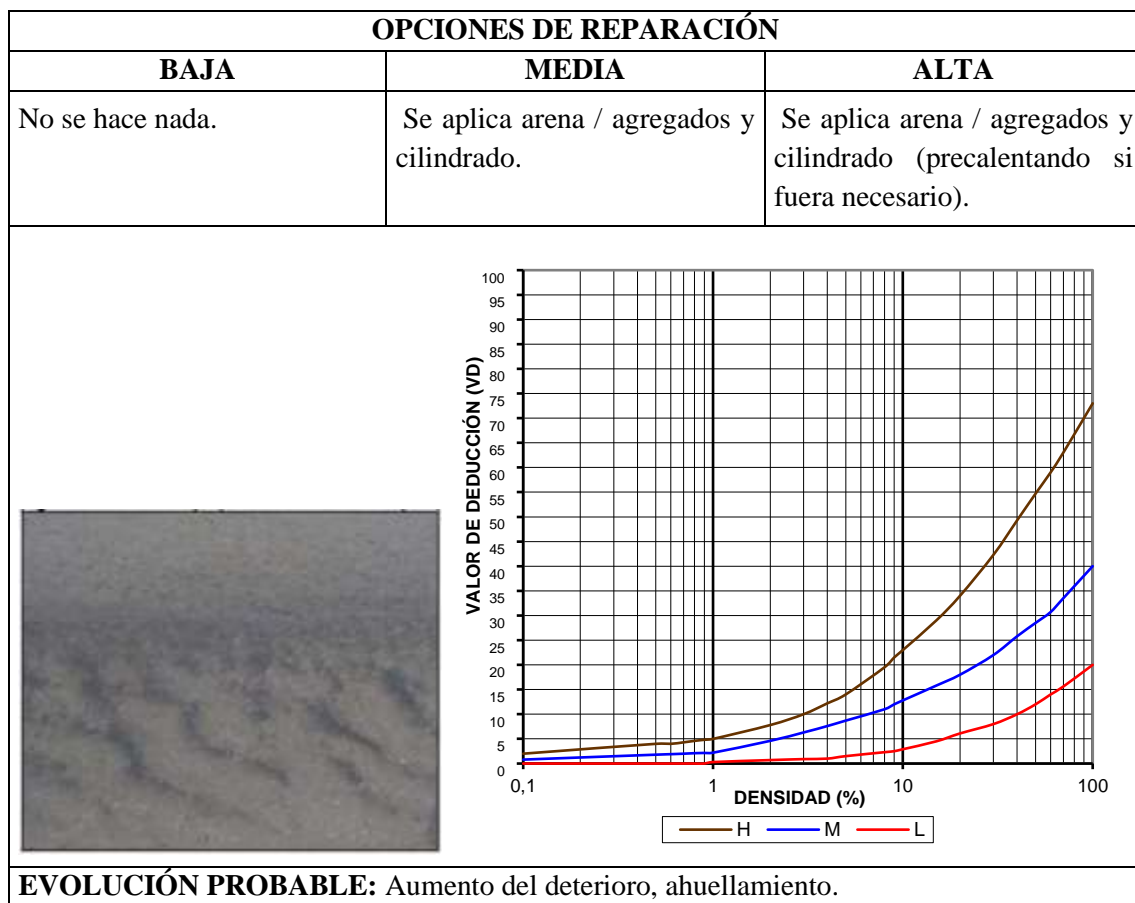


*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Cuadro 2.14: Falla 2 - Exudación**

<b>FALLA N° 2</b>		
NOMBRE: Exudación		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
<p>La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.</p>	<p>La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.</p>	<p>La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.</p>
<b>MEDICIÓN:</b>		
<p>Se mide en pies<sup>2</sup> o m<sup>2</sup> de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.</p>		


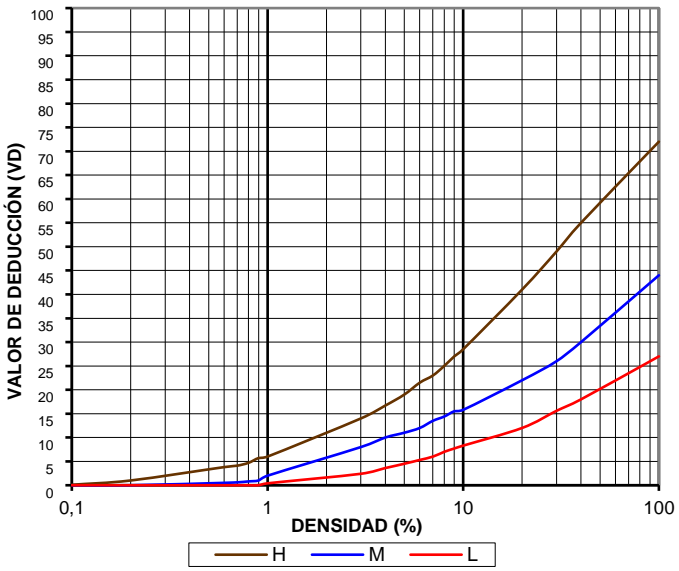




*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*


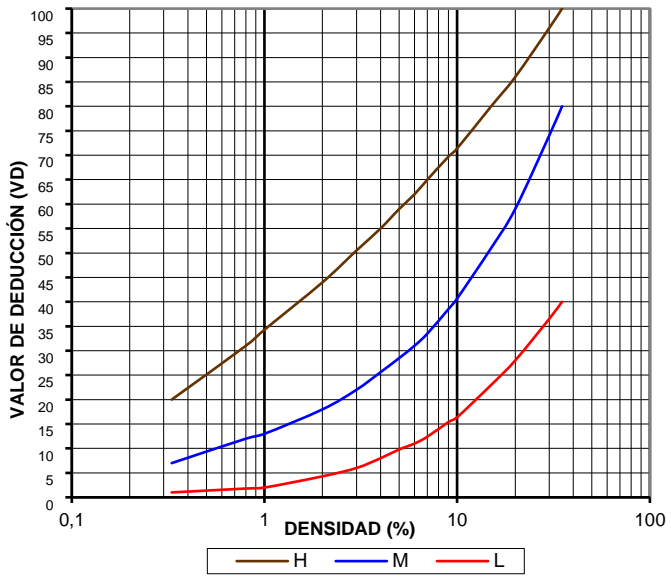
**Cuadro 2.15: Falla 3 - Fisuramiento de bloque**

<b>FALLA N° 3</b>		
NOMBRE: Fisuración en bloque		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0,30 m x 0,3 m a 3,0 m x 3,0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.</p> <p>Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>

Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.	Bloques definidos por grietas de severidad media.	Bloques definidos por grietas de alta severidad.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm. Riego de sello.	Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.	Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.
		
		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Piel de cocodrilo, descascaramientos.		


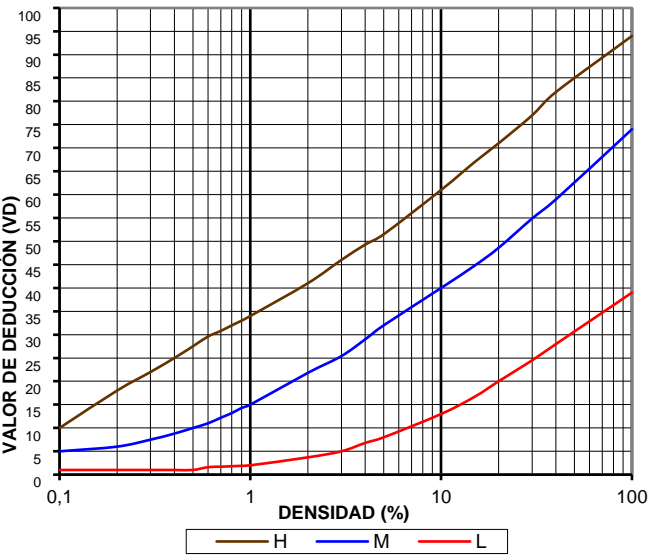
*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Cuadro 2.16: Falla 4 – Abultamientos y hundimientos**

<b>FALLA N° 4</b>		
NOMBRE: Abultamientos y hundimientos		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables.</p> <p>Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones”.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m. el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada.	Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.	Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobre carpeta.
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div>		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Agrietamiento, desprendimiento.		


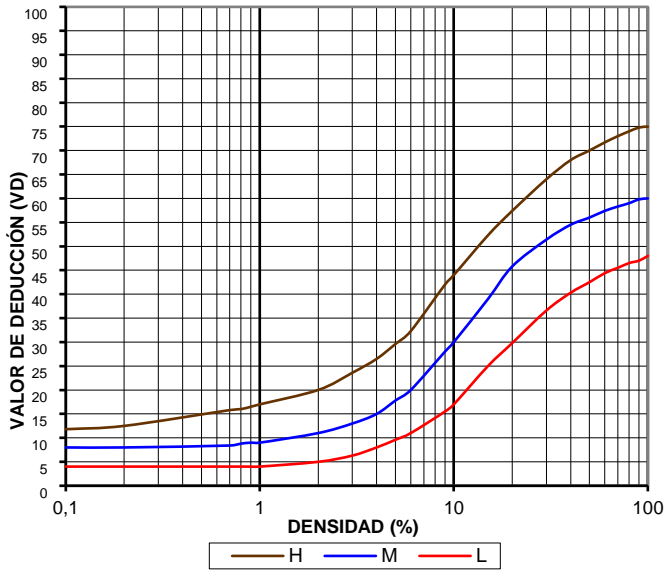
Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.17: Falla 5 - Corrugación**

<b>FALLA N° 5</b>		
NOMBRE: Corrugación		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones”.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.
<b>MEDICIÓN:</b> Se miden en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada.	Reconstrucción.	Reconstrucción.
 		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Exudación, agrietamiento, ahuellamiento.		


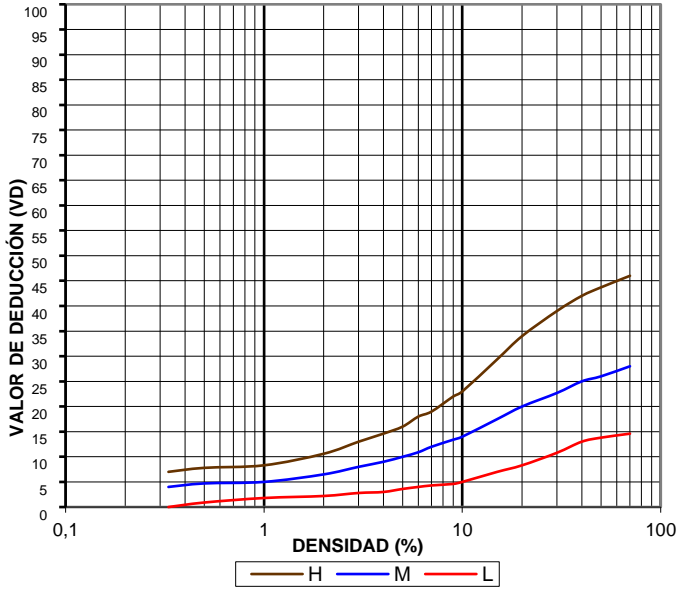
Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.18: Falla 6 - Depresión**

<b>FALLA N° 6</b>		
NOMBRE: Depresión		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo.</p> <p>Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Máxima profundidad de la depresión: 13,0 a 25,0 mm.	Máxima profundidad de la depresión: 25,0 a 51,0 mm.	Máxima profundidad de la depresión: 25,0 a 51,0 mm.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se miden en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada.	Parqueo superficial, parcial o profundo.	Parqueo superficial, parcial o profundo.
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div>		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Fisuración, desprendimientos, piel de cocodrilo, baches, movimientos en masa.		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

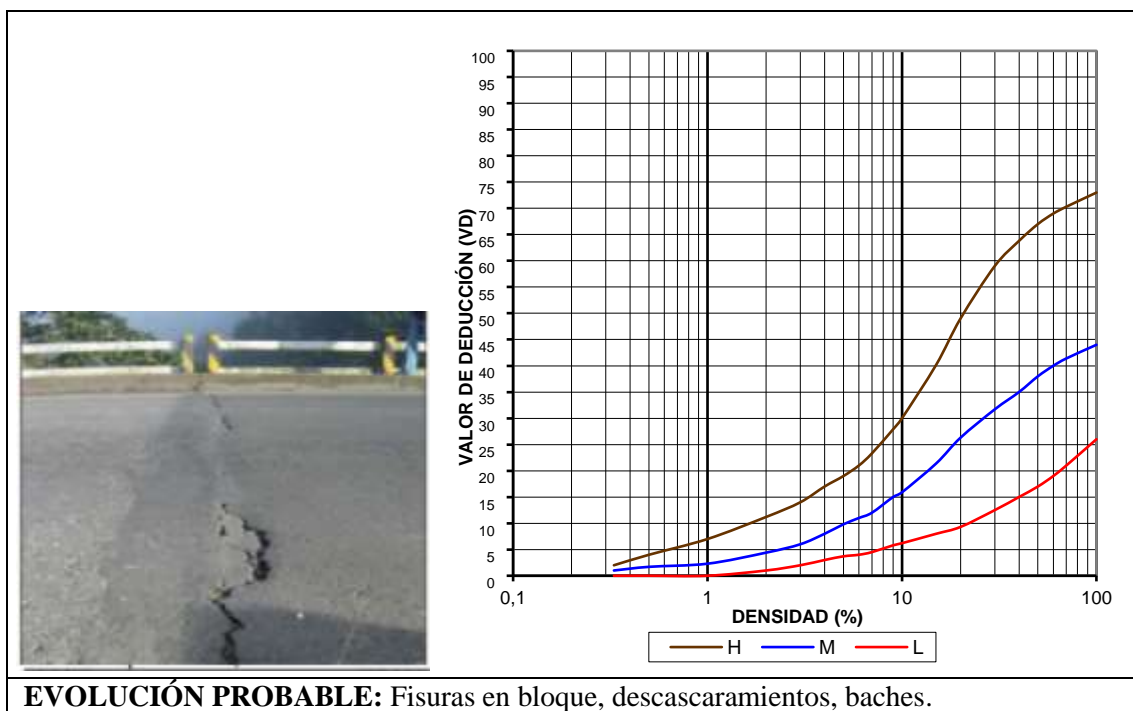
**Cuadro 2.19: Falla 7 – Grieta de borde**

<b>FALLA N° 7</b>		
NOMBRE: Grietas de borde		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0,30 y 0,60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.	Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.	Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.
<b>MEDICIÓN:</b> Se mide en pies lineales (o metros lineales).		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3mm.	Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.	Parcheo parcial - profundo.
		
		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Desprendimiento del borde, desintegración alrededor de la fisura.		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.20: Falla 8 – Grieta de reflexión de junta**

<b>FALLA N° 8</b>		
NOMBRE: Grietas de reflexión de junta		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm. 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0mm. 3. Grieta rellena de cualquier ancho.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76,0 mm. 2. Una fisura de cualquier ancho con una severa rotura del pavimento a sus lados.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Sellado para anchos superiores a 3,0 mm.	Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.	Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

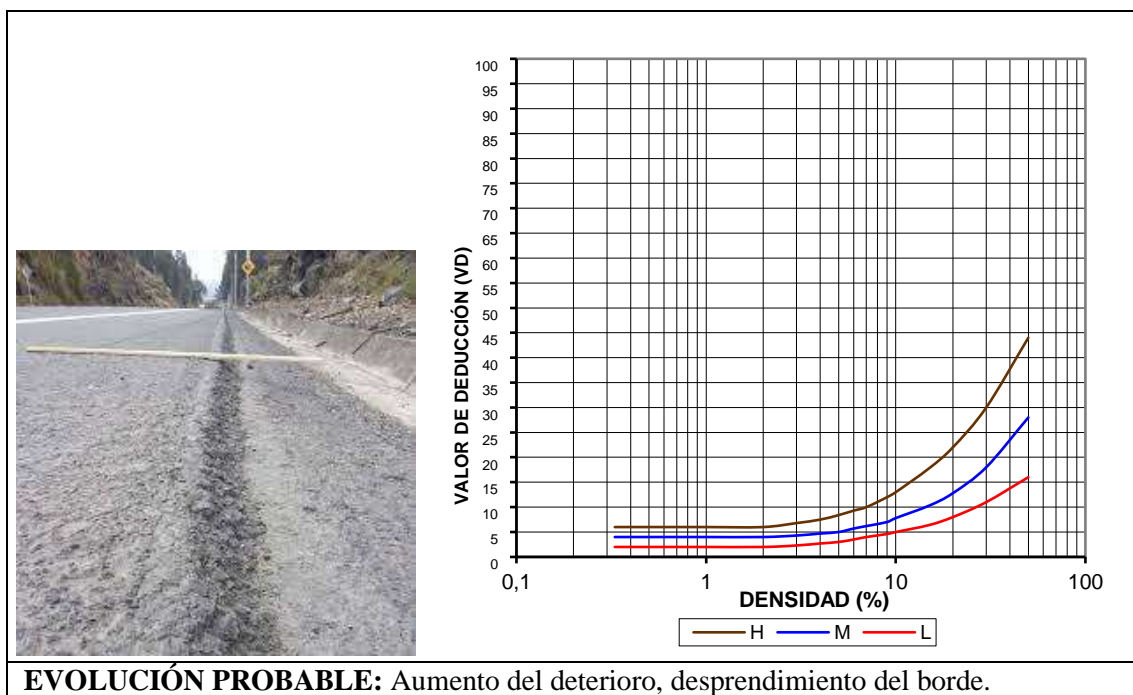


Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.21: Falla 9 – Desnivel de carril/berma**

<b>FALLA N° 9</b>		
NOMBRE: Desnivel de carril/berma		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
Es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25,0 y 51,0 mm.	La diferencia está entre 51,0 mm y 102,0 mm.	La diferencia en elevación es mayor que 102,0 mm.
<b>MEDICIÓN:</b>		
El desnivel carril/berma se miden en pies lineales (o metros lineales).		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.


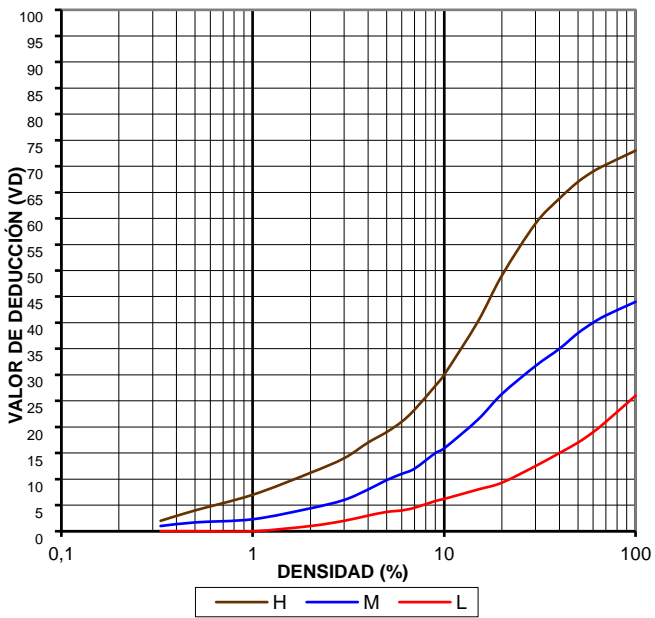




Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.22: Falla 10 – Grieta longitudinal o transversal**


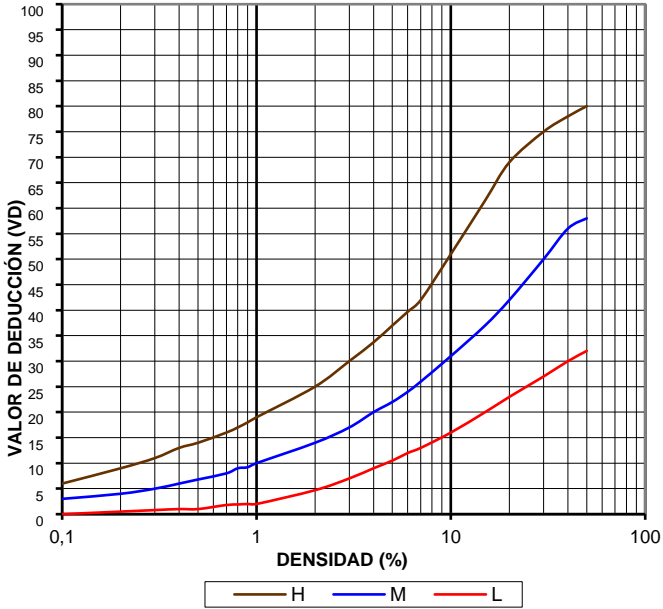
<b>FALLA N° 10</b>		
NOMBRE: Grieta longitudinal o transversal		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.</li> <li>2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.</li> <li>3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.</li> </ol> <p>Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.</li> <li>2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición</li> </ol>	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.</li> <li>2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0mm.</li> </ol>	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas pequeñas de severidad media o alta.</li> </ol>

satisfactoria del material llenante).	3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas pequeñas.	2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho. 3. Una grieta de cualquier ancho con una severa rotura del pavimento a sus lados.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Las fisuras longitudinales se miden en metros lineales. Se identifica la longitud y severidad de cada fisura. Si existe un desnivel en la fisura se debe registrarse.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.	Sellado de grietas.	Sellado de grietas. Parcheo parcial.
		
		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento del deterioro, agrietamientos tipo piel de cocodrilo, desintegración alrededor de la fisura, baches, asentamientos, fisuras en bloques.		

*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

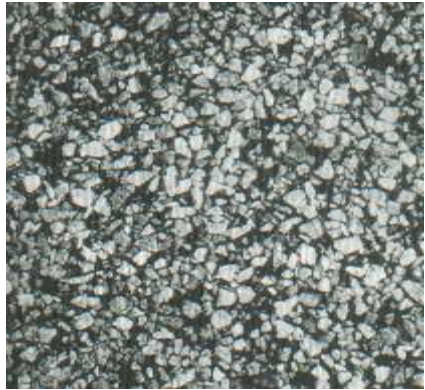
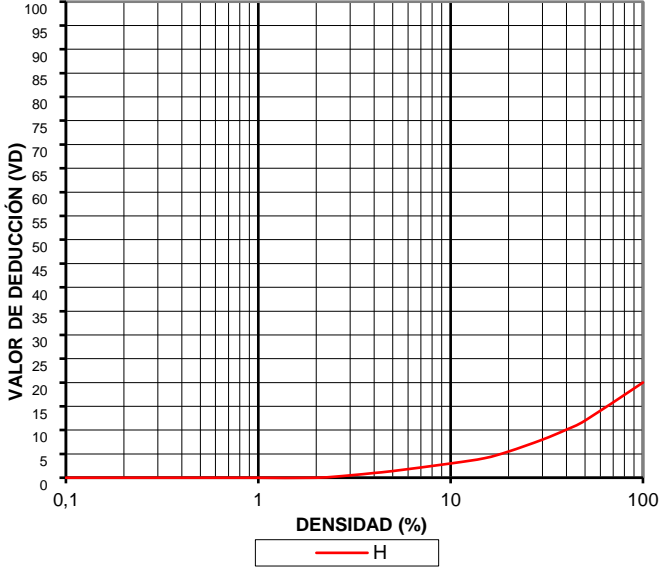
**Cuadro 2.23: Falla 11 – Baches y zanjas reparadas**

<b>FALLA N° 11</b>
NOMBRE: Baches y zanjas reparadas
<b>DESCRIPCIÓN:</b>
Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
El parche está en buena condición. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.	El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.	El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Los parches se miden en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada.	No se hace nada. Sustitución del parche.	Sustitución del parche.
		
		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento del deterioro, rotura de la reparación dando lugar a un bache.		


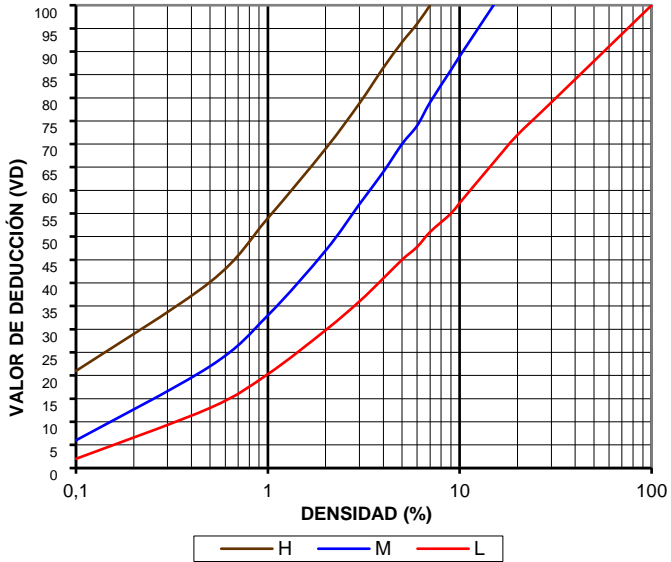
*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Cuadro 2.24: Falla 12 – Agregados pulidos**

<b>FALLA N° 12</b>	
NOMBRE: Agregados pulidos	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	
Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto, y hay evidencia que la resistencia al frenado en condiciones húmedas ha decrecido considerablemente.	
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>	
No se definen niveles de severidad. Sin embargo, el grado de pulido debe ser significativo para que esta falla sea considerada un defecto.	
<b>MEDICIÓN:</b>	
Se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.	
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>	
No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Fresado y sobre carpeta.	
	
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento del deterioro, rotura de la reparación dando lugar a un bache.	


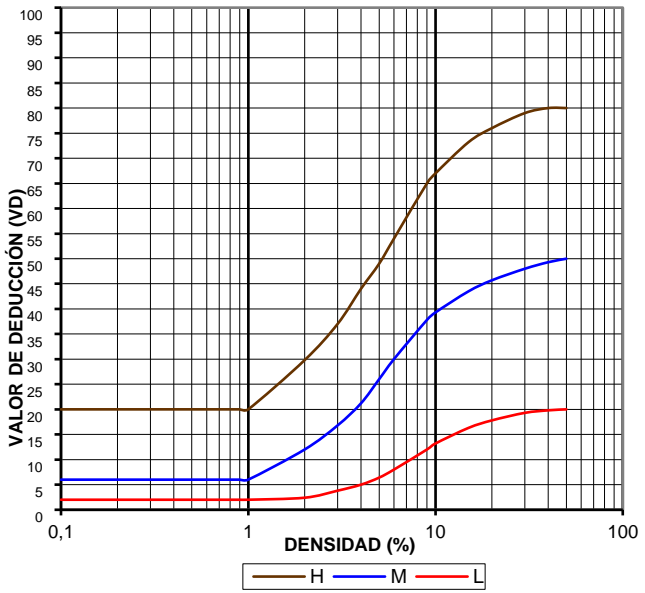
*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Cuadro 2.25: Falla 13 - Huecos**

<b>FALLA N° 13</b>					
NOMBRE: Huecos					
<b>DESCRIPCIÓN:</b>					
Son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, con diámetros menores a 0,90 m. Presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen por el efecto abrasivo del tráfico sobre la superficie. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Los huecos son fallas estructurales que no deben confundirse con desmoronamientos o intemperismo.					
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>					
Los niveles de severidad de los baches de menos de 1 metro de diámetro se basan en su diámetro como en su profundidad de acuerdo a la siguiente Tabla:					
Profundidad máxima del hueco	Diámetro promedio (mm)				
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm		
12,7 a 25,4 mm	L	L	M		
>25,4 a 50,8 mm	L	M	H		
>50,8 mm	M	M	H		
<b>MEDICIÓN:</b>					
Se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.					
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>					
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>			
No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	Parcheo parcial o profundo.	Parcheo profundo.			
					
	<table border="1"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">— H</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">— M</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">— L</td> </tr> </table>			— H	— M
— H	— M	— L			
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento del deterioro. Destrucción de la estructura.					

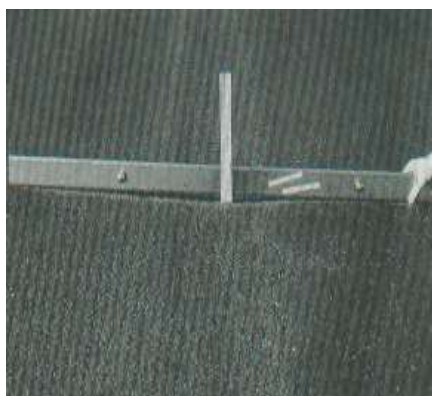
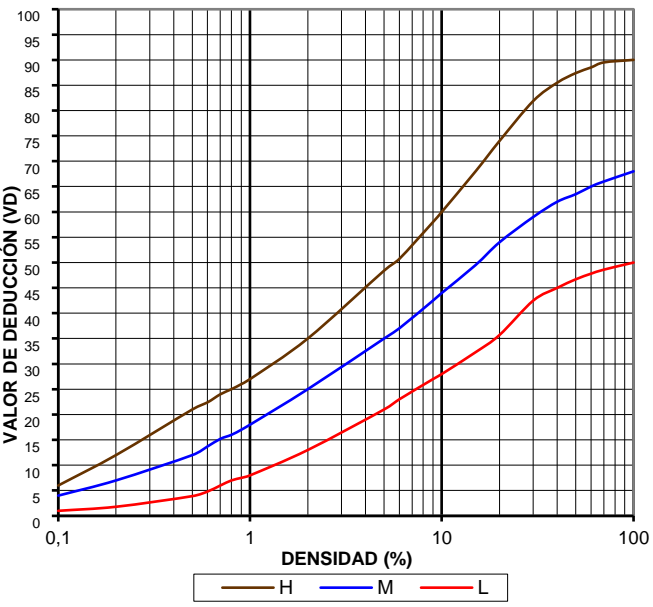
*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

Cuadro 2.26: Falla 14 – Cruce de vía férrea

FALLA N° 14		
NOMBRE: Cruce de vía férrea		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
BAJA	MEDIA	ALTA
El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.
<b>MEDICIÓN:</b> El área del cruce se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
BAJA	MEDIA	ALTA
No se hace nada.	Parqueo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.	Parqueo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.
 		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento del deterioro, huecos, agrietamiento.		


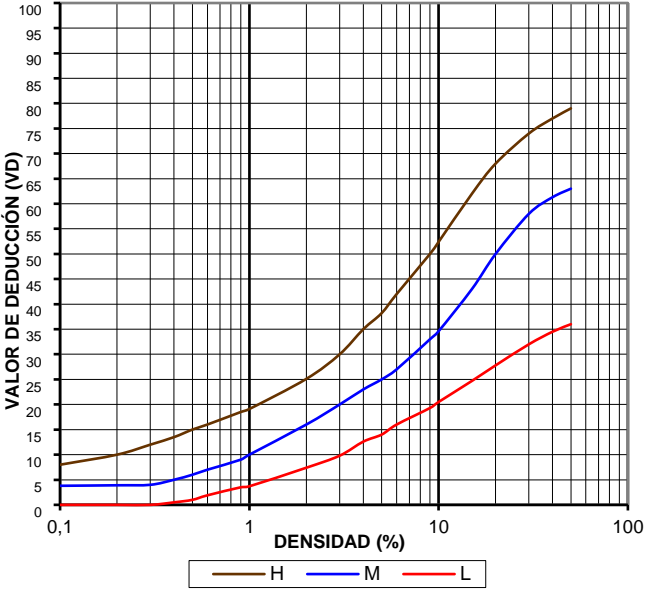
Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

Cuadro 2.27: Falla 15 - Ahuellamiento

FALLA N° 15		
NOMBRE: Ahuellamiento		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
BAJA	MEDIA	ALTA
De 6,0 a 13,0 mm.	De 13,0 mm a 25,0 mm.	Mayor a 25,0 mm.
<b>MEDICIÓN:</b> El ahuellamiento se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
BAJA	MEDIA	ALTA
No se hace nada. Fresado y sobre carpeta.	Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.	Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.
 		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento de la falla, fisuras longitudinales, fisuras piel de cocodrilo, baches. Puede provocar una falla estructural considerable del pavimento.		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).


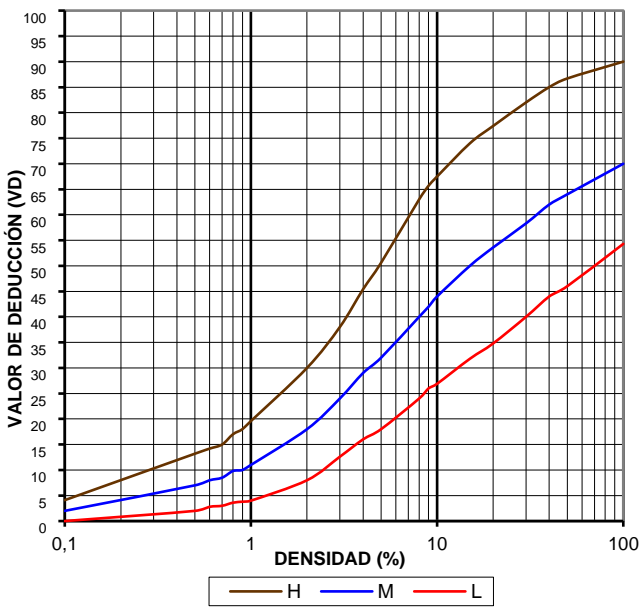
Cuadro 2.28: Falla 16 - Desplazamientos

FALLA N° 16		
NOMBRE: Desplazamientos		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables.</p> <p>Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.</p>		
NIVEL DE SEVERIDAD		
BAJA	MEDIA	ALTA
El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.	El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.	El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.
MEDICIÓN:		
Los desplazamientos se miden en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.		
OPCIONES DE REPARACIÓN		
BAJA	MEDIA	ALTA
No se hace nada. Fresado.	Fresado. Parcheo parcial o profundo.	Fresado. Parcheo parcial o profundo.
 		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento de la falla, hundimientos, desprendimientos, abultamientos, piel de cocodrilo		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).


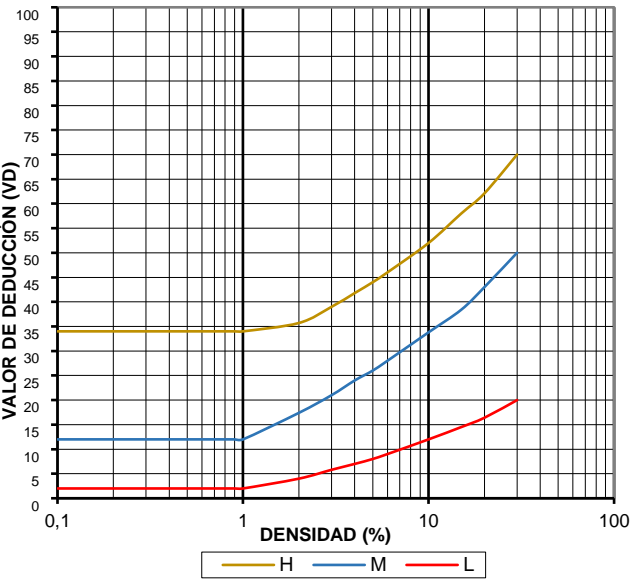


**Cuadro 2.29: Falla 17 – Fisuramiento de resbalamiento**

<b>FALLA N° 17</b>		
NOMBRE: Fisuramiento de resbalamiento		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
Las fisuras por resbalamiento ocurren usualmente cuando hay una mezcla de baja resistencia o una mala adherencia entre la capa de superficie y subcapas. Se pueden generar ante el paso de tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta entre 10,0 mm y 38,0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38,0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácil de remover.
<b>MEDICIÓN:</b>		
El área asociada con la fisura de resbalamiento se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada. Parcheo parcial.	Parcheo parcial.	Parcheo parcial.
		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento de la falla.		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

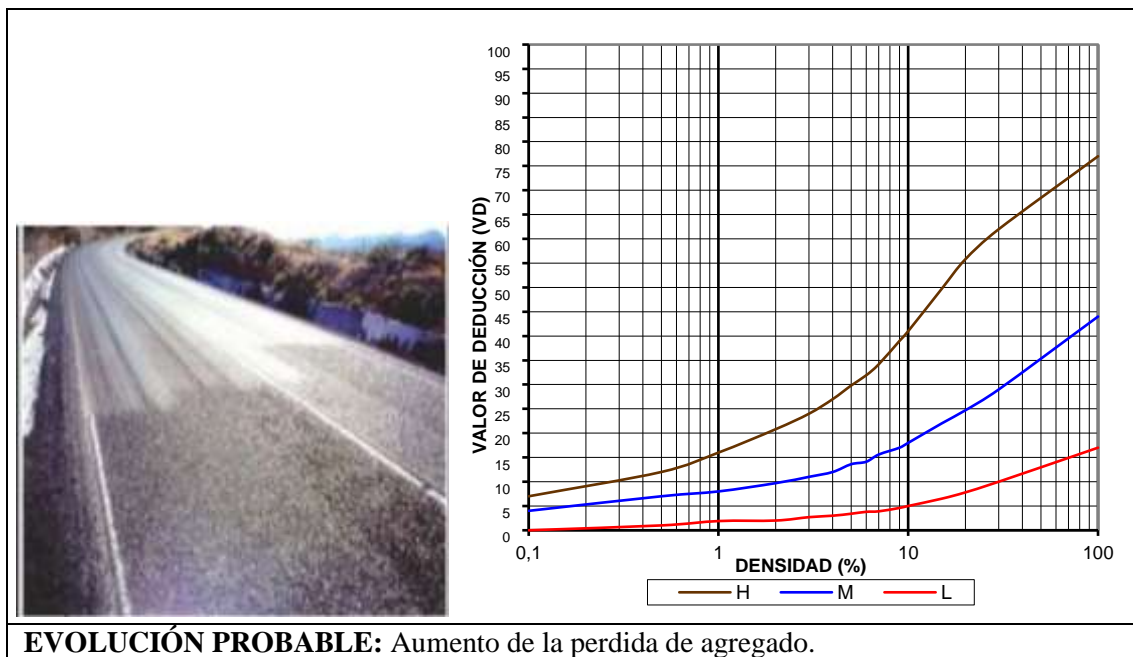
**Cuadro 2.30: Falla 18 - Hinchamiento**

<b>FALLA N° 18</b>		
NOMBRE: Hinchamiento		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3,0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
El hinchamiento causa una calidad de rodadura de baja severidad. Los hinchamientos de este nivel son apenas perceptibles a velocidad normal.	El hinchamiento causas calidad de rodadura mediana severidad.	El hinchamiento causas calidad de rodadura alta severidad.
<b>MEDICIÓN:</b> El hinchamiento se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada.	Parqueo parcial. Reconstrucción.	Reconstrucción.
 		
<b>EVOLUCIÓN PROBABLE:</b> Aumento de la falla, fisuramiento, desprendimientos, exudación, ahuellamiento.		

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Cuadro 2.31: Falla 19 – Desmoronamiento/intemperismo**

<b>FALLA N° 19</b>		
NOMBRE: Desmoronamiento/Intemperismo		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		
<p>Representan el desgaste de la superficie por pérdida de ligante asfáltico y la disgregación de las partículas pétreas. Estas fallas indican que, o el asfalto se ha endurecido considerablemente o que la mezcla asfáltica es de baja calidad. El ablandamiento de la superficie y la disgregación de los agregados causados por el derramamiento de aceites y petróleos se incluyen también en esta falla. Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.</p>		
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.	Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.	Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10,0 mm y profundidades menores que 13,0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.
<b>MEDICIÓN:</b>		
Se mide en pies <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> de área afectada.		
<b>OPCIONES DE REPARACIÓN</b>		
<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.	Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobre carpeta.	Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Reciclaje. Reconstrucción.



*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

### 2.13 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

La evaluación estructural de un pavimento consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – sub rasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para cuantificar y establecer las necesidades de refuerzo.

La estructura de un pavimento tiene cierta capacidad para absorber el trabajo de deformación como energía elástica potencial por cada carga circulante durante su vida útil, retirada la carga, dicha energía es la determinante en la recuperación elástica o casi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuan menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga.

La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

1. Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la

comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.

2. Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento.

### **2.13.1 Deflexión en pavimentos flexibles**

Las medidas deflectométricas se han usado desde hace mucho tiempo para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, in situ. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento – sub rasante bajo una carga dada y nos proporcionan de información.

Para interpretar esta información en forma cuantitativa, en un pavimento flexible se compara al pavimento – sub rasante con un modelo matemático, utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Se puede decir que esta metodología es inversa al proceso de diseño, ya que utilizamos del sistema para establecer las carreteras estructurales.

Al realizar los ensayos en el mismo pavimento, esta metodología nos muestra el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas estructurales y sub rasante) y estos ensayos pueden ser realizados en cualquier momento de su vida, sin destruirla; siendo esta una de las características de la evaluación por métodos no destructivos.

#### **2.13.1.1 La Viga de Benkelman**

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, hoy en día pueden ser determinadas haciendo uso de diversos equipos, uno de ellos es el Deflectómetro denominado “Viga de Benkelman”.

Llamado así en honor a Daniel Benkelman, quien la desarrollo en 1995 como parte del programa de ensayos viales de AASTHO (AASTHO Road Test). Desde entonces su uso

se ha venido difundiendo ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

El ensayo de la viga de Benkelman, se encuentra normado por la ASTM D-4995-03.

### **2.13.1.2 Factores que influyen en las deflexiones**

#### **Cargas**

La magnitud y duración de carga tiene una gran influencia en la deflexión del pavimento. Es deseable que el mecanismo de la evaluación no destructiva sea aplicando una carga en el pavimento similar a la actual carga de diseño. Aunque se pueda simular la magnitud de la carga de diseño, a veces no se puede con la duración o frecuencia.

#### **Clima**

La temperatura y la humedad son dos factores climáticos que afectan la deflexión del pavimento. En los pavimentos de asfalto las altas temperaturas producen que la carpeta de asfalto se ablande y se incremente la deflexión. En los pavimentos de concreto la gradiente térmica influye en la forma de cambio global significativamente en las deflexiones cerca de las juntas y fallas. Las medidas tienen variación si son medidas en la noche, temprano en la mañana o en la tarde.

#### **Condición del pavimento**

En pavimentos de asfalto las deflexiones obtenidas en áreas con fallas y ahuellamientos son normalmente más altas que aquellos libres de esfuerzos. Para pavimentos de concreto las fallas en las juntas incrementan las mediciones de deflexiones. Las deflexiones tomadas cerca o encima de una alcantarilla pueden ser mucho más altas, y las secciones de los pavimentos en corte o en relleno pueden mostrar significativamente diferentes deflexiones. Estas condiciones deben ser consideradas cuidadosamente cuando se selecciona el lugar de evaluación.

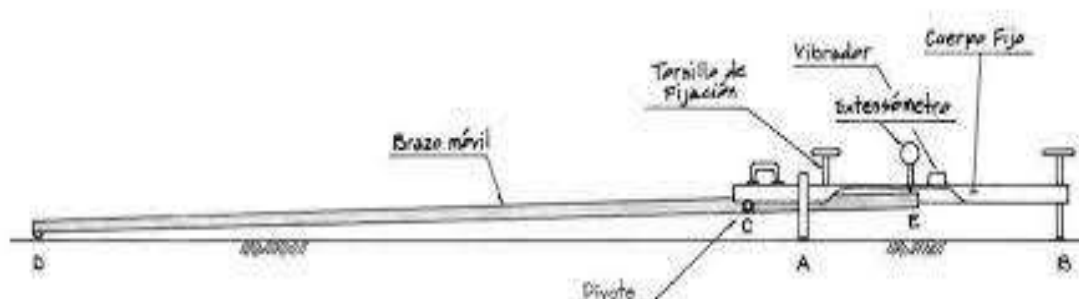
### 2.13.1.3 Descripción del equipo

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según su esquema, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) y (2) Un abrazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en pivote “c”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (Punto D), y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto E). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo D o “punta de la viga” es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo “C”, con respecto al cuerpo AB, determinado que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial extensómetro.

La operación expuesta representa el “principio de medición” con la viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos basándose en los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto es la deflexión del pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta.

**Figura 2.16: Esquema de la viga Benkelman**

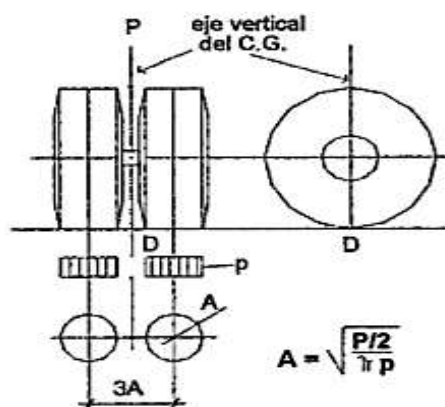


*Fuente: Medición de deflexiones de Viga de Benkelman ASTM D4596-03.*

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión y presión de inflado de  $5.6 \text{ kg/cm}^2$  ( $80 \text{ lb/pulg}^2$ ).

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.

**Figura 2.17: Configuración geométrica del sistema de carga**



*Fuente: Medición de deflexiones de Viga de Benkelman ASTM D4596-03.*

Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado, registrando la lectura correspondiente del extensómetro.



De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 50, 100 y 200 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable. También es necesario registrar una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (Aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

#### **2.13.1.4 Equipo necesario**

El equipo mínimo para la realización del ensayo es el siguiente:

- Viga de Benkelman.
- Camión cargado con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.).

#### **2.13.1.5 Procedimiento de la medición**

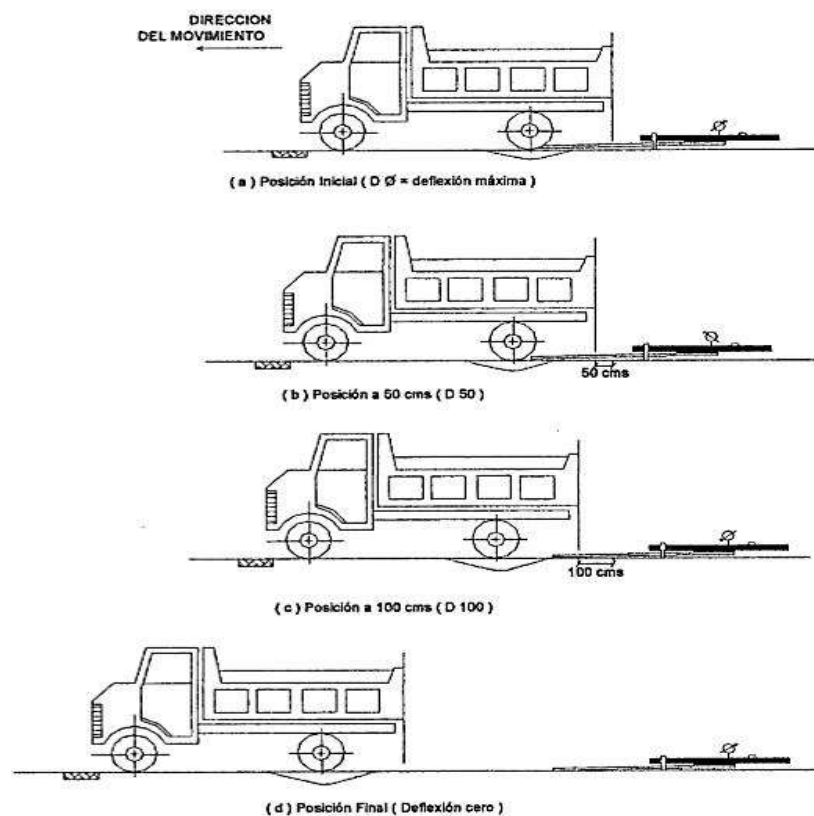
- Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8,2 Ton (18000 Lb) puede tener una variación en el orden de  $\pm 1\%$ .
- Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.
- Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.
- Centrado del extremo delantero de la Viga en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas.
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el “0” con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.

- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, la velocidad recomendada es de 1cm/seg.
- Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,25 m y cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (>5 m).
- Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.
- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo.

Para la realización de esta rutina será necesario tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas.

Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias de 50 metros, o a criterio del proyectista; de tal manera que los registros sean representativos.

**Figura 2.18: Esquematzación del proceso de medición con la viga Benkelman**



*Fuente: Hoffman & Del Águila. (1985).*

### 2.13.1.6 Metodología de cálculo

#### 1. Cálculo de la deflexión máxima

$$D_o = K * (L_o - L_f)$$

Donde:

$D_o$ =Deflexión Máxima (mm).

$K$ =Constante de la viga de Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración ( $k=1$ ).

$L_o$ =Lectura inicial (mm).

$L_f$ =Lectura final (mm).

#### 2. Deflexión media a la distancia

$$D_{25} = K(L_{25} - L_f)$$

Donde:

$D_{25}$ =Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0,25 m).

$K$ =Constante de la viga de Benkelman, depende de la relación de brazos y de la calibración.

$L_{25}$ =Lectura a 0,25 m de la posición inicial (mm).

$L_f$ =Lectura final (mm).

#### 3. Corrección por temperatura

El asfalto tiene un comportamiento visco – elástico, por lo tanto, las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura, deben estar corregidas en función a la temperatura media de la capa de rodadura durante la ejecución del ensayo que varía a lo largo del día.

Para llevar todas las mediciones a una temperatura standard de 20 °C se emplea la siguiente ecuación:

$$D_{20} = \frac{Dt}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

Donde:

$D_{20}$ =Deflexión a la temperatura estándar 20°C (mm).

$D_t$ =Deflexión a la temperatura  $t$  (mm).

$k$ =Coeficiente de temperatura ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ).

$t$ =Temperatura del asfalto medida para cada ensayo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$e$ =Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

#### 4. Corrección por estacionalidad

La correcta medición de las deflexiones debería ser en época de lluvias, puesto que el grado de saturación de los suelos tiene influencia directa en la deformación de los suelos. Para fines prácticos se recomienda el uso de los siguientes factores de corrección que dependen del tipo de suelo de subrasante y la época del año en el que se realiza el ensayo.

**Cuadro 2.32: Coeficientes de estabilidad**

Naturaleza del suelo de la subrasante	Lluvias	Intermedio	Seco
Suelos arenosos y permeables	1,00	1,00 a 1,10	1,10 a 1,30
Suelos arcillosos e impermeables	1,00	1,30 a 1,50	1,50 a 1,80

*Fuente: Montejo Fonseca, A. (2006).*

## 5. Cálculo del radio de curvatura

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0,25 m. a partir del punto de máxima deflexión.

$$Rc = \frac{6250}{K * (Do - D_{25})}$$

Donde:

Rc=Radio de curvatura (m).

Do=Deflexión máxima corregida (mm).

D<sub>25</sub>=Deflexión a 0,25 m corregida (mm).

## 6. Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la deflexión admisible se calcula por medio del criterio de Yang H. Huang:

$$\sigma_{adm} = 26,32202 * N^{-0,2438}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$ =Deflexión admisible (mm).

N=Número total de ejes equivalentes a 8,2 Ton (18000Lb).

El pavimento sujeto a evaluación tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia de la subrasante, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

$$Do < Dadm$$

El comportamiento del pavimento evaluado se podrá calificar como satisfactorio siempre que se cumpla que:

- a) Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m.

$$R_c > 100\text{m}$$

- b) El radio de curvatura promedio está comprendido entre 100-500 m.

$$100\text{ m} < R_c < 500\text{ m}$$

**CAPÍTULO I**  
**CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO III

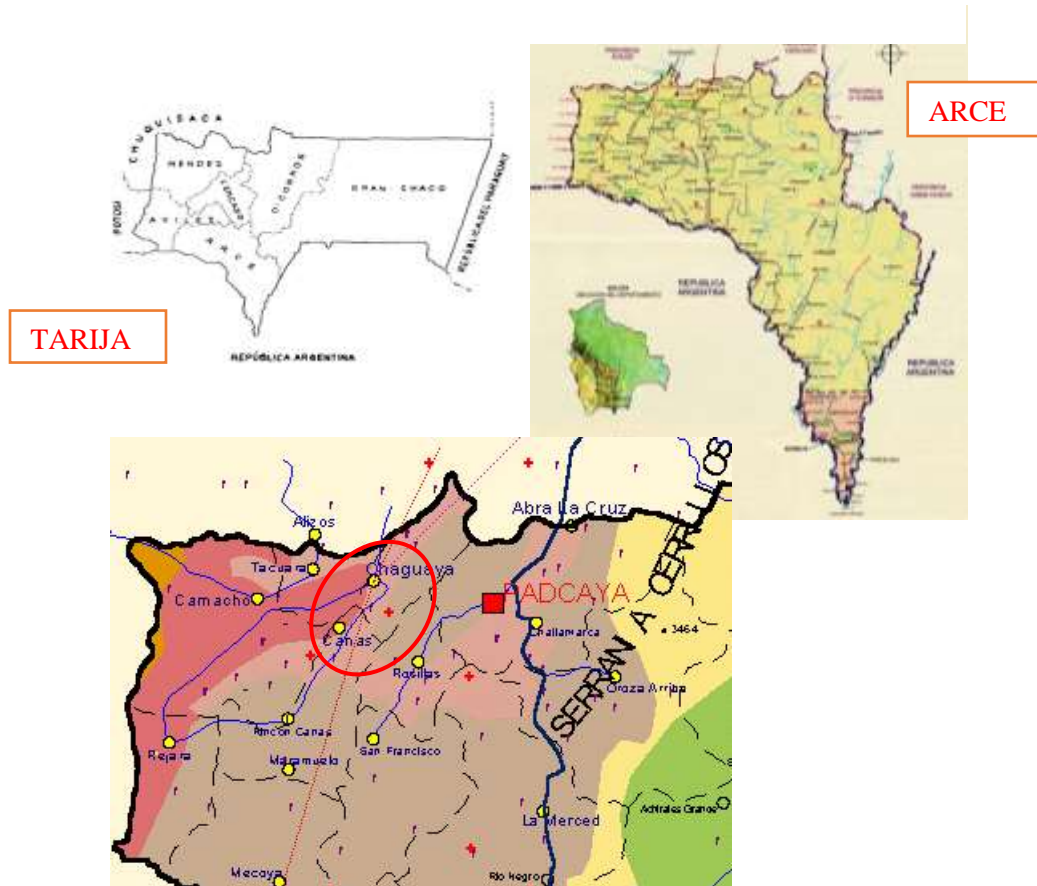
### CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR DEL TRAMO DE ESTUDIO

##### 3.1.1 Ubicación

El tramo Cañas-Chaguaya se encuentra ubicado en el municipio de Padcaya Primera Sección de la provincia Arce del departamento de Tarija, que comprende 13 distritos y 80 comunidades rurales, distante a 50 km. de la ciudad de Tarija.

**Figura 3.1: Ubicación geográfica de la zona de estudio**



*Fuente: Educa.com.bo.*



**Figura 3.2: Ubicación del tramo “Cañas – Chaguaya”**

*Fuente: Google Earth.*

**Tabla 3.1: Coordenadas UTM y geográficas del tramo de estudio**

Punto	Coordenadas UTM		Coordenadas geográficas	
	coordenada en X	coordenada en Y	latitud sur	longitud oeste
Barrio Mira Flores (Cañas)	309253,2	7577402,5	21°53'50''	64°50'47''
Capilla de la Virgen de Chaguaya	311888,7	7580294,8	21°52'17''	64°49'14''

*Fuente: elaboración propia.*

La altura media del tramo es de 2050 m.s.n.m

El tramo “Cañas – Chaguaya” tiene una longitud de 7,20 Km. inicia en la progresiva 0+000 en el barrio Mira Flores de la comunidad de Cañas, y termina en la progresiva 7+200 en la gruta de la Virgen de la comunidad de Chaguaya.

### **3.1.2 Antecedentes y parámetros de diseño**

El tramo Cañas-Chaguaya fue parte del proyecto “Mejoramiento Asfaltado Padcaya - Chaguaya” el mismo fue construido en el año 2012 y este se clasifica dentro de los proyectos financiados por la Gobernación Autónoma del Departamento de Tarija – Sección Padcaya, el mejoramiento consiste en el recapamiento de un camino de 7,30

metros de ancho de plataforma con una subrasante mejorada de 45 centímetros, una capa sub base de 30 centímetros y capa base de 20 centímetros. Además del asfaltado de calles en las comunidades de Cañas, Chaguaya y Rosillas, el respectivo movimiento de tierras, las obras para el pavimento, la construcción de obras de drenaje y las obras complementarias, para que se mejoren las condiciones del camino de acceso a las comunidades de Cañas, Rosillas y Chaguaya con la comunidad de Padcaya.

**Cuadro 3.1: Parámetros de diseño geométrico**

Descripción	Tipo	Características	Mínimo	Máximo
Tipo de asfalto	flexible			
Volumen TPD		menor a 100 veh/día		
Calzada y carriles		1 calzada, 2 carriles		
Velocidad directriz		50 km/h		
Peralte máximo				10%
Radio mínimo			45 m	
Distancia mínima de visibilidad			20m	55m
Ancho de carril			3,65m	
Capa de rodadura		0,05 m		
Ancho de plataforma		7,30 m		
Ancho de berma		0,50 m		
Pendiente transversal de la berma y calzada				2%
Talud de relleno H/V			1:1.5	1:1.5

*Fuente: Estudio TESA "Mejoramiento Asfaltado Padcaya-Chaguaya".*

## 3.2 RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

### 3.2.1 Capa de rodadura

Según la información recabada en la alcaldía del municipio de Padcaya, la capa de rodadura del tramo “Cañas-Chaguaya” está compuesto por carpeta asfáltica de 5 centímetros sobre base de suelo granular.

Para verificar el espesor de la capa de rodadura, se realizó extracciones de muestra según detalle en la Tabla 3.2, y se pudo corroborar que el espesor promedio es 3,5 centímetros.

**Tabla 3.2: Medidas de la capa de rodadura**

Muestra	Coordenadas geográficas	Medida (cm)
1	21°54'05" S 64°49'18" W	3,3
2	21°53'48" S 64°48'45" W	3,5
<b>Promedio</b>		<b>3,5</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Para observar a detalle el plano de ubicación ver en Anexo N° 1.

**Figura 3.3: Espesor de la capa de rodadura**

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.2 Paquete estructural

Por tratarse de la aplicación de métodos de evaluación “no destructivos”, se procedió a localizar las calicatas en las secciones donde la carpeta asfáltica era totalmente inexistente. Para identificar la composición y la conformación del paquete estructural se procedió a extraer muestras de estratos de suelo en tres puntos a lo largo del tramo, siendo las progresivas 1+300, 3+250 y 7+100. Para poder observar a mayor detalle el plano obtenido en campo ver el Anexo N° 1, se utilizaron una pala, un pico y bolsas. Primero se identificó la capa base, posteriormente la sub base, sub rasante mejorada, las cuales fueron analizadas en laboratorio realizando los siguientes ensayos como ser: Granulometría,

Límites de Atterberg, Clasificación, Proctor y CBR (Capacidad de Soporte). En la Tabla 3.3 se muestra las medidas del paquete estructural para cada punto.

**Tabla 3.3: Espesores de las muestras de suelos**

Muestra	Progresiva	Coordenadas	Capa de suelo		
			Base (cm)	Sub base (cm)	Subrasante (cm)
1	7+100	21°52'23"S 64°49'13"W	12	15	18
2	3+250	21°54'07"S 64°49'1,4"W	18	15	20
3	1+300	21°53'51"S 64°50'3,1"W	12	14	18
<b>Promedio =</b>			<b>14</b>	<b>15</b>	<b>19</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 3.4: Extracción de la subrasante mejorada**



*Fuente: Elaboración propia.*

para realizar los ensayos mencionados en el laboratorio se desarrollaron de la siguiente manera:

### 3.2.2.1 Granulometría

El análisis granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene.

#### Representación de la distribución granulométrica

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica debe estimarse preferible a la numérica en tablas.

La gráfica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente.

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño, estará representado por una línea vertical (pues el 100% de sus partículas, en peso, es de menor tamaño que cualquier mayor que el que el suelo posea); una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado).

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad.

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

Donde:

Cu=Coeficiente de uniformidad.

D<sub>60</sub>=Tamaño tal que el 60% en peso del suelo sea igual o menor.

D<sub>10</sub>=Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo.

En realidad, es un coeficiente de *no uniformidad*, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con  $C_u < 3$  se considera muy uniforme; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan  $C_u < 2$ .

Como dato complementario, necesario para definir la uniformidad, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión.

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

Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

### **Equipo (Método Mecánico)**

- Juego de tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 200, tapa y fondo.
- Balanza de 0,1gr. de sensibilidad.
- Mortero con su pisón.
- Horno con temperatura constante de 100 – 110° C.
- Bandejas.
- Cuarteador.

### **Procedimiento**

- De la muestra extraída de los estratos de la calicata, se colocó dicho material en una bandeja para el respectivo "muestreo de cuarteo".
- En la misma bandeja, utilizaremos el método del cuarteo, esta vez para proceder a pesar y seleccionar una muestra representativa de 3000 gramos o más.
- Se deja el suelo en el horno para su secado por 24 horas.
- Pasado este tiempo, se retira el suelo del horno para su pesaje, y posterior tamizado.
- Seguidamente se ordena el juego de tamices de la siguiente manera: la base o fondo, N° 200, N° 40, N° 10, N° 4, 3/8", ½", 3/4", 1", 1½", 2", 3", luego

verteremos la totalidad de cada estrato por separado de la muestra en la cima de los tamices ya ordenados para agitarlos con movimientos horizontales y verticales.

- Luego procederemos a quitar el tamiz de uno y por ende se ira registrando progresivamente una a una los pesos retenidos por cada malla en la columna de peso retenido en la tabla para cálculos.
- Culminamos el ensayo realizando los cálculos correspondientes de dicha práctica; y son el porcentaje retenido parcial, el porcentaje acumulado, el porcentaje que pasa, el coeficiente de uniformidad y curvatura.

**Figura 3.5: Juego de tamices**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 3.6: Muestra de suelo granular**



*Fuente: Elaboración propia.*

## Fórmulas

$$\% \text{Retenido parcial } i = \frac{\text{peso retenido parcial } i}{\text{peso total}} * 100$$

$$\% \text{Pasante} = 100 - \% \text{Ret.}$$

$$\text{Interpolación Lineal: } y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

## Memoria de cálculo

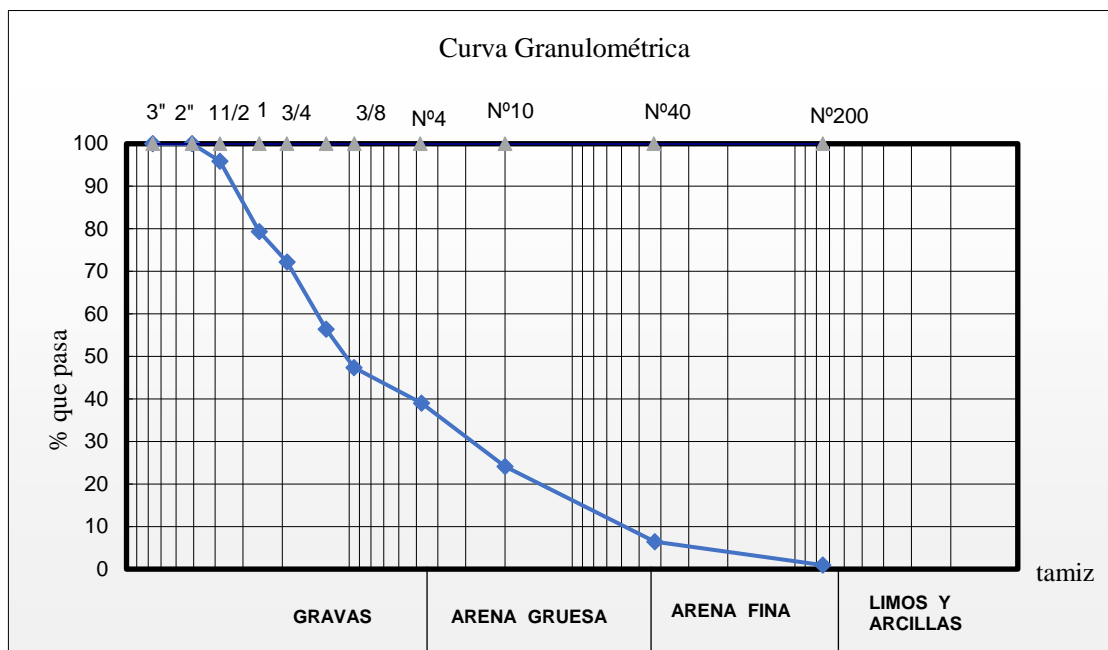
### Ejemplo de cálculo para el Punto 1 (capa base)

**Tabla 3.4: Análisis granulométrico por tamizado**

Abertura del tamiz		Peso total (gr) =		3000	
		Peso retenido (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa del total (%)
(pulg)	(mm)				
3"	76,2	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	122,60	122,60	4,10	95,90
1"	25,4	495,80	618,40	20,67	79,33
3/4"	19	214,30	832,70	27,83	72,17
1/2"	12,7	471,70	1304,40	43,60	56,40
3/8"	9,53	270,20	1574,60	52,63	47,37
N°4	4,75	249,00	1823,60	60,95	39,05
N°10	2	447,40	2271,00	75,90	24,10
N°40	0,425	528,60	2799,60	93,57	6,43
N°200	0,075	164,10	2963,70	99,06	0,94
				100,00	0,00

*Fuente: Elaboración propia.*



**Gráfico 3.1: Curva granulométrica del Punto 1 capa base**

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.5: Coeficiente de uniformidad**

<b>D<sub>10</sub></b>	<b>D<sub>30</sub></b>	<b>D<sub>60</sub></b>	<b>Cc</b>	<b>Cu</b>
0,58	2,81	13,92	0,98	23,95

*Fuente: Elaboración propia.*

El valor obtenido del coeficiente de uniformidad representa un suelo bien graduado.

Para observar a mayor detalle los datos y curvas granulométricas para las demás muestras ver el Anexo N° 2.

**Tabla 3.6: Resultados granulométricos de las muestras**

Tamiz	Porcentaje que pasa del total (%)								
	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
ASTM	Base	Sub base	Sub ras.	Base	Sub base	Sub ras.	Base	Sub base	Sub ras.
3"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	95,90	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,53
1"	79,33	80,44	84,74	94,56	97,69	97,41	97,10	95,93	95,43
3/4"	72,17	69,22	76,86	87,80	91,04	90,49	89,67	87,18	93,09
1/2"	56,40	57,42	64,46	76,14	76,48	80,48	77,71	76,64	88,82
3/8"	47,37	53,24	56,29	68,80	62,89	70,87	69,37	67,21	85,79
N°4	39,05	40,81	42,73	51,94	53,58	57,25	53,75	51,25	73,20
N°10	24,10	26,72	21,60	34,58	32,94	34,33	30,54	36,35	55,87
N°40	6,43	8,99	9,25	8,66	9,85	5,33	9,49	9,93	12,48
N°200	0,94	1,12	1,07	1,19	0,79	1,08	0,63	0,81	0,67

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.2.2 Límites de Atterberg

Los límites de consistencia de un suelo están representados por contenidos de humedad. Los principales se conocen con los nombres de: límite líquido, límite plástico y límite de retracción.

#### Determinación del Límite Líquido (L.L)

El límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

#### Equipo

- Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- Espátulas flexibles.
- Recipiente de porcelana.
- Tamiz N° 40.
- Atomizador.

- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.
- Taras.

### **Procedimiento**

- Después de secada la muestra de suelo, se criba a través del tamiz N° 40 desechándose el retenido.
- A continuación, se verifica si el aparato de Casagrande está debidamente calibrado, si no es así se deberá calibrar la altura de caída de la cazuela, con ayuda del extremo superior del ranurador patrón, esta altura deberá ser exactamente 1cm.
- Se coloca el material tamizado en un recipiente de porcelana, se añade un poco de agua y se mezcla cuidadosamente con el suelo hasta lograr una pasta uniforme y una apariencia cremosa (suelo arcilloso).
- Se procede a colocar dentro de la cazuela una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, a continuación, se debe emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, cortar una ranura clara, recta, que separe completamente la masa del suelo en dos partes, hacer el conteo de golpes hasta que la masa se cierre una longitud de 1 cm.
- Se toma una muestra para medir el contenido de humedad, se coloca en una tara la zona donde se cerró la ranura, se procede a pesar la tara con el material y se lo introduce en el horno por un periodo de 24 horas.

### **Determinación del Límite Plástico (L.P.)**

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porciento, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

### **Equipo**

- Placa de vidrio.
- Taras.

- Balanza con sensibilidad de 0,01 gr.
- Horno con temperatura constante de 100 a 110°C.

### **Procedimiento**

- Se toma aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima, amasado con la mano y ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o un vidrio hasta formar un cilindro de 3 mm, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.
- Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.
- El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3mm de diámetro.
- Inmediatamente se divide en proporciones y se ponen los pedazos en dos taras.
- Se pesan en la balanza de 0.01 gr., y se registra su peso.
- Se introduce la muestra en el horno por un período aproximado de 24 horas y se determina su peso seco.
- Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los dos % no es mayor que 2% se promedian y en caso contrario se repite el ensaye.
- El promedio es el valor en porcentaje del límite plástico.

$$I_p = LL - LP$$

Donde:

$I_p$ =Índice de plasticidad.

$LL$ =Límite líquido.

$LP$ =Límite plástico.

Un índice de plasticidad elevado, indica mayor plasticidad. Cuando un material no tiene plasticidad (arena, por ejemplo), se considera el índice de plasticidad como cero y se indica:  $I_p=NP$  (no plástico).

**Figura 3.7: Ensayo del límite líquido**



*Fuente: Elaboración propia.*

Determinación de límites de consistencia para el Punto 3 (Capa Sub Rasante M.)

**Tabla 3.7: Análisis y resultados del límite líquido**

Cápsula N°					
N° de golpes					
Suelo húmedo + cápsula (gr)					
Suelo seco + cápsula (gr)	<b>NO PLASTICO</b>				
Peso del agua					
Peso de la cápsula (gr)					
Peso suelo seco (gr)					
Porcentaje de humedad (%)					

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 3.8: Ensayo del límite plástico**

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.8: Determinación del índice de plasticidad**

Característica	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
P-3 Subrasante	0	0	NP

*Fuente: Elaboración propia.*

Se logró determinar los límites de consistencia para el suelo Punto 3 (capa sub rasante mejorada), con un índice de plasticidad  $IP=0$

En la siguiente Tabla 3.9 se presenta los resultados para las demás muestras de suelos.

**Tabla 3.9: Resultados del ensayo de límites de Atterberg**

Característica	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
P-1 base y sub base	0	0	NP
P-1 Subrasante	0	0	NP
Punto 2 B., S.B., y SR.	0	0	NP
P-3 Subrasante M.	0	0	NP

*Fuente: Elaboración propia.*

Para los demás puntos los procedimientos de cálculos y resultados se presentan a detalle en el Anexo 2.

### 3.2.2.3 Clasificación de suelos

#### Método AASHTO

El método se basa en determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Es un método utilizado principalmente para obras viales.

**Nomenclatura:** Con esta tabla se puede observar como la norma AASHTO clasifica los suelos granulares en tres grandes grupos y que estos tienen algunas subdivisiones por otro lado los suelos finos se dividen en cuatro grupos.

Los parámetros que tiene en cuenta este método de clasificación son el porcentaje pasa N°10, N°40, N°200, el límite líquido, el índice de plasticidad y por último el índice de grupo.

**Figura 3.9: Sistema de clasificación de suelos AASHTO**

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	-		-	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico  
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

*Fuente: Blando, R. M. e Matus, L. I. (2019).*

#### Método SUCS

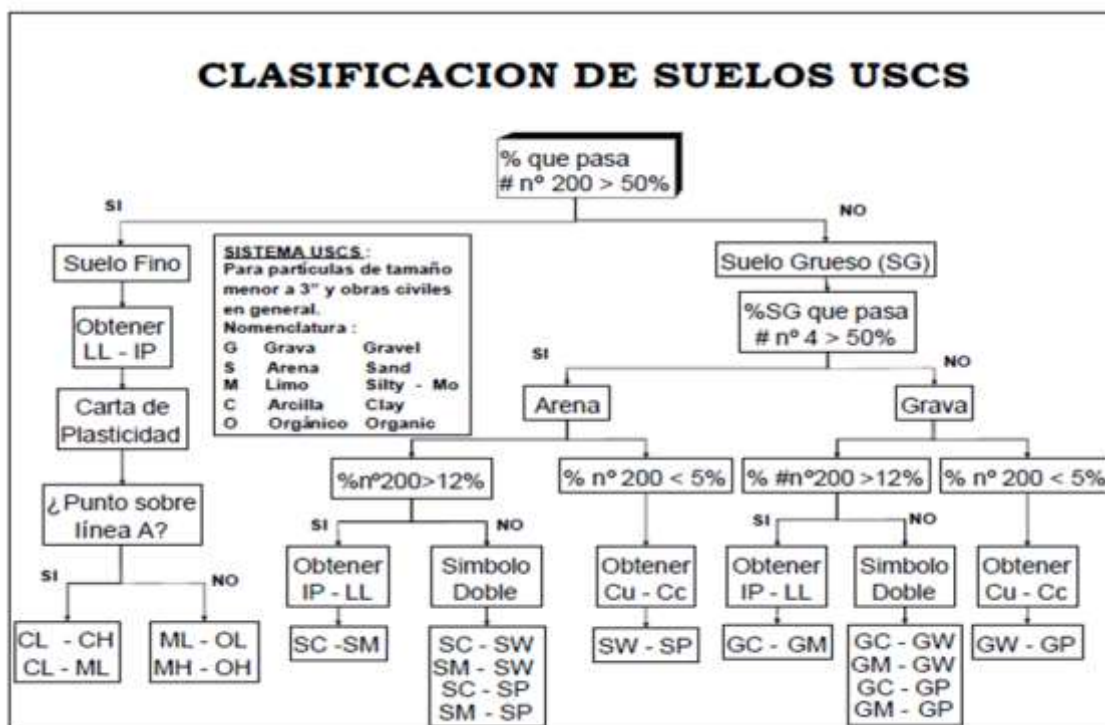
Los elementos esenciales para realizar esta clasificación fueron propuestos por Arthur Casagrande que ideó una clasificación de los suelos para carreteras y aeropuertos; la

que posteriormente la adoptaron el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos los cuales la modificaron y condujo al sistema unificado de clasificación de los suelos, actualmente este sistema se utiliza con modificaciones mínimas en la mayoría de países fuera de los Estados Unidos.

Según este sistema, los suelos se dividen en tres grupos principales:

- Grano grueso.
- Grano fino.
- Altamente orgánico (suelo turbas).

**Figura 3.10: Sistema de clasificación de suelos SUCS**



*Fuente: Blando, R. M. e Matus, L. I. (2019).*

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de cada estrato de suelo de acuerdo a los dos sistemas de clasificación en base a los datos de granulometría obtenidos en el laboratorio:



**Tabla 3.10: Clasificación y descripción de las muestras en estudio**

Punto	Capa	Clasificación		Descripción
		SUCS	AASHTO	
1	Base	GW	A-1-a (0)	Gravas bien graduadas, mezclas de grava-arena con pocos finos o sin ellos.
	Sub base	GW	A-1-a (0)	Gravas bien graduadas, mezclas de grava-arena con pocos finos o sin ellos.
	Rasante mejorada	GW	A-1-a (0)	Gravas bien graduadas, mezclas de grava-arena con pocos finos o sin ellos.
2	Base	SW	A-1-a (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.
	Sub base	SW	A-1-a (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.
	Rasante mejorada	SW	A-1-a (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.
3	Base	SW	A-1-a (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.
	Sub base	SW	A-1-a (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.
	Rasante mejorada	SW	A-1-b (0)	Arena bien graduada, arena con grava, pocos finos o sin ellos.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.2.4 Compactación de suelos

#### “Método Proctor Modificado” T-180

Cuando una masa de tierra está en estado suelo ocupa mayor volumen, porque tiene mayor número de vacíos. En cambio, “apretujamos” o comprimimos esta masa de tierra se hace más compacta y observamos un decrecimiento del volumen total, a causa de la disminución de volumen de vacíos. Esta operación de comprimir o apretujar una masa de tierra se llama compactación. Es decir, *se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo – deformación de los mismo*. Por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volumen de aire, pues por lo común no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación.

El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo estructurado que posea y conserve un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. Las propiedades requeridas pueden variar de un caso a otro, pero la resistencia, la compresibilidad y una adecuada relación esfuerzo – deformación figuran entre aquellas cuyo mejoramiento se busca siempre.

### **Equipo**

El equipo para el Proctor modificado es igual que el Proctor estándar con la única diferencia siguiente:

- Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 6” de diámetro por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½” de altura y de 6” de diámetro.
- Un pistón o martillo y su guía de 45 cm de caída y 4.54 kg de peso.
- Una regla de acero para enrasar.
- Una balanza.
- Horno eléctrico.
- Cincel y combo para extraer la muestra compactada.
- Probeta de 500 cm<sup>3</sup>.
- Taras para determinar la humedad.
- Bandejas metálicas.

### **Procedimiento**

- Primeramente, se pasa la muestra por el tamiz ¾”, la cantidad de muestra a ser utilizada es de 25 kg. mezclando con cierto porcentaje de material plástico.
- Una vez tamizado el material, se coloca en el horno para secar durante 24 horas.
- Luego se procede a pesar el molde que se utiliza para compactación.
- De la muestra de suelo tamizada se separan 8 kg aproximadamente, los cuales se utilizarán para compactar a diferentes contenidos de humedad.
- Para el primer porcentaje de humedad se mezcla los 8 kg de muestra con 100 ml de agua, se mezcla lo suficiente hasta formar una pasta homogénea.

- Con ayuda de la cuchara se coloca parte de la muestra en el molde de compactación a 1/3 de su altura dando 56 golpes por capa, se deberán realizar cinco capas.
- Luego se quita la extensión del molde, con la regla de acero se procede a enrasar la muestra compactada que sobrepasa del molde.
- Se pesa seguidamente la muestra compactada más el molde, luego se toma una pequeña porción de muestra del centro del molde y se pesa en una tara previamente pesada, esta tara con muestra compactada después de ser pesada se la introduce en el horno para poder determinar el contenido de humedad de cada muestra.
- Se repite el mismo procedimiento 5 veces, con la única diferencia de que en cada muestra se aumentará más agua (100ml) para poder tener diferentes contenidos de humedad y así poder realizar la curva de compactación.

**Figura 3.11: Preparación de la muestra de suelo**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.12: Compactación de los moldes**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.13: Taras con muestra compactada**



*Fuente: elaboración propia.*

## Fórmulas

$$\gamma_h = \frac{W_m}{V_c} = \frac{W_{me} - W_e}{V_c}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + W}$$

Donde:

$\gamma_h$ =Peso volumétrico húmedo.

$\gamma_d$ =Peso volumétrico seco.

$W_m$ =Peso de la muestra compactada.

$W_e$ =Peso del molde cilindro.

$V_c$ =Volumen del cilindro.

$W$ =Contenido de humedad al tanto por ciento.

$W_{me}$ =Peso de muestra compactada + peso del cilindro.

## Análisis y resultados

En la siguiente tabla se muestra el procedimiento de cálculo de compactación T-180 para la muestra 1; suelo A-1-a (0) SW.

**Tabla 3.11: Datos y resultados del ensayo de compactación**

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	10972,9	11118,6	11436,4	11405	11331,2
Peso del molde cilindro (gr)	6475,90	6475,90	6475,90	6475,90	6475,90
Peso del suelo húmedo (gr)	4497,00	4642,70	4960,50	4929,10	4855,30
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2134,11	2134,11	2134,11	2134,11	2134,11
Densidad del suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,11	2,18	2,32	2,31	2,28
Tara N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + tara (gr)	137,80	131,60	82,40	142,10	88,60
Peso suelo seco + tara (gr)	135,90	127,40	77,90	129,40	78,40
Peso del agua	1,90	4,20	4,50	12,70	10,20
Peso de la tara (gr)	13,00	12,90	13,50	13,80	13,50
<b>Contenido de Humedad (%)</b>	<b>1,55</b>	<b>3,67</b>	<b>6,99</b>	<b>10,99</b>	<b>15,72</b>
<b>Densidad del suelo seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,08</b>	<b>2,10</b>	<b>2,17</b>	<b>2,08</b>	<b>1,97</b>

*Fuente: elaboración propia.*

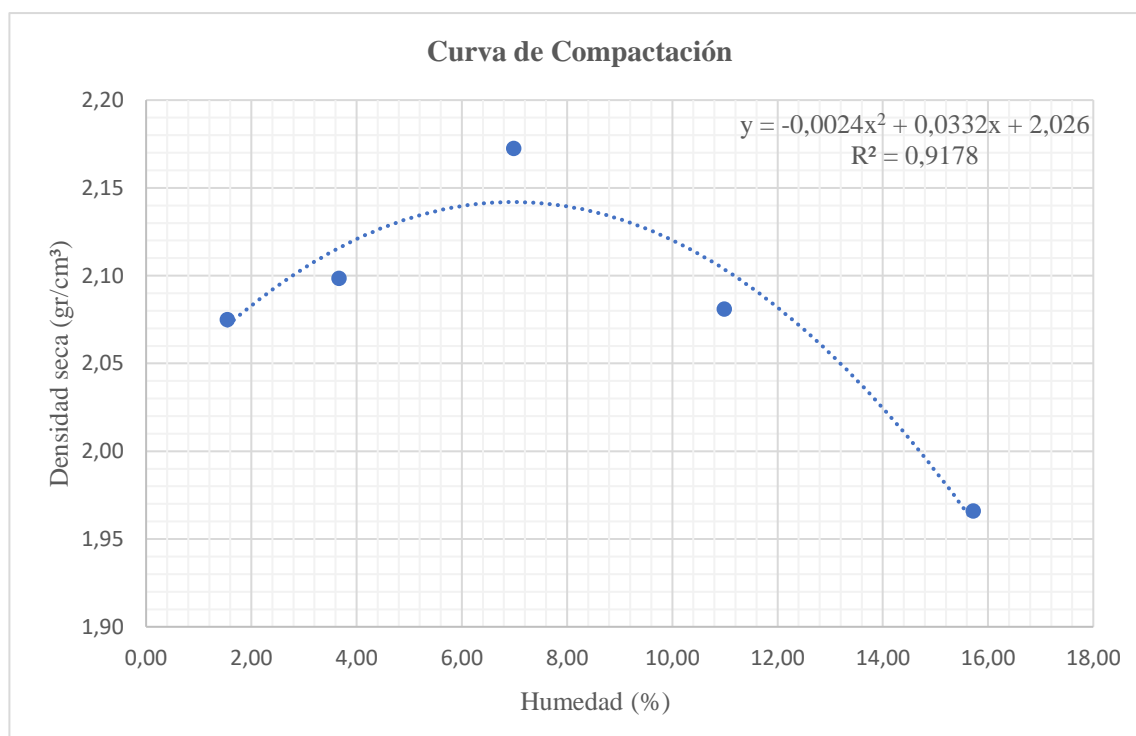
### Curva de compactación

Cuando se va compactando un suelo bajo diferentes condiciones de humedad (sea cual fuere el método empleado) se obtiene, al relacionar las densidades con los porcentajes de humedad. Ella nos indica que hay un determinado punto para el cual “la densidad es máxima”. La humedad correspondiente a este punto de “densidad máxima”, se llama “humedad óptima”.

Cada suelo tiene su propia curva de compactación que es característica del material y distinta a la de otros suelos.

Para el trazado de la curva, es conveniente determinar cinco puntos procurando que dos de ellos se encuentren en la zona seca (rama izquierda de la curva), uno cerca del punto de densidad máxima y de los otros dos restantes en la zona húmeda (rama derecha de la curva). Lógicamente, un mayor número de puntos permitirá un mejor y más exacto trabajo de la curva.

**Gráfico 3.2: Curva de compactación T-180**



*Fuente: elaboración propia.*

En la siguiente Tabla 3.12 se muestran los resultados de humedad óptima y densidad seca para los diferentes tipos de suelo clasificados anteriormente para este proyecto.

**Tabla 3.12: Valores de humedad óptima para las diferentes muestras de suelo**

Suelo		Densidad seca óptima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
A-1-a (0)	SW	2,14	6,92
A-1-a (0)	GW	2,14	6,01
A-1-a (0)	GW	2,08	8,44
A-1-b (0)	SW	1,96	8,09

*Fuente: elaboración propia.*

Para las demás muestras los datos y resultados se presentan a detalle en el Anexo N° 2.

### 3.2.2.5 Relación de Soporte de California (CBR)

El ensayo CBR (la ASTM denomina un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero como 3, 45, 98.

Para determinar el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada. Las resistencias a la penetración que presenta ésta son las siguientes:

<i>Para 0.1" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1000 lb/pulg<sup>2</sup> ó 70 Kg/cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.2" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1500 lb/pulg<sup>2</sup> ó 105 Kg/cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.3" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1900 lb/pulg<sup>2</sup> ó 133 Kg/cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.4" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2300 lb/pulg<sup>2</sup> ó 161 Kg/cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.5" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2600 lb/pulg<sup>2</sup> ó 182 Kg/cm<sup>2</sup>.</i>

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificada).

A menudo se compactan dos moldes de suelo, uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejado saturar por un período de 96 horas. El segundo espécimen es saturado durante 96 horas con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso el peso de la sobrecarga será menor de 4,5 Kg. Es necesario durante este período tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del período de saturación se hace la penetración para obtener el valor de CBR para el suelo en condición de saturación completa.

En ambos ensayos de penetración para determinar los valores de CBR se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

1. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
2. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1,27 mm/min. Se toman lecturas de carga contra penetración a cada 0,50 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5,00 mm a partir del



cual se toman lecturas con incrementos de 2,5 mm hasta obtener una penetración total de 12,70 mm.

El valor de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización con base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y aeropuertos. La tabla siguiente da calificaciones típicas.

**Cuadro 3.2: Calificación típica para el uso de suelos en el diseño de caminos**

N° CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A1, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub base	CM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2 4, A3, A2 6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2 1, A3

*Fuente: Manual de laboratorio de la U.A.J.M.S.*

### Equipo

- Tamices ¾” para la compensación de la muestra de suelo a ser compactado.
- Moldes de compactación de 15,2 cm de diámetro por 17,8 cm de altura (o equivalente, con collarín).
- Disco espaciador de 15,1 cm de diámetro por 6,14 cm de altura (o 5,1 cm de altura si este está disponible).
- Martillo de compactación.
- Balanza de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico.
- Taras, bandejas metálicas, regla metálica, espátula y combo.
- Pesos para sobrecargas.
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR (diámetro de 4,95 cm con sección transversal de 19,40 cm) y capa de penetración a una tasa de 1,27 mm/min.
- Un recipiente con agua para la saturación del suelo.

## Procedimiento

Antes de proceder a la compactación de la muestra en los respectivos moldes por el método Proctor Modificado T-180, se pesa 8 kg de muestra aproximadamente.

**Determinación de la humedad:** Para determinar el contenido de agua que se deberá adicionar para llegar a la humedad óptima encontrada por el ensayo de compactación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Vol\ agua = \frac{W\%opt. - W\%actual}{100} * W_{suelo}$$

Donde:

Vol. agua=Volumen de agua (ml).

W suelo=Peso del suelo seco (gr).

**Contenido de humedad y peso unitario:** Para el ensayo de CBR se preparan 3 moldes, debiendo anotarse primero el número de cada molde, el número de capas de acuerdo al método a utilizarse y el número de golpes para cada molde.

### Condiciones de la muestra:

- a) Se humedece el material, si es posible con rociador, con la cantidad de agua calculada y se mezcla de manera uniforme.
- b) Se prepara un molde “Molde N°” de peso “Peso del Molde N°” y volumen “Volumen de la Muestra” conocidos, ajustándolo a su base y colocándole su respectivo collarín.
- c) Se deposita dentro un disco espaciador de 2½ plg con un papel filtro que evitará que la muestra compactada se pegue al disco.
- d) Se coloca dentro el suelo húmedo y se compacta tres capas de 12, 25 y 56 golpes, tratando que la muestra sobrepase el molde un par de centímetros. Acabado éste, se saca el collarín y se enrasa con una regla metálica el sobrante tratando de dejar una superficie lisa.

- e) Se deja libre el molde y la base del collarín y se lo pesa.
- f) Restando el peso del molde del peso muestra húmeda más molde, tendremos el peso muestra húmeda.
- g) El peso unitario de la muestra húmeda será el peso muestra húmeda sobre el volumen de la muestra.

### **Muestra para determinar la humedad del suelo:**

- a) Se toman tres taras “Tara N°” de peso conocido “Peso de la tara N°” y se las llena con muestra sacadas del fondo, del centro y de la superficie del suelo húmedo.
- b) Se pesa las taras con las muestras “Peso muestra húmeda más tara” y se las seca en el horno.
- c) Se pesa las taras con las muestras ya secas “Peso muestra seca más tara”.
- d) Se resta el valor de la tara con el suelo seco, de la tara con el suelo húmedo, encontrándose el “Peso del agua”.
- e) Se resta el peso de la tara al peso del suelo seco más tara hallándose así el “Peso de la muestra seca”.

**Figura 3.14: Muestra del suelo húmedo**



*Fuente: elaboración propia.*

- f) Multiplicando el “peso del agua” por 100 y dividiendo el resultado entre el “peso de la muestra seca”, se obtendrá el “contenido de humedad”.

- g) Sacando la media de los contenidos de humedad de las tres cápsulas se sabrá el “Promedio del contenido de humedad”.
- h) El “Peso Unitario de la muestra seca” se encuentra multiplicando el “Peso Unitario de la muestra húmeda” por 100, dividido todo entre 100 más el “Promedio del contenido de humedad”.

### **Determinación de las propiedades expansivas del suelo:**

Se coloca todo el conjunto dentro de un recipiente. Se monta el trípode y se instala el deformímetro de manera que su punta quede tocando al vástago.

Se llena de agua el recipiente de forma que el agua cubra toda la muestra y tomar la lectura inicial ( $L_i$ ) en el deformímetro. Tomar lecturas a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido.

**Figura 3.15: Lectura de los moldes con el extensómetro**



*Fuente: elaboración propia.*

### **C.B.R.**

- a) Se pesa el molde libre de la base, plato con vástago y pesos, y se anota el resultado en la casilla correspondiente de la columna “después de mojarse”.
- b) Se coloca el molde en la base y se lleva a la prensa de ensayo provista del aro dinamométrico adecuado. Se pone la sobrecarga anular de ensayo, sobre la superficie y se asienta el pistón de penetración a través del orificio central.

- c) Se regula la altura del conjunto tal que el dial del extensómetro que mide la resistencia a la deformación del aro dinamométrico esté en cero. El extensómetro que mide las penetraciones y que está sujeto al marco, apoyará su vástago sobre el borde la base haciendo coincidir su dial a cero.
- d) Se aplicarán cargas a una velocidad de avance del pistón igual a 1,27 mm/min (0,5 pulg/min.), anotándose las lecturas del dial del aro dinamométrico obtenidas para penetraciones de 0,025"; 0,05"; 0,075"; 0,1"; 0,2"; 0,3"; 0,4"; 0,5".
- e) Las cuatro primeras lecturas servirán para efectuar la corrección de la curva penetración-cargas en el caso de que la misma resulte cóncava hacia arriba.

**Figura 3.16: Rotura de probetas**



*Fuente: elaboración propia.*

### **Análisis y Resultados**

A continuación, se presenta los datos y resultados para la primera muestra.

Figura 3.17: Datos del ensayo CBR en laboratorio

Tramo: Cañas-Chaguaya	Muestra	LL	IP	Clasific.	H. Opt.	D. Máx
Identificación: Suelo granular	P-2	NP	NP	A-1-a(0)	7,00	2,14

B,SB,SR

SW

## CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO

Nº capas	5		5			5			
Nº golpes por capa	12		25			56			
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M			
Peso muestra húm.+molde	11120,1	11170	11837,6	11865	12190	12215			
Peso Molde	6333,9	6333,9	6814,6	6814,6	7240,4	7240,4			
Peso muestra húmeda	4786,2	4836,1	5023	5050,4	4949,6	4974,6			
Volumen de la muestra	21686,4	21686,4	21686,4	21686,4	21686,4	21686,4			
Peso Unit. Muestra Húm.	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23			
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	103,88	91,41	90,8	88,67	95,54	68,64	100,15	80,55	89,69
Peso muestra seca + tara	98,07	86,84	85,39	84,47	90,23	65,66	95,73	76,5	85,34
Peso del agua	5,81	4,57	5,41	4,2	5,31	2,98	4,42	4,05	4,35
Peso de tara	17,72	17,62	17,03	17,23	16,76	17,52	18,06	17,86	18,02
Peso de la muestra seca	80,35	69,22	68,36	67,24	73,47	48,14	77,67	58,64	67,32
Contenido humedad %	7,23	6,60	7,91	6,25	7,23	6,19	5,69	6,91	6,46
Promedio cont. Humedad	6,92		7,91	6,74		6,19	6,30		6,46
Peso Unit.muestra seca	0,21		0,21	0,22		0,22	0,21		0,22

Hum.	Peso
Opt.	Unit.
%	gr/cm3
7,00	2,14

## EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM	%	EXTENS.	CM	%	EXTENS.	CM	%
16-mar	10:00	1	17,30	1,73	0,00	19,46	1,95	0,00	17,06	1,71	0,00
17-mar	10:30	2	17,32	1,73	0,02	19,45	1,95	0,01	17,10	1,71	0,03
18-mar	10:00	3	17,31	1,73	0,01	19,43	1,94	0,02	17,06	1,71	0,00
19-mar	11:00	4	17,28	1,73	0,01	19,55	1,96	0,07	17,13	1,71	0,06

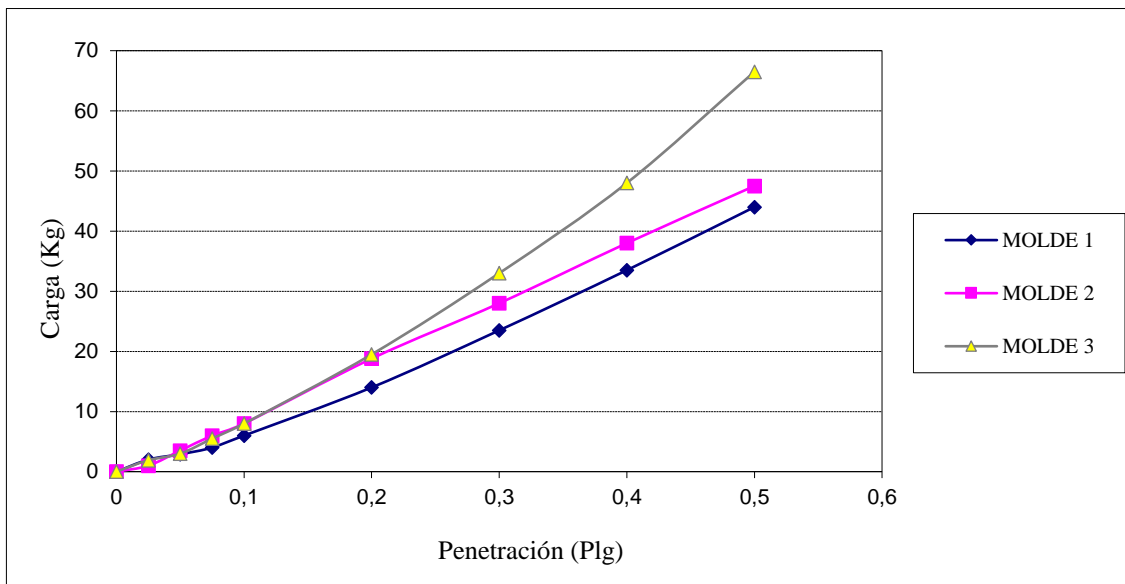
C.B.R.	Peso
%	Unit.
0,4	0,21
0,6	0,22
0,6	0,21

## C.B.R.

PENETRACION		CARGA NORMAL	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3					
Pulg.	mm		Kg	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	
0	0		0	0				0	0			0	0			
0,025	0,63		2	0,1				1	0,1			1,9	0,1			
0,05	1,27		2,9	0,1				3,5	0,2			3	0,2			
0,075	1,9		4	0,2				6	0,3			5,5	0,3			
0,1	2,54	1360	6	0,3				<b>0,4</b>	8	0,4			<b>0,6</b>	8	0,4	<b>0,6</b>
0,2	5,08	2040	14	0,7				<b>0,7</b>	18,8	1,0			<b>0,9</b>	19,5	1,0	<b>1,0</b>
0,3	7,62		23,5	1,2				28	1,4			33	1,7			
0,4	10,16		33,5	1,7				38	2,0			48	2,5			
0,5	12,7		44	2,3				47,5	2,5			66,5	3,4			

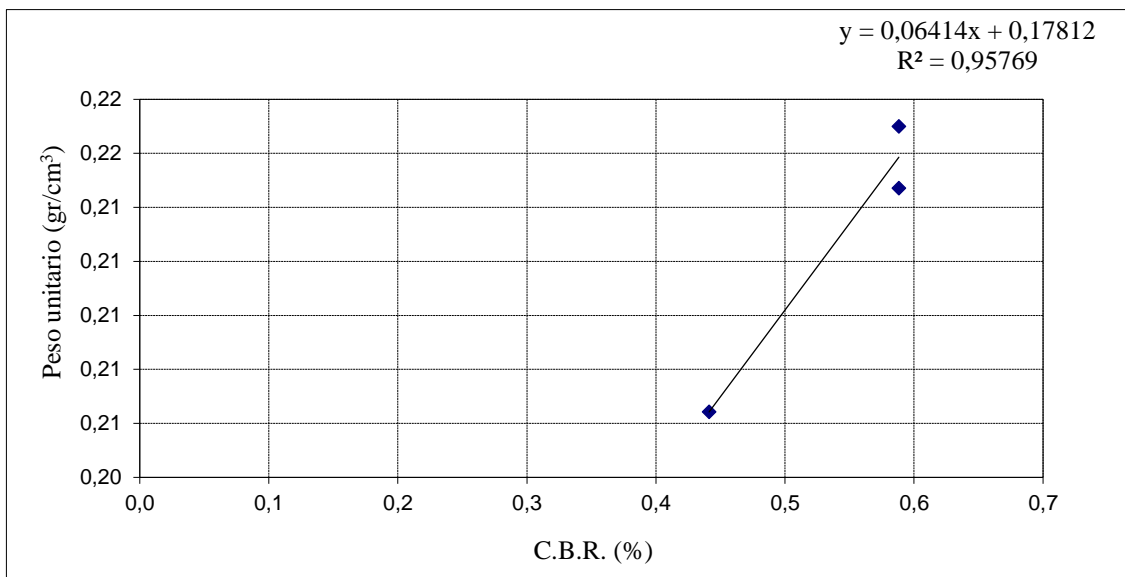
Fuente: elaboración propia.

**Gráfico 3.3: Curva carga-penetración**



*Fuente: elaboración propia.*

**Gráfico 3.4: Curva CBR-peso unitario**



*Fuente: elaboración propia.*

<b>CBR 100% D. máx.</b>	
31	%
<b>CBR 95% D. máx.</b>	
29	%

En el siguiente cuadro se presenta los resultados para las demás muestras de suelos.

**Tabla 3.13: Resultados de CBR**

Muestra	Suelo		CBR al 100% D. máx.	CBR al 95% D. máx.
			(%)	(%)
1	A-1-a (0)	SW	31	29
2	A-1-a (0)	GW	44	41
3	A-1-a (0)	GW	88	83
4	A-1-b (0)	SW	34	32

*Fuente: elaboración propia.*

Según la tabla de calificaciones típicas (Tabla 3.14) la muestra 1, 2 y 4 nos representa un suelo regular que puede ser usado para capas base y sub base. Para la muestra 3 según la clasificación general representa un suelo en excelentes condiciones.

Para observar a mayor detalle los datos y resultados de las demás muestras ver el Anexo N° 2.

### 3.2.3 Cálculo del número de Ejes Equivalentes

Con la finalidad de obtener el tráfico que transita actualmente por el tramo Cañas-Chaguaya, se aforó por 7 días y en las horas de 8:00 a 16:00, este aforo se realizó en dos puntos en la progresiva 3+500 (Cañas-Cruce Chaguaya) y en la progresiva 3+900 (Cruce Chaguaya-Chaguaya) considerando el conteo de Automóviles, Buses de Transporte Público, Camiones de Eje Simple y Camiones de Eje Doble. Ver Anexo N° 7.

**Tabla 3.14: Ubicación de las estaciones de aforo**

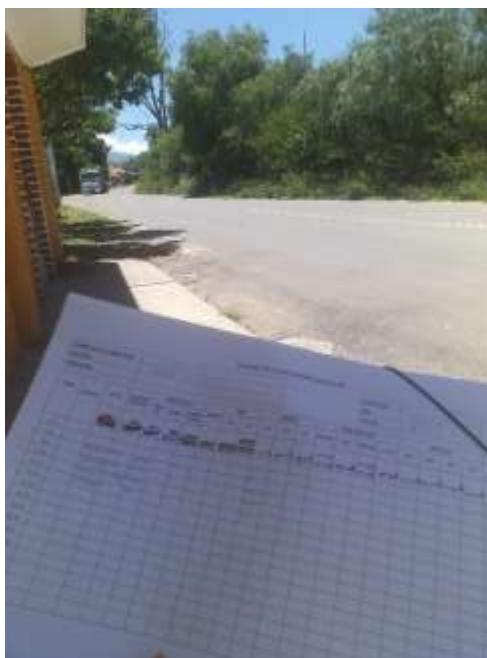
Estación	Progresiva	Coordenadas
1	3+500	21°54'7,2"S 64°48'60"W
2	3+900	21°53'54"S 64°48'46,5"W

*Fuente: elaboración propia.*



















**Figura 3.18: Estación de aforo vehicular N°1**

*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.19: Estación de aforo vehicular N°2**

















*Fuente: elaboración propia.*

Figura 3.20: Conteo vehicular para el día lunes (estación N°1)

TRAMO:		Cañas					ESTACION:		1								
SENTIDO:		Doble sentido					DIA:		lunes								
UBICACIÓN:		21°54'7,2"S 64°48'60"W					FECHA:		21-12- 20								
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMION		SEMI TRAYLER			TRAYLER		
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E		3 E	2 E	3 E	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	
																	
0-1																	
1-2																	
2-3																	
3-4																	
4-5																	
5-6																	
6-7																	
7-8																	
8-9	25	2	5	0	2		0		1						0		
9-10	18	9	5	0	0		0		7						0		
10-11	12	4	4	1	3		0		2						0		
11-12	21	2	7	0	2		0		9						1		
12-13	15	7	4	0	3		0		9						0		
13-14	12	5	6	1	0		0		5						0		
14-15	23	0	7	1	1		0		7						0		
15-16	21	2	5	0	1		1		3						0		
16-17																	
17-18																	
18-19																	
19-20																	
20-21																	
21-22																	
22-23																	
23-24																	
<b>TOTALES</b>	<b>147</b>	<b>31</b>	<b>43</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	

Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.21: Conteo vehicular para el día lunes (estación N°2)**

<b>TRAMO:</b>		Chaguaya										<b>ESTACION:</b>		2			
<b>SENTIDO:</b>		Doble sentido										<b>DIA:</b>		lunes			
<b>UBICACIÓN:</b>		21°53'54"S 64°48'46,5"W										<b>FECHA:</b>		21-12-20			
HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS				MICRO 	BUS		CAMION		SEMI TRAYLER			TRAYLER		
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	2 E 		3 E 	2 E 	3 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	2T2 	2T3 	3T2 	
0-1																	
1-2																	
2-3																	
3-4																	
4-5																	
5-6																	
6-7																	
7-8																	
8-9	6	2	5	0	0				1								
9-10	11	6	5	0	0				5								
10-11	9	4	3	1	2				2								
11-12	11	2	9	0	0				10								
12-13	2	2	4	0	2				4								
13-14	11	3	7	0	0				7								
14-15	10	1	3	1	0				1								
15-16	8	1	0	0	2				2								
16-17																	
17-18																	
18-19																	
19-20																	
20-21																	
21-22																	
22-23																	
23-24																	
<b>TOTALES</b>	<b>68</b>	<b>21</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Luego de consolidar y procesar la información obtenida en cada estación, se analizó los resultados de los volúmenes de tráfico por tipo de vehículo y sentido, y la suma de ambos sentidos.

A continuación, se muestra los resultados para la estación 1.

De esta manera el flujo máximo de vehículos por hora se expande para las 12 horas de tráfico diurno, Asumiendo estos resultados como el tráfico promedio diario observado durante 12 horas, para las dos direcciones de tráfico. A partir de estos cálculos se determina el volumen promedio diario mensual observado en la vía, durante 12 horas, donde se puede apreciar un promedio de autos 120 para el tramo de Cañas y de 93 autos para Chaguaya, le siguen las vagonetas, camionetas y camiones de dos ejes con un rango entre 30 a 50 móviles. Estos resultados se muestran en la Figura 3.22.

La utilización del Factor direccional y el Factor de carril se sacó del Cuadro 2.2 de acuerdo al número de carriles por sentido, obteniendo así un factor ponderado de 1,00.

En cuanto al tiempo de vida útil adoptamos un valor de 20 años para una carretera pavimentada con bajos volúmenes de tráfico. Ver Cuadro 2.4.

Y por último en la Tabla 3.17 para la Estación 1 y en la Tabla 3.19 para la Estación 2; se realizó el cálculo del número de ejes equivalentes mediante la ecuación formulada en el Punto 2.9 por el METODO AASTHO 93 para diseño de pavimentos flexibles:


















Figura 3.22: Cálculo del IMDa

LUGAR: PADCAYA

TRAMO: CAÑAS-CHAGUAYA

SENTIDO: DOBLE

factor de corrección estacional	veh. Liviano	FCE	1
	veh. Pesado	FCE	1

DIA		AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER	
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E y 4 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	
LUNES 21/12/2020	Chaguaya	68	21	36	2	6	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	147	31	43	3	12	0	1	0	43	0	0	0	0	0	0	0	1	
MARTES 22/12/2020	Chaguaya	57	22	36	4	6	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	144	33	42	2	13	1	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	
MIERCOLES 23/12/2020	Chaguaya	64	17	23	0	10	0	0	0	20	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	95	27	38	0	8	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	
JUEVES 24/12/2020	Chaguaya	51	15	42	3	8	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	97	33	54	4	9	1	0	0	27	1	0	0	0	0	0	0	0	
VIERNES 25/12/2020	Chaguaya	71	29	42	5	11	0	0	0	34	2	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	131	36	65	2	11	2	0	0	47	3	0	0	0	0	0	0	0	
SABADO 26/12/2020	Chaguaya	179	67	56	2	9	4	0	0	26	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	109	34	49	0	8	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	1	
DOMINGO 27/12/2020	Chaguaya	160	66	49	2	16	5	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	120	19	37	0	2	2	2	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	
IMDs	Chaguaya	92,857	33,857	40,571	2,571	9,429	1,286	0,000	0,000	26,714	0,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Cañas	120,429	30,429	46,857	1,571	9,000	0,857	0,429	0,000	34,143	0,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,286	
IMDa	Chaguaya	93	34	41	3	9	1	0	0	27	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Cañas	120	30	47	2	9	1	0,429	0	34	1	0	0	0	0	0	0	0,286	

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.15: Cálculo del factor de carga (estación 1)**

Tipo de vehículo		IMDa	Tipo eje	Número de llantas	Carga eje Tn	f P. flexible	f. IMDa flexible
		2020					
Vehículos ligeros	autos	120,43	simple	2	1	0,000527	0,063
		120,43	simple	2	1	0,000527	0,063
	vagón	30,43	simple	2	1	0,000527	0,016
		30,43	simple	2	1	0,000527	0,016
	pick up	46,86	simple	2	1	0,000527	0,025
		46,86	simple	2	1	0,000527	0,025
	Panel	1,57	simple	2	1	0,000527	0,001
		1,57	simple	2	1	0,000527	0,001
	Rural combi	9,00	simple	2	1	0,000527	0,005
		9,00	simple	2	1	0,000527	0,005
	micros	0,86	simple	2	1	0,000527	0,000
		0,86	simple	2	1	0,000527	0,000
Vehículos pesados	bus 2E	0,43	simple	2	7	1,265367	0,542
		0,43	simple	4	11	3,238287	1,388
	Camión 2E	34,14	simple	2	7	1,265367	43,203
		34,14	simple	4	11	3,238287	110,564
	Camión 3E	0,57	simple	2	7	1,265367	0,723
		0,57	tandem	8	18	2,019213	1,154
	Tráiler 2T3	0,29	simple	2	7	1,265367	0,362
		0,29	simple	4	11	3,238287	0,925
		0,29	simple	4	11	3,238287	0,925
	0,29	tándem	8	18	2,019213	0,577	
suma							160,584

Fuente: *elaboración propia.*

**Tabla 3.16: Cálculo del número de ejes equivalentes (estación 1)**

Tasa anual de crecimiento para vehículos pesados	r	0,05
Tiempo de vida útil del pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados	$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca 33,07
Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1calzada, 2sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)	Fd*Fc	0,5
Número de ejes equivalentes (ESAL) $\#EE = 365 * (\Sigma f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	<b>ESAL</b>	<b>969050</b>

Fuente: *elaboración propia.*

**Tabla 3.17: Cálculo del factor de carga (estación 2)**

Tipo de vehículo		IMDa	Tipo eje	Número de llantas	Carga eje Tn	f P. flexible	f. IMDa flexible
		2020					
Vehículos ligeros	autos	92,86	simple	2	1	0,000527	0,049
		92,86	simple	2	1	0,000527	0,049
	wagon	33,86	simple	2	1	0,000527	0,018
		33,86	simple	2	1	0,000527	0,018
	pick up	40,57	simple	2	1	0,000527	0,021
		40,57	simple	2	1	0,000527	0,021
	Panel	2,57	simple	2	1	0,000527	0,001
		2,57	simple	2	1	0,000527	0,001
	Rural combi	9,43	simple	2	1	0,000527	0,005
		9,43	simple	2	1	0,000527	0,005
	micros	1,29	simple	2	1	0,000527	0,001
		1,29	simple	2	1	0,000527	0,001
	Camión 2E	26,71	simple	2	7	1,265367	33,803
		26,71	simple	4	11	3,238287	86,509
	Camión 3E	0,57	simple	2	7	1,265367	0,723
		0,57	tándem	8	18	2,019213	1,154
suma							122,379

Fuente: *elaboración propia.*

**Tabla 3.18: Cálculo del número de ejes equivalentes (estación 2)**

Tasa anual de crecimiento para vehículos pesados	r	0,05
Tiempo de vida útil del pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	33,07
Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1calzada, 2sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)	Fd*Fc	0,5
Número de ejes equivalentes (ESAL) $\#EE = 365 * (\Sigma f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	<b>ESAL</b>	<b>738501</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.19: Valores de número de ejes equivalentes**

Estación	Tramo	ESAL
1	Cañas – Cruce	969050
2	Cruce - Chaguaya	738501

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

El análisis se llevó a cabo siguiendo lo especificado en el capítulo anterior, se obtuvieron valores para cada sentido.

#### 3.3.1 Procedimiento de cálculo del IRI

A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo para el punto N°1 del carril derecho en la progresiva 0+400.

**Primero:** Cálculo del Factor de Corrección.

$$FC = \frac{EP * 10}{(Li - Lf) * 5}$$

Donde:

FC=Factor de corrección.



EP: Espesor de la pastilla=6 mm

Li: Posición inicial del puntero=25

Lf: Posición final del puntero=10

$$FC = \frac{6 * 10}{(25 - 10) * 5}$$

$$FC = 0,80$$

**Segundo:** Recolección de datos en campo.

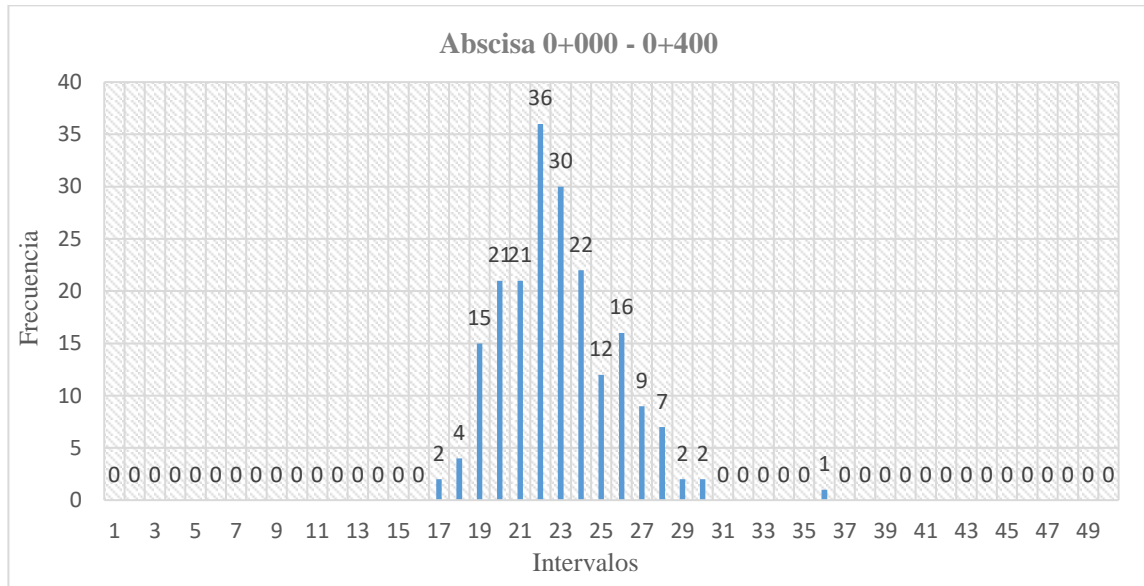
**Tabla 3.20: Datos de medición del IRI**

Lecturas de campo									
20	20	21	22	20	19	22	27	23	22
28	24	27	23	26	23	22	21	25	19
23	20	21	21	19	22	25	24	22	19
26	20	23	19	20	22	26	27	25	23
23	24	19	22	20	21	24	26	22	26
24	18	21	23	22	36	25	21	21	26
19	22	20	24	20	19	22	22	28	22
27	26	21	26	28	20	22	24	30	24
22	25	24	19	20	17	25	26	19	22
20	26	18	22	19	22	24	23	21	17
21	22	23	19	23	23	20	19	20	22
20	24	24	21	23	22	21	20	18	20
21	21	19	22	23	28	18	21	23	22
26	21	26	26	24	22	23	22	28	25
25	23	22	24	22	27	29	26	21	20
23	22	24	28	22	24	22	23	24	22
24	22	30	20	29	26	23	21	21	22
28	25	22	20	23	25	24	27	25	27
23	23	26	23	22	23	23	27	24	21
27	24	23	24	23	19	25	23	20	23

*Fuente: elaboración propia.*

**Tercero:** Graficar el histograma de frecuencias de los datos de campo.

**Gráfico 3.5: Histograma de frecuencias de datos de rugosidad en 400m de carretera**



*Fuente: elaboración propia.*

**Cuarto:** Calcular el Rango “D”

Para el cálculo del rango “D” eliminamos 10 datos de cada lado del histograma de frecuencias y lo restante es el rango buscado:

Lado izquierdo: en la barra (19) quedara.

$$(15-4) / 15 = 0,73$$

Lado derecho: en la barra (28) quedara.

$$(7-5) / 7 = 0,29$$

Entonces el rango “D” =  $0,73+8+0,29 = 9,02\text{mm}$

**Quinto:** Corrección del rango “D”

Para corregir el rango “D” multiplicamos por el factor de corrección (F.C.) y por 5 porque el tablero tiene 50 divisiones de 5 mm cada una.

$$D_{cor} = 0,80 * 9,02 * 5$$

$$D_{cor} = 36,08$$

**Sexto:** Cálculo del IRI.

$$IRI = 0,0485 * 36,08$$

$$\mathbf{IRI = 1,75 \text{ m/km}}$$

### 3.3.2 Resultados para el carril derecho

**Tabla 3.21: Resultados obtenidos del IRI (carril derecho)**

N°	Progresiva inicio	Progresiva fin	IRI(m/Km) carril der.	Calificación IRI
1	0+000	0+400	1,75	bueno
2	0+400	0+800	2,67	bueno
3	0+800	1+200	2,48	bueno
4	1+200	1+600	2,16	bueno
5	1+600	2+000	1,76	bueno
6	2+000	2+400	2,42	bueno
7	2+400	2+800	2,59	bueno
8	2+800	3+200	1,78	bueno
9	3+200	3+600	1,68	bueno
10	3+600	4+000	2,08	bueno
11	4+000	4+400	1,77	bueno
12	4+400	4+800	1,67	bueno
13	4+800	5+200	1,45	bueno
14	5+200	5+600	2,42	bueno
15	5+600	6+000	1,53	bueno
16	6+000	6+400	1,37	bueno
17	6+400	6+800	1,55	bueno
18	6+800	7+200	1,42	bueno

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.3.3 Análisis de resultados

#### Estadística

Para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI, realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados; es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media } (\bar{x}) = 1,92$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,188$$

$$\text{Desviación estándar } \sigma = 0,43$$

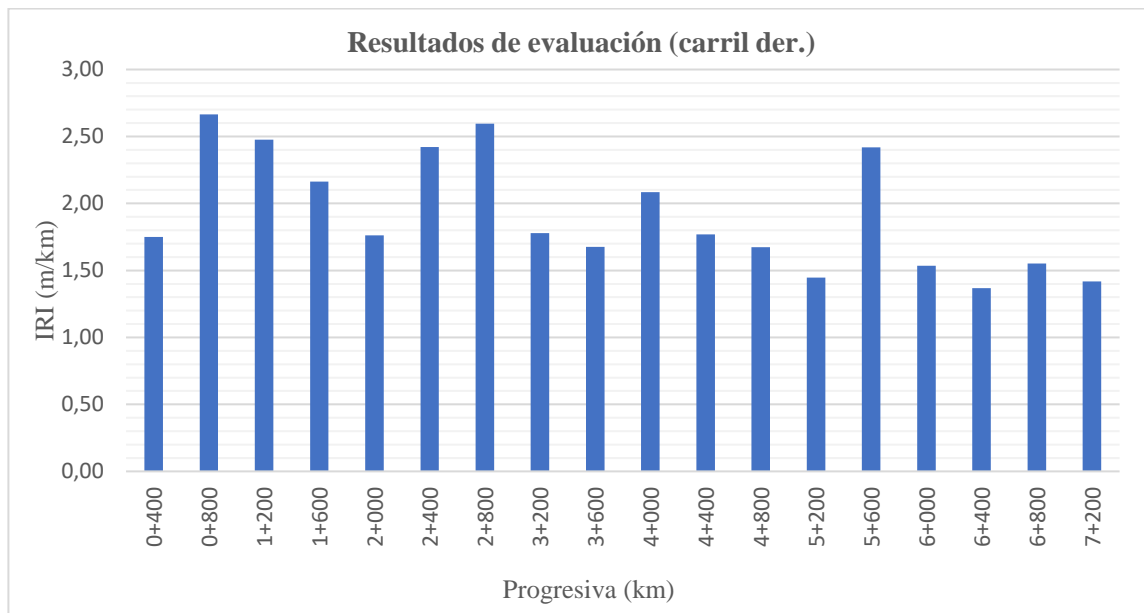
#### RANGO

$$\text{Máximo} = \bar{x} + 2\sigma = 1,92 + 2 \cdot 0,43 = 2,79$$

$$\text{Mínimo} = \bar{x} - 2\sigma = 1,92 - 2 \cdot 0,43 = 1,05$$

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomar en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de **IRI = 1,92 m/km** que analizando la Figura 2.10 representa un pavimento con una superficie con imperfecciones superficiales. Cabe recalcar que este ensayo se realizó por la huella externa del carril evitando algunas fallas considerables que se encuentran en medio de la calzada.

Para poder observar a mayor detalle los datos y resultados de los demás puntos ver el Anexo N°3.

**Gráfico 3.6: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril derecho)**

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.4 Resultados para el carril izquierdo

**Tabla 3.22: Resultados obtenidos del IRI (carril izquierdo)**

N°	Progresiva inicio	Progresiva fin	IRI(m/Km) carril izq.	Calificación IRI
1	7+200	6+800	1,66	buena
2	6+800	6+400	1,70	buena
3	6+400	6+000	1,49	buena
4	6+000	5+600	1,58	buena
5	5+600	5+200	1,51	buena
6	5+200	4+800	1,60	buena
7	4+800	4+400	1,65	buena
8	4+400	4+000	1,78	buena
9	4+000	3+600	1,91	buena
10	3+600	3+200	1,75	buena
11	3+200	2+800	1,59	buena
12	2+800	2+400	1,65	buena
13	2+400	2+000	1,48	buena
14	2+000	1+600	1,56	buena
15	1+600	1+200	1,73	buena
16	1+200	0+800	1,42	buena
17	0+800	0+400	1,78	buena
18	0+400	0+000	2,46	buena

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.3.5 Análisis de resultados

#### Estadística

Para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI, realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados; es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media } (\bar{x}) = 1,68$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,053$$

$$\text{Desviación estándar } \sigma = 0,23$$

## RANGO

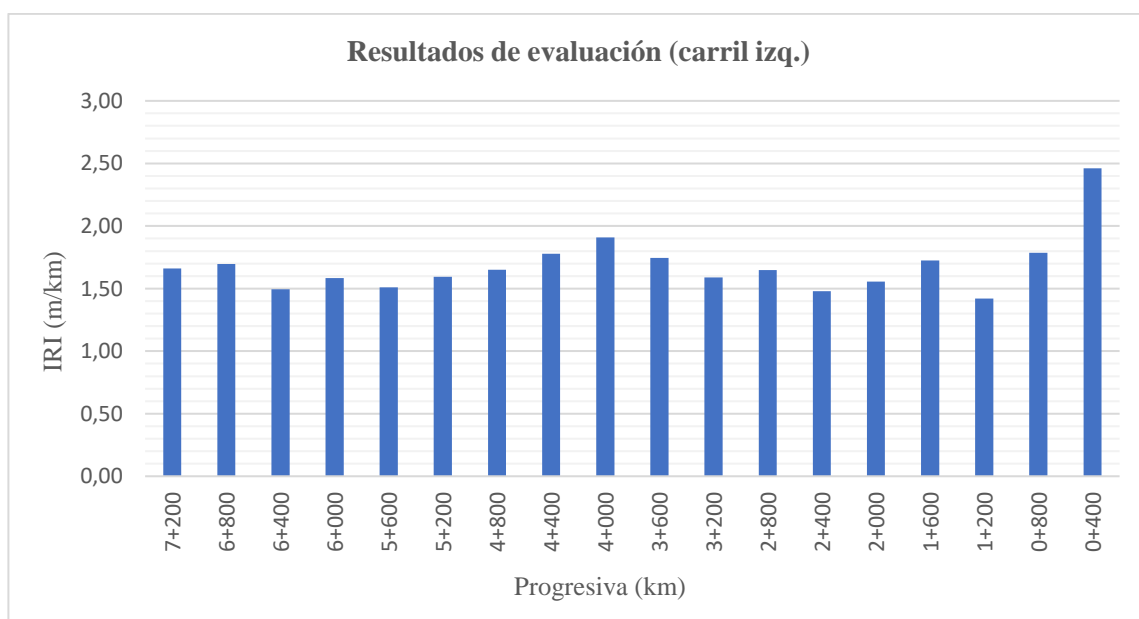
$$\text{Máximo} = \bar{x} + 2\sigma = 1,68 + 2 * 0,23 = 2,14$$

$$\text{Mínimo} = \bar{x} - 2\sigma = 1,68 - 2 * 0,23 = 1,22$$

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomar en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de **IRI = 1,64 m/km** que analizando la Figura 2.10 representa un pavimento con una superficie con imperfecciones superficiales. Mencionar que este ensayo se realizó por la huella externa del carril evitando algunas fallas considerables que se encuentran al medio de la calzada.

Para poder observar a mayor detalle los datos y resultados de los demás puntos ver el Anexo N°4.

**Gráfico 3.7: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril izquierdo)**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 3.23: Medición de la rugosidad con el rugosímetro de Merlín**



*Fuente: elaboración propia.*

### **3.3.6 Aplicación de la relación entre PSI y el IRI**

Empleando la ecuación de comparación entre el IRI y el PSI descritas en el capítulo 2, propuesta por el investigador Paterson, los valores obtenidos de PSI son los expresados en la Tabla 3.24 y la Tabal 3.25.



**Tabla 3.23: Relación entre PSI y el IRI (carril derecho)**

<b>Progresiva inicio</b>	<b>Progresiva fin</b>	<b>IRI(m/Km) carril der.</b>	<b>PSI calculado</b>	<b>Calificación del PSI</b>
0+000	0+400	1,75	3,65	bueno
0+400	0+800	2,67	3,09	bueno
0+800	1+200	2,48	3,20	bueno
1+200	1+600	2,16	3,39	bueno
1+600	2+000	1,76	3,64	bueno
2+000	2+400	2,42	3,23	bueno
2+400	2+800	2,59	3,13	bueno
2+800	3+200	1,78	3,63	bueno
3+200	3+600	1,68	3,70	bueno
3+600	4+000	2,08	3,44	bueno
4+000	4+400	1,77	3,64	bueno
4+400	4+800	1,67	3,70	bueno
4+800	5+200	1,45	3,85	bueno
5+200	5+600	2,42	3,23	bueno
5+600	6+000	1,53	3,79	bueno
6+000	6+400	1,37	3,91	bueno
6+400	6+800	1,55	3,78	bueno
6+800	7+200	1,42	3,87	bueno

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.24: Relación entre PSI y el IRI (carril izquierdo)**

<b>Progresiva inicio</b>	<b>Progresiva fin</b>	<b>IRI(m/Km) carril izq.</b>	<b>PSI calculado</b>	<b>Calificación del PSI</b>
7+200	6+800	1,66	3,71	bueno
6+800	6+400	1,70	3,68	bueno
6+400	6+000	1,49	3,82	bueno
6+000	5+600	1,58	3,76	bueno
5+600	5+200	1,51	3,81	bueno
5+200	4+800	1,60	3,75	bueno
4+800	4+400	1,65	3,72	bueno
4+400	4+000	1,78	3,63	bueno
4+000	3+600	1,91	3,55	bueno
3+600	3+200	1,75	3,65	bueno
3+200	2+800	1,59	3,76	bueno
2+800	2+400	1,65	3,72	bueno
2+400	2+000	1,48	3,83	bueno
2+000	1+600	1,56	3,78	bueno
1+600	1+200	1,73	3,67	bueno
1+200	0+800	1,42	3,87	bueno
0+800	0+400	1,78	3,63	bueno
0+400	0+000	2,46	3,21	bueno

*Fuente: elaboración propia.*

### **3.3.6.1 Análisis de resultados**

Analizando los valores del PSI varía entre 3 y 4, de acuerdo con los valores del IRI de la vía estudiada. Cuando el pavimento de una vía posee valores entre 3 y 4 de PSI, se califica a este como bueno. En el Cuadro 2.5 nos dice que estos pavimentos muestran pocos signos de deterioro superficial, pueden comenzar a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.

De la Figura 2.4 se observa que cuando un pavimento posee un PSI entre 3 y 4, representa aproximadamente una reducción de 40% de su calidad (de excelente a regular), se requieren trabajos de mantenimientos preventivos.

### 3.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO IFI (ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL)

#### 3.4.1 Ensayo del círculo de arena

Para realizar este ensayo se adoptó el criterio de realizar los ensayos en los puntos más críticos de deterioro del pavimento.

Se realizó la dispersión de un volumen de  $50 \text{ cm}^3$  de arena graduada sobre la superficie limpia y seca; formando un círculo haciendo que la arena ocupe las fisuras y vacíos que presenta la superficie asfáltica; medimos con una regla graduada el diámetro cubierto por la arena, realizamos 5 mediciones en cada punto.

**Figura 3.24: Medición del volumen de arena**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.25: Dispersión de la arena sobre la superficie**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.26: Medición y registro del diámetro de área cubierta**



*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4.1.1 Procedimiento de cálculo

**Tabla 3.25: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena (carril der.)**

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
MACRO TEXTURA											
Equipo: Círculo de arena						Fecha: 28-03-2022					
Carril: Derecho (ida)											
N°	Progr. Km.	T. Asf. (°C)	Diámetro de los círculos (mm)					Media $\bar{x}$	Desv. $\sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>				
1	0+250	38	270	265	250	250	260	259,00	8,94	276,89	241,11
2	1+350	36	192	200	190	190	200	194,40	5,18	204,75	184,05
3	2+400	37	290	297	280	287	292	289,20	6,30	301,80	276,60
4	3+100	42	330	320	315	300	310	315,00	11,18	337,36	292,64
5	3+650	40	316	313	295	315	300	307,80	9,63	327,06	288,54
6	4+600	40	240	250	245	255	245	247,00	5,70	258,40	235,60
7	5+500	36	281	290	285	300	285	288,20	7,33	302,86	273,54
8	6+100	40	250	240	245	240	250	245,00	5,00	255,00	235,00
9	6+700	42	270	285	280	270	270	275,00	7,07	289,14	260,86

*Fuente: elaboración propia.*

#### Procedimiento de cálculo para el Punto N°1

Se realizó la exclusión y aceptación de datos mediante la siguiente ecuación; en función a los cálculos realizados se puede observar que todos los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena se encuentran a similitudes cercanas, es decir que ningún valor se dispara, por lo tanto, no se depura ninguno de ellos.

$$x \pm 2 * \sigma$$

Donde:

x=Media aritmética.

$\sigma$ =Desviación estándar.

Media de los valores obtenidos:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

$$x = \frac{1295,00}{5}$$

$$x = 259,00mm$$

Desviación estándar de los valores obtenidos:

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

$$\sigma = 8,94$$

Verificación de los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena:

$$x \pm 2 * \sigma$$

$$259,00 + 2 * 8,94 = 276,89$$

$$259,00 - 2 * 8,94 = 241,11$$

El cálculo de la macro textura (Tx) se determina con la siguiente ecuación, se utilizó un volumen de 25000 mm<sup>3</sup> de arena y para el diámetro se usó la media de los valores obtenidos del ensayo para cada punto.

$$Tx = \frac{4 * V}{\pi * Dp^2}$$

$$Tx = \frac{4 * 25000mm^3}{\pi * (259,00mm)^2}$$

$$Tx = 0,47mm$$

**Cuadro 3.3: Rangos de textura**

T <sub>x</sub>	Textura
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.*

### 3.4.1.2 Resultados de la macro textura para el carril derecho

**Tabla 3.26: Resultados de la macro textura (carril der.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
<b>MACRO TEXTURA</b>											
Equipo: Círculo de arena						Fecha: 28-03-2022					
Carril: Derecho (ida)						Volumen de la muestra: 25ml = 25000 mm <sup>3</sup>					
N°	Prog. Km.	T. Asf. (°C)	W muestra (gr)	Diámetro de los círculos (mm)						T <sub>x</sub>	Textura parcial
				D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	Prom.		
1	0+250	38	34,30	270	265	250	250	260	259,00	0,47	Media
2	1+350	36	35,10	192	200	190	190	200	194,40	0,84	Gruesa
3	2+400	37	34,20	290	297	280	287	292	289,20	0,38	Fina
4	3+100	42	34,20	330	320	315	300	310	315,00	0,32	Fina
5	3+650	40	35,00	316	313	295	315	300	307,80	0,34	Fina
6	4+600	40	33,40	240	250	245	255	245	247,00	0,52	Media
7	5+500	36	33,50	281	290	285	300	285	288,20	0,38	Fina
8	6+100	40	34,00	250	240	245	240	250	245,00	0,53	Media
9	6+700	42	31,90	270	285	280	270	270	275,00	0,42	Media

*Fuente: elaboración propia.*

**Calificación de la textura.** En cuanto a los valores obtenidos varían desde 0,32 a 0,84 nos da a entender que dicho tramo presenta una textura Fina a Media; es decir que la superficie asfáltica presenta baja capacidad drenante, por lo tanto, afecta la resistencia al deslizamiento del pavimento.

### 3.4.1.3 Datos y resultados de la macro textura para el carril izquierdo

Para el carril izquierdo (ida) también se realizó la exclusión y aceptación de datos, en función a los cálculos realizados se puede decir que los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena son aceptables por encontrarse dentro del rango medido.

**Tabla 3.27: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena (carril izq.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
<b>MACRO TEXTURA</b>											
Equipo: Círculo de arena						Fecha: 29-03-2022					
Carril: Izquierdo (vuelta)											
N°	Progr. Km.	T. Asf. (°C)	Diámetro de los círculos (mm)					Media $\bar{x}$	Desv. $\sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>				
1	7+000	26	295	250	275	290	265	275,00	18,37	311,74	238,26
2	6+150	23	290	285	280	290	280	285,00	5,00	295,00	275,00
3	5+650	25	250	254	260	260	260	256,80	4,60	266,01	247,59
4	3+600	28	265	285	280	285	285	280,00	8,66	297,32	262,68
5	0+450	30	200	210	200	195	210	203,00	6,71	216,42	189,58
6	0+100	37	220	215	215	220	220	218,00	2,74	223,48	212,52

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.28: Resultados de la macro textura (carril izq.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
<b>MACRO TEXTURA</b>											
Equipo: Círculo de arena						Fecha: 29-03-2022					
Carril: Izquierdo (vuelta)						Volumen de la muestra: 25ml = 25000mm <sup>3</sup>					
N°	Progr. Km.	T. Asf. (°C)	Wmuestra (gr)	Diámetro de los círculos (mm)					Tx	Textura parcial	
				D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>			Prom
1	7+000	26	33,50	295	250	275	290	265	275,00	0,42	Media
2	6+150	23	34,40	290	285	280	290	280	285,00	0,39	Fina
3	5+650	25	34,00	250	254	260	260	260	256,80	0,48	Media
4	3+600	28	34,70	265	285	280	285	285	280,00	0,41	Media
5	0+450	30	33,90	200	210	200	195	210	203,00	0,77	Media
6	0+100	37	33,90	220	215	215	220	220	218,00	0,67	Media

*Fuente: elaboración propia.*



**Calificación de la textura.** Los valores obtenidos varían desde 0,39 a 0,77 siendo predominante la textura superficial Media; por lo tanto, no afectará de manera directa al deslizamiento del vehículo.

### 3.4.2 Ensayo del péndulo británico

Este ensayo se ejecutó en los puntos (críticos) de ensayo del círculo de arena. Se identificó la primera falla y para dar inicio con el ensamblaje del equipo, una vez concluido se procedió a nivelar el equipo con las manivelas de tal forma que la burbuja del ojo de pollo quede completamente centrada, se verificó que la punta de caucho del brazo del péndulo al realizar el balanceo realice el roce con la superficie asfáltica solamente dentro del rango de la regla calibrada, antes de comenzar se tuvo que limpiar la superficie del pavimento a ensayar con una brocha limpiando toda impureza o polvo; una vez limpia la superficie se dio inicio a asegurar el brazo del péndulo y soltarlo de tal forma que una vez que la aguja de medición no vuelva a descender en la medida marcada se sujeta el brazo en el ínterin de su regreso, posteriormente se anota en la planilla como primer dato. Se repite el procedimiento hasta obtener 5 mediciones en un punto de ensayo. También se verificó la temperatura del pavimento al momento de realizar el ensayo para posteriores correcciones.

**Figura 3.27: Nivelación del equipo Péndulo Británico**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3.28: Lectura y registro de las mediciones**

*Fuente: elaboración propia.*

Se realizó la exclusión y aceptación de datos para el carril derecho e izquierdo; en función a los cálculos realizados se puede observar que todos los datos obtenidos del ensayo del péndulo de fricción se encuentran a similitudes cercanas, es decir que ningún valor se dispara, por lo tanto, no se depura ninguno de ellos.

**Tabla 3.29: Revisión de datos obtenidos del ensayo péndulo de fricción (carril der.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
<b>MICRO TEXTURA</b>											
Equipo: Péndulo británico						Fecha: 28-03-2022					
Carril: Derecho (ida)											
N°	Progr. Km.	T. Asf. (°C)	BPN (adm.)					Media $\bar{x}$	Desv. $\sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	
			1	2	3	4	5				
1	0+250	38	105	115	110	109	106	109,00	3,94	116,87	101,13
2	1+350	36	90	92	93	91	90	91,20	1,30	93,81	88,59
3	2+400	37	97	100	99	101	100	99,40	1,52	102,43	96,37
4	3+100	42	84	87	89	89	87	87,20	2,05	91,30	83,10
5	3+650	40	65	68	69	70	69	68,20	1,92	72,05	64,35
6	4+600	40	94	97	97	96	95	95,80	1,30	98,41	93,19
7	5+500	36	74	77	70	70	70	72,20	3,19	78,59	65,81
8	6+100	40	103	107	106	105	101	104,40	2,41	109,22	99,58
9	6+700	42	94	95	95	92	91	93,40	1,82	97,03	89,77

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.30: Revisión de datos obtenidos del ensayo péndulo de fricción (carril izq.)**

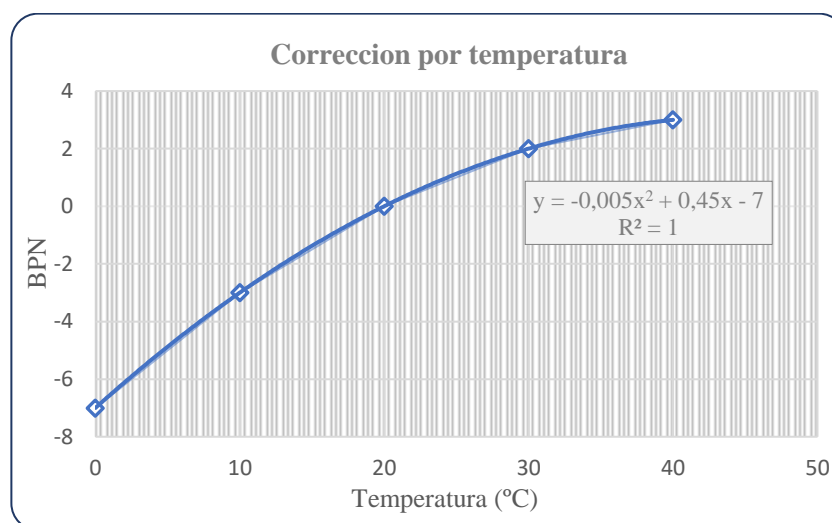
<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>											
Tramo: Cañas - Chaguaya						Consultor: Abigail Leyton Choque					
<b>MICRO TEXTURA</b>											
Equipo: Péndulo británico						Fecha: 29-03-2022					
Carril: Izquierdo (vuelta)											
N°	Progr. Km.	T. Asf. (°C)	BPN (adm.)					Media $\bar{x}$	Desv. $\sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	
			1	2	3	4	5				
1	7+000	26	85	83	84	82	81	83,00	1,58	86,16	79,84
2	6+150	23	95	94	92	92	94	93,40	1,34	96,08	90,72
3	5+650	25	94	95	95	94	96	94,80	0,84	96,47	93,13
4	3+600	28	84	70	72	74	79	75,80	5,67	87,15	64,45
5	0+450	30	88	90	90	89	88	89,00	1,00	91,00	87,00
6	0+100	37	65	65	66	66	67	65,80	0,84	67,47	64,13

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3 Procedimiento de cálculo del IFI

Para la corrección por temperatura empleamos la fórmula que se muestra en el siguiente gráfico:

**Gráfico 3.8: Factor de corrección por temperatura**



Fuente: Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en carreteras de México.

**Tabla 3.31: Corrección de datos para determinar el IFI (carril der.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES EN SU PAVIMENTO</b>										
Tramo: Cañas - Chaguaya										
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>										
Carril: Derecho (ida)										
<b>Ensayo: Círculo de arena</b>				<b>Ensayo: Péndulo de fricción</b>						
<b>Progr.</b>	<b>Vol. (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dprom. (cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Coef. de correc.</b>	<b>BPN corregido (adim.)</b>					<b>Prom.</b>
0+250	25	25,90	38	2,88	107,88	117,88	112,88	111,88	108,88	111,88
1+350	25	19,44	36	2,72	92,72	94,72	95,72	93,72	92,72	93,92
2+400	25	28,92	37	2,81	99,81	102,81	101,81	103,81	102,81	102,21
3+100	25	31,50	42	3,08	87,08	90,08	92,08	92,08	90,08	90,28
3+650	25	30,78	40	3,00	68,00	71,00	72,00	73,00	72,00	71,20
4+600	25	24,70	40	3,00	97,00	100,00	100,00	99,00	98,00	98,80
5+500	25	28,82	36	2,72	76,72	79,72	72,72	72,72	72,72	74,92
6+100	25	24,50	40	3,00	106,00	110,00	109,00	108,00	104,00	107,40
6+700	25	27,50	42	3,08	97,08	98,08	98,08	95,08	94,08	96,48

*Fuente: elaboración propia.*

### **Procedimiento de cálculo para el Punto N°1**

El cálculo de la constante de velocidad (Sp), se determina con la siguiente ecuación, asumiendo los valores a= -11,5981 y b= 113,63246 según norma ASTM E 965.

$$Sp = a + b * Tx$$

$$Sp = -11,5981 + 113,63246 * 0,47$$

$$Sp = 42,38 \text{ km/h}$$

Se calcula el valor de fricción del pavimento para una velocidad de 60 km/h “FR60”, se utiliza el valor promedio de fricción de las mediciones obtenidas en campo “FRS” y Sp (mediciones realizadas en la unidad de muestra que se realizó el ensayo del círculo de arena) con un valor de S=10 Km/h se obtiene:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{(S-60)}{Sp}}$$

$$FR60 = 111,88 * e^{\frac{(10-60)}{42,38}}$$

$$FR60 = 34,38$$

Con este valor obtenemos el parámetro F60 utilizando la siguiente ecuación, asumiendo los valores A= 0,078 y B= 0,0107 según norma ASTM E 274.

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0,078 + 0,0107 * 34,80$$

$$F60 = 0,446$$

El valor del IFI está representado por:

$$IFI = (F60, Sp)$$

$$IFI = (0,45 ; 42,38)$$

**Tabla 3.32: Parámetros para determinar el IFI (carril der.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>						
Tramo: Cañas - Chaguaya						
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>						
Carril: Derecho (ida)						
<b>Progr.</b>	<b>FRs</b>	<b>Dp</b>	<b>H = Tx</b>	<b>Sp</b>	<b>FR60</b>	<b>F60</b>
0+250	111,88	25,9	0,475	42,377	34,383	0,466
1+350	93,92	19,44	0,842	84,080	51,820	0,632
2+400	102,21	28,92	0,381	31,696	21,105	0,304
3+100	90,28	31,5	0,321	24,878	12,099	0,207
3+650	71,2	30,78	0,336	26,582	10,854	0,194
4+600	98,8	24,7	0,522	47,718	34,649	0,449
5+500	74,92	28,82	0,383	31,923	15,645	0,245
6+100	107,4	24,5	0,53	48,627	38,410	0,489
6+700	96,48	27,5	0,421	36,241	24,281	0,338

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4.3.1 Resultados del IFI (carril de ida)

**Tabla 3.33: Resultados del IFI para el carril derecho**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>					
Tramo: Cañas - Chaguaya			Consultor: Abigail Leyton Choque		
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>					
Carril: Derecho (ida)					
N°	Prog.	IFI (F60,Sp)		Calificación de la textura	Calificación de la fricción
		F60	Sp		
1	0+250	0,47	42,38	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
2	1+350	0,63	84,08	Gruesa	Bueno
3	2+400	0,30	31,70	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
4	3+100	0,21	24,88	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
5	3+650	0,19	26,58	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
6	4+600	0,45	47,72	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
7	5+500	0,25	31,92	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
8	6+100	0,49	48,63	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
9	6+700	0,34	36,24	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4.3.2 Análisis de los resultados

Cabe recalcar que los ensayos se realizaron en los puntos más desfavorables con medios y altos índices de severidad.

**Calificación de la fricción.** Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos estuvieron en los rangos (0,19 a 0,63). Se puede observar que en 8 puntos de ensayo la calificación según el Cuadro 2.6 corresponde a Malo (deslizamiento del vehículo); esto significa que la adherencia entre el neumático del vehículo y la superficie no es buena por lo que en aceleraciones y frenadas fuertes las ruedas pueden deslizar. Mientras que en el punto 2 se califica como Bueno; por lo tanto, la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.

### Cálculo de la fricción F para distintas velocidades S:

$$FR_{20} = FS_{prom.} * e^{\frac{S-20}{SP_{prom}}}$$

$$FR_{20} = 0,37 * e^{\frac{60-20}{41,57}}$$

$$FR_{20} = 1,56$$

**Tabla 3.34: Valores de F(S) en km/h para distintas velocidades c-derecho**

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
<b>F (S)</b>	<b>1,56</b>	<b>0,96</b>	<b>0,59</b>	<b>0,37</b>	<b>0,23</b>	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>

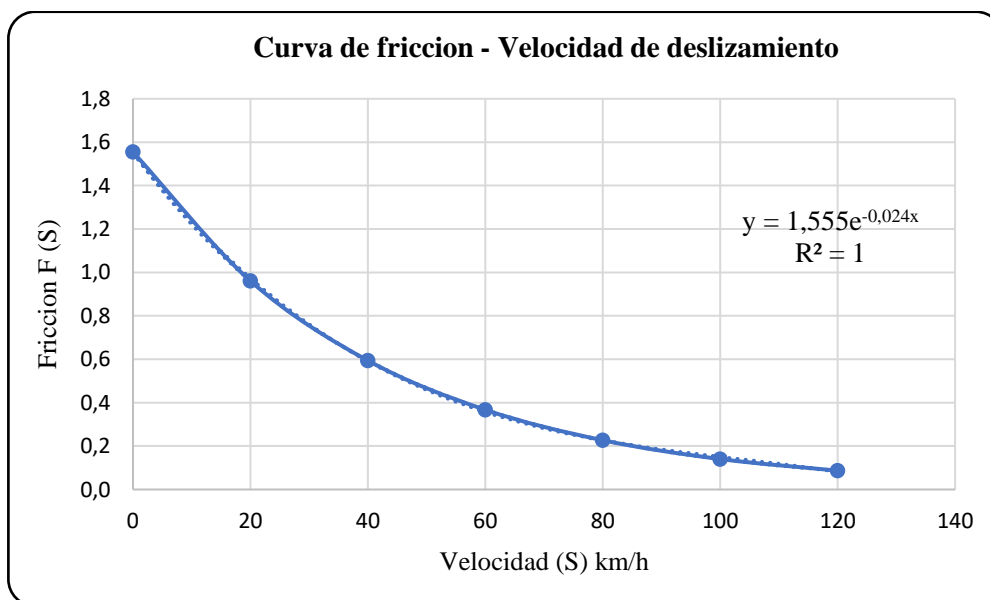
*Fuente: elaboración propia.*

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0,373

Velocidad máxima segura = 59,49 km/h

En el siguiente gráfico se muestra como varía el coeficiente de fricción en función a la velocidad.

**Gráfico 3.9: Fricción en función de la velocidad c-derecho**



*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4.3.3 Datos y parámetros del IFI (carril de vuelta)

Se ejecuta el mismo procedimiento de cálculo del carril derecho. A continuación se muestran las tablas correspondientes.

**Tabla 3.35: Corrección de datos para determinar el IFI (carril izq.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>										
Tramo: Cañas - Chaguaya										
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>										
Carril: Izquierdo (vuelta)										
<b>Ensayo: Círculo de arena</b>				<b>Ensayo: Péndulo de fricción</b>						
<b>Progr.</b>	<b>Vol. (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dprom (cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Coef. de Correc.</b>	<b>BPN Corregido (adim.)</b>					<b>Prom.</b>
7+000	25	27,50	26	1,320	86,32	84,32	85,32	83,32	82,32	84,32
6+150	25	28,50	23	0,705	95,71	94,71	92,71	92,71	94,71	94,11
5+650	25	25,68	25	1,125	95,13	96,13	96,13	95,13	97,13	95,93
3+600	25	28,00	28	1,680	85,68	71,68	73,68	75,68	80,68	77,48
0+450	25	20,30	30	2,000	90,00	92,00	92,00	91,00	90,00	91,00
0+100	25	21,80	37	2,805	67,81	67,81	68,81	68,81	69,81	68,61

*Fuente: elaboración propia.*



**Tabla 3.36: Parámetros para determinar el IFI (carril izq.)**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>						
Tramo: Cañas - Chaguaya						
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>						
Carril: Izquierdo (vuelta)						
<b>Progr.</b>	<b>FRs</b>	<b>Dp</b>	<b>H = Tx</b>	<b>Sp</b>	<b>FR60</b>	<b>F60</b>
7+000	84,32	27,50	0,421	36,241	21,220	0,305
6+150	94,11	28,50	0,392	32,945	20,631	0,299
5+650	95,93	25,68	0,483	43,286	30,220	0,401
3+600	77,48	28,00	0,406	34,536	18,215	0,273
0+450	91,00	20,30	0,772	76,126	47,184	0,583
0+100	68,61	21,80	0,67	64,535	31,616	0,416

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4.3.4 Resultados y análisis

**Tabla 3.37: Resultados del IFI para el carril izquierdo**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>					
Tramo: Cañas - Chaguaya			Consultor: Abigail Leyton Choque		
<b>ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)</b>					
Carril: Izquierdo (vuelta)					
<b>N°</b>	<b>Prog.</b>	<b>IFI (F60,Sp)</b>		<b>Calificación de textura</b>	<b>Calificación de la fricción</b>
		<b>F60</b>	<b>Sp</b>		
1	7+000	0,31	36,24	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
2	6+150	0,30	32,95	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
3	5+650	0,40	43,29	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
4	3+600	0,27	34,54	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
5	0+450	0,58	76,13	Media	De regular a bueno
6	0+100	0,42	64,54	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)

*Fuente: elaboración propia.*

**Calificación de la fricción.** Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos estuvieron en los rangos (0,27 a 0,58). Se puede observar que en cinco puntos de ensayo la calificación según el Cuadro 2.6 corresponde a Malo (deslizamiento del vehículo); esto significa que la adherencia entre el neumático del vehículo y la superficie no es buena por lo que en aceleraciones y frenadas fuertes las ruedas pueden deslizarse. Mientras que en el punto 5 se califica de Regular a Bueno; por lo tanto, la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.

### **Cálculo de la fricción F para distintas velocidades S:**

**Tabla 3.38: Valores de F(S) en km/h para distintas velocidades c-izquierdo**

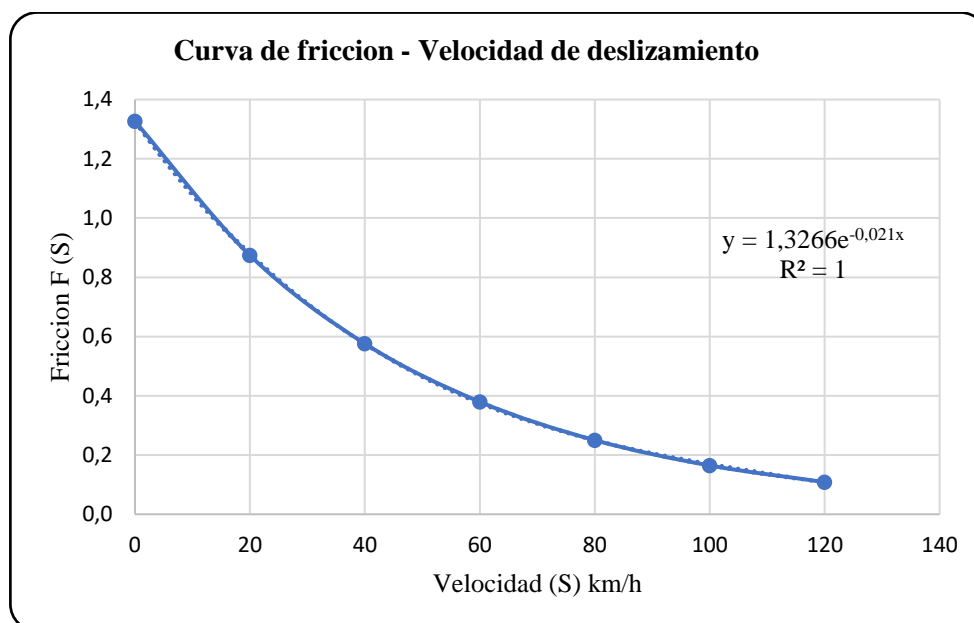
<b>S</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
<b>F (S)</b>	<b>1,327</b>	<b>0,874</b>	<b>0,576</b>	<b>0,38</b>	<b>0,25</b>	<b>0,165</b>	<b>0,109</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0,373

Velocidad máxima segura = 60,42 km/h

En el siguiente gráfico se muestra como varía el coeficiente de fricción en función a la velocidad.

**Gráfico 3.10: Fricción en función de la velocidad c-izquierdo**

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI

El desarrollo se llevara a cabo en base al procedimiento de la norma ASTM D6433-07, el cual se detalla a continuación:

#### 3.5.1 Unidades de Muestreo

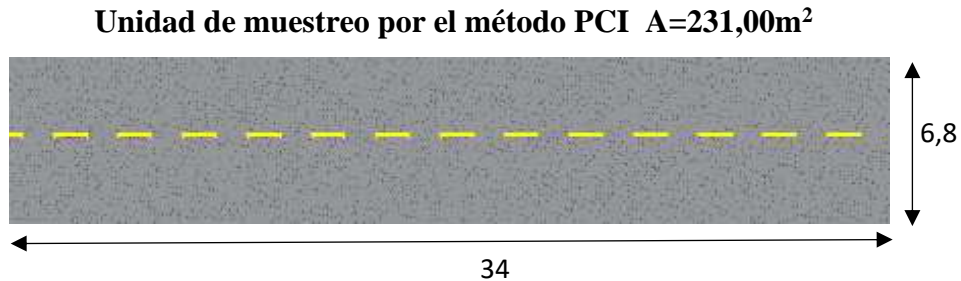
Las áreas de muestreo según el método PCI del cuerpo de la armada de los Estados Unidos deben tener una superficie comprendida entre el rango de  $230 \pm 93 \text{ m}^2$ , como se observa en el Cuadro 3.5, que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada.

**Cuadro 3.4: Rangos de unidad de muestreo**

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,00	46,00
5,50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30 (máx.)	31,50

*Fuente: Vásquez L. R. (2002).*

En función a las medidas tomadas del ancho de la calzada del pavimento en el tramo “Cañas – Chaguaya” es de 6,80 m para fines prácticos se optó por tomar una longitud de muestreo de 34 m para cada una de las áreas.



Consiguiendo de esta manera un área de  $231,20\text{ m}^2$  que está dentro del rango establecido por el método PCI, con el fin de uniformizar las secciones de estudio se usará un área uniforme de  $231,00\text{ m}^2$ .

Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento:

$$N = \frac{7200}{34} = 211,76 \approx 212$$

Determinación de las unidades de muestreo para evaluación:

$$n = \frac{(N * \sigma^2)}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

$$n = \frac{212 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (212 - 1) + 10^2} = 14,94 \approx 15$$

Intervalo de muestreo:

$$i = \frac{212}{15} = 14,13 \approx 14$$

El número mínimo de muestreo (n) es de 14, por lo que se adoptó una muestra más para poder identificar más fallas, entonces el número de muestras (n) será de 15 unidades.

### **3.5.2 Procedimiento de evaluación**

Se inspecciono cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas, para medir el tipo, cantidad y severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI.

Posteriormente registre los datos en una planilla de toma de datos para cada una de las unidades de muestreo que fueron señaladas en el pavimento e identificadas por medio de un código, por ejemplo, U-1 (Unidad de muestra N°1). Esto permitió su fácil localización en caso se quiera verificar alguna información para los ensayos posteriores, se registró el tipo de falla, su extensión y severidad, además de tomar en cuenta todas las medidas de seguridad para una buena inspección de las áreas de muestreo, en la Figura 2.15 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

### **3.5.3 Procedimiento de cálculo**

Se procedió a calcular para cada falla de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas los valores deducidos VD, los valores deducidos corregidos CDV, el número de valores deducidos ( $q$ ) mayores que 2, y con el valor deducido total y el máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente PCI en el tramo de estudio.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

Deben totalizarse cada uno de los tipos de falla y su severidad y registrarlos en las casillas correspondientes. Los daños pueden ser medidos en área o longitud y por su número según el tipo de falla existente.

Se puede observar visualmente las fallas encontradas en el Anexo 9.

**Tabla 3.39: Cuantificación de fallas de la muestra N° 2**

<b>Tramo:</b> Cañas-Chaguaya		<b>Unidad de muestreo:</b> U-2			
<b>Realizado por:</b> Abigail Leyton Choque		<b>Área de la muestra:</b> 231 m <sup>2</sup>			
<b>Ancho de la vía:</b> 6,80m		<b>Progresivas:</b> 0+510-0+544			
<b>Fecha:</b> 23/5/2021					
<b>Long. del tramo:</b> 34 m					
Tipos de fallas					
1	Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	11	Baches y zanjas reparadas	
2	Exudación	m <sup>2</sup>	12	Agregados pulidos	m <sup>2</sup>
3	Fisuramiento en bloque	m <sup>2</sup>	13	Huecos	N°
4	Abultamientos - hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>
5	Corrugación	m <sup>2</sup>	15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
6	Depresión	m <sup>2</sup>	16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>
7	Grieta de borde	m	17	Fisuramiento de resbalamiento	m <sup>2</sup>
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desmoronamiento / intemperismo	m <sup>2</sup>
10	Grietas longitudinales y transversales	m			
Falla		Unidad	Severidad	Total	Densidad %
Piel de cocodrilo		m <sup>2</sup>	L	11,33	4,90
Piel de cocodrilo		m <sup>2</sup>	M	1,93	0,83
Grieta longitudinal y/o transversal		m	M	0,68	0,29

*Fuente: Elaboración propia.*

Para la obtención de la densidad se debe dividir cada uno de los daños en cada nivel de severidad especificado, entre el área de la unidad de muestreo en la que se trabaja, esta densidad se expresa en porcentaje.

#### **Cálculo de la densidad:**

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de falla (tipo y severidad)}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} * 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{11,33}{231} * 100$$

$$\text{Densidad} = 4,90\%$$

### **Determinación de valores deducidos (VD)**

Para obtener el valor de deducción se debe entrar a la gráfica con el valor de densidad y proyectar una línea vertical hasta que intercepte con la densidad de la falla, este tipo de falla se encuentra en el nivel de severidad “media”, para obtener el valor deducido mediante el gráfico se proyecta una línea horizontal hasta que intercepte el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala de “Valor de deducción”.

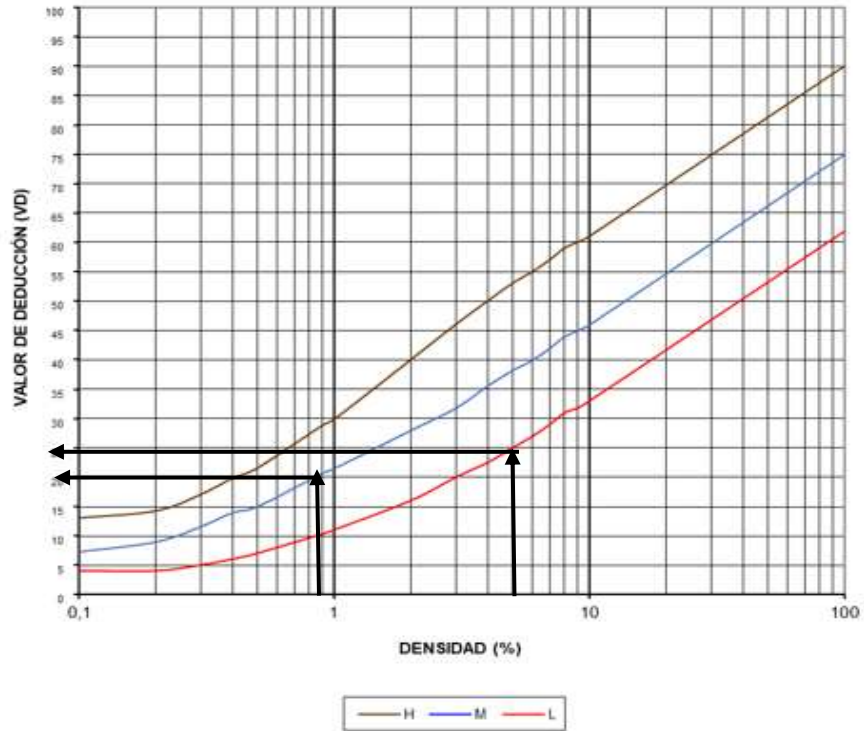
### **Piel de cocodrilo**

**Tabla 3.40: Severidad y densidad falla piel de cocodrilo**

<b>Falla</b>	<b>Densidad %</b>
1L	4,90
1M	0,83

*Fuente: Elaboración propia.*

Con estos datos vamos a la gráfica para determinar los valores deducidos.

**Gráfico 3.11: Curva de VC tipo de falla piel de cocodrilo**

*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Tabla 3.41: Valores deducidos falla piel de cocodrilo**

Falla	VD
1L	25,58
1M	20,06

*Fuente: Elaboración propia.*

### Grieta longitudinal y/o transversal

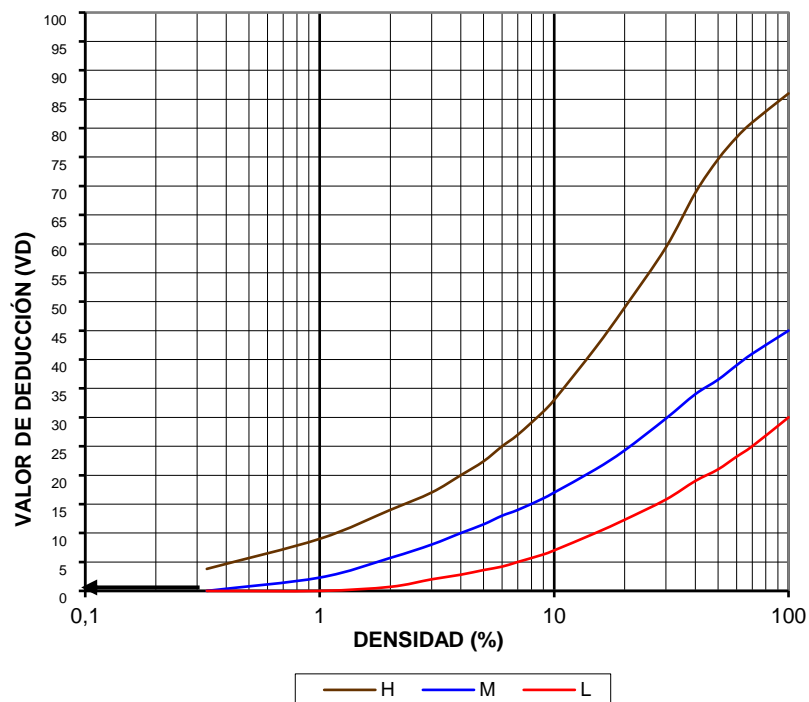
**Tabla 3.42: Severidad y densidad falla grieta longitudinal y/o transversal**

Falla	Densidad %
10M	0,29

*Fuente: Elaboración propia.*

Con estos datos vamos a la gráfica para determinar los valores deducidos.



**Gráfico 3.12: Valores deducidos falla grieta longitudinal y/o transversal**

Fuente: Vásquez, L. R. (2002).

**Tabla 3.43: Valores deducidos falla grieta longitudinal y/o transversal**

Falla	VD
10M	0

Fuente: Elaboración propia.

### Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

Se procede a colocar los valores deducidos de mayor a menor, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.44: Resumen de valores deducidos**

Falla	VD
1L	25,58
1M	20,06

Fuente: Elaboración propia.

Se determina el número máximo admisible de valores deducidos ( $m$ ) utilizando la siguiente ecuación:

$$m = 1,00 + \frac{9}{98} (100 - HDV)$$

$$HDV = 25,58$$

$$m = 1,00 + \frac{9}{98} (100 - 25,58)$$

$$m = 7,83$$

Una vez registrados todos los valores deducidos del área de muestra, debe tomarse en cuenta si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” son mayores que 2, se usa el valor deducido total en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), de lo contrario se colocan en orden descendente los valores deducidos mayores de 2 hasta que se cumpla la igualdad a 1.

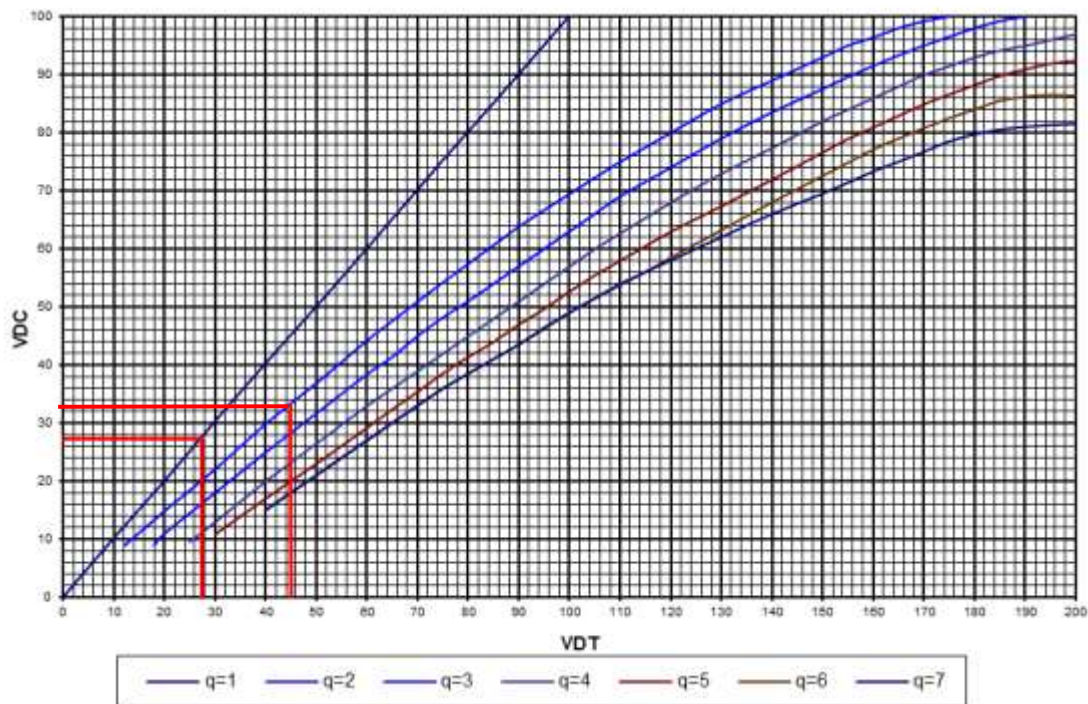
**Tabla 3.45: Resultados de valor deducido corregido (VDC)**

Valores deducidos								VDT	Q	VDC
25,58	20,06	0						<b>45,64</b>	<b>2</b>	<b>33,95</b>
25,58	2	0						<b>27,58</b>	<b>1</b>	<b>27,58</b>
								<b>HDV</b>	<b>33,95</b>	
								<b>PCI</b>	<b>66</b>	
								Clasificación <b>BUENO</b>		

*Fuente: Elaboración propia.*

Para cada valor individual se determinó el valor deducido corregido en el gráfico. (Ver Gráfico 3.14), de los valores deducidos corregidos se escoge el “máximo valor deducido corregido (CDV)” para determinar el PCI, restando 100 al valor deducido corregido máximo obtenido.

**Gráfico 3.13: Curva de obtención del valor deducido corregido (VDC)**



*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

El valor de PCI obtenido de la unidad de muestra 2 es igual 66, según el siguiente esquema la condición de la unidad de muestra del pavimento está en estado bueno (entre 70 - 55).

**Cuadro 3.5: Rango de calificación de PCI**

Rango	Clasificación	Simbología
100 – 85	Excelente	
85 – 70	Muy Bueno	
70 – 55	Bueno	
55 – 40	Regular	
40 – 25	Malo	
25 – 10	Muy Malo	
10 – 0	Fallado	

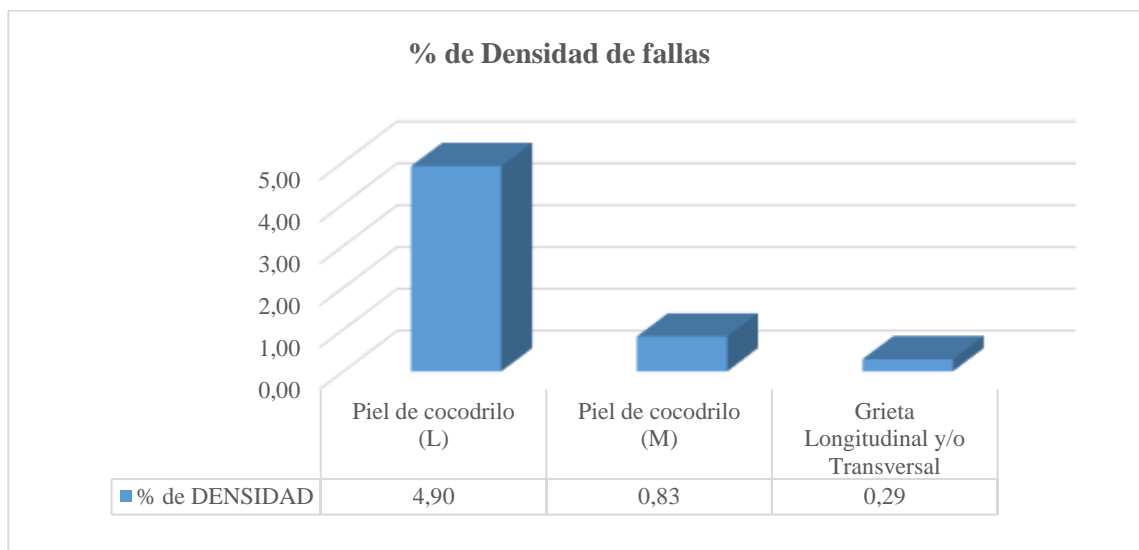
*Fuente: Vásquez, L. R. (2002).*

**Figura 3.29: Resultados de la unidad de muestreo N° 2****INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)**

**NOMBRE DE LA VIA:** CAÑAS-CHAGUAYA  
**REALIZADO POR:** ABIGAIL LEYTON CHOQUE  
**UNIDAD DE MUESTREO:** U-2  
**ANCHO VIA:** 6,80m **LONG. TRAMO:** 34m **AREA DE LA MUESTRA:** 231 m<sup>2</sup>  
**FECHA:** 23/5/2021 **PROGRESIVAS:** 0+510 - 0+544

TIPOS DE FALLAS							
1	Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	11	Baches y zanjas reparadas	m <sup>2</sup>		
2	Exudación	m <sup>2</sup>	12	Agregados pulidos	m <sup>2</sup>		
3	Fisuramiento en bloque	m <sup>2</sup>	13	Huecos	N°		
4	Abultamientos - Hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>		
5	Corrugación	m <sup>2</sup>	15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>		
6	Depresión	m <sup>2</sup>	16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>		
7	Grieta de borde	m	17	Fisuramiento de Resbalamiento	m <sup>2</sup>		
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>		
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desmoronamiento / Intemperismo	m <sup>2</sup>		
10	Grietas longitudinales y Transversales	m					
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES							
Falla	Unidad	Severidad	LARGO m	ANCHO m	PROF. m	TOTAL	
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	L	10,30	1,10		11,33	
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	M	0,70	0,50		0,35	
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	M	1,90	0,83		1,58	
Grieta Longitudinal y/o Transversal	m	M	2,10	0,25		0,53	
Grieta Longitudinal y/o Transversal	m	M	0,50	0,30		0,15	
VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES							
Falla	Unidad	Severidad	TOTAL	Densidad %	VD	VDT	q
Piel de cocodrilo (L)	m <sup>2</sup>	L	11,33	4,90	25,58	45,64	2
Piel de cocodrilo (M)	m <sup>2</sup>	M	1,93	0,83	20,06		
Grieta Longitudinal y/o Transversal	m	M	0,68	0,29	0		
						m	7,83
CALCULO DEL PCI							
VALORES DEDUCIDOS					VDT	Q	CVD
25,58	20,06	0			45,64	2	33,95
25,58	2	0			27,58	1	27,58
					<b>HDV</b>	<b>33,95</b>	
					<b>PCI</b>	<b>66</b>	
					<b>CLASIFICACIÓN BUENO</b>		

Fuente: elaboración propia.

**Gráfico 3.14: Representación gráfica porcentual de fallas para la muestra N° 2**

*Fuente: elaboración propia.*

Se repite el mismo procedimiento de cálculo para las 14 unidades de muestras restantes para el tramo “Cañas – Chaguaya”. El cálculo de las mismas se encuentra en Anexos (ver Anexo 5).

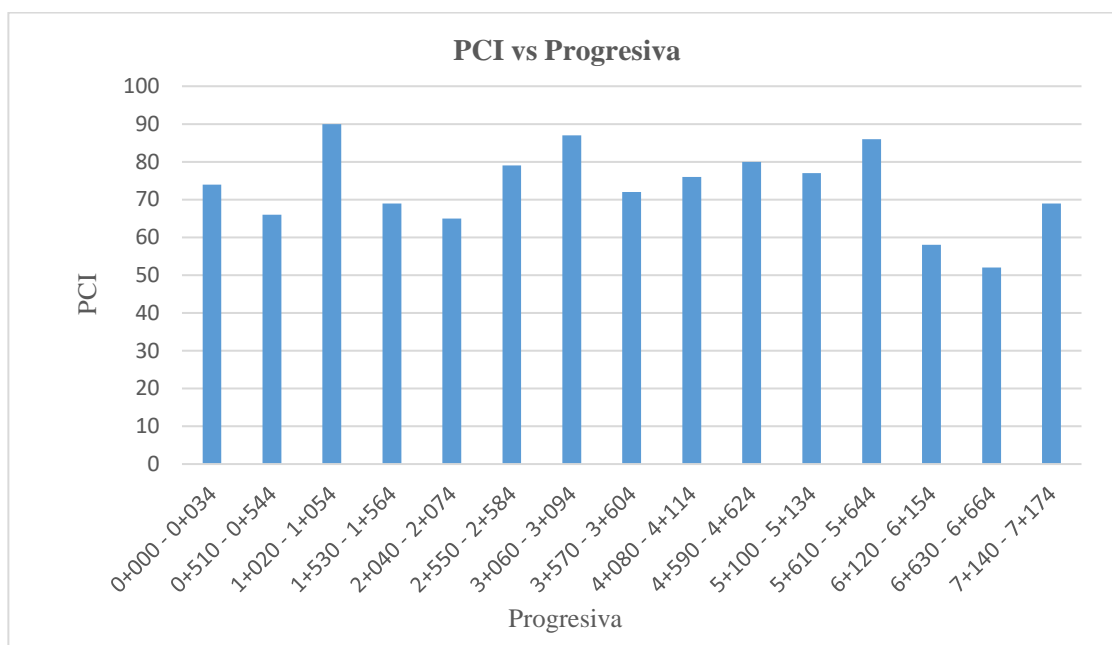
### **Resultados parciales del PCI**

A continuación, se muestra la tabla resumen de los resultados para las unidades de muestreo.

**Tabla 3.46: Resultados del índice de condición del pavimento (PCI)**

Unid.	Progresiva		Fallas principales	PCI	Calificación	
	Inicio	Final				
1	0+000	0+034	Grietas, Depresión, Ahuellamiento.	74	MUY BUENO	
2	0+510	0+544	Piel de Cocodrilo, Grietas.	66	BUENO	
3	1+020	1+054	Fisuramiento en Bloque, Grietas, Exudación, Baches.	90	EXELENTE	
4	1+530	1+564	Piel de Cocodrilo, Ahuellamiento, Grietas.	69	BUENO	
5	2+040	2+074	Exudación, Piel de Cocodrilo, Grietas, Intemperismo, Desnivel, Ahuellamiento.	65	BUENO	
6	2+550	2+584	Piel de Cocodrilo, Baches, Grietas, Intemperismo.	79	MUY BUENO	
7	3+060	3+094	Grietas, Intemperismo.	87	EXELENTE	
8	3+570	3+604	Grietas, Exudación, Ahuellamiento.	72	MUY BUENO	
9	4+080	4+114	Baches, Piel de Cocodrilo.	76	MUY BUENO	
10	4+590	4+624	Intemperismo, Exudación, Desnivel, Grietas.	80	MUY BUENO	
11	5+100	5+134	Piel de Cocodrilo, Huecos, Grietas.	77	MUY BUENO	
12	5+610	5+644	Baches, Grietas.	86	EXELENTE	
13	6+120	6+154	Exudación, Desnivel, Grietas.	58	BUENO	
14	6+630	6+664	Piel de Cocodrilo, Grietas, Desmoronamiento, Desnivel, Ahuellamiento.	52	REGULAR	
15	7+140	7+174	Exudación, Grietas.	69	BUENO	
<b>PCI</b>				<b>73</b>	<b>MUY BUENO</b>	

*Fuente: elaboración propia.*

**Gráfico 3.15: Representación gráfica del comportamiento del PCI**

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.47: Cuantificación de fallas según su severidad**

Tipo de falla	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	37,04	7,45	
Exudación	m <sup>2</sup>		337,34	
Fisuramiento en bloque	m <sup>2</sup>	12,6		
Depresión	m <sup>2</sup>			2,00
Grieta en borde	m	3,38	52,50	
Desnivel carril/berma	m	59,56		
Grieta longitudinal/transversal	m	3,41	37,76	
Baches y zanjas reparadas	m <sup>2</sup>	4,83	2,92	3,09
Ahuellamiento	m <sup>2</sup>	53,64	2,00	
huecos	N°	0,16		
Fisuramiento de resbalamiento	m <sup>2</sup>	9,16		
Desmoronamiento / intemperismo	m <sup>2</sup>	145,17		
Total=		328,94	349,71	5,09

*Fuente: elaboración propia.*

El total de fallas de severidad media y alta es 354,81 m<sup>2</sup> y de grietas de severidad media es 90,25 m.

**Tabla 3.48: Porcentaje de fallas**

<b>Tipo de falla</b>	<b>%</b>
Fisuras	45,25
Exudación	21,38
Depresión	1,36
Desnivel carril/berma	2,87
Baches y zanjas reparadas	6,79
Ahuellamiento	8,23
huecos	0,26
Desmoronamiento / intemperismo	13,85

*Fuente: elaboración propia.*

### **Análisis de los resultados método PCI**

De la cuantificación global de fallas las más frecuentes son las grietas de borde con una severidad media. Las operaciones de rehabilitación y mantenimiento para este tipo de falla cuando se encuentran en una severidad baja de agrietamiento (mayor a 3 mm); se debe realizar un sellado, en una severidad media se debe realizar un sellado o parcheo de profundidad parcial y para los de severidad alta se debe hacer un parcheo profundo.

En segundo lugar, están las grietas longitudinales y/o transversales también de nivel medio. Las causas de éstas; generalmente son debido a la debilidad de la junta entre capas contiguas del pavimento, el tendido de material tiene incidencia en este tipo de falla. La deficiencia en el drenaje del pavimento, producen filtraciones subterráneas que ocasiona que las piedras cambien su posición, este factor influye en la mayor parte de las fallas. Se realiza la misma operación de mantenimiento y rehabilitación que en el caso de grietas de borde.

Depresión y baches ambos con una severidad alta ocupan una pequeña cantidad de área del pavimento, el valor del PCI obtenido fue alto es decir la condición del pavimento es bueno. No importa el nivel de severidad que tengan, incluso un nivel bajo causa un daño significativo a la pista. Este tipo de fallas afectan tanto a la estructura del pavimento



(capas del paquete estructural) como a la serviciabilidad del mismo, pues el usuario no se siente cómodo ni seguro, al transitar sobre el pavimento deteriorado.

En las unidades de muestra donde se encontraron fallas funcionales (exudación, hinchamiento), es necesario que las densidades sean elevadas y las fallas de alta intensidad, para que influyan en el deterioro del pavimento. Por el mismo hecho de ser fallas funcionales, es decir, de afectar sólo la serviciabilidad de la vía, no producen daño importante en las capas del paquete estructural. Si una falla funcional de baja severidad afecta a toda una unidad de muestra, el usuario puede transitar sobre el pavimento, sin mucha incomodidad.

En la Tabla 3.46 se muestra el cuadro resumen de las fallas encontradas y los resultados. De estos resultados se obtiene un PCI promedio de 73, calificado como Muy Bueno, es decir el pavimento no presenta fallas considerables y brindan al usuario la comodidad necesaria al transitar.

### **3.6 PROPUESTA DE MEJORAS A REALIZAR**

#### **➤ Limpieza y deshierbe**

Este trabajo consiste en el corte de arbustos y malezas existentes en las bermas, limpieza de alcantarillas que se encuentren en el camino, cunetas revestidas, cordón cunetas. Estos trabajos se enfocan en la limpieza de todo sedimento y maleza acumulada a lo largo de las bermas, alcantarillas que se encuentren en el camino, cunetas revestidas, dejando las mismas en perfectas condiciones para el escurrimiento de las aguas y el paso peatonal.

#### **Materiales**

Los materiales obtenidos como resultado de la ejecución de los trabajos de desbroce y limpieza, se depositarán de acuerdo con lo establecido por el Supervisor.

El volumen obtenido por esta labor no se depositará por ningún motivo en lugares donde interrumpa alguna vía altamente transitada o zonas que sean utilizadas por la población como acceso a centros de importancia social, salvo si el supervisor lo autoriza por circunstancias de fuerza mayor.

## Equipo

El equipo empleado para la ejecución de los trabajos de desbroce y limpieza deberá ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere la aprobación previa del Supervisor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajuste al programa de ejecución de los trabajos. Los equipos que se empleen deben contar con adecuados sistemas de silenciadores, sobre todo si se trabaja en zonas vulnerables o se perturba la tranquilidad del entorno.

## Procedimiento

Antes de iniciar los trabajos de limpieza, el Supervisor señalará; los límites correspondientes de trabajo, los objetos que deben permanecer en el lugar y las alcantarillas, cunetas revestidas, cordón de cunetas que requieran limpieza.

Se efectuará la limpieza, de la franja de dominio en lo ancho que corresponda, en las zonas donde los suelos son fácilmente erosionables, estos trabajos deberán realizarse en el ancho mínimo, a los efectos de mantener la mayor superficie posible, con la cubierta vegetal existente, como medio de evitar la erosión.

## Medición

La medición de los trabajos comprendidos en este ítem, por la cantidad de m<sup>2</sup> terminados y aceptados.

**Tabla 3.49: Volumen de limpieza y deshierbe**

Actividad	Unidad	N° de veces	Largo	Ancho	Vol. parcial	Vol. total
<b>LIMPIEZA Y DESHIERBE</b>	m <sup>2</sup>					<b>7200,00</b>
carril de ida		1	3600,00	1,00	3600,00	
carril de vuelta		1	3600,00	1,00	3600,00	

*Fuente: elaboración propia.*

### **Grietas longitudinales y transversales**

Las Fisuras longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por, una junta de carril del pavimento pobremente construida, contracción de la superficie de concreto asfálticos debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

### **Grietas en los bordes**

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0,30 m y 0,60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

### **Reparación recomendada**

Para las fallas fisuras longitudinales y transversales y en los bordes de severidad leve, media y alta.

#### **➤ Sellado de fisuras y grietas**

### **Personal**

- Superintendente de obra.
- Operador.
- Chofer.
- Peón.

## **Equipo**

- Camión volqueta 10 m<sup>3</sup>.
- Compactador neumático o rodillo liso.
- Compresor de aire 198 cfm.
- Calentador de asfalto.
- Distribuidor de arena.
- Sierra circular.

## **Procedimiento**

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- Se rellena las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- Se aplica una capa de pega.
- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla.
- El parche terminado se compacta hasta emparejarlo con la superficie circundante.

## **Piel de cocodrilo**

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo.

## **Reparación recomendada**

Para la falla piel de cocodrilo de severidad leve y media.

- **Bacheo superficial (reparación provisional) para superficies con grietas de más de tres milímetros de ancho.**

## **Personal**

- Superintendente de obra.
- Operador.
- Chofer.
- Peón.

## **Equipo**

- Camión volqueta 10 m<sup>3</sup>.
- Compactador neumático o rodillo liso.
- Cortadora de asfalto 13hp.
- Compresor de aire 198 cfm.
- Placa vibratoria.

## **Procedimiento**

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resulten con caras verticales.
- Se limpia el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- Se usa el cepillo para extender sobre las grietas, material asfáltico de gradación fina, mezclado en planta.
- Se compacta con un compactador vibrante plano, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- Se aplica una capa de pega.

- Se coloca un parche delgado con material asfáltico mezclado en caliente en planta. Si no se dispone de este material, se utiliza mezcla con asfalto líquido. Antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente, removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- Se compacta el parche con un compactador vibrante plano. Si no se dispone de ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla.

Se cuenta con el total del área afectada y análisis de precios unitarios para cada tipo de trabajo de mantenimiento y rehabilitación para las fallas y nivel de severidad, para observar a detalle los precios unitarios en cada módulo ver el Anexo 8.

El presupuesto es presentado a continuación en el siguiente cuadro:

**Tabla 3.50: Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación**

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	P. parcial
>	<b>M01 - Trabajos preliminares</b>				<b>26949,12</b>
1	Limpieza y deshierbe	m <sup>2</sup>	7200	2,69	19393,88
2	Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	354,80	21,29	7555,25
>	<b>M02 - Movimiento de tierras y demolición</b>				<b>8572,13</b>
3	Demolición de carpeta asfáltica	m <sup>2</sup>	354,80	24,16	8572,13
>	<b>M03 - Sellado de fisuras</b>				<b>91882,40</b>
4	Imprimación bituminosa	m <sup>2</sup>	354,80	9,11	3231,10
5	Bacheo superficial	m <sup>2</sup>	354,80	245,17	86985,65
6	Sellado de fisuras	m	90,25	18,46	1665,64
>	<b>M04 - Señalización horizontal</b>				<b>140372,90</b>
7	Pintado de líneas continuas e=0,10m	m	14400	6,50	93581,93
8	Pintado de líneas discontinuas e=0,10m	m	7200	6,50	46790,97
	<b>Total, presupuesto:</b>				<b>267776,54</b>
	Doscientos sesenta y siete mil setecientos setenta y seis 54/100 Bs.				

*Fuente: www.cadecolp.com*

### 3.7 ANÁLISIS DE LAS DEFLEXIONES

Las mediciones de campo se efectuaron usando la viga Benkelman, de la universidad Juan Misael Saracho (UAJMS). Se realizaron las mediciones en el carril izquierdo y derecho, haciendo un total de 73 lecturas para cada lado, que fueron evaluados a una cierta distancia de la berma hacia dentro del carril.

#### 3.7.1 Lecturas con la viga Benkelman para el carril derecho E-1

**Tabla 3.51: Datos de la viga Benkelman para el c-derecho estación 1**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES EN SU PAVIMENTO</b>										
<b>Tramo:</b> Cañas-Cruce a Chaguaya										
<b>Consultor:</b> Abigail Leyton Choque										
<b>DEFLEXIONES EN TRATAMIENTO SUPERFICIAL</b>										
<b>Equipo:</b> Viga Benkelman						<b>Separación:</b> C/100 mts.				
<b>Fecha:</b> 27-02-2021						<b>Progresiva:</b> 0+000 al 3+600				
						<b>Carril:</b> Derecho ida				

N°	Progr.	Lado	e <sub>C.A</sub>	Temp. Asf.	datos de campo					
					0,01 mm					
	Km.		cm.	°C	L0	L50	L100	L150	L200	L>200
1	0+000	DER	3,5	35	0	18	2	22	0	11
2	0+100	DER	3,5	35	4	10	4	10	18	21
3	0+200	DER	3,5	35	8	23	29	17	10	0
4	0+300	DER	3,5	35	0	19	14	11	2	2
5	0+400	DER	3,5	35	2	16	12	24	8	2
6	0+500	DER	3,5	35	8	19	14	10	49	8
7	0+600	DER	3,5	35	18	2	8	0	24	2
8	0+700	DER	3,5	35	2	13	21	17	11	0
9	0+800	DER	3,5	35	2	12	2	10	23	4
10	0+900	DER	3,5	35	8	14	22	4	10	2
11	1+000	DER	3,5	35	6	10	4	18	2	4
12	1+100	DER	3,5	35	2	19	14	11	2	0
13	1+200	DER	3,5	35	2	14	17	23	6	4
14	1+300	DER	3,5	35	0	17	21	9	7	4
15	1+400	DER	3,5	35	2	12	17	2	9	13
16	1+500	DER	3,5	39	6	16	32	14	10	2
17	1+600	DER	3,5	39	0	15	10	7	9	4
18	1+700	DER	3,5	39	4	13	14	20	15	2
19	1+800	DER	3,5	39	0	10	2	16	4	2



20	1+900	DER	3,5	39	2	11	15	21	10	0
21	2+000	DER	3,5	39	10	12	17	23	25	6
22	2+100	DER	3,5	39	2	14	12	17	15	9
23	2+200	DER	3,5	39	0	12	18	15	11	7
24	2+300	DER	3,5	39	2	16	13	8	4	0
25	2+400	DER	3,5	39	0	15	19	21	16	2
26	2+500	DER	3,5	40	0	10	12	17	8	6
27	2+600	DER	3,5	40	4	12	18	11	9	3
28	2+700	DER	3,5	40	7	6	14	16	2	4
29	2+800	DER	3,5	40	2	18	21	12	6	0
30	2+900	DER	3,5	40	4	9	20	13	16	2
31	3+000	DER	3,5	44	4	54	2	2	14	2
32	3+100	DER	3,5	44	2	16	22	10	9	0
33	3+200	DER	3,5	44	0	16	8	7	2	0
34	3+300	DER	3,5	44	13	2	4	17	21	8
35	3+400	DER	3,5	44	8	15	22	4	2	0
36	3+500	DER	3,5	46	11	2	4	8	17	2
37	3+600	DER	3,5	46	16	8	20	13	12	0

*Fuente elaboración propia.*

### 3.7.2 Procedimiento de cálculo

Una vez recogidos los datos de campo se procede a calcular la deflexión máxima y el radio de curvatura a continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de los mismos:

#### Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_0 = K * (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}})$$

$$D_0 = 1,00 * (22 - 0)$$

$$D_0 = 22 * 10^{-2} \text{mm}$$

#### Deflexión a la distancia de 25 cm:

$$D_{25} = \frac{L_0 + L_{25}}{2}$$

$$D_{25} = \frac{0 + 18}{2}$$

$$D_{25} = 9,00 * 10^{-2} \text{ mm}$$

### **Cálculo del radio de curvatura:**

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0,25 m a partir del punto de máxima deflexión.

$$Rc = \frac{6250}{K * (D_0 - D_{25})}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (22 - 9)}$$

$$Rc = 240,38 \text{ m}$$

$$100 < Rc < 500$$

Se puede verificar que el radio de curvatura calculado se encuentra en el rango adecuado.

### **Factor de corrección por estacionalidad:**

Según el estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizan los ensayos, para el caso ensayo del tramo Cañas – Chaguaya, realizando la clasificación del suelo de subrasante según AASHTO es un suelo arenoso, en función a los datos obtenidos se adopta un factor de corrección por estacionalidad (fce) = 1

### **Factor de corrección por temperatura:**

$$D_{0'} = \frac{D_0}{K * (t - 20^\circ\text{C}) * e + 1}$$

$$D_{0'} = \frac{22}{0,001 * (35 - 20) * 3,5 + 1}$$

$$D_{0'} = 20,90 * 10^{-2} mm$$

$$D_{25'} = \frac{D_{25}}{K * (t - 20^{\circ}C) * e + 1}$$

$$D_{25'} = \frac{9,00}{0,001 * (35 - 20) * 3,5 + 1}$$

$$D_{25'} = 8,55 * 10^{-2} mm$$

$$Rc' = \frac{6250}{K * (D_{0'} - D_{25'})}$$

$$Rc' = \frac{6250}{2 * (20,90 - 8,55)}$$

$$Rc' = 253,00 m$$

### **Deflexión admisible:**

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la expresión que define este parámetro viene dada por la siguiente fórmula propuesta por Yang H. Huang:

$$D_{adm} = 26,32202 * N^{18^{-0,2438}}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  =Deflexión admisible de la estructura de referencia, mm.

N =Número de Ejes Equivalentes de 8,2 Ton para un periodo de diseño.

De los datos aforados del tráfico vehicular en la estación 1 progresiva 3+500, se determinó el Número de Ejes Equivalentes igual a 969050 para un periodo de vida útil de 20 años.

$$D_{adm} = 26,32202 * 969050^{-0,2438}$$

$$D_{adm} = 0,91 \text{ mm}$$

$$D_o < D_{adm}$$

$$20,90 * 10^{-2} \text{ mm} < 0,91 \text{ mm}$$

La deflexión máxima para la primera medición es menor a la deflexión admisible, por lo tanto, se encuentra por debajo de su capacidad estructural.

El pavimento del tramo “Cañas - Cruce” tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las sollicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

### 3.7.3 Resultado de las deflexiones para el carril derecho (E-1)

**Tabla 3.52: Resultados de las deflexiones tabuladas estación 1**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES EN SU PAVIMENTO</b>							
<b>Tramo:</b> Cañas – Cruce a Chaguaya							
<b>Consultor:</b> Abigail Leyton Choque							
DEFLEXIONES EN TRATAMIENTO SUPERFICIAL							
<b>Equipo:</b>	Viga Benkelman			<b>k:</b> 1			
<b>Progresiva:</b>	0+000 al 3+600			<b>Coef. de estacionalidad:</b> 1			
<b>Carril:</b>	Derecho						
N°	Progr.	Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. a 20 °C		
	Km.	Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (m)
1	0+000	22,00	9,00	240,38	20,90	8,55	253,00
2	0+100	17,00	7,00	312,50	16,15	6,65	328,91
3	0+200	29,00	15,50	231,48	27,55	14,73	243,63
4	0+300	19,00	9,50	328,95	18,05	9,03	346,22
5	0+400	22,00	9,00	240,38	20,90	8,55	253,00
6	0+500	41,00	13,50	113,64	38,95	12,83	119,60
7	0+600	24,00	10,00	223,21	22,80	9,50	234,93
8	0+700	21,00	7,50	231,48	19,95	7,13	243,63
9	0+800	21,00	7,00	223,21	19,95	6,65	234,93

10	0+900	20,00	11,00	347,22	19,00	10,45	365,45
11	1+000	16,00	8,00	390,63	15,20	7,60	411,13
12	1+100	19,00	10,50	367,65	18,05	9,98	386,95
13	1+200	21,00	8,00	240,38	19,95	7,60	253,00
14	1+300	21,00	8,50	250,00	19,95	8,08	263,13
15	1+400	15,00	7,00	390,63	14,25	6,65	411,13
16	1+500	30,00	11,00	164,47	28,13	10,31	175,41
17	1+600	15,00	7,50	416,67	14,06	7,03	444,38
18	1+700	18,00	8,50	328,95	16,88	7,97	350,82
19	1+800	16,00	5,00	284,09	15,00	4,69	302,98
20	1+900	21,00	6,50	215,52	19,69	6,09	229,85
21	2+000	19,00	11,00	390,63	17,82	10,31	416,60
22	2+100	15,00	8,00	446,43	14,06	7,50	476,12
23	2+200	18,00	6,00	260,42	16,88	5,63	277,73
24	2+300	16,00	9,00	446,43	15,00	8,44	476,12
25	2+400	21,00	7,50	231,48	19,69	7,03	246,88
26	2+500	17,00	5,00	260,42	15,89	4,67	278,65
27	2+600	15,00	8,00	446,43	14,02	7,48	477,68
28	2+700	14,00	6,50	416,67	13,08	6,07	445,83
29	2+800	21,00	10,00	284,09	19,63	9,35	303,98
30	2+900	18,00	6,50	271,74	16,82	6,07	290,76
31	3+000	52,00	29,00	135,87	47,97	26,75	147,28
32	3+100	22,00	9,00	240,38	20,30	8,30	260,58
33	3+200	16,00	8,00	390,63	14,76	7,38	423,44
34	3+300	19,00	7,50	271,74	17,53	6,92	294,57
35	3+400	22,00	11,50	297,62	20,30	10,61	322,62
36	3+500	15,00	6,50	367,65	13,75	5,96	401,10
37	3+600	20,00	12,00	390,63	18,33	11,00	426,17

Número de Muestras:	37	37	37
Sumatoria:	721	320	11818
Promedio:	19,49	8,64	319,41
Deflexión Mínima:	13,08	4,67	
Deflexión Máxima:	47,97	26,75	
Desviación Estándar:	6,82	3,73	94,86
Valor Característico:	30,71		

*Fuente: elaboración propia.*

### Deflexión característica

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio =  $19,49 * 10^{-2}$  mm

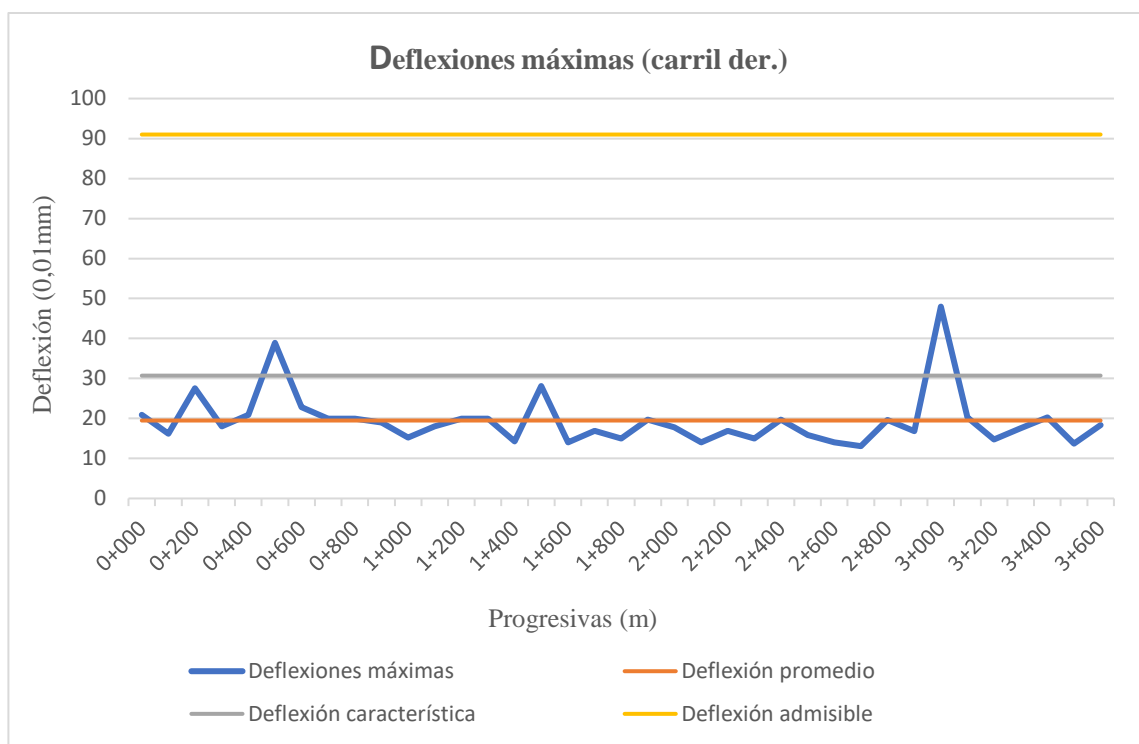
Ds = Desviación estándar =  $6,82 * 10^{-2}$  mm

t = Constante de probabilidad al 95% = 1,645

$$D_c = 19,49 * 10^{-2} + 1,645 * 6,82 * 10^{-2}$$

$$D_c = 30,71 * 10^{-2} \text{ mm}$$

**Gráfico 3.16: Deflexiones máximas vs. progresivas (E-1)**



*Fuente: elaboración propia*

### 3.7.4 Análisis de los resultados de las deflexiones

Después de tabular los datos obtenidos para el tramo “Cañas – Cruce” (carril derecho), la deflexión máxima  $D_o = 47,97 \cdot 10^{-2}$  mm, se encuentra en la progresiva 3+000, y la deformación admisible del tramo obtenida (ejes equivalentes de diseño) que establece un límite para la  $D_{adm} = 0,9138$  mm. Por lo tanto, todas las deflexiones máximas se encuentran por debajo, lo que significa que la estructura es capaz de resistir las solicitaciones de tráfico. Los radios de curvatura en su totalidad son mayores a 100 y menores a 500 m.

### 3.7.5 Datos de campo y cálculo de las deflexiones para el carril derecho E-2

**Tabla 3.53: Datos de la viga Benkelman para el c-derecho estación 2**

<b>ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES EN SU PAVIMENTO</b>												
<b>Tramo:</b>		Cruce a Chaguaya-Chaguaya										
<b>Consultor:</b>		Abigail Leyton Choque										
<b>DEFLEXIONES EN TRATAMIENTO SUPERFICIAL</b>												
<b>Equipo:</b>		Viga Benkelman				<b>Separación:</b> C/100 mts.						
<b>Fecha:</b>		27-02-2021				<b>Progresiva:</b> 3+600 al 7+200						
<b>Carril:</b> Derecho ida												
N <sup>o</sup>	Progr.	lado	e <sub>C.A</sub>	Temp. Asf.	Datos de campo							
	Km.				cm.	°C	0,01 mm					
							L0	L50	L100	L150	L200	L>200
38	3+700	DER	3,5	46	2	7	13	8	0	4		
39	3+800	DER	3,5	46	10	4	2	2	17	8		
40	3+900	DER	3,5	47	13	2	19	2	4	8		
41	4+000	DER	3,5	47	2	7	6	12	0	4		
42	4+100	DER	3,5	48	12	24	40	8	56	10		
43	4+200	DER	3,5	48	2	10	13	15	2	4		
44	4+300	DER	3,5	48	2	7	15	11	4	2		
45	4+400	DER	3,5	41	0	6	2	14	30	0		
46	4+500	DER	3,5	41	2	3	12	10	8	4		
47	4+600	DER	3,5	41	0	14	15	7	6	4		
48	4+700	DER	3,5	47	2	9	12	16	4	2		
49	4+800	DER	3,5	47	4	19	14	6	2	0		
50	4+900	DER	3,5	47	2	15	17	18	7	0		
51	5+000	DER	3,5	47	4	16	21	2	4	6		
52	5+100	DER	3,5	47	2	12	16	14	10	2		

53	5+200	DER	3,5	46	0	11	19	2	0	4
54	5+300	DER	3,5	46	2	7	12	10	8	0
55	5+400	DER	3,5	44	2	15	20	8	2	8
56	5+500	DER	3,5	44	4	10	16	0	4	4
57	5+600	DER	3,5	44	2	18	11	9	6	0
58	5+700	DER	3,5	44	8	7	15	13	2	0
59	5+800	DER	3,5	44	2	14	0	8	4	20
60	5+900	DER	3,5	44	4	18	23	20	4	2
61	6+000	DER	3,5	42	0	16	14	9	2	0
62	6+100	DER	3,5	42	2	21	10	7	11	2
63	6+200	DER	3,5	44	2	14	22	8	2	0
64	6+300	DER	3,5	44	0	8	2	12	0	4
65	6+400	DER	3,5	47	0	16	10	6	2	0
66	6+500	DER	3,5	47	0	13	17	13	9	4
67	6+600	DER	3,5	43	2	20	14	6	2	0
68	6+700	DER	3,5	43	2	12	13	19	8	0
69	6+800	DER	3,5	43	8	11	19	8	4	2
70	6+900	DER	3,5	43	2	13	31	29	6	4
71	7+000	DER	3,5	42	4	18	13	14	7	0
72	7+100	DER	3,5	42	0	11	2	17	13	9
73	7+200	DER	3,5	42	8	14	22	26	10	0

*Fuente: elaboración propia.*

#### **Cálculo de la deflexión máxima:**

$$D_0 = K * (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}})$$

$$D_0 = 1,00 * (13 - 0)$$

$$D_0 = 13,00 * 10^{-2} \text{mm}$$

#### **Deflexión a la distancia de 25 cm:**

$$D_{25} = \frac{L_0 + L_{25}}{2}$$

$$D_{25} = \frac{2 + 7}{2}$$

$$D_{25} = 4,50 * 10^{-2} \text{mm}$$

#### **Cálculo del radio de curvatura:**



la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0.25 m. a partir del punto de máxima deflexión.

$$Rc = \frac{6250}{K * (D_0 - D_{25})}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (13,00 - 4,50)}$$

$$Rc = 367,65 \text{ m}$$

$$100 < Rc < 500$$

Se puede verificar que el radio de curvatura calculado se encuentra en el rango adecuado.

#### **Factor de corrección por estacionalidad:**

Según el estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizan los ensayos, para el caso ensayo del tramo Cañas – Chaguaya, realizando la clasificación del suelo de subrasante según AASHTO es un suelo arenoso, en función a los datos obtenidos se adopta un factor de corrección por estacionalidad (fce) = 1

#### **Factor de corrección por temperatura:**

$$D_{0'} = \frac{D_0}{K * (t - 20^\circ C) * e + 1}$$

$$D_{0'} = \frac{13,00}{0,001 * (46 - 20) * 3,5 + 1}$$

$$D_{0'} = 11,92 * 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25'} = \frac{D_{25}}{K * (t - 20^\circ C) * e + 1}$$

$$D_{25'} = \frac{4,50}{0,001 * (46 - 20) * 3,5 + 1}$$

$$D_{25'} = 4,12 * 10^{-2} mm$$

$$Rc' = \frac{6250}{K * (D_{0'} - D_{25'})}$$

$$Rc' = \frac{6250}{2 * (11,92 - 4,12)}$$

$$Rc' = 401,10 m$$

**Deflexión admisible:**

$$D_{adm} = 26,32202 * N^{18^{-0,2438}}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$ =Deflexión admisible de la estructura de referencia, mm.

N=Número de ejes equivalentes de 8,2 Ton para un periodo de diseño.

De los datos aforados de tráfico vehicular en la progresiva 3+900, se determinó el Número de Ejes Equivalentes igual a 738501 para un periodo de 20 años.

$$D_{adm} = 26,32202 * 738501^{-0,2438}$$

$$D_{adm} = 0,976 mm$$

$$D_o < D_{adm}$$

$$11,92 * 10^{-2} mm < 0,976 mm$$

La deflexión máxima para la primera medición es menor a la deflexión admisible, por lo tanto, se encuentra por debajo de su capacidad estructural.

El pavimento del tramo “Cruce - Chaguaya” tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las sollicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

### 3.7.6 Resultados de las deflexiones para el carril derecho (E-2)

**Tabla 3.54: Resultados de las deflexiones tabuladas estación 2**

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS – CHAGUAYA PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS COMPONENTES EN SU MEJORAMIENTO			
<b>Tramo:</b>	Cruce a Chaguaya-Chaguaya		
<b>Consultor:</b>	Abigail Leyton Choque		
<b>DEFLEXIONES EN TRATAMIENTO SUPERFICIAL</b>			
<b>Equipo:</b>	Viga Benkelman	<b>k:</b>	1
<b>Progresiva:</b>	0+000 al 3+600	<b>Coef. de estacionalidad:</b>	1
<b>Carril:</b>	Derecho		

N°	Progr. Km.	Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. A 20 °C		
		Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (m)
38	3+700	13,00	4,50	367,65	11,92	4,12	401,10
39	3+800	15,00	7,00	390,63	13,75	6,42	426,17
40	3+900	17,00	7,50	328,95	15,53	6,85	360,03
41	4+000	12,00	4,50	416,67	10,96	4,11	456,04
42	4+100	48,00	18,00	104,17	43,72	16,39	114,38
43	4+200	13,00	6,00	446,43	11,84	5,46	490,18
44	4+300	13,00	4,50	367,65	11,84	4,10	403,68
45	4+400	30,00	3,00	115,74	27,95	2,79	124,25
46	4+500	10,00	2,50	416,67	9,32	2,33	447,29
47	4+600	15,00	7,00	390,63	13,97	6,52	419,34
48	4+700	14,00	5,50	367,65	12,79	5,03	402,39
49	4+800	19,00	11,50	416,67	17,36	10,51	456,04
50	4+900	18,00	8,50	328,95	16,45	7,77	360,03
51	5+000	19,00	10,00	347,22	17,36	9,14	380,03
52	5+100	14,00	7,00	446,43	12,79	6,40	488,62
53	5+200	19,00	5,50	231,48	17,42	5,04	252,55
54	5+300	12,00	4,50	416,67	11,00	4,12	454,58
55	5+400	18,00	8,50	328,95	16,61	7,84	356,58
56	5+500	16,00	7,00	347,22	14,76	6,46	376,39
57	5+600	18,00	10,00	390,63	16,61	9,23	423,44
58	5+700	15,00	7,50	416,67	13,84	6,92	451,67
59	5+800	20,00	8,00	260,42	18,45	7,38	282,29
60	5+900	21,00	11,00	312,50	19,37	10,15	338,75
61	6+000	16,00	8,00	390,63	14,86	7,43	420,70
62	6+100	19,00	11,50	416,67	17,64	10,68	448,75
63	6+200	22,00	8,00	223,21	20,30	7,38	241,96
64	6+300	12,00	4,00	390,63	11,07	3,69	423,44

65	6+400	16,00	8,00	390,63	14,62	7,31	427,54
66	6+500	17,00	6,50	297,62	15,53	5,94	325,74
67	6+600	20,00	11,00	347,22	18,51	10,18	375,17
68	6+700	19,00	7,00	260,42	17,58	6,48	281,38
69	6+800	17,00	9,50	416,67	15,73	8,79	450,21
70	6+900	29,00	7,50	145,35	26,84	6,94	157,05
71	7+000	18,00	11,00	446,43	16,71	10,21	480,80
72	7+100	17,00	5,50	271,74	15,78	5,11	292,66
73	7+200	26,00	11,00	208,33	24,14	10,21	224,38

Número de Muestras:	36	36	36
Sumatoria:	605	255	13216
Promedio:	16,80	7,10	367,10
Deflexión mínima:	9,32	2,33	
Deflexión Máxima:	43,72	16,39	
Desviación Estándar:	6,18	2,77	100,79
Valor Característico:	26,97		

*Fuente: elaboración propia*

### **Deflexión característica**

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

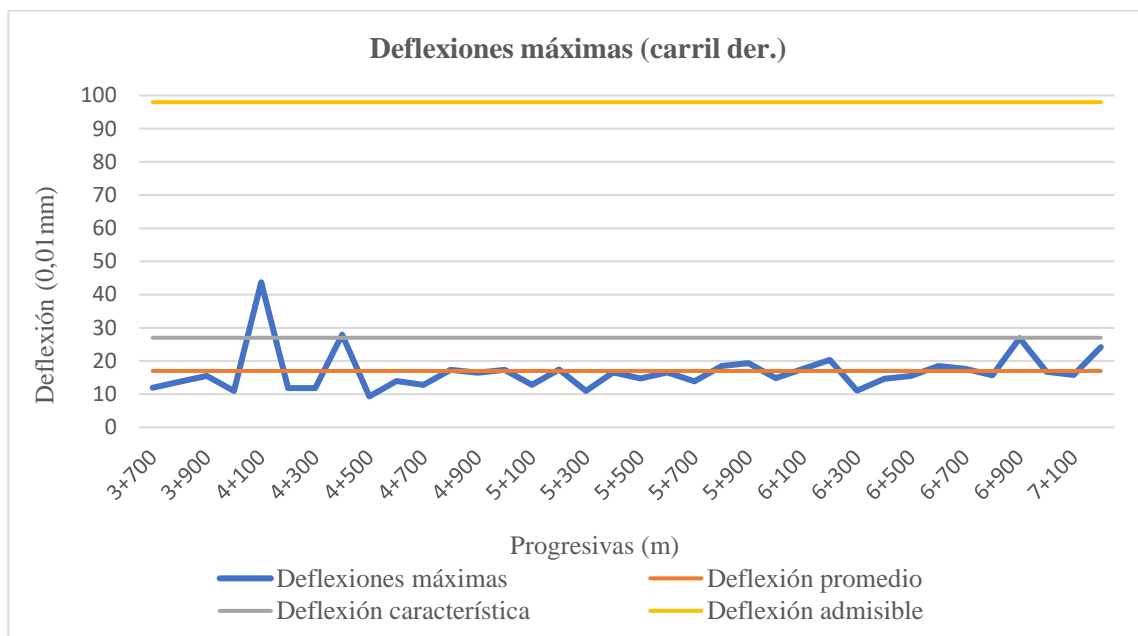
D=Deflexión recuperable promedio =  $16,80 * 10^{-2}$  mm

D<sub>s</sub>=Desviación estándar =  $6,18 * 10^{-2}$  mm

t=Constante de probabilidad al 95% = 1,645

$$D_c = 16,80 * 10^{-2} + 1,645 * 6,18 * 10^{-2}$$

$$D_c = 26,97 * 10^{-2} \text{ mm}$$

**Gráfico 3.17: Deflexiones máximas vs. progresivas (E-2)**

*Fuente: elaboración propia*

### 3.7.7 Análisis de los resultados de las deflexiones

Después de tabular los datos obtenidos para el tramo “Cruce – Chaguaya” (carril derecho), la deflexión máxima  $D_o = 43,72 \cdot 10^{-2}$  mm, se encuentra en la progresiva 4+100; el cual es menor a  $D_{adm} = 0,976$  mm. Por lo tanto, todas las deflexiones máximas se encuentran por debajo de la deformación admisible, lo que significa que la estructura es capaz de resistir las sollicitaciones de tráfico. El valor de radio de curvatura promedio es  $R_c = 367,10$  m por lo tanto se puede indicar que el pavimento evaluado se califica como satisfactorio debido a que cumple con el criterio adoptado valores de radio de curvatura calculados mayores a 100 m y el radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 y 500 m lo que indica un adecuado comportamiento estructural del pavimento evaluado.

Nota: El mismo procedimiento de cálculo se repite para el carril izquierdo, para ver los datos de campo y resultados ver en el Anexo 6.

### 3.7.8 Análisis de los resultados de las deflexiones para el carril izquierdo

De acuerdo con los resultados obtenidos para el tramo “Chaguaya-Cañas” en el carril izquierdo; la deflexión máxima para la estación N°1 es de  $D_{\text{máx}}=38,65 \cdot 10^{-2}$  mm y para la estación N°2  $D_{\text{máx}}=22,84 \cdot 10^{-2}$  mm. Por lo tanto, todas las deflexiones máximas se encuentran por debajo de la deflexión admisible, lo que significa que la estructura es capaz de resistir las sollicitaciones de tráfico. Los radios de curvatura en su totalidad son mayores a 100 y menores a 500 m.

Para sustentar lo mencionado se realizó una calicata del paquete estructural con la finalidad de obtener mayor información que sustente este análisis para lo cual se extrajo material de Subrasante Mejorada, Sub Base y Base Obteniendo % de CBR por encima de lo solicitado para dichas capas y se realiza la siguiente comparación:

**Cuadro 3.6: Requisitos para materiales de base granular**

Ensayo	Requisitos
CBR mínimo	95
Límite plástico	20
Límite líquido	25
Índice de plasticidad máximo	6

*Fuente: Garnica, P., Gómez, J. A. y Sesma, J. A. (2002).*

**Tabla 3.55: Resultados obtenidos (base granular)**

Ensayo	Punto 1	Punto 2	Punto 3
CBR (95%)	41	29	29
Índice de plasticidad máximo	0	0	0

*Fuente: elaboración propia.*

Valores mínimos para la capa Base, según los parámetros de diseño que se muestran en el cuadro el valor del CBR debe ser mayor o igual a 95%, el CBR obtenido para las calicatas realizadas no cumplen el valor requerido, y la clasificación no es la adecuada, razón por la cual es un terreno inestable.

**Cuadro 3.7: Características técnicas de la subrasante y del diseño geométrico**

<b>Características</b>	<b>Requisitos</b>
Tipo de suelo clasificación SUCS	ML o CL
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A4 o A6
CBR mínimo	6%
CBR recomendado	8%

*Fuente: Arguello, J. (2004).*

**Tabla 3.56: Resultados obtenidos (subrasante)**

<b>Características</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>
Tipo de suelo clasificación SUCS	GW	SW	SW
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)
CBR al 95%	83	29	32

*Fuente: elaboración propia.*

La muestra 1, posee una alta resistencia a esfuerzos cortantes. La muestra 2 y 3, pertenece a un suelo arenoso bien graduados con presencia de grava a pesar de que el suelo no corresponda al recomendado, pero tiene un CBR bueno para subrasantes.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

Concluido con el estudio de las condiciones en el tramo vial Cañas – Chaguaya, se llega a las siguientes conclusiones:

- El tráfico que circula por la zona es de 245 vehículos por semana, que se obtuvo de los aforos realizados, el cual ha incrementado a comparación con el último estudio realizado en el año 2012 de 175 vehículos semanal (dato proporcionado por la alcaldía Municipal de Padcaya).
- Los valores de la rugosidad que refleja el ensayo en los segmentos de estudio son constantes, con un promedio de 1,92m/km para el carril de ida y un valor de 1,64m/km para e carril de vuelta; debido a la textura fina de la carpeta asfáltica, que representa un pavimento con una superficie con imperfecciones superficiales.
- De la correlación entre el IRI con el PSI; los valores varian entre 3 y 4, de acuerdo con los valores del IRI de la vía estudiada. Cuando el pavimento de una vía posee valores entre 3 y 4 de PSI, se califica a este pavimento como bueno por lo tanto es apto para brindar las condiones de circulación,esto representa aproximadamente una reducción de 40% de su calidad (de excelente a regular). Por lo tanto requieren trabajos de mantenimientos preventivos.
- Los resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) nos indica que la calificación por textura que presenta el pavimento es de Fina a Media. Por otro lado, la calificación por fricción es baja; se encuentra de Malo (deslizamiento del vehículo) a Bueno; esto significa que en algunos puntos de alta severidad el vehículo en aceleraciones y frenadas fuertes las ruedas pueden deslizar. Mientras que en los puntos de Buena fricción; la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.
- Deduciendo los resultados del IRI obtenidos son valores bajos debido a la textura fina y bajo índice de fricción que presenta la carpeta asfáltica.

- De acuerdo al Índice de Condición de Pavimento (PCI), de las 15 unidades de muestra se obtiene De estos resultados se obtiene un PCI promedio de 73, calificado como Muy Bueno, es decir el pavimento no presenta fallas considerables y brindan al usuario la comodidad necesaria al transitar.
- Las fallas que más predominan a lo largo del tramo son las grietas de borde, las grietas longitudinales y/o transversales, la exudación y el intemperismo con una severidad media – baja.
- El porcentaje de fallas más alto representando el 45,25% del total de fallas observadas pertenece a las fisuras.
- Del total de fallas de severidad media y alta es  $354,81\text{m}^2$  que representa aproximadamente el 1% de pavimento dañado del total del tramo en estudio.
- La totalidad de las deflexiones máximas en los sectores de evaluación se encuentran comprendidas en un rango  $13,08*10^{-2}\text{mm}$  a  $43,97*10^{-2}\text{mm}$ . por debajo de la deflexión admisible para el tramo “Cruce a Chaguaya-Chaguaya” con un valor de 0,94 mm. calculada en función al tránsito para un periodo de diseño de 20 años.
- Para el tramo “Cañas-Cruce a Chaguaya” las deflexiones máximas comprenden un rango de  $9,32*10^{-2}$  a  $38,65*10^{-2}\text{mm}$ . por debajo de lo admisible. Esto no significa que el tramo pueda resistir mayores solicitaciones de carga, sino que a mayor carga el pavimento sufrirá fatiga debido a la acomodación de las partículas, tras repeticiones de cargas.
- Los radios de curvatura están comprendidos entre 114,38 m y 490,18 m valores que están por encima de 100 y debajo de 500 m.
- Después de haber realizado los estudios mencionados anteriormente al pavimento del tramo “Cañas – Chaguaya” se apreció que no se requiere tomar acciones preventivas y correctivas inmediatas, ya que se realizó un tratamiento superficial hace 9 años.
- Finalmente se concluye que los trabajos a realizar en la vía, se contempla en un sellado de fisuras para las fallas de severidad Baja – Media, y un bacheo superficial a aquellas fallas de severidad alta.

## 4.2 RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos del presente estudio se puede recomendar lo siguiente:

- Es de vital importancia conocer datos referentes a inestabilidades, diseños, variantes y acciones anteriores realizadas en la zona de estudio y así saber la realidad sobre la cual se va a trabajar, mismas que son tomadas en cuenta para procesar la información tomada en campo y determinar las acciones óptimas para intervenir en la vía, de esta manera cumplir las necesidades de los usuarios.
- Se recomienda conformar el paquete estructural (base y sub base) de manera adecuada, para evitar daños futuros a la carpeta de rodadura.
- En la apertura de caminos nuevos pavimentados, se recomienda realizar el estudio de suelo y verificar que responda a las solicitaciones de carga previstas para su periodo de diseño.
- Recibir capacitación por un técnico experto para el manejo de los diferentes equipos de ensayo en situ y de laboratorio, para así poder obtener resultados precisos.
- Luego de ser intervenida la vía en mención, es aconsejable realizar monitoreos y evaluaciones periódicas, con la finalidad de dar un mantenimiento eficaz y oportuno, y así evitar daños prematuros y reparaciones que pueden ser generar costos altos.