



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**  
**APLICANDO LA METODOLOGÍA PCI, IRI Y**  
**DEFLECTOMETRIA EN LAS AVS. FLORAL Y EL SOL DE LA**  
**CIUDAD DE PUNO 2019.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ROY JORGE VILCA CALLATA**

**ARNALDO BRANDON CUBA ASILLO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## **DEDICATORIA**

A mi Familia, a mis padres quienes me dieron los consejos y valores que me han permitido ser una persona de bien, y por el apoyo incondicional que me brindaron, en todo instante, para culminar exitosamente mi carrera profesional.

**ROY JORGE VILCA CALLATA**



## **DEDICATORIA**

A mis padres por acompañarme en los momentos difíciles de mi vida brindándome siempre su apoyo incondicional, paciencia, confianza, amor; también por los valores y consejos que me han permitido ser una persona de bien, para llegar a culminar mi profesión

**ARNALDO BRANDON CUBA ASILLO**



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por la fortaleza necesaria, a la Universidad Nacional del Altiplano por ser la entidad que nos formó en sus ambientes como profesionales, a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, y, en especial, a nuestro director de Tesis Ing. RAUL FERNANDO ECHEGARAY CHAMBI quien, con toda su sapiencia, tolerancia y sabios consejos, estuvo predispuesto, en todo momento, para el asesoramiento y apoyo de la presente tesis.

Agradecer también a los amigos y compañeros de la Universidad, en especial, a los amigos del Código 10 y Código 11, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas dentro y fuera de las aulas universitarias.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	15
ABSTRACT.....	16

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	18
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION .....	18
1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	18
1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.5.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
2.1.1. NACIONAL .....	21
2.1.2. REGIONAL.....	25
2.2. MARCO TEORICO .....	28
2.2.1. PAVIMENTO .....	28
2.2.2. TIPO DE PAVIMENTO .....	29
2.2.2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	29



2.2.2.2. PAVIMENTO RÍGIDO.....	31
2.2.2.3. PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS .....	32
2.2.2.4. PAVIMENTO ARTICULADO.....	33
2.2.3. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.....	33
2.2.3.1. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN.....	34
2.2.3.2. OBJETIVIDAD DE LA EVALUACIÓN .....	34
2.2.4. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS .....	34
2.2.4.1. EVALUACIÓN FUNCIONAL.....	35
2.2.4.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	37
2.2.5. MÉTODO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).....	39
2.2.5.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS.....	39
2.2.5.1. OBJETIVOS.....	41
2.2.5.3. MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTRA .....	43
2.2.5.4. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.....	44
2.2.5.5. FALLAS CONSIDERADAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES SEGÚN EL MÉTODO PCI.....	45
2.2.5.6. CÁLCULO DEL PCI .....	63
2.2.6. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	75
2.2.6.1. DEFINICIÓN DEL IRI. ....	75
2.2.6.2. CONSIDERACIONES SOBRE EL IRI.....	76
2.2.6.3 EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DEL IRI. ....	78
2.2.6.4. ESCALA DE REGULARIDAD .....	82
2.2.6.5. RUGOSÍMETRO MERLÍN. ....	84
2.2.6.6. MÉTODO DEL ENSAYO DE RUGOSÍMETRO MERLIN.....	86
2.2.6.7. CÁLCULO DEL IRI CON RUGOSÍMETRO MERLIN.....	89
2.2.7. DEFLECTOMETRÍA .....	93
2.2.7.1. GENERALIDADES .....	93
2.2.7.3. LA VIGA BENKELMAN.....	93
2.1.5.3 EQUIPO REQUERIDO .....	95
2.1.5.4 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO .....	96
2.1.5.5 CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES .....	101
2.1.5.6 RADIO DE CURVATURA .....	103



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	106
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	106
3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	106
3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	106
3.1.4. POBLACIÓN .....	107
3.1.5. MUESTRA.....	108
3.1.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	109
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VÍAS EN ESTUDIO.....	109
3.2.1. AV. FLORAL.....	109
3.2.2. AV. EL SOL.....	110
3.3. MEDICIÓN DEL PCI.....	111
3.3.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.....	111
3.3.2. DETERMINACIÓN DEL PCI EN LAS UNIDADES DE ESTUDIO.....	112
3.4. MEDICION DEL IRI CON EL EQUIPO MERLÍN .....	119
3.4.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.....	119
3.4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL IRI.....	121
3.5. MEDICION DE LA DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN.....	125
3.5.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.....	125
3.5.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA.....	130

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR EL MÉTODO DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI).....	136
4.1.1. DATOS RECOLECTADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PCI.....	136
4.1.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO PCI .....	136
4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI.....	142
4.2.1. ENSAYOS REALIZADOS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN.....	143



4.2.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE REGULARIDAD .....	143
4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA DEFLEXIÓN Y DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA, EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN .....	144
4.3.1. ENSAYOS REALIZADOS CON LA VIGA BENKELMAN.....	144
4.3.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE VIGA BENKELMAN.....	145
4.4. COMPARACION ENTRE LOS MÉTODOS .....	146
4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....	148
4.6. ALTERNATIVAS DE SOLUCION.....	152
4.4.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO - PCI .....	153
4.4.2. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL – IRI.....	155
4.4.3. DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA .....	155
4.7. DISCUSIÓN .....	156
4.7.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO.....	156
4.7.2 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL.....	157
4.7.3. DEFLECTOMETRIA .....	157
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>160</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>165</b>

**Área : Transportes**

**Tema : Conservación y Mantenimiento Vial**

**Línea de investigación: Transportes y Gestión Vial**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN 14 DE ENERO DE 2020**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Sección típica transversal pavimento flexible.....	31
Figura 2:	Sección Típica Transversal pavimento rígido.....	32
Figura 3:	Sección Típica transversal del pavimento semi rígido .....	32
Figura 4:	Sección típica transversal del pavimento articulado .....	33
Figura 5:	Odómetro electrónico.....	40
Figura 6:	Regla rígida de aluminio .....	41
Figura 7:	Conos de seguridad en la vía. ....	41
Figura 8:	Índice PCI y escala de graduación .....	43
Figura 9:	Piel de cocodrilo-Severidad .....	46
Figura 10:	Exudación de asfalto-Severidad.....	47
Figura 11:	Fisuras en bloque-Severidad .....	48
Figura 12:	Elevaciones y hundimientos-Severidad .....	49
Figura 13:	Corrugaciones-Severidad .....	49
Figura 14:	Depresiones-Severidad .....	50
Figura 15:	Grieta de borde-Severidad .....	51
Figura 16:	Desnivel carril/berma-Severidad .....	52
Figura 17:	Grietas longitudinales y transversales-Severidad .....	52
Figura 18:	Parqueo-Severidad .....	53
Figura 19:	Agregado pulido-Severidad .....	54
Figura 20:	Huecos-Severidad .....	55
Figura 21:	Cruce de vía férrea-Severidad.....	55
Figura 22:	Ahuellamiento-Severidad .....	56
Figura 23:	Desplazamiento-Severidad .....	57
Figura 24:	Grieta parabólica-Severidad.....	57



Figura 25: Hinchamiento-Severidad.....	58
Figura 26: Desprendimiento de agregados-Severidad.....	59
Figura 27: Valor Deducido Piel de Cocodrilo.....	64
Figura 28: Valor Deducido Exudación.....	64
Figura 29: Valor Deducido Agrietamiento de Bloque .....	65
Figura 30: Valor Deducido Abultamientos y Hundimientos.....	65
Figura 31: Valor Deducido Corrugación.....	66
Figura 32: Valor Deducido Depresión .....	66
Figura 33: Valor Deducido Grieta de Borde .....	67
Figura 34: Valor Deducido Grieta de Reflexión de Junta .....	67
Figura 35: Valor Deducido Desnivel Carril / Berma.....	68
Figura 36: Valor Deducido Grietas Longitudinales y Transversales .....	68
Figura 37: Valor Deducido Parcheo .....	69
Figura 38: Valor Deducido Pulimiento de Agregados .....	69
Figura 39: Valor Deducido Huecos .....	70
Figura 40: Valor Deducido Cruce de Vía Férrea.....	70
Figura 41: Valor Deducido Ahuellamiento .....	71
Figura 42: Valor Deducido Desplazamiento .....	71
Figura 43: Valor Deducido Grietas Parabólicas .....	72
Figura 44: Valor Deducido Hinchamiento .....	72
Figura 45: Valor Deducido Desprendimiento de Agregados .....	73
Figura 46: Curva de Valores Deducidos Corregidos.....	73
Figura 47: Escala estándar empleada por el banco mundial para cuantificar el IRI. ....	84
Figura 48: Esquema del Rugosímetro MERLIN. ....	85
Figura 49: Configuración del tablero del MERLIN. ....	87



Figura 50: Formato de recolección de datos.....	88
Figura 51: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.....	89
Figura 52: Histograma de la distribución de frecuencias. ....	90
Figura 53: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman. ....	95
Figura 54: Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la Viga Benkelman. ....	97
Figura 55: Esquematización del proceso de medición con la Viga Benkelman.....	99
Figura 56: Av. Floral .....	110
Figura 57: Av. El Sol.....	111
Figura 58: Ejemplo del valor de deducción -Grietas longitudinales y transversales. .	115
Figura 59: Ejemplo del cálculo del valor de deducción corregido.....	117
Figura 60: Lectura del equipo Av. Froral.....	120
Figura 61: Histograma de frecuencias .....	123
Figura 62: Colocación de la rueda en el punto de ensayo .....	127
Figura 63: Colocación de la Viga Benkelman en el punto de ensayo .....	127
Figura 64: Esquematización del Proceso de Medición con la Viga Benkelman.....	129



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Longitud de las Unidades de Muestreo Asfálticas .....	44
Tabla N° 2: Fallas consideradas en un Pavimento Flexible según el PCI .....	45
Tabla N° 3: Niveles de severidad de los deterioros en Pavimento rígido - PCI .....	59
Tabla N° 4: Equipos para la medición del IRI .....	61
Tabla N° 5: Rugosidad IRI (M/KM) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente.....	82
Tabla N° 6: Estado vial según la rugosidad .....	83
Tabla N° 7: Comparación de los valores IRI utilizados en otros países .....	83
Tabla N° 8: Hoja de cálculo para la recopilación de deflexiones. ....	101
Tabla N° 9: Deflexiones características según el tipo de carretera. ....	102
Tabla N° 10: Vías con pavimento flexible.....	107
Tabla N° 11: Ensayos Av. Floral .....	108
Tabla N° 12: Ensayos Av. El Sol.....	108
Tabla N° 13: Modelo de llenado del Formato PCI. ....	113
Tabla N° 14: Cálculo de la densidad .....	113
Tabla N° 15: Ejemplo valores deducidos .....	114
Tabla N° 16: Valores deducidos .....	115
Tabla N° 17: Máximo admisible de valores deducidos .....	116
Tabla N° 18: Cálculo de valor del deducción corregido.....	118
Tabla N° 19: Condición del pavimento. ....	118
Tabla N° 20: Formato de campo del rugosímetro MERLIN .....	121
Tabla N° 21: Formato llenado de IRI .....	122
Tabla N° 22: Histograma de frecuencias .....	123
Tabla N° 23: Lecturas de campo Viga Bemkelman .....	130



Tabla N° 24: Desarrollo de cálculo del D corregido. ....	131
Tabla N° 25: Radio de Curvatura .....	132
Tabla N° 26: Deflexión Característica.....	133
Tabla N° 27: Resumen aforo (N).....	135
Tabla N° 28: Resumen de resultados – Av. Floral .....	136
Tabla N° 29: Resumen de resultados – Av. El Sol .....	138
Tabla N° 30: Resumen Método PCI por secciones.....	142
Tabla N° 31: Resumen de Regularidades por Secciones.....	143
Tabla N° 32: Regularidades promedio por Secciones .....	144
Tabla N° 33: Resumen de Viga Benkelman .....	145
Tabla N° 34: Comparación D característica con D admisible .....	145
Tabla N° 35: Resumen de los resultados realizados .....	146
Tabla N° 36: Correlación de Pearson .....	147
Tabla N° 37: Prueba “t” Student-PCI .....	149
Tabla N° 38: Prueba “t” Student-IRI .....	150
Tabla N° 39: Prueba “t” Student-DEFLEXION .....	151
Tabla N° 40: Matriz de alternativas de solución - Floral.....	153
Tabla N° 41: Matriz de alternativas de solución – El Sol.....	154
Tabla N° 42: Medidas correctivas Viga Benkelman .....	156



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

PCI	: Índice de Condición de Pavimento
IRI	: Índice de Rugosidad Internacional
ASTM	: American Society for Testing and Materials
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PSR	: Present Serviability Rating
PSI	: Present Serviability Index
FWD	: Falling Weight Deflectometer
APWA	: American Public Work Association
H	: ALTO
M	: MEDIO
L	: BAJO
RQCS	: Reference Quarter Car Simulation



## RESUMEN

Las vías en la actualidad constituyen el medio principal de comunicación entre diferentes puntos, tanto en el ámbito nacional y local; por ende, estas deben de brindar una buena serviciabilidad y esto se refleja a través de la condición superficial. En la ciudad de Puno se evidencian inadecuadas condiciones en los pavimentos debido al deficiente o nulo mantenimiento. Es por eso que se presenta esta investigación que tiene como objetivo determinar la condición superficial del pavimento flexible de las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno. Para ello fue necesario conocer la condición del pavimento, la regularidad y las deflexiones características. Metodológicamente, la muestra estuvo conformada por las Avs. Floral y El Sol consideradas como principales en la ciudad por su alto tránsito, en las que se realizó una calificación de la metodología Índice de Condición de Pavimento, los ensayos con: el Rugosímetro Merlín para determinar el Índice de Rugosidad Internacional y la Viga Benkelman, para determinar la deflexión característica. Para procesar los datos y evaluarlos utilizamos la prueba “t” student para cada caso. Se obtuvo un valor del PCI menor a 40, teniendo una calificación de MALO Y MUY MALO. Los valores del IRI calculados superan el 3.5 m/km recomendado. Los valores de la deflexión característica superan los valores de deflexión admisible determinada para cada calzada. Concluyendo así que el pavimento tiene una condición deficiente y requiere rehabilitación, ya que los valores encontrados para cada metodología están por debajo de lo recomendado por la ASTM- D6433-03 y MTC-2013.

Palabras Clave: Regularidad, condición, deflexión, pavimento flexible.



## ABSTRACT

The roadway currently constitute the main way of communication between different points both at the national and local level, therefore, they must provide good serviceability and this is reflected through the surface condition. In the city of Puno, inadequate pavement conditions are evident due to poor or null maintenance. That is why research is presented that aims to determine the surface condition of the flexible pavement of the Avs. Floral and El Sol of the city of Puno. For this it was necessary to know the condition of the pavement, the regularity and the characteristic deflections. Methodologically, the sample consisted of Avs. Floral and El Sol considered as main in the city for its high traffic, in which a qualification of the Pavement Condition Index methodology was performed, the tests with: the Merlin Rugosimeter to determine the International Roughness Index and the Benkelman Beam, to determine the characteristic deflection. To process the data and evaluate it, we use the “t” student test for each case. A PCI value of less than 40 was obtained, having a rating of BAD AND VERY BAD. The calculated IRI values exceed the recommended 3.5 m / km. Deflection values characterize exceed the permissible deflection values determined for each roadway. Thus concluding that the pavement has a poor condition and requires rehabilitation, since the values found for each methodology are below what is recommended by ASTM-D6433-03 and MTC-2013.

Keywords: Regularity, condition, deflection, flexible pavement.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las vías poseen gran importancia debido al impulso económico, el ahorro de tiempo de movilización y de costos de operación de los vehículos, que conllevan beneficios para los usuarios. (Cuba Alvarez, 2017). Por lo cual es necesario proveer un adecuado, seguro y cómodo servicio en el transporte de personas y/o bienes. Considerando los beneficios que llevan consigo la disminución en tiempos de viaje y costos de operación.

A nivel nacional las vías son el principal medio de comunicación entre diferentes puntos tanto en el ámbito nacional y local, por lo cual su uso es constante y necesario para el desarrollo de las regiones del país. (Choque Palacios, 2019). Al tener dicha importancia se debe conocer la situación de cada pavimento. Se sabe también que los pavimentos tanto flexibles como rígidos presentan diferentes problemas en su infraestructura vial, los que evitan que conserve su nivel de servicio durante su uso, es decir presentan diferentes tipos de fallas y/o deterioros en su estructura.

En la ciudad de Puno los pavimentos presentan distintos problemas durante su vida útil, los que se deben principalmente a la falta de un adecuado mantenimiento vial. (Paucar Curo, 2019). Los pavimentos también presentan problemas causados por el clima, las aguas pluviales, el tránsito excesivo y las bajas temperaturas. Por tanto, es necesario conocer a mayor profundidad el estado de los pavimentos ya sean flexibles o rígidos.

Considerando todo esto podemos afirmar que en las diferentes calles de la ciudad de Puno se pueden diferenciar diferentes tipos de fallas, como las superficiales; las cuales



requieren una evaluación de la vía para así poder establecer sistemas apropiados de rehabilitación y mantenimiento. Una opción apropiada y probada son los métodos de evaluación superficial, los cuales determinan un valor de condición y servicio de los pavimentos; estos valores podemos usarlos para optar las medidas correctivas necesarias.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la condición superficial del pavimento flexible de las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la condición del pavimento utilizando la metodología PCI en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.?
- ¿Cuál es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento utilizando el rugosímetro de Merlín en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.
- ¿Cuál es la deflectometría del pavimento utilizando la Viga Benkelman en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.?

## **1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

### **1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La condición superficial del pavimento flexible en las Av. Floral, y Av. El Sol de la ciudad de Puno no cumple con los parámetros PCI, IRI Y DEFLECTOMETRIA recomendados para su tipo y características.



### 1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El índice de condición del pavimento en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno es menor a 40 en la escala de calificación del PCI; por tanto, tiene una condición de malo, muy malo y fallado según la norma ASTM D6433-03. (Manual del PCI. Figura 8)
- El índice de rugosidad internacional (IRI) de las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno es mayor a 3.5 m/Km. Recomendado para carreteras con un IMDA de 6000 y 4000 veh/día de calzadas separadas con dos carriles, según el Manual de Carreteras MTC. (Tabla N° 5)
- Las deflexiones del pavimento flexible en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno son mayores a las deflexiones admisibles determinadas con el IMDA de cada vía, según El Manual de Carreteras MTC. (CONREVIAL 1983)

### 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En vista de la poca importancia y el desconocimiento que se les da a los problemas que se pueden observar en las, principales, avenidas de la ciudad de Puno, es necesario poner en conocimiento sobre la importancia del estado actual de los pavimentos flexibles.

En vista de este problema se tiene la necesidad de realizar un estudio del estado de los pavimentos flexibles en las avenidas, principales, de la ciudad de Puno, puesto que no hay mantenimientos en tales vías.

El presente análisis superficial de los pavimentos flexibles en las avenidas, principales, de la ciudad de Puno nos ayudara a analizar y evaluar el estado de la vía en



estudio. Y posteriormente nos dará resultados para plantear posibles soluciones.

Con la presente investigación se pone en conocimiento la relevancia en cuanto a los análisis y evaluación en los pavimentos flexibles en una ciudad.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la condición superficial del pavimento flexible de las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la condición del pavimento utilizando la metodología PCI en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.
- Evaluar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento utilizando el rugosímetro de Merlín en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.
- Evaluar la deflectometría del pavimento utilizando la Viga Benkelman en las Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de contextualizar la investigación, se presenta a continuación los principales trabajos publicados sobre deterioros de pavimentos flexibles. Cada uno de estos trabajos es importante por diversas razones, algunos de ellos por la actualidad de su investigación, otros por la amplitud del proyecto, por la relevancia de sus investigaciones, por la metodología que han empleado y por los resultados obtenidos.

##### 2.1.1. NACIONAL

(Cuba Alvarez, 2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Cesar Vallejo, titulado “EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO EL MÉTODO DEL PCI EN UN TRAMO DE LA AV. REPÚBLICA DE POLONIA – DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO”, tiene como objetivo principal:

Realizar la evaluación superficial del pavimento flexible en un tramo de la Av. República de Polonia aplicando el método (PCI), con el fin de conocer la condición del pavimento flexible existente.

En la investigación determinó, que el 100 por ciento de la avenida no ha sido evaluado; por lo tanto, con la aplicación de la metodología PCI, identificando los parámetros de evaluación, determinando el índice de condición y obteniendo la condición del pavimento, finalmente se puede realizar la evaluación superficial del pavimento para obtener el estado de conservación de las vías arteriales en estudio.



Estimo la siguiente conclusión: que en un tramo de la Av. República de Polonia se conoce que el estado de conservación en la sección 1 es “Malo” con un PCI de 26, mientras que la sección 2 presenta un estado de conservación “Bueno” con un PCI de 61.

(Allende Garcia, 2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Andina del Cusco titulado “EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA SERVICIABILIDAD DE LAS VÍAS: SAPHI-SAQ SAYWAMAN, SAQSAYWAMAN-ABRA CCORAO, ABRA CCORAO-CCORAO Y CCORAO-RAYANIYOC; SEGÚN LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)” tuvo como objetivo:

Realizar una evaluación comparativa de la serviciabilidad de 4 tramos de vías (Saphi-Saqsaywaman, Saqsaywaman-Abra Ccorao, Abra Ccorao-Ccorao y Ccorao-Rayaniyoc.), mediante la medición del índice de condición del pavimento (PCI) y el índice de rugosidad internacional (IRI).

Para lo cual realizó el análisis de las vías Saphi-Saqsaywaman, Saqsaywaman-Abra Ccorao, Abra Ccorao-Ccorao y Ccorao-Rayaniyoc con el método denominado índice de Condición del Pavimento (PCI), posteriormente se procesó los datos recolectados en campo y se pasó al análisis en gabinete del estado de la vía en mención. Luego se realizó el análisis de las mismas vías en estudio utilizando el método denominado índice de Rugosidad Internacional (IRI) y se procesó los datos obtenidos en campo con este método, así como su respectivo análisis final y así se obtuvo la serviciabilidad de dichas vías. Finalmente, se procedió a realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de la serviciabilidad de los dos métodos. Adicionalmente, se realizó un análisis corto para saber si existe o no una relación de equivalencia entre los resultados tanto numéricos como cualitativos que se desprenden de los resultados del



análisis de ambos métodos, objeto del siguiente estudio.

Llegando a las siguientes conclusiones: La serviciabilidad entre el Índice de condición del pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) varia significativamente, tanto numéricamente como cualitativamente, ya que para todos los tramos el índice Internacional de Rugosidad (IRI) arroja valores mucho más conservadores que el índice de Condición del Pavimento (PCI). No existe relación de equivalencia cualitativa entre el índice de condición del pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) ya que los resultados obtenidos nos muestran que la serviciabilidad obtenida para todos los tramos es variable, por ejemplo, para el tramo Shapi-Saqsaywaman obtenemos una serviciabilidad de muy malo para el PCI mientras que el IRI nos da una serviciabilidad de muy bueno; asimismo para el tramo Saqsaywaman-Abra Ccorao el PCI nos da una serviciabilidad de malo y el IRI nos arroja una serviciabilidad de bueno siendo inversamente correlacionales, este escenario se repite en los dos tramos en estudio restantes.

(Meza Palomino, 2017) en su proyecto de tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Católica de Santa María titulado “EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO 2008 EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA” plantea como objetivo:

Realizar una evaluación deflectométrica con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008 en la Avenida Hartley del distrito de José Luis Bustamante y Rivero en Arequipa.

En la investigación realiza el muestreo y análisis de la estructura del pavimento,



como también la recolección de datos de campo y dos tipos de evaluaciones: la superficial, en el cual se hallará la condición del pavimento PCI, y la condición estructural con la viga Benkelman mediante mediciones deflectométricas. Así, continuo con la metodología de diseño con el uso de los Métodos CONREVIAL y Modelo de Hogg, y también con los datos del muestreo de la estructura existente. Finalmente, expone una metodología que permite realizar una propuesta de intervención con respecto a la rehabilitación del pavimento, considerando la deflexión característica y la deflexión admisible, así como la determinación de los espesores de refuerzo, a partir de los parámetros calculados.

Concluye lo siguiente: Considerando el método CONREVIAL, la deflexión característica debe ser menor a la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), de acuerdo a los cálculos realizados en el presente trabajo de tesis la deflexión característica del pavimento que se obtuvo es  $75 \text{ mm} \cdot 10^{-2}$  y es mayor a la deflexión admisible que es  $64 \text{ mm} \cdot 10^{-2}$ , por lo tanto, podemos concluir que existen fallas de origen estructural en el pavimento en estudio. La evaluación superficial del pavimento con la metodología Pavement Condition Index (PCI) nos permitió clasificar el estado de conservación en el que se encuentran los pavimentos flexibles, así como también el tipo de fallas que presentan, a fin de realizar el tratamiento que corresponda. El PCI promedio del pavimento flexible de la Avenida Hartley es 28 % siendo este clasificado como un estado Pobre y según este resultado, el manual del PCI nos indica que el tramo evaluado requiere realizar un mantenimiento correctivo y/o la rehabilitación moderada de la vía con el fin de restablecer la capacidad estructural y funcional del pavimento.



### 2.1.2. REGIONAL

(Choque Palacios, 2019) en su proyecto de tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulado “ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO PCI Y EL MANUAL DE CONSERVACIÓN VIAL MTC EN LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE, TRAMO EMP.PE-3S - ATUNCOLLA, 2017.” Tiene como objetivo:

Definir el método más adecuado para la evaluación de vías con pavimento flexible, tomando para esta investigación la vía desvío a Atuncolla – Atuncolla, teniendo en cuenta que la metodología del PCI es la más difundida para la evaluación de vías de infraestructura vial en el país a pesar que se tiene el Manual de carreteras –Mantenimiento o conservación vial del MTC, que poco o casi nada se utiliza o se desconoce de este manual para la evaluación superficial de pavimentos afirmados, flexibles y rígidos.

Para esto se realizó una inspección preliminar y posteriormente el levantamiento de tipos de fallas para cada método, reportando en los formatos respectivos de cada metodología para realizar un análisis detallado de la vía en estudio del Tramo EMP. PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA, la cual está en condiciones óptimas para la aplicación de los dos métodos para la investigación, se brinda información según los parámetros y criterios de las metodologías empleadas PCI (americano) y el Manual de carreteras – Conservación vial o Mantenimiento 2014 (Perú), donde a través de la comparación de estas metodologías se determinó el estado de la carpeta asfáltica del tramo de la vía estudiada, obteniendo que el método

Se concluye lo siguiente: la desventaja que tiene el Manual del MTC es en los niveles de gravedad, donde el castigo es muy flexible y no tiene un nivel de puntaje para cada nivel de gravedad (Gravedad 1,Gravedad 2,Gravedad 3), ya que al calcular con



Gravedad 1, gravedad 2 y con gravedad 3, el resultado de la extensión promedio ponderado es el mismo, otra desventaja es que evalúa la vía cada 200m sin especificar el área máximo, ya que la calzada puede tener un ancho 5, 6, 7m, que para el evaluador es muy extenso, complicado y el resultado no es fiable ,y otro punto que se observó es que la evaluación es de toda la vía lo que implica más costo y tiempo, en cambio el método PCI evalúa la mayoría de los daños que se pueda presentar en el pavimento flexible, envuelve 19 tipos de daños y posee siete escalas para evaluar la condición del pavimento y sus cálculos para determinar la clasificación de los daños son más completos y detallados por niveles de severidad de daño, lo que hace que tome más tiempo en su análisis y evaluación en la muestra, además es un método de evaluación de la condición superficial de pavimentos más difundido en el Perú y otros países. El PCI es más fiable que el manual del MTC.

(Almanza Mendoza, 2014) en su proyecto de tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano lo titulo como “EVALUACIÓN DEL MODELO “QUARTER CAR” PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL TRAMO HUANCVELICA - SANTA INÉS” plantea como objetivo:

Analizar, Evaluar y Correlacionar los resultados del Equipo ROUGHOMETER III en la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera Huancavelica – Santa Inés., con respecto al resultado obtenido con el equipo MERLIN

Se hace la descripción del equipo MERLIN, los orígenes de su fabricación, como también una descripción detallada de la metodología de medición con este equipo. Se describe el Modelo “Quarter Car”, pasando por el análisis dinámico y la solución matemática usando un método de aproximación numérica, se describe el equipo



Roughometer III, como un equipo de tipo respuesta y la técnica y metodología para la obtención del IRI. Se presentan los resultados de evaluación de la superficie de rodadura con los equipos seleccionados, para analizar, comparar y correlacionar mediante ecuaciones de regresión.

El autor propone: los equipos de la Clase 3 como el Roughometer III, que ofrece menos confiabilidad en cuanto a resultados. Como, por ejemplo, para la recepción de tramos de pavimentación. Para salvar esta diferencia de resultados y considerando que el Merlín es más confiable, se puede hacer tramos de evaluación para encontrar ecuaciones que correlacionen los valores de diferentes equipos. Para hacer una comparación de estos resultados, se tuvo como base la recomendación del Banco Mundial, donde indica que los equipos de la Clase 1 son más exactos que los de la Clase 3.

(Ramos Vilca, 2017) en su proyecto de tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulado "EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO POR DEFLECTOMETRÍA E ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA CARRETERA: PUNO – VILQUE – MAÑAZO - 4KM CRÍTICOS - 2015" tuvo el siguiente propósito.

Evaluación del Estado del Pavimento por Deflectometría e Índice de Rugosidad Internacional de la Carretera: Puno – Vilque – Mañazo - 4km Críticos – 2015.

Para ello fue necesario conocer la medida en que se encuentran el índice de condición de pavimento (PCI), las deflexiones características, así mismo se evaluó en qué medida varía el índice de regularidad internacional en los 4 kilómetros más críticos del pavimento. Metodológicamente la población estuvo formada por los tramos del km 06+500 al km 08+000 y km 15+400 al km 17+400, los cuales conforman los 4 kilómetros más críticos de la vía en estudio Puno – Vilque – Mañazo, en la cual se realizó los ensayos



con: la Viga Benkelman, para determinar la deflexión característica, y el Rugosímetro Merlin para determinar el índice de regularidad internacional.

El autor concluye: Mediante el ensayo de la Viga Benkelman en el pavimento, se obtuvo los valores de deflexión característica promedio de:  $69.22 \times 10^{-2}$  mm en el carril derecho, de la misma manera en el carril Izquierdo  $65.53 \times 10^{-2}$  mm, lo que nos indica que las deflexiones características no superan la deflexión admisible la cual resulto ser  $127.5 \times 10^{-2}$  mm, lo que nos conlleva a entender que el pavimento en ambos carriles se encuentran en buenas condiciones en lo que se refiere a los ensayos deflectométricos. Se observó un desgaste considerable quedando evidenciado con el valor del IRI, teniendo unos valores IRI de: 4.78 m/km en el carril derecho y 4.63 m/km en el carril izquierdo; con los cuales se puede concluir que el pavimento evaluado no cumple con las especificaciones técnicas y los requerimientos que estipula el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”. Donde nos indica, que la regularidad característica no deberá ser mayor a 4.00, para carreteras de un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.

## **2.2. MARCO TEORICO**

### **2.2.1. PAVIMENTO**

Existen varias definiciones de pavimento, una de ellas es la que brinda el MTC (2013), la cual lo califica como una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos, y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Consideramos que es la más completa y apropiada. Se puede mencionar también algunos aspectos tales como, que su diseño y la construcción del pavimento están técnicamente hechos con componentes apropiados, además tienen que resistir adecuadamente, durante el periodo



para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo Fonseca, 2002). Asimismo, cabe resaltar que dicha superficie debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Proporcionar un servicio de calidad de manejo aceptable, adecuada resistencia al deslizamiento, apropiados niveles de reflejo de luz y un nivel bajo de ruido. (Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015).

## **2.2.2. TIPO DE PAVIMENTO**

Los pavimentos podemos tipificarlos de acuerdo a la estructura superior que los componen (flexible, rígido, semirrígido o mixto y articulado), a continuación, daremos unas definiciones de cada una de ellas, haciendo hincapié en los pavimentos flexibles por ser estos objetos del trabajo de investigación.

### **2.2.2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE**

Se denomina “flexible” debido a que su estructura completa se deforma en función de las cargas que se transfieren sobre el pavimento. La capa superficial se denomina concreto asfáltico ya que está compuesta por material asfáltico, granular y finos completamente homogenizados. (Osuna, 2008). Dicha mezcla está asentada en varias capas, que van en orden descendente: base, subbase y finalmente por la subrasante que puede ser natural o mejorada. Además, podemos mencionar que los esfuerzos se transmiten al terreno de fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo paulatinamente con la profundidad. (Montejo Fonseca, 2002). Podemos definir la función de cada capa de la siguiente manera:

- Subrasante: Es el nivel superior de la plataforma de una carretera donde se coloca la estructura del pavimento. (Meza Palomino, 2017).



- Subbase: Económica, es de espesores considerables (menores que las capas superiores), pero de materiales poco calificadas y por ende más barata. Capa de transición, encargada de impedir el paso de los finos de subrasante a la base. Disminución de las deformaciones, impide que los cambios en la subrasante (deformaciones, heladas), se reflejen en la superficie de rodamiento. Resistencia, impide que los esfuerzos en la parte superior, excedan los admisibles de la subrasante. Drenaje, impide el paso del agua introducida por la superficie o bermas y también la ascensión capilar. (Montejo Fonseca, 2002).
- Base: Económica, de la misma forma que la subbase su espesor es menor que la carpeta asfáltica y por ende su costo también. Resistencia, su función fundamental consiste en proporcionar un elemento resistente y que transmita de forma apropiada los esfuerzos a la subbase y subrasante. (Montejo Fonseca, 2002).
- Carpeta asfáltica: Superficie de rodamiento, que debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Impermeabilidad, hasta donde sea posible debe impedir el paso del agua al interior del pavimento. Resistencia, con su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento. (Montejo Fonseca, 2002).

Para cada capa del pavimento se debe tener cuidado en su diseño como en su conformación, ya que la falla independiente de una de ellas implicaría la falla del pavimento.

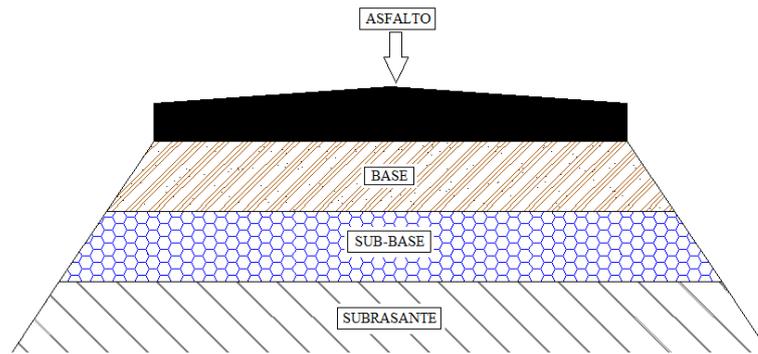


Figura 1: Sección típica transversal pavimento flexible

FUENTE: Adaptación (*Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015*)

#### 2.2.2.2. PAVIMENTO RÍGIDO

En cuanto a su estructura está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (subbase). Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aún cuando existan zonas débiles en la subrasante. (Montejo Fonseca, 2002). Podemos decir que la funcionalidad y serviciabilidad de este tipo de pavimento depende en gran medida del concreto hidráulico. También consideramos importante mencionar que tiene costos iniciales de construcción altos en comparación con los pavimentos flexibles y su período es mayor y el mantenimiento que requiere es mínimo, primordialmente en las juntas. (Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015).

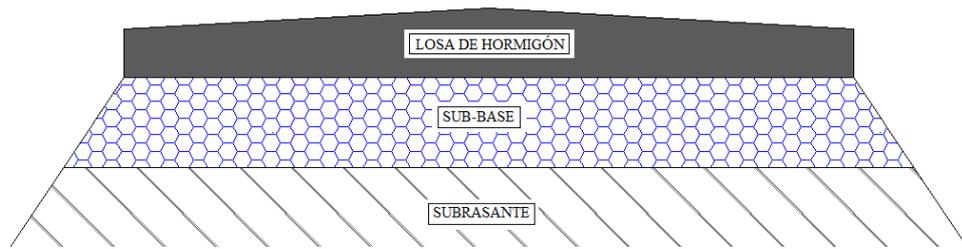


Figura 2: Sección Típica Transversal Pavimento Rígido

FUENTE: Adaptación (*Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015*)

### 2.2.2.3. PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

La estructura de este pavimento es similar a la de un pavimento flexible, se diferencia por que una de sus capas esta rigidizada de forma artificial ya sea con asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. (Hiliquín Brañez, 2016). Cabe mencionar que el empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían, notablemente, el valor de la construcción. (Montejo Fonseca, 2002).

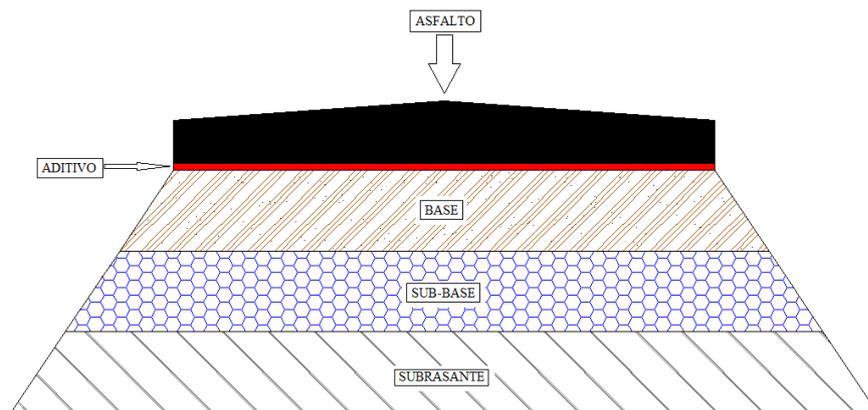


Figura 3: Sección Típica transversal del pavimento semi rígido

FUENTE: Adaptación (*Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015*)

#### 2.2.2.4. PAVIMENTO ARTICULADO

En la estructura de este pavimento la capa de rodadura se conforma por bloques de concretos prefabricados (adoquines), 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 (subbase) o la sub rasante, esto depende de su calidad, de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan sobre ella. (Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015).

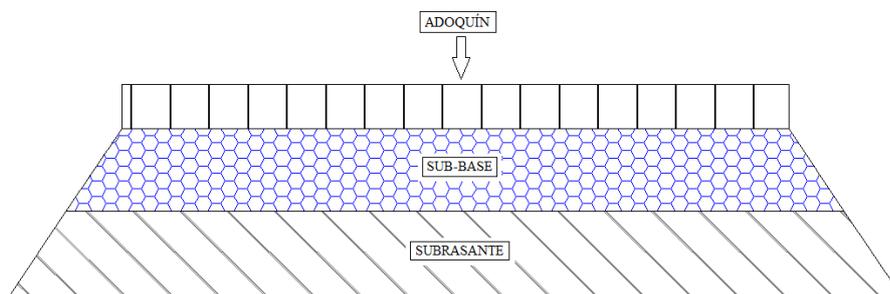


Figura 4: Sección típica transversal del pavimento articulado

FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

#### 2.2.3. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

El tiempo de uso, además de las incidencia de diversos factores afectan al pavimento, su funcionalidad y serviciabilidad (Montejo Fonseca, 2002), es por esto que se debe realizar una evaluación de pavimentos la cual consiste en un estudio que presenta el estado actual de la estructura y la superficie del pavimento, con el fin de poder tomar las medidas de conservación y mantenimiento adecuadas, con las que se pretende prolongar la vida útil. En este sentido es sumamente importante escoger y llevar a cabo una evaluación que sea objetiva y en función del entorno en el que se encuentre (Leguía Loarte & Pacheco Risco, 2016).



### **2.2.3.1. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN**

Realizar la evaluación es importante porque permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las medidas correctivas oportunas, consiguiendo con ellas, cumplir el objetivo de una serviciabilidad óptima al usuario. Se debe de realizar de forma oportuna, es decir antes de que los daños sean mayores y por ende más costosos. (Leguía Loarte & Pacheco Risco, 2016). Para tener una concepción completa del estado del pavimento, no solo se debe evaluar la superficie, si no las condiciones estructurales del mismo.

### **2.2.3.2. OBJETIVIDAD DE LA EVALUACIÓN**

Para que la evaluación sea objetiva debemos considerar en primer lugar, la elección de un modelo de evaluación adecuado y que esté estandarizado. En segundo lugar, que el personal encargado de la evaluación, sea un personal capacitado y con conocimiento del tema. (Leguía Loarte & Pacheco Risco, 2016).

Podemos agregar un tercer punto que es el uso de equipo calibrado y certificado. Asumiendo todo ello podemos asegurar que los resultados de la evaluación sean los apropiados y válidos.

### **2.2.4. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

Existen diferentes tipos y métodos de evaluación de pavimentos. En muchos casos los resultados de varios ensayos pueden compararse entre sí con el objeto de confirmar las razones del deterioro o de la falla y, de esta manera, entender mejor el comportamiento del mismo. (Leguía Loarte & Pacheco Risco, 2016). Para determinar los tipos de evaluación tenemos los tipos de fallas, las cuales pueden ser superficiales o funcionales



y estructurales. Entonces para cada tipo de falla podemos considerar un tipo de evaluación.

#### **2.2.4.1. EVALUACIÓN FUNCIONAL**

Este tipo de evaluación, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan, principalmente, con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía (Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015). Es llamada también superficial y se define como la evaluación realizada en un camino para determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario así conocer el estado en el que se encuentra. (Cuba Alvarez, 2017).

Entre este tipo de deficiencias se encuentran: La rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción, costo de usuario y el medio ambiente.

- La rugosidad: se define como las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, su serviciabilidad. Existen distintas maneras de medir la rugosidad de los pavimentos, haciendo uso de los siguientes métodos:
  - a) PSR (Present Serviciability Rating): El juicio subjetivo de un observador respecto a la capacidad actual del pavimento para servir al usuario. Se hace uso de plantillas.
  - b) PSI (Present Serviciability Index): Corresponde a una estimación del PSR basada en correlaciones con mediciones objetivas de rugosidad y otros defectos presentes en el pavimento tales como grietas, baches y ahuellamiento. (Choque Palacios, 2019).



Este último engloba las mediciones con rugosímetro, nivel, perfilógrafo etc.

- Las fallas superficiales: son defectos o deterioros que se manifiestan en la superficie del pavimento y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento; sin embargo, su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es importante por lo tanto efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas, mediante una inspección (superficial y visual). Existen varios métodos que permiten evaluar los defectos superficiales de los pavimentos como por ejemplo el PCI, el cual se detalla más adelante. Asimismo, tenemos el método de VIZIR. (Choque Palacios, 2019). Para realizar esta evaluación, se debe tener claros los conceptos de cada falla, para así poder cuantificarlos de manera correcta.
- La pérdida de fricción: relacionada a la seguridad, ya que ha de proporcionar al usuario una superficie de rodadura segura en que en todo momento se consiga una buena adherencia neumático-pavimento. La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes a otros factores aparte de la textura como: agua sobre la superficie, la presión de inflado de la llanta, la velocidad de circulación y la época del año por los cambios de temperatura y humedad. (Choque Palacios, 2019). Podemos relacionar también la pérdida de fricción con los años de servicio que tiene un pavimento, teniendo una relación proporcional, además de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan sobre ella.



- Los costos de usuario: asociado con la economía, están relacionados con los costos operativos de los vehículos y el costo del tiempo de viaje del usuario. Dichas deficiencias están relacionadas con el estado del pavimento.
- El impacto ambiental: relacionado con el ruido de Contacto Neumático-Pavimento. Las texturas muy rugosas pueden ser demasiado ruidosas tanto para los usuarios como para los habitantes de la zona, por lo que en cada caso será necesario alcanzar un equilibrio entre seguridad y nivel sonoro. Los factores asociados con la mezcla de la capa de rodamiento que inciden en la producción de ruido durante el rodaje de los vehículos son: Textura de la superficie, porosidad (vacíos de la mezcla) y la rigidez de la mezcla. Para mitigar el efecto del ruido es conveniente que la rigidez de la mezcla sea baja, sin embargo, su logro es muy difícil de alcanzar sin que se comprometa el comportamiento general de la mezcla. (Choque Palacios, 2019).

#### **2.2.4.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**

La evaluación estructural determina y cuantifica la condición estructural no solo de la parte superior si no de cada capa que compone el pavimento. Además, es importante recalcar lo descrito por (Choque Palacios, 2019), que menciona que el valor obtenido es la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura del pavimento. Esto indica que al realizar una evaluación estructural lo que determinamos es la capacidad remanente que tiene aún la estructura del pavimento para soportar las solicitaciones de tránsito, esto es importante ya que para un diseño de reparación o rehabilitación tomamos este valor como punto base para el diseño adecuado.

Para determinar estas condiciones estructurales existen dos métodos:



- Métodos destructivos: Como su nombre lo indica para realizarlos es necesario extraer muestras a través de la destrucción. Tradicionalmente, se han empleado estos métodos para determinar esta condición, tales como perforaciones, las cuales alteran el comportamiento del pavimento (Jimenez Sanchez, 1998). Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es destructiva, lo que produce alteraciones físicas en los materiales.
- Métodos no destructivos: En la actualidad se presenta una alternativa no destructiva, la cual determina la capacidad estructural de un pavimento sin alterar su estructura y se puede realizar en cualquier momento de su vida de servicio (Rondon & Reyes, 2015). Los métodos no destructivos se basan en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento y proporcionan información que se usa para la evaluación estructural de pavimentos nuevos o en servicio. Estas mediciones se realizan utilizando equipos portátiles como la Viga Benkelman, el Deflectómetro Lacroix y el Deflectómetro de Impacto (FWD). (Montejo Fonseca, 2002). Los valores estructurales del pavimento se determinan a través de las correlaciones que parten de las mediciones de deflexiones tomadas con dichos equipos.

Para realizar una evaluación estructural de un pavimento existente, el autor (Choque Palacios, 2019), indica que debe abarcar necesariamente los siguientes trabajos:

- Evaluación superficial de la condición del pavimento.
- Evaluación del sistema de drenaje.
- Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.
- Medición de deflexiones superficiales del pavimento.



### **2.2.5. MÉTODO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).**

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues, se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (American Society for Testing and Materials, 2018). Podemos agregar que no solo se realiza una inspección visual, también se debe hacer las mediciones correspondientes.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-18. (American Society for Testing and Materials, 2018). En el Perú existe un método similar brindado por el Manual de carreteras – Conservación vial o Mantenimiento, pero según (Choque Palacios, 2019) en su tesis al realizar la comparación de ambos métodos, concluye que el método americano tiene mayor fiabilidad.

#### **2.2.5.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS.**

Para la evaluación con este método al ser básicamente visual, solo necesitaremos equipos básicos. Para (Choque Palacios, 2019) los materiales e instrumentos para la realización del ensayo son los siguientes:

- A) Hoja de datos de campo: Documento donde se registrará toda la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño

de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres del personal encargado de la inspección. La ASTM brinda una hoja de campo estándar, la cual puede ser adaptada según las necesidades del proyecto.

- B) Odómetro Manual: Instrumento utilizado para medir distancias en calles, carreteras, caminos. En la actualidad existen aplicaciones para teléfonos móviles, que bien pueden cumplir la función de este equipo.



Figura 5: Odómetro electrónico

FUENTE: (SIGNOVIAL, 2018)

- C) Regla o Cordel: Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio. También puede servir para medir la profundidad de los huecos.



Figura 6: Regla rígida de Aluminio

FUENTE: (SIGNOVIAL, 2018)

D) Conos para la seguridad vial: Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para los inspectores que tienen que caminar sobre el pavimento.



Figura 7: Conos de Seguridad en la Vía.

FUENTE: (SIGNOVIAL, 2018)

#### **2.2.5.1. OBJETIVOS.**

En base a los resultados obtenidos de esta metodología, podemos plantear algunos objetivos. (Choque Palacios, 2019) plantea que, con la aplicación del Método PCI, se puede obtener lo siguiente:



- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de la condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).
- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

Si bien el Índice de la condición del pavimento (PCI), es un grado numérico de la condición del pavimento. El cual varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento, que varía desde “fallado” hasta “excelente”. Según la figura 8. (American Society for Testing and Materials, 2018). De acuerdo a las condiciones obtenidas podemos determinar el estado del pavimento, además de poder plantear sus actividades de mantenimiento o rehabilitación.

Según (Meza Palomino, 2017), y el manual del PCI ASTM D6433 los valores menores a 40 requieren rehabilitación, reconstrucción y los mayores a 40 solo mantenimiento. Es por eso que planteamos el valor menor a 40 para nuestra hipótesis.

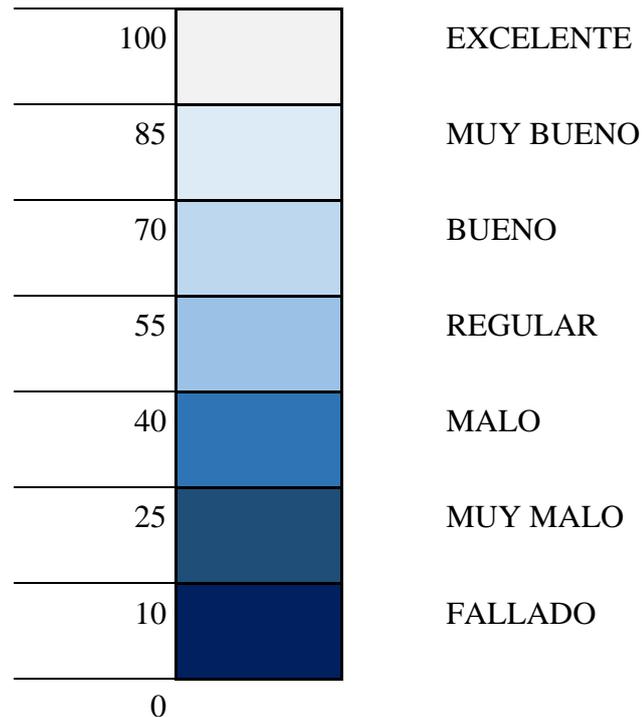


Figura 8: Índice PCI y escala de graduación

FUENTE: Adaptado de (*American Society for Testing and Materials, 2018*)

### 2.2.5.3. MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTRA

La longitud de la unidad de muestra dependerá del ancho de calzada en el caso de carreteras flexibles y del tamaño de losa en carreteras rígidas. El rango de valores que se definen a continuación para determinar la longitud de las unidades de muestra, es necesario porque la metodología del PCI establece estos valores en sus curvas de deterioro para el cálculo de los “Valores Deducidos”. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $225.0 \pm 90.0\text{m}^2$ . En la tabla N° 1 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada. (*American Society for Testing and Materials, 2018*). Mientras más ancho sea la calzada menor será la longitud de la unidad de muestra, pero manteniéndose dentro de los parámetros.



Tabla N° 1: Longitud de las Unidades de Muestreo Asfálticas

Ancho de Calzada (m)	Longitud de UM (m)
3.5 – 6.5	47
4.0 - 7.5	42
4.5 - 8.5	38
5.0 – 9.0	35
5.5 - 10 máx.	32

FUENTE: (MAV, 2012)

Como se nota en el cuadro anterior se pueden poseer diferentes anchos de calzada para una misma longitud de UM. (MAV, 2012). Queda a criterio del usuario seleccionar la longitud de UM a utilizar., sin embargo, se recomienda utilizar la menor longitud de UM posible.

#### **2.2.5.4. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.**

La norma ASTM D6433-18 expone un procedimiento, algunos autores se basan también en dicha norma. Podemos resumir con las actividades tal como sigue:

- A) Inspeccionar, individualmente, cada unidad de muestra seleccionada.
- B) Registrar el tramo y número de sección, así como el número y tipo de la unidad de muestra (al azar o adicional).
- C) Registrar el tamaño de la unidad de muestra medida con el odómetro manual.
- D) Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el punto 2.2.5.5.
- E) El método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla.
- F) Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

## 2.2.5.5. FALLAS CONSIDERADAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

### SEGÚN EL MÉTODO PCI.

Entre las fallas consideradas en el método del PCI se consideran un total de diecinueve (19) las que involucran a todas aquellas que se hacen comunes en la degradación del pavimento (Tabla N° 2). (American Society for Testing and Materials, 2018). Estas fallas solo representan a las que se encuentran en los pavimentos flexibles, ya que para los pavimentos rígidos se consideran otras.

Tabla N° 2: Fallas consideradas en un Pavimento Flexible según el PCI

Nro.	Descripción	Unidades
1	Piel de cocodrilo	m2
2	Exudación de asfalto	m2
3	Agrietamiento en bloque	m2
4	Abultamiento y hundimiento	M
5	Corrugaciones	m2
6	Depresiones	m2
7	Grieta de borde	M
8	Grieta de reflexión de junta	M
9	Desnivel carril/berma	M
10	Grietas longit. y/o trans.	M
11	Parcheo	m2
12	Agregado pulido	m2
13	Baches	UNID
14	Cruce de vía férrea	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Desplazamiento	m2
17	Grieta parabólica	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Desprendimiento de agregados	m2

FUENTE: (Shahin, 2005)

Los tipos de fallas más comunes en pavimentos asfálticos son: grieta del tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos, y desintegración o disgregación superficial. El resto de

los tipos de falla considerados en el método, son encontrados menos frecuentemente. (Hiliquín Brañez, 2016). Es importante que el evaluador del pavimento esté familiarizado con estos tipos de falla, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en la mencionada metodología.

A continuación, describiremos las 19 fallas para los pavimentos flexibles, consideradas en el método del PCI. (Hiliquín Brañez, 2016). Consideramos los aspectos importantes de cada una de ellas.

- 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 la 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 las 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 de piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.



Figura 9: Piel de cocodrilo-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Exudación de Asfalto

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.



Figura 10: Exudación de asfalto-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Fisuras en Bloque o Grietas de Contracción en Bloque

Las grietas en bloque 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. 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).

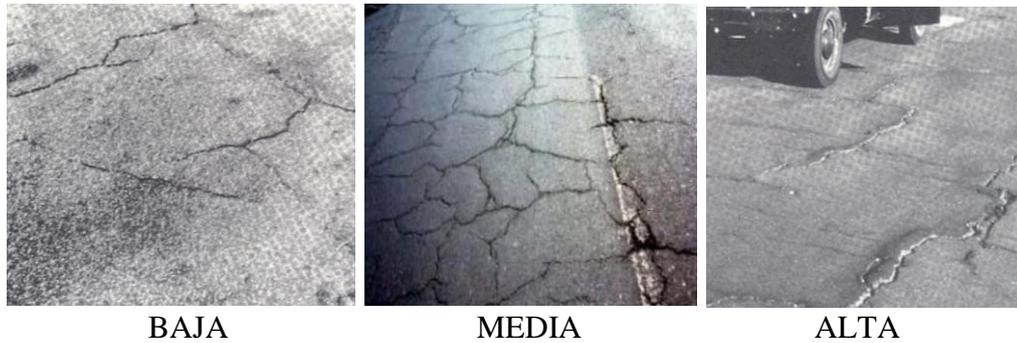


Figura 11: Fisuras en bloque-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Elevaciones (Abultamientos) y Hundimientos

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos (Falla N°16), pues, estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

- ✓ Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
- ✓ Infiltración y acumulación de material en una fisura agravada por el tráfico vehicular (algunas veces denominado “tenting”).
- ✓ Infiltración localizada de agua (por rotura de tubo) que causa un hueco en las subcapas del pavimento.



Figura 12: Elevaciones y hundimientos-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Corrugaciones (encalaminado)

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

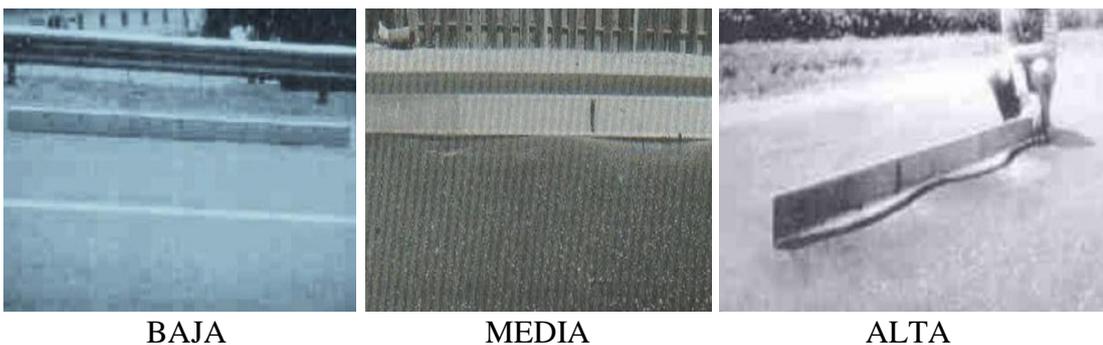


Figura 13: Corrugaciones-Severidad

FUENTE: Adaptado (Hiliquín Brañez, 2016)

- Depresiones

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.

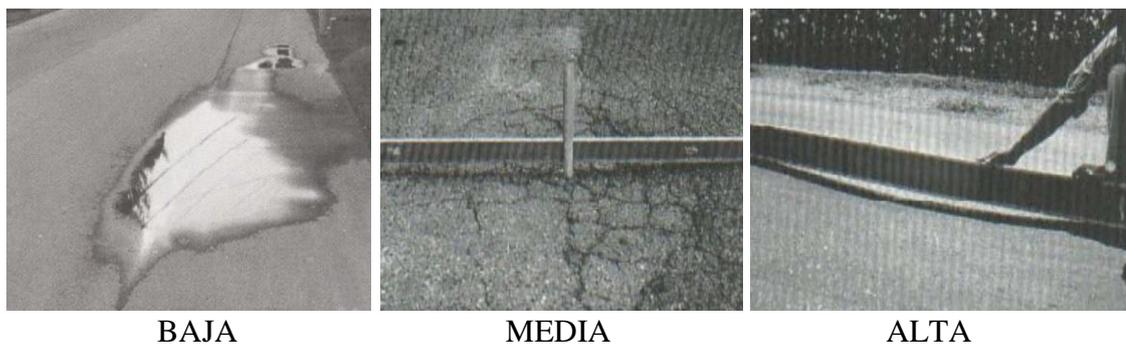


Figura 14: Depresiones-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Grieta (fisura) de borde

Este fisuramiento es paralelo y, generalmente, está a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Esta falla se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por el debilitamiento debido a condiciones climáticas, por falta de compactación y confinamiento de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento o por un drenaje inadecuado. 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).

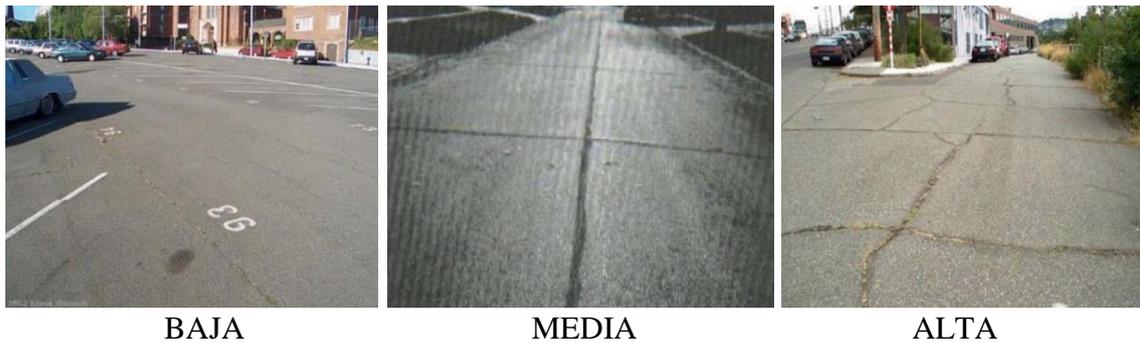


Figura 15: Grieta de borde-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Grieta de reflexión de juntas

Este daño ocurre, solamente, en pavimentos asfálticos construidos sobre pavimentos rígidos. No se incluyen fisuras de reflexión que puedan prevenir de otro tipo de subcapas, ya que estos se registran bajo fisuramiento longitudinal y/o transversal. 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. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

- Desnivel Carril / Berma

El desnivel carril / berma 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 sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

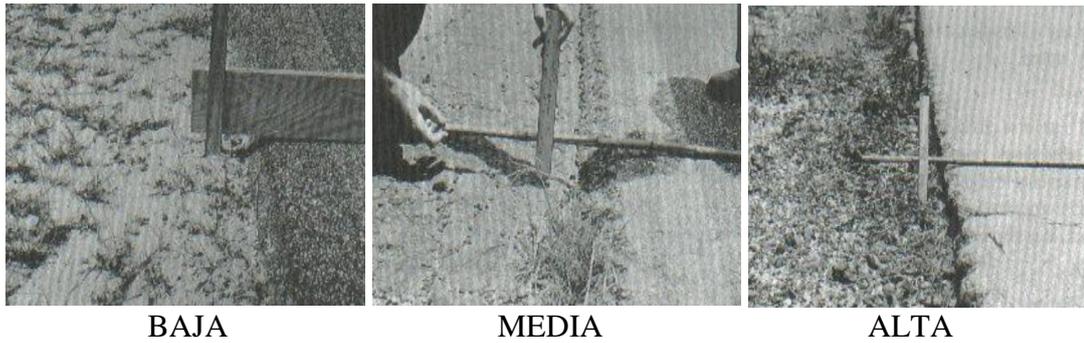


Figura 16: Desnivel carril/berma-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Grietas longitudinales y transversales

Las grietas 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 construída.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a las bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de la temperatura.
- 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.

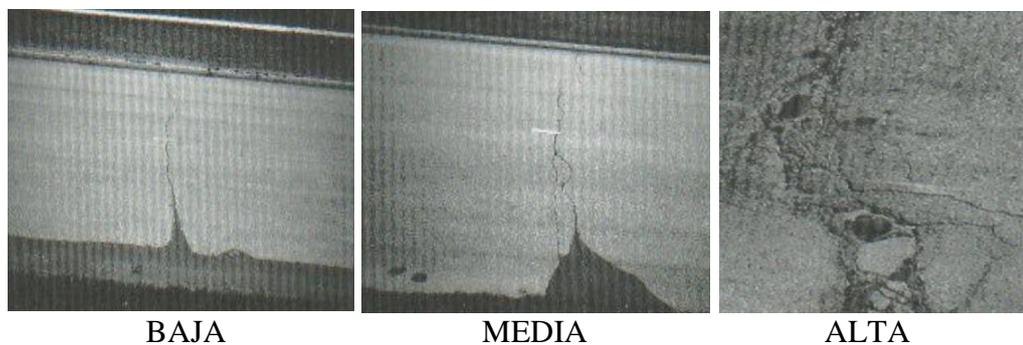


Figura 17: Grietas longitudinales y transversales-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Baches y zanjas reparadas (Parcheo)

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 que esté asociada con este daño.

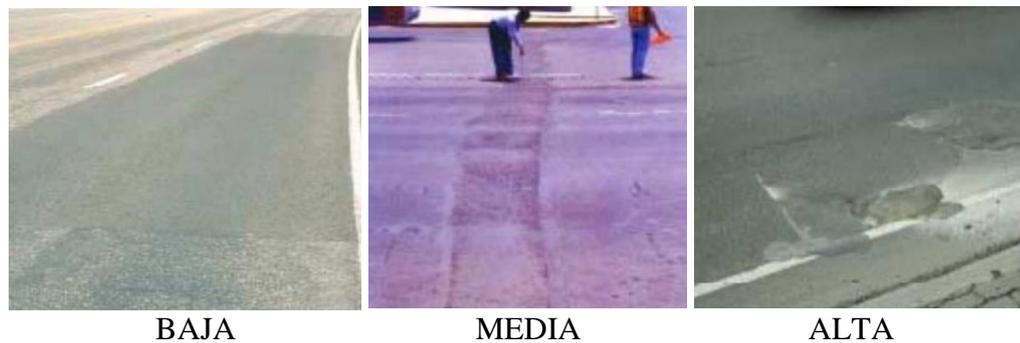


Figura 18: Parcheo-Severidad

FUENTE: Adaptación (Meza Pereira, 2018)

- Agregado Pulidos (Pulimiento de Agregados)

Este daño es causado por las aplicaciones repetitivas del tráfico. Cuando el agregado superficial se torna suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando el área afectada es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe considerarse cuando una inspección minuciosa revela que la superficie afectada es grande, lisa y hay evidencia que la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas ha decrecido considerablemente.



Figura 19: Agregado pulido-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Huecos

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Usualmente tienen bordes agudos y lados verticales cerca de su parte superior. Su crecimiento se acelera por la acumulación en su interior. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición 96 de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

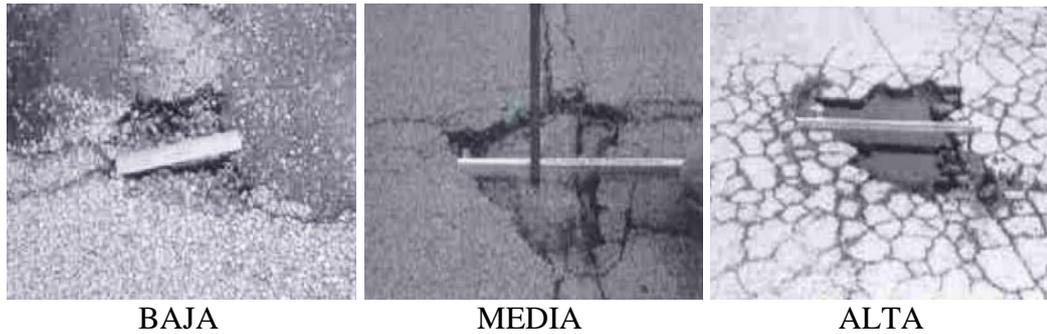


Figura 20: Huecos-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Cruce de Vía Férrea - Acceso y salidas a puentes, rejilla de drenaje, líneas férreas

Los defectos asociados al cruce de la vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

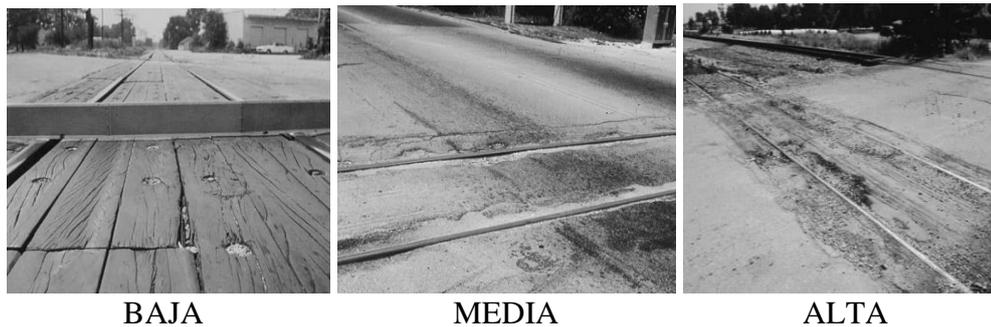


Figura 21: Cruce de vía férrea-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Ahuellamiento

El ahuellamiento 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, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente

producida por la consolidación o movimiento lateral de los materiales debido a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

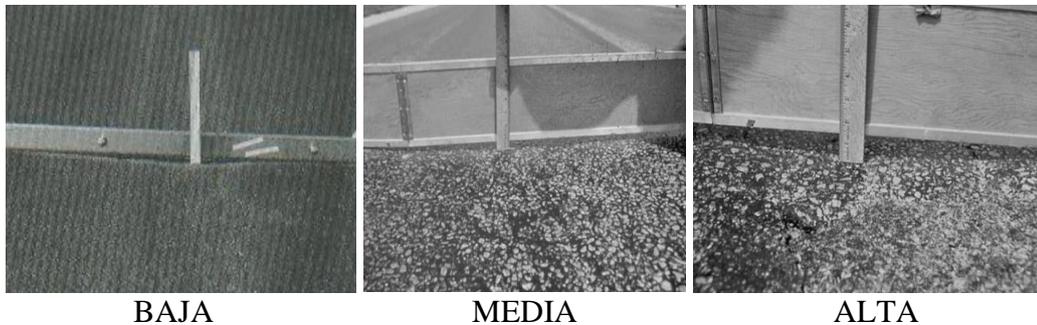


Figura 22: Ahuellamiento-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Deformación por empuje (Desplazamiento)

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 (cutback o emulsión). Los desplazamientos también ocurren cuando los 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.



Figura 23: Desplazamiento-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Grietas de deslizamientos ó Grieta Parabólica

Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en la presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con los procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

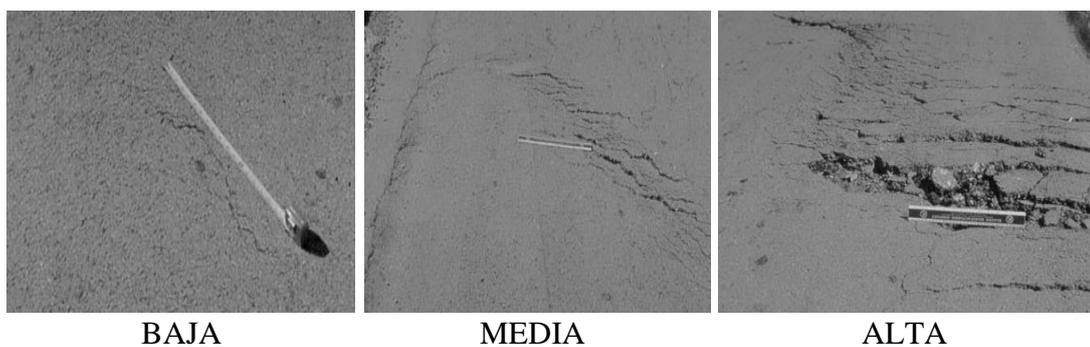


Figura 24: Grieta parabólica-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Hinchamiento

El hinchamiento 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.

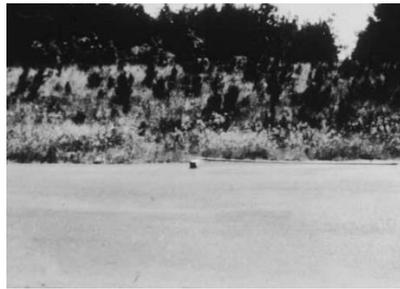


Figura 25: Hinchamiento-Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

- Disgregación y desintegración (Desprendimiento de Agregados)

La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

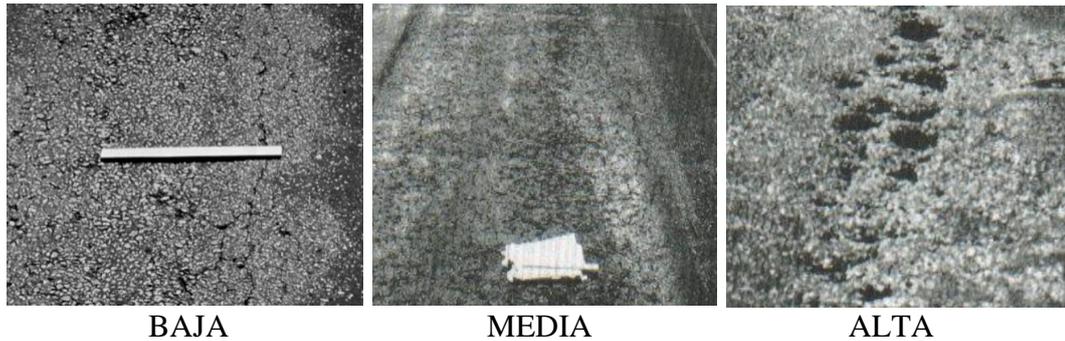


Figura 26: Desprendimiento de agregados- Severidad

FUENTE: Adaptación (Hiliquín Brañez, 2016)

Para la medición de severidad debemos considerar el grado bajo, medio y alto (Vásquez, 2002). Podemos usar la tabla N° 3, considerando cada tipo de falla:

Tabla N° 3: Niveles de severidad de los deterioros en Pavimento rígido - PCI

DAÑOS O FALLAS	SEVERIDAD		
	BAJO (Low)	MEDIO (Medium)	ALTO (High)
1.- Piel de cocodrilo.	Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas.	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.
2.- Exudación.	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.	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.	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.
3.- Agrietamiento en bloque.	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.



Continuación...

DAÑOS O FALLAS	SEVERIDAD		
	BAJO (Low)	MEDIO (Medium)	ALTO (High)
4.- Abultamientos y hundimientos.	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.
5.- Corrugación.	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.
6.- Depresión.	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: Más de 51.0 mm.
7.- Grieta de borde.	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.
8.- Grieta de reflexión de junta.	Existe 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 condiciones: 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeado de un ligero agrietamiento aleatorio.	Existe una de las condiciones: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio 2. de media o alta severidad. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.
9.- Desnivel carril / berma.	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 102.00 mm.

Continuación...

DAÑOS O FALLAS	SEVERIDAD			
	BAJO (Low)	MEDIO (Medium)	ALTO (High)	
10.- Grietas Longitudinales y transversales.	Existe 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.	Existe una de las condiciones: 1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas. 3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.	Existe una de las condiciones: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta. 2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.	
11.- Parcheo.	El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. 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.	
12.- Pulimento de agregados.	No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.			
13.-Huecos (Bacheo)	Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
		102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
	12.7 a 25.4 mm	BAJO	BAJO	MEDIO
	> 25.4 a 50.8 mm	BAJO	MEDIO	ALTO
	> 50.8 mm	MEDIO	MEDIO	ALTO
14.- Cruce de vía férrea.	El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.	El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.	El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.	
15.- Ahuellamiento.	Profundidad media del ahuellamiento: 6.0 a 13.0 mm.	Profundidad media del ahuellamiento: >13.0 mm a 25.0 mm.	Profundidad media del ahuellamiento: H: > 25.0 mm.	



Continuación...

DAÑOS O FALLAS	SEVERIDAD		
	BAJO (Low)	MEDIO (Medium)	ALTO (High)
16.- Desplazamiento.	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.
17.- Grieta parabólica (slippage)	Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.	Existe una de las 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 ajustados.	Existe una de las condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.
18.- Hinchamiento.	El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.	El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.	El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.
19.- Desprendimiento de agregados.	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.

FUENTE: (Adaptación de Vásquez, 2002)

Es importante tener todos estos conceptos claros, o tenerlos a la mano para la salida de campo y realizar las mediciones correctamente.



### 2.2.5.6. CÁLCULO DEL PCI

Adaptando lo descrito en la ASTM D6433-18 para el cálculo del PCI y relacionándolo con lo mencionado por (Cuba Alvarez, 2017), se puede plantear para el cálculo las siguientes etapas:

#### A) Etapa 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”. Las tablas se encuentran en el ANEXO A.

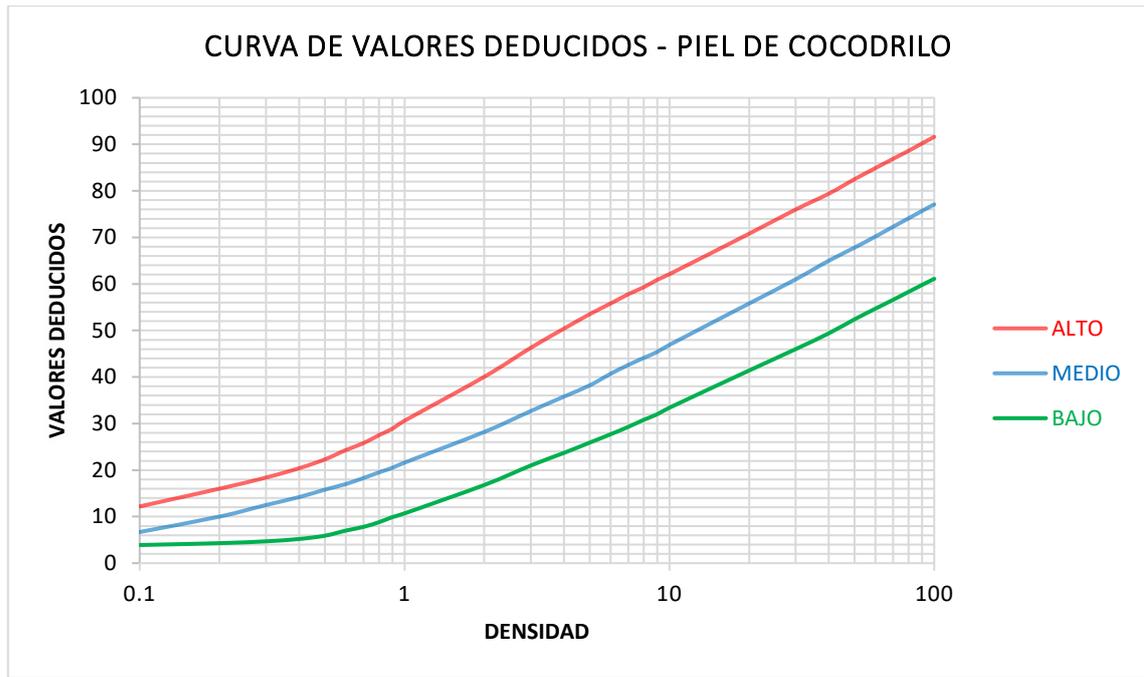


Figura 27: Valor Deducido Piel de Cocodrilo  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

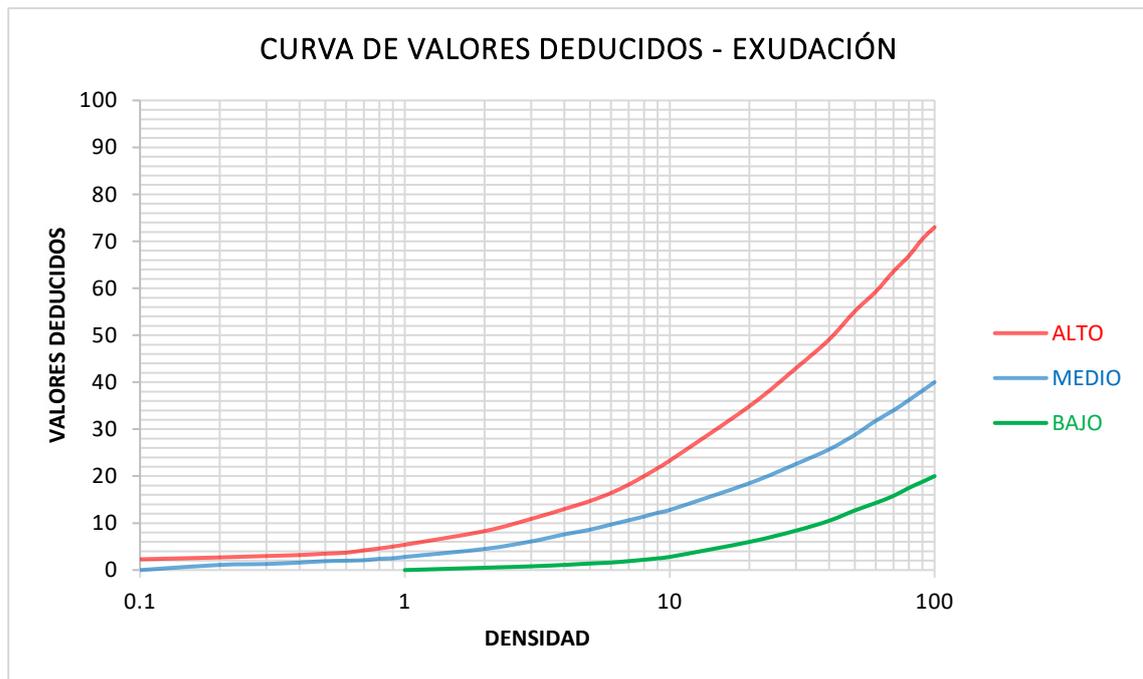


Figura 28: Valor Deducido Exudación  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

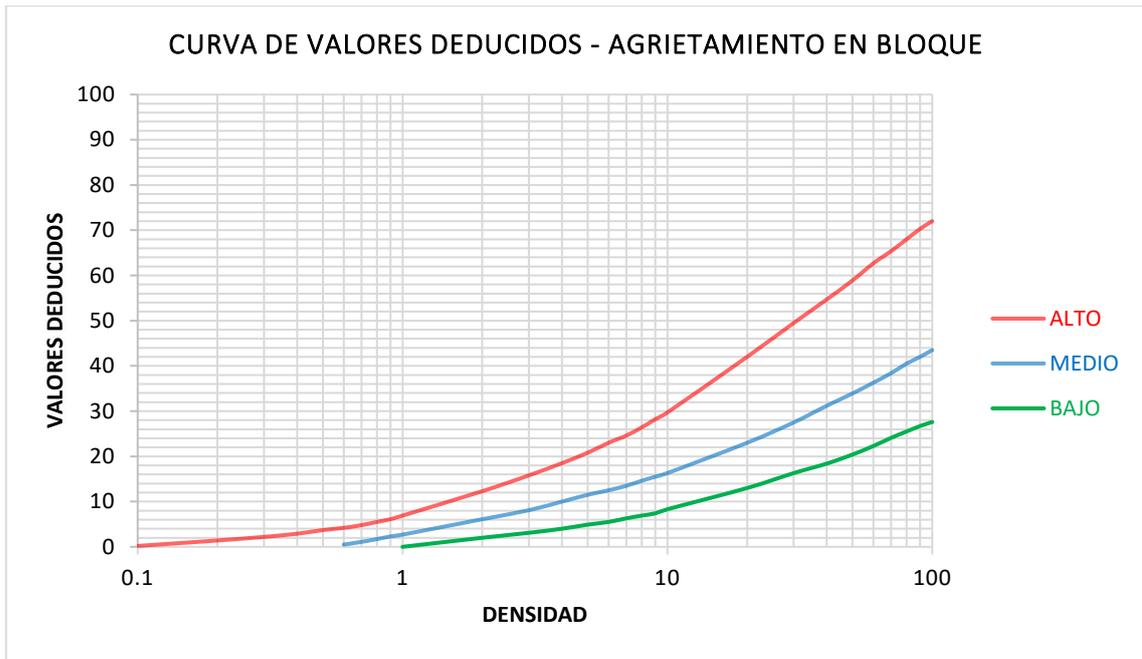


Figura 29: Valor Deducido Agrietamiento de Bloque

FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

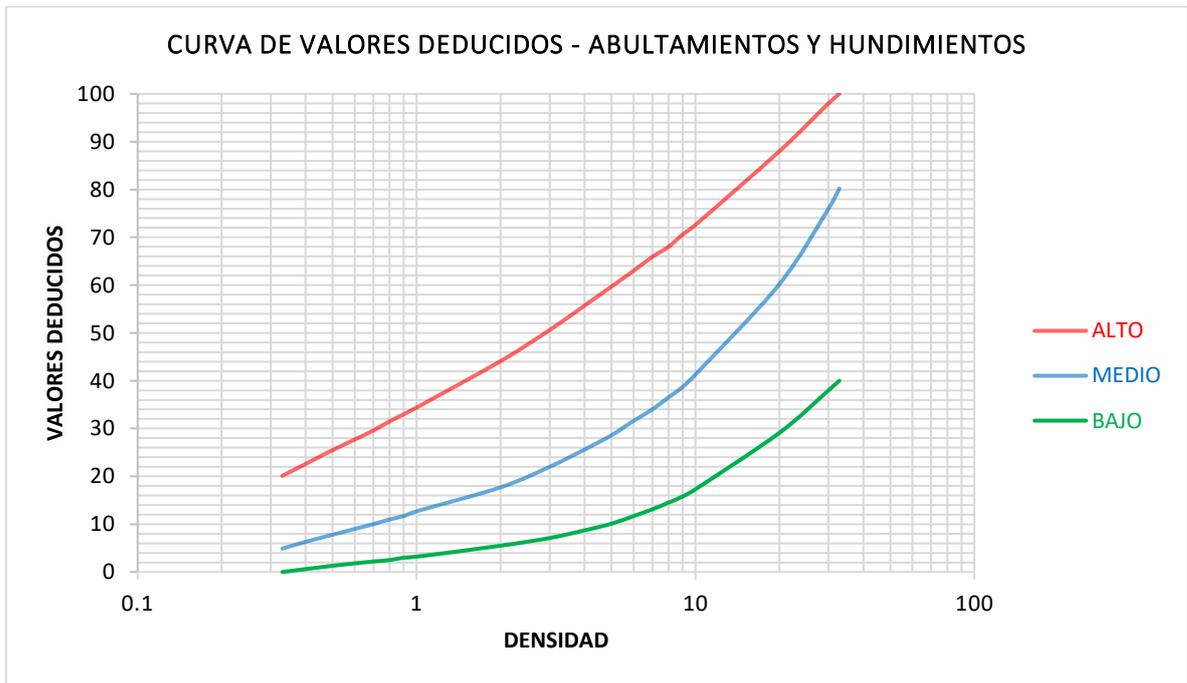


Figura 30: Valor Deducido Abultamientos y Hundimientos

FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

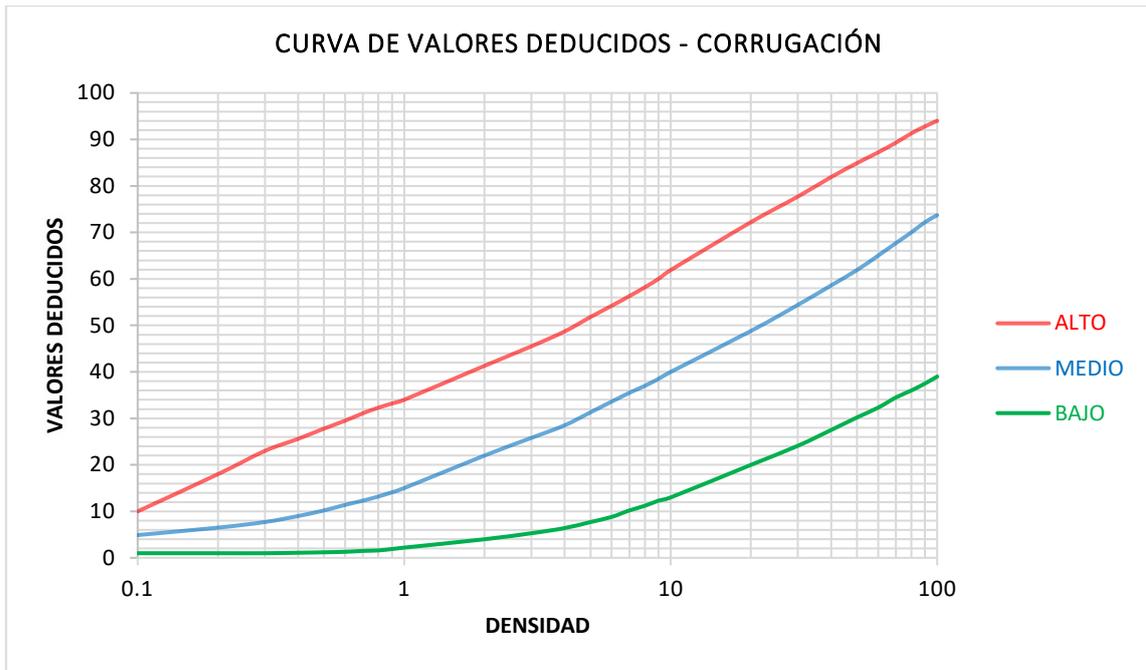


Figura 31: Valor Deducido Corrugación  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

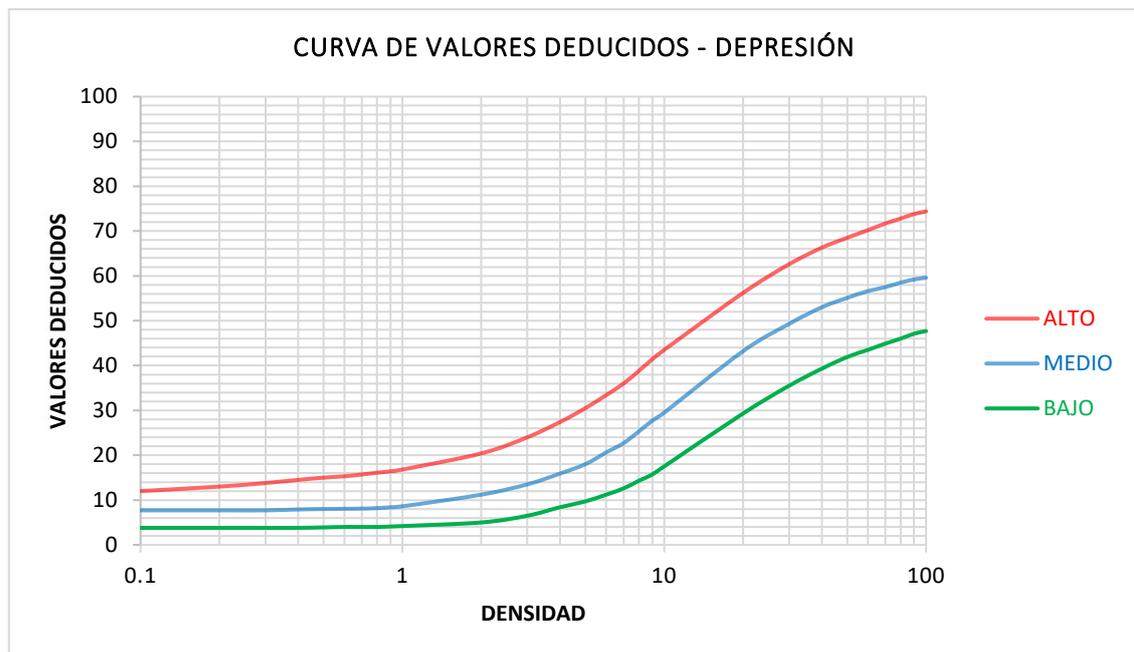


Figura 32: Valor Deducido Depresión  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

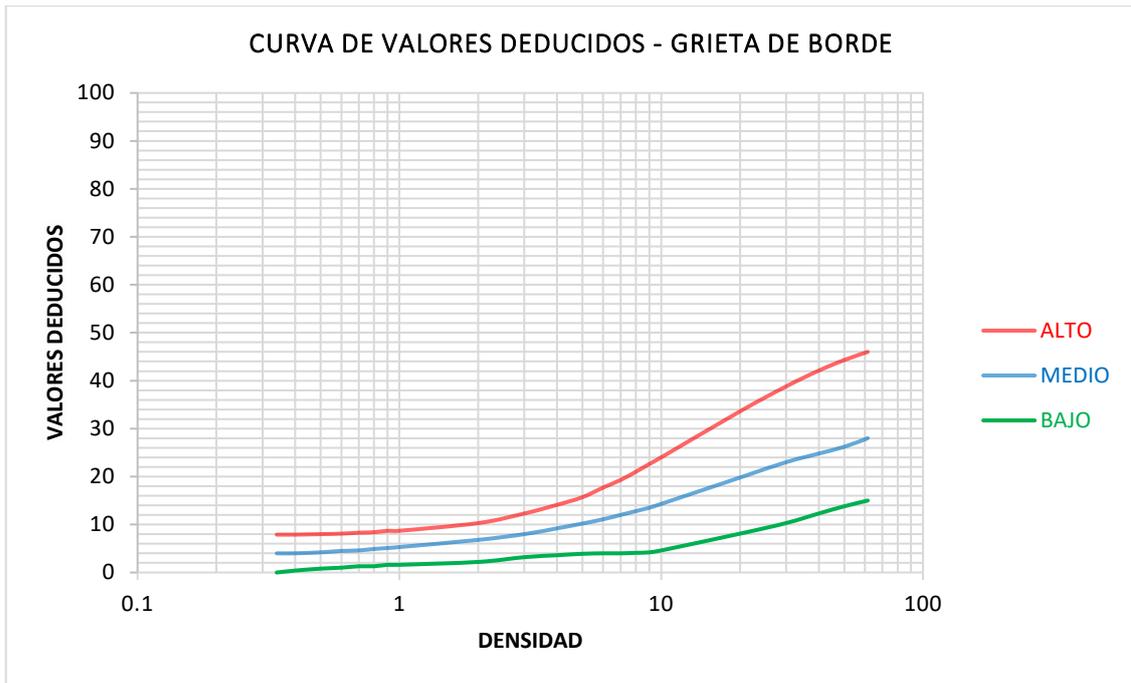


Figura 33: Valor Deducido Grieta de Borde  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

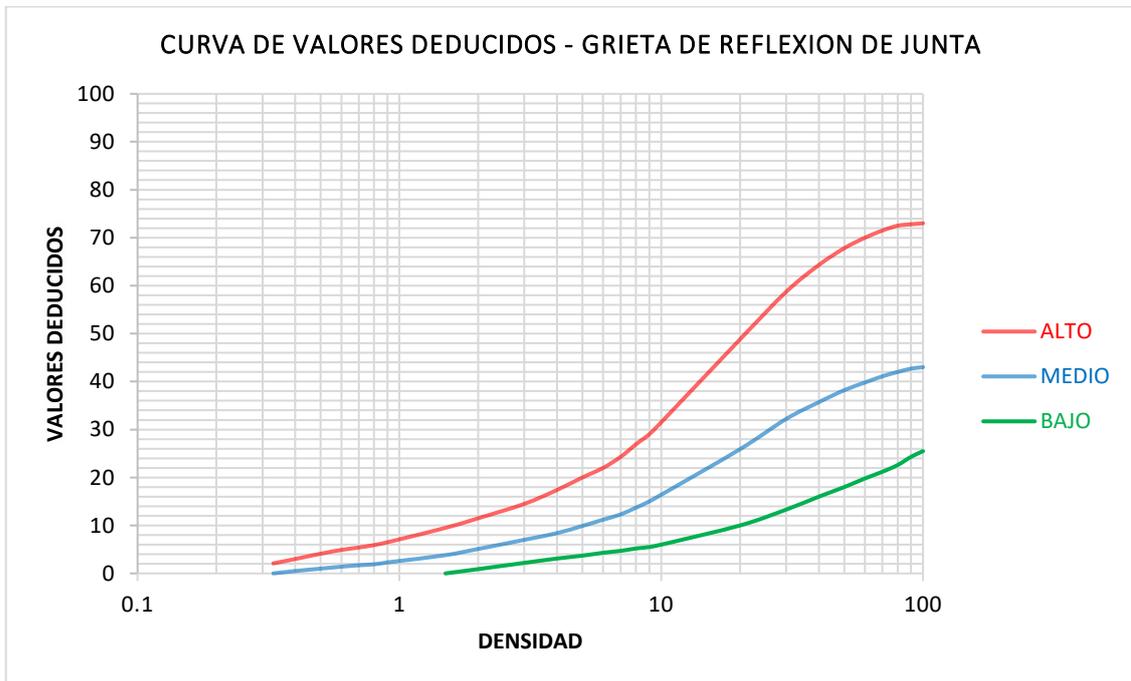


Figura 34: Valor Deducido Grieta de Reflexión de Junta  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

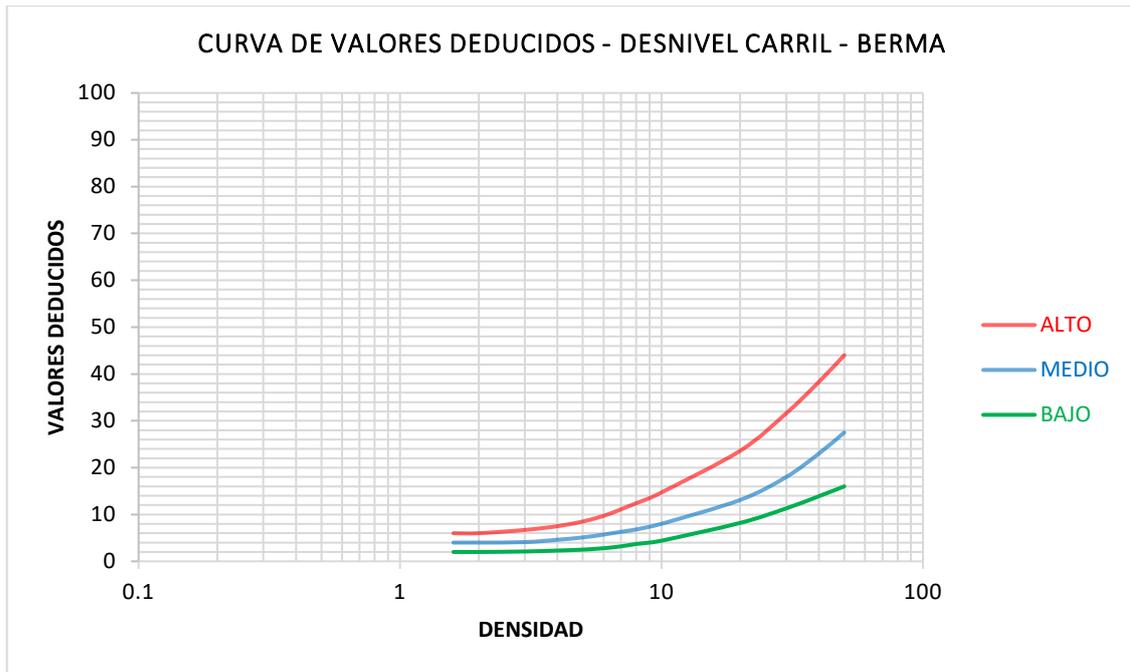


Figura 35: Valor Deducido Desnivel Carril / Berma

FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

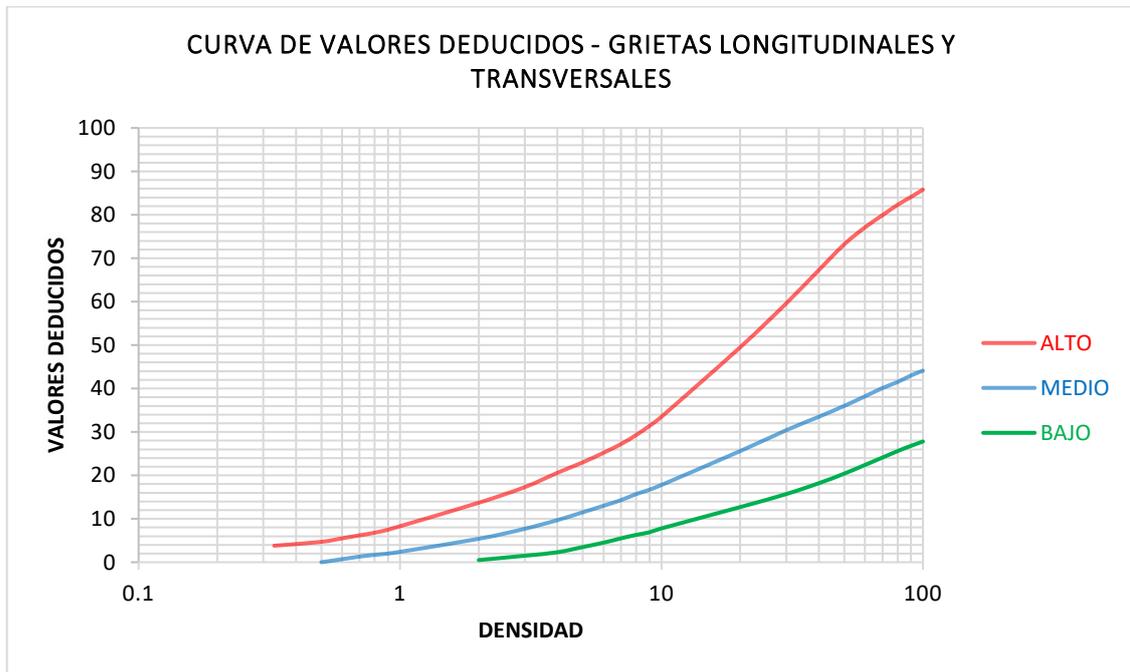


Figura 36: Valor Deducido Grietas Longitudinales y Transversales

FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

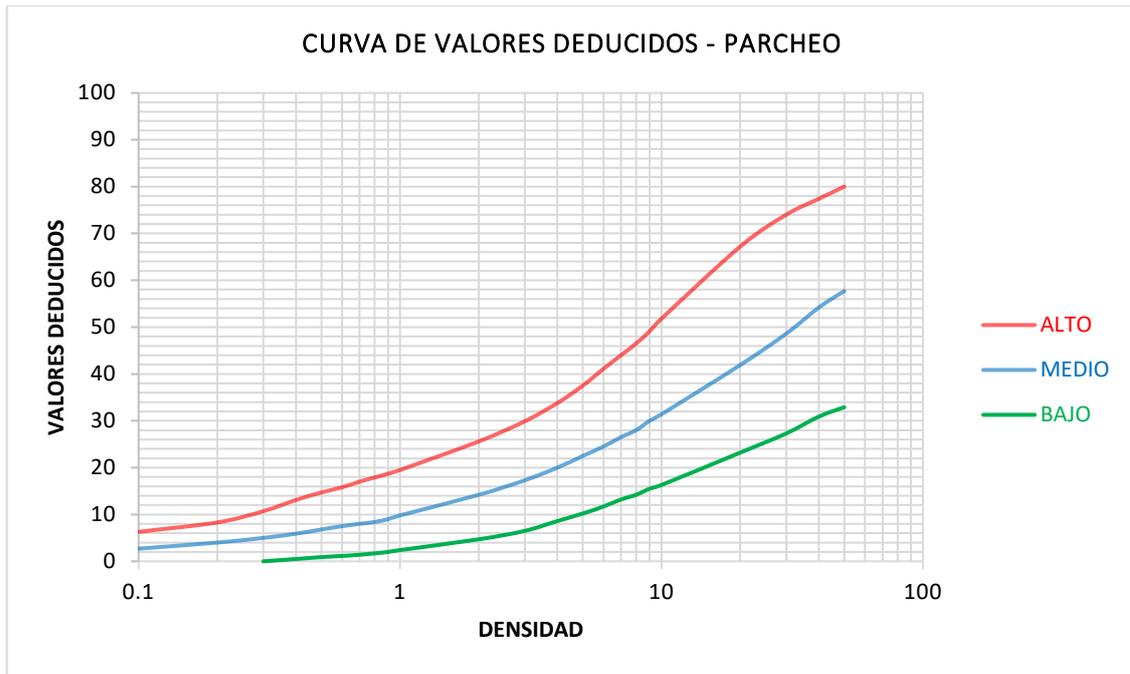


Figura 37: Valor Deducido Parcheo  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

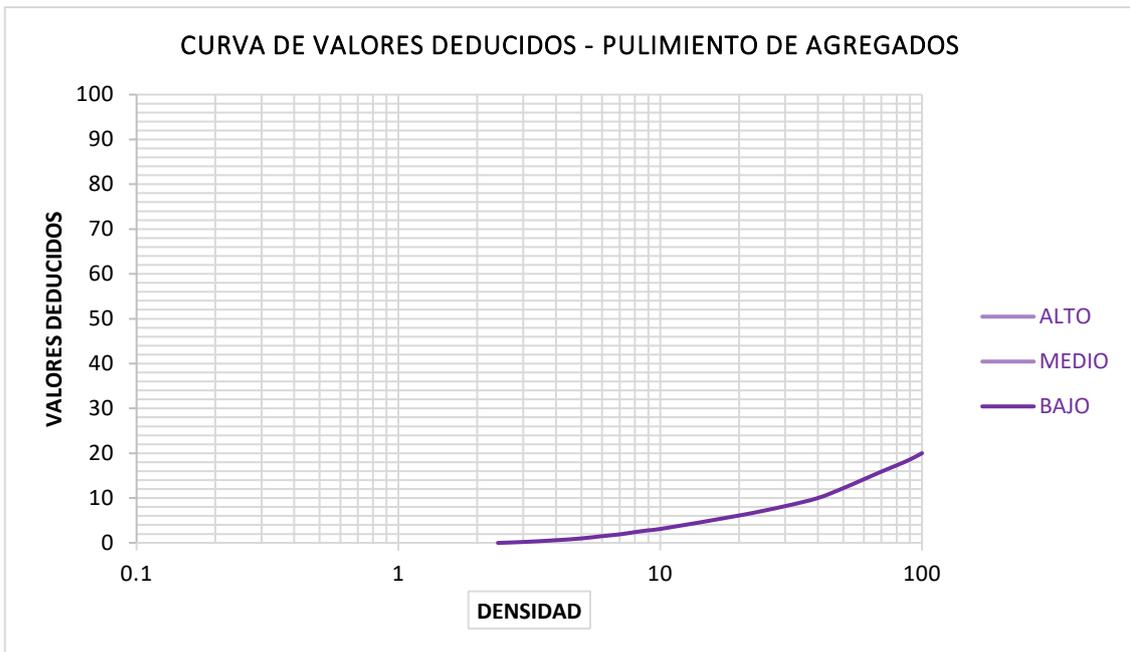


Figura 38: Valor Deducido Pulimiento de Agregados  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

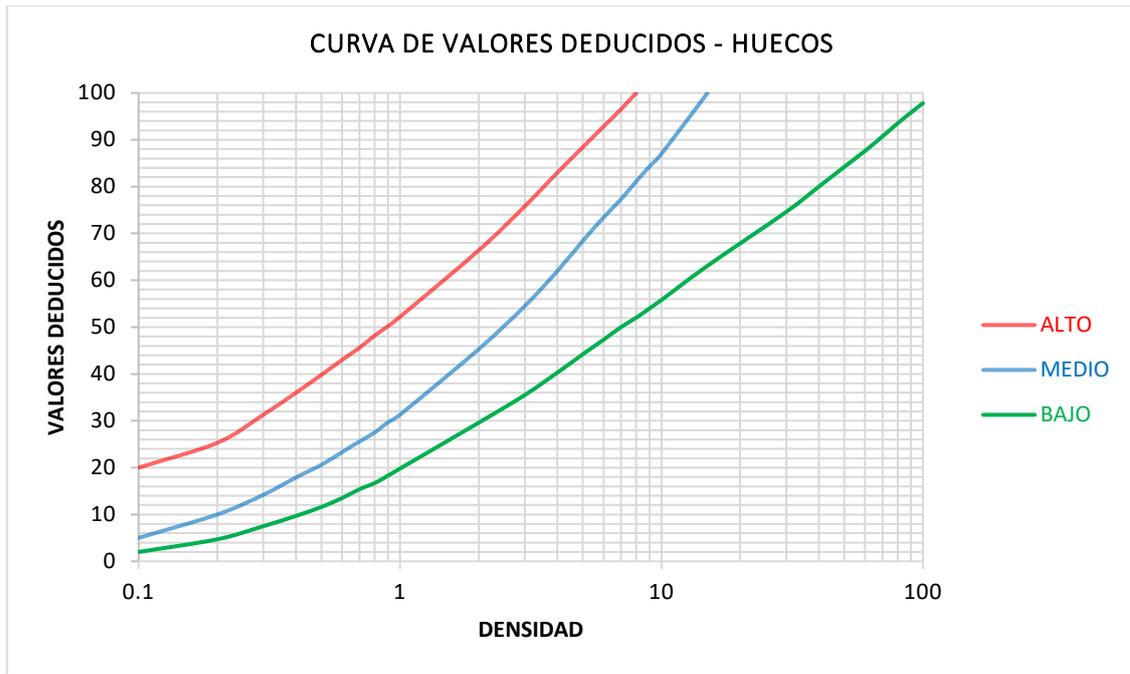


Figura 39: Valor Deducido Huecos  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

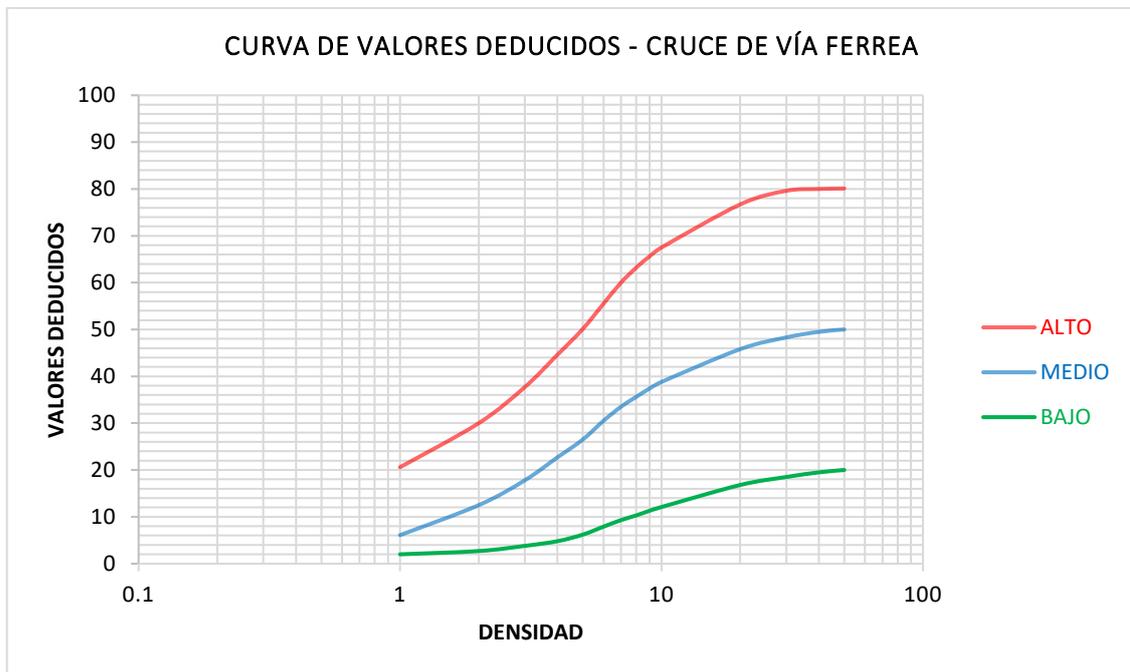


Figura 40: Valor Deducido Cruce de Vía Férrea  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

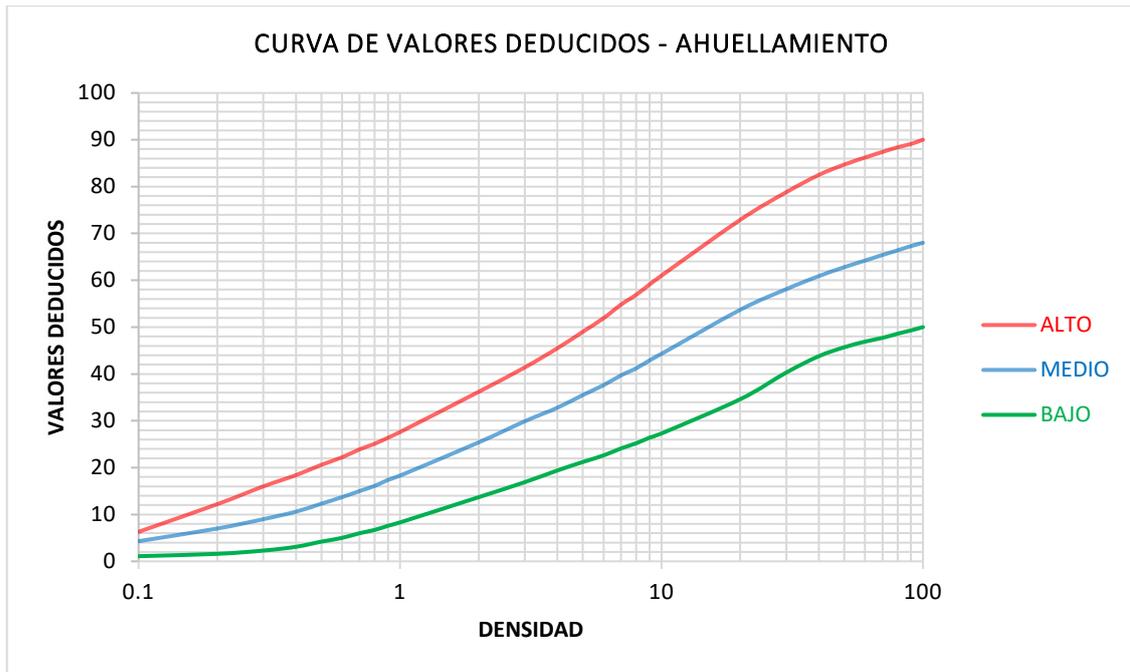


Figura 41: Valor Deducido Ahuellamiento  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

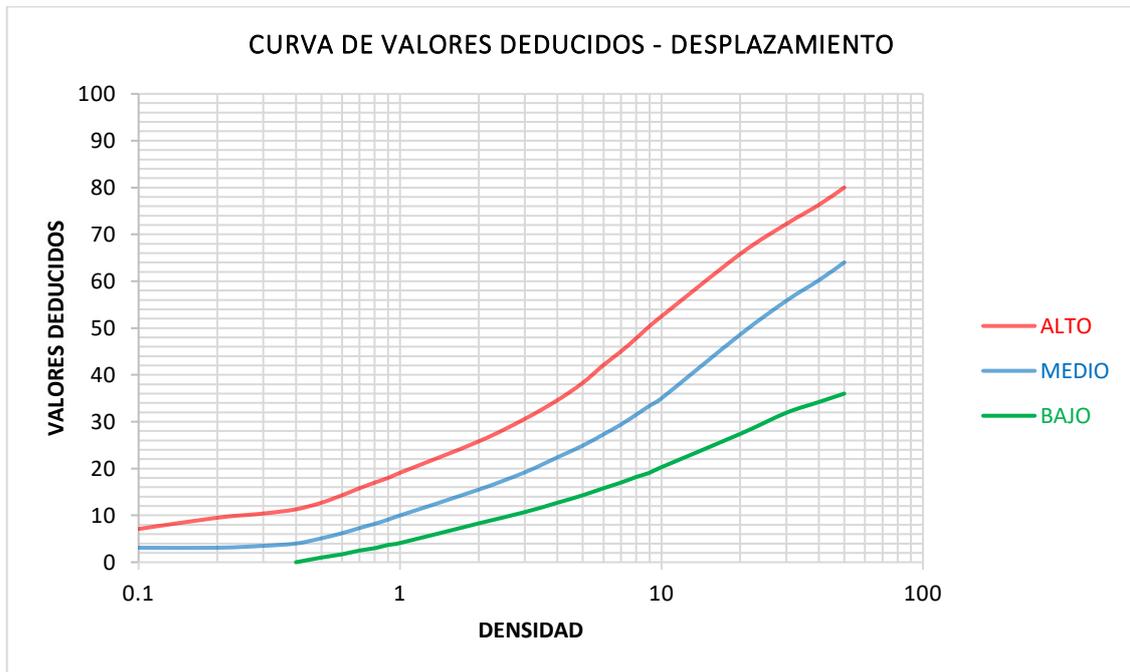


Figura 42: Valor Deducido Desplazamiento  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

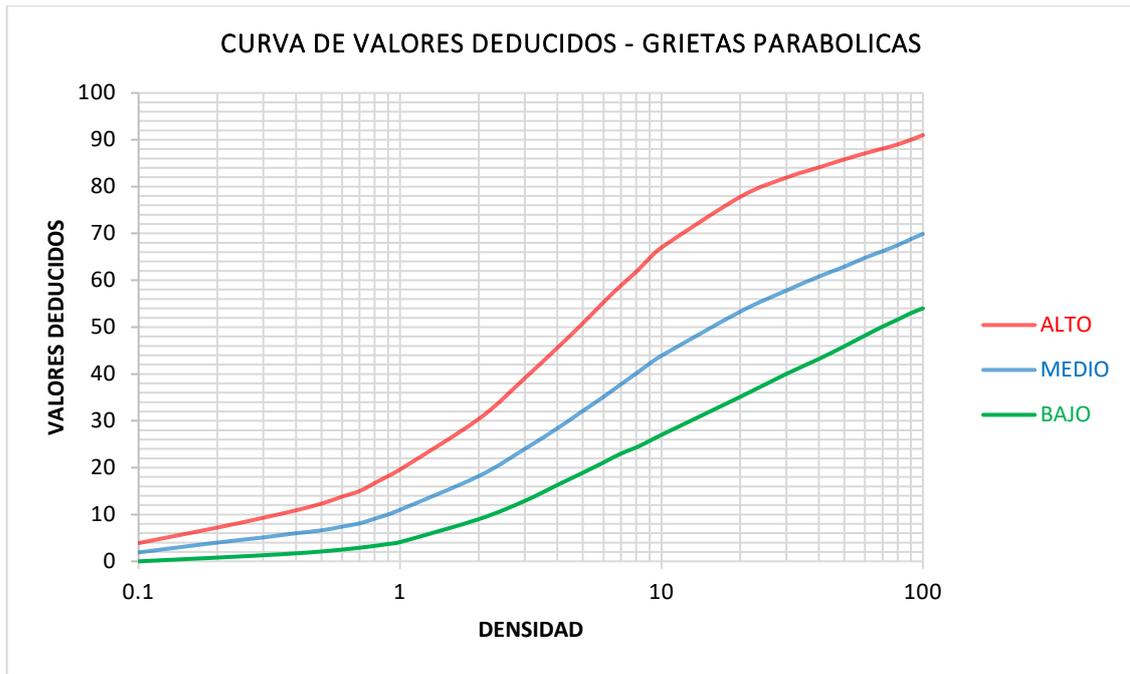


Figura 43: Valor Deducido Grietas Parabólicas  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

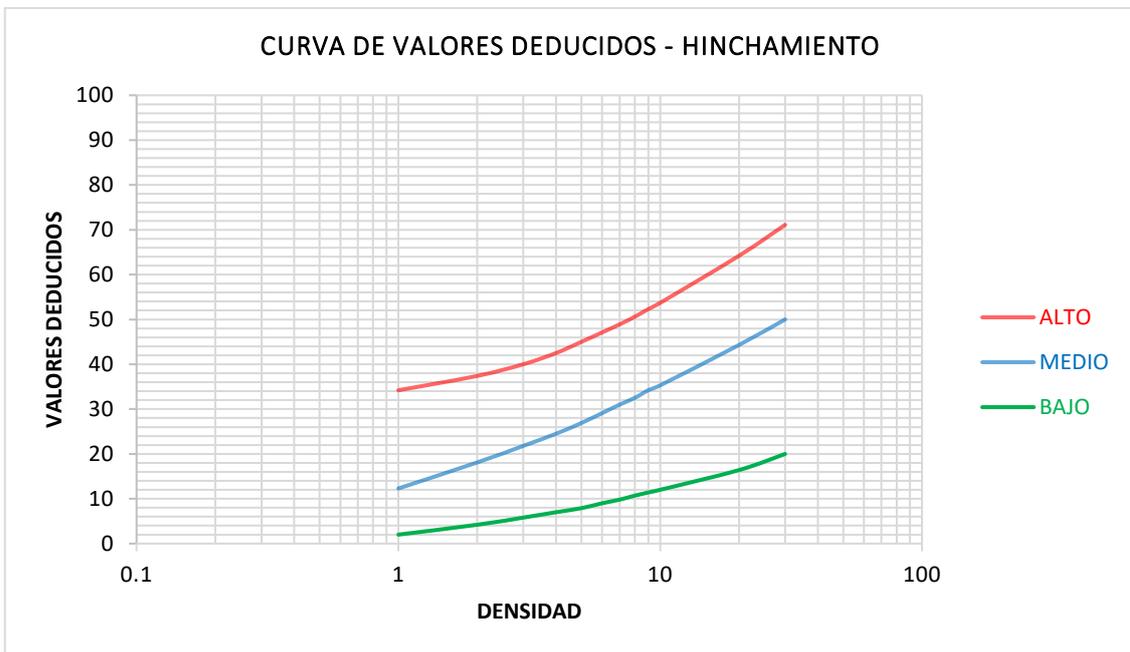


Figura 44: Valor Deducido Hinchamiento  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

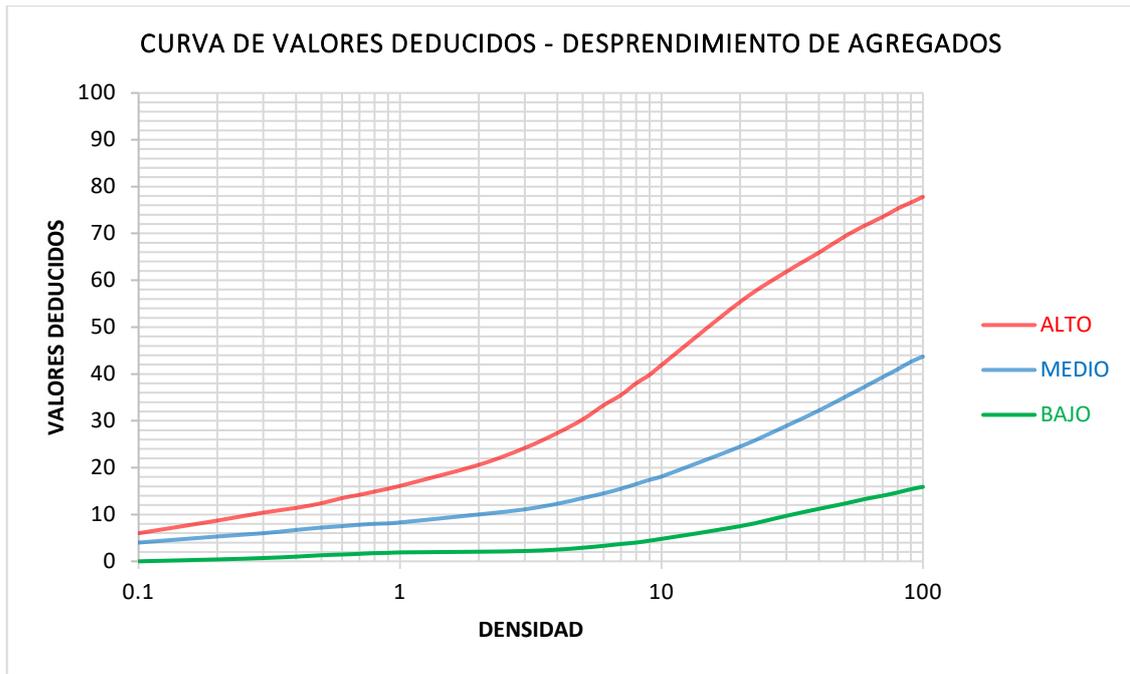


Figura 45: Valor Deducido Desprendimiento de Agregados  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)

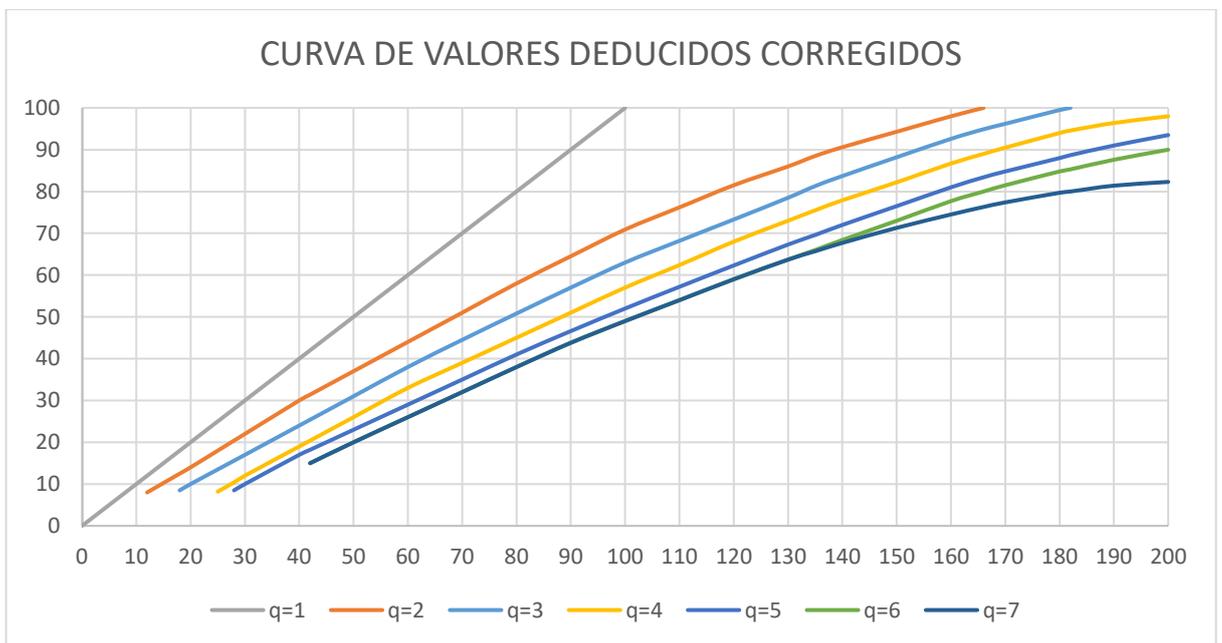


Figura 46: Curva de Valores Deducidos Corregidos  
FUENTE. (Adaptación de Vásquez, 2002)



B) Etapa 2: Determinación del Número máximo admisible de los 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), obtenido 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:

$$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1),$$

**HDV<sub>1</sub>: máximo valor de deducción**

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.

C) Etapa 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. Se procede a determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.

Se calcula el CDV con el “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento. Se reduce a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 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.

D) Etapa 4:

Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la ETAPA 3. **PCI = 100 – máx. CDV**

Dónde: PCI: Índice de la condición del pavimento

Máx. CDV: Máximo valor corregido deducido

El PCI promedio, resulta ser el promedio de todos los PCI de cada unidad de la muestra.

## 2.2.6. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

### 2.2.6.1. DEFINICIÓN DEL IRI.

El IRI por sus siglas en inglés (International Roughness Index), es el Índice de Regularidad Internacional, parámetro que se utiliza para determinar la regularidad de un pavimento. El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento de una vía. El perfil real de una vía recién construida representa un estado definido por su IRI inicial; una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica, lentamente, en función del paso del tránsito, evolucionando hacia valores más elevados del IRI. (Alave Aguilar, 2013). Por lo tanto se define dos valores de IRI, el inicial y el remanente; este último se utiliza para la reparación o rehabilitación.



### 2.2.6.2. CONSIDERACIONES SOBRE EL IRI

Existen algunas consideraciones importantes que debemos de tomar en cuenta para un mejor entendimiento y medición del IRI.

#### A) Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.

La rugosidad es afectada por distintos factores, que pueden ser de distinta índole. (Almanza Mendoza, 2014), infiere que existen muchos factores que afectan la regularidad superficial del pavimento, de estos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.
- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular como el contenido de la humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la sub rasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.



## B) Bondades de un pavimento sin irregularidades.

Este concepto va ligado al IRI inicial, no para un IRI remanente. (Almanza Mendoza, 2014), los pavimentos sin irregularidades brindan al usuario la comodidad al transitar y a su vez un pavimento sin irregularidades trae consecuencias positivas en comparación con un pavimento con superficie irregular:

- La vida de servicio aumenta.
- Disminuye el consumo de combustible y el costo de mantenimiento del vehículo
- Disminuye el costo de mantenimiento del pavimento.

## C) Otras consideraciones

(Choque Palacios, 2019) determina algunas consideraciones, de las cuales podemos resumir las siguientes:

- Es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo del mismo. La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial es uno de los temas más delicados y complejos de decidir y valorar.
- La escala IRI es linealmente proporcional a la regularidad, así si a todos los valores de elevación en un perfil medido son incrementados por algún porcentaje, entonces el IRI aumenta exactamente en el mismo porcentaje. Un IRI de 0.0 significa que el perfil es absolutamente liso. No existe un límite teórico superior para la regularidad, aunque los pavimentos con valores de IRI mayores a 8 m/km son casi intransitables excepto a velocidades reducidas.



### **2.2.6.3 EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DEL IRI.**

A la actualidad se han desarrollado una variedad de equipos para la medición del IRI, en el Perú estos equipos son utilizados para la evaluación de todo tipo de pavimentos. Los equipos para la medición de la Regularidad superficial del Pavimento, difieren uno del otro por la precisión de los resultados obtenidos, la rapidez en la obtención de los datos y la complejidad del sistema que gobierna su funcionamiento. (Almanza Mendoza, 2014). Además, de ello cada método asume un valor conservador de acuerdo a las unidades de muestra y precisión.

Se considera a rugosímetro MERLIN la opción más apropiada para la medición del IRI, por su grado de precisión alta y complejidad de equipo simple. (Almanza Mendoza, 2014) hace referencia a RUGOMETHER III y MERLIN asegurando que el segundo es la más apropiada para la obtención del IRI.



Tabla N° 4: Equipos para la medición del IRI

EQUIPO	CLASE	GRADO DE PRECISION	IMPLEMENTACION	COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	OBSERVACIONES
Fotogrametria (filografos)	III	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para la evaluación de las redes viales. Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.
ALTIMETRO (ALTIMETER)	III	Media	Monitoreo de red vial	Compleja	Estos equipos no son prácticos para las evaluaciones de grandes distancias.
Altimetro de línea	I	Alta	Mediciones de perfil de pavimento	Simple	El uso de estos equipos para proyectar no es práctico y los costos son elevados.
Altimetro de mira	I	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimento en longitudes cortas.
Altimetro de stick	I	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Muy Simple	Equipos con alta precisión, permitiendo la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Pueden ser utilizados para la calibración de los equipos tipo res...
Altimetro diferencial (inercial) (differential Inertial Altimeter)	I	Muy alta	Monitoreo y recepción de proyectos viales	Muy compleja	

NOTA: Adaptación (Almanza Mendoza, 2014)

#### 2.2.6.4. ESCALA DE REGULARIDAD

Para cualificar el valor IRI, tenemos distintas opciones. Podemos mencionar en primer la que nos ofrece el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, sección suelos y pavimentos; en donde nos indica “Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el periodo de servicio, se recomienda los siguientes valores”

Tabla N° 5: Rugosidad IRI (M/KM) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente.

TIPO DE CARRETERA	NUEVO IRI (m/km)	REFORZ. IRI (m/km)	PERIODO SERV. IRI (m/km)	OBS.
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	2	2.5	3.5	Conf. de 95%.
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	2	2.5	3.5	Conf. de 95%.
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000- 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.5	3	4	Conf. de 95%.
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.5	3	4	Conf. de 90%.
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3	3.5	4.5	Conf. de 90%.
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	3	3.5	4.5	Conf. de 85%.

FUENTE: (MTC, 2013)

Asimismo, el MTC Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras. Considera un valor IRI para vías pavimentadas y no pavimentadas.

Tabla N° 6: Estado vial según la rugosidad

ESTADO	PAVIMENTADAS	NO PAVIMENTADAS
BUENO	$0 < \text{IRI} < 2.8$	$\text{IRI} < 6.0$
REGULAR	$2.8 < \text{IRI} < 4.0$	$6.0 < \text{IRI} < 8.0$
MALO	$4.0 < \text{IRI} < 5.0$	$8.0 < \text{IRI} < 10.0$
MUY MALO	$5.0 < \text{IRI}$	$10.0 < \text{IRI}$

FUENTE: (MTC., 2013)

En la siguiente tabla se visualiza los diferentes valores del IRI (m/km) utilizados por algunos países para clasificar el grado de confort de las vías pavimentadas (Ventura & Alvarenga, 2005).

Tabla N° 7: Comparación de valores IRI utilizados en otros países

País	Estado del pavimento		
	Bueno	Regular	Malo
EE. UU.	$< 2.4$	$2.4 - 4.7$	$> 4.7$
Chile	$0 - 3.0$	$3.0 - 4.0$	$> 4.0$
Honduras	$< 3.5$	$3.5 - 6.0$	$> 6$
Uruguay	$< 3.9$	$4.0 - 4.6$	$> 4.6$
Perú	$< 2.5$	$2.5 - 4.5$	$> 4.5$

FUENTE: (Ventura & Alvarenga, 2005)

También se puede mencionar el documento técnico N°46 del Banco Mundial que muestra la escala de regularidad para diferentes tipos de carreteras.

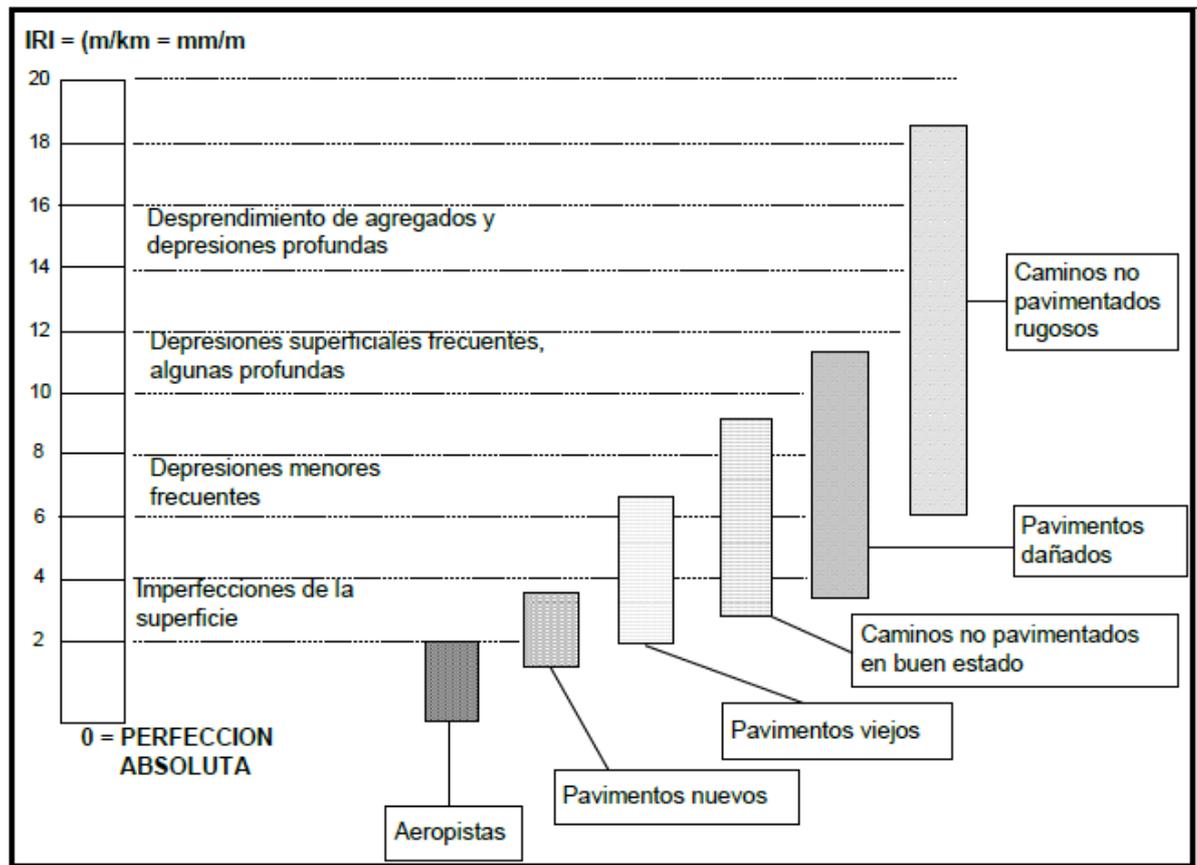


Figura 47: Escala estándar empleada por el Banco Mundial para cuantificar el IRI.

FUENTE: Documento técnico N° 46 del Banco Mundial.

#### 2.2.6.5. RUGOSÍMETRO MERLÍN.

Según la clasificación de equipos para la medición de la regularidad superficial de pavimentos, propuesta por el Banco Mundial, el MERLIN pertenece a la Clase 1, por obtener resultados muy exactos solo superado por el método de “Mira y Nivel”; además de ser una variación del perfilómetro estático. El Rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo. (Del Aguila P. , 1999). Al estar nuestro país dentro de este grupo,

este instrumento se convierte en una buena opción para los estudios que determinen la regularidad de un pavimento.

A) Esquema y representación de las partes de un equipo MERLIN.

El MERLIN es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera.

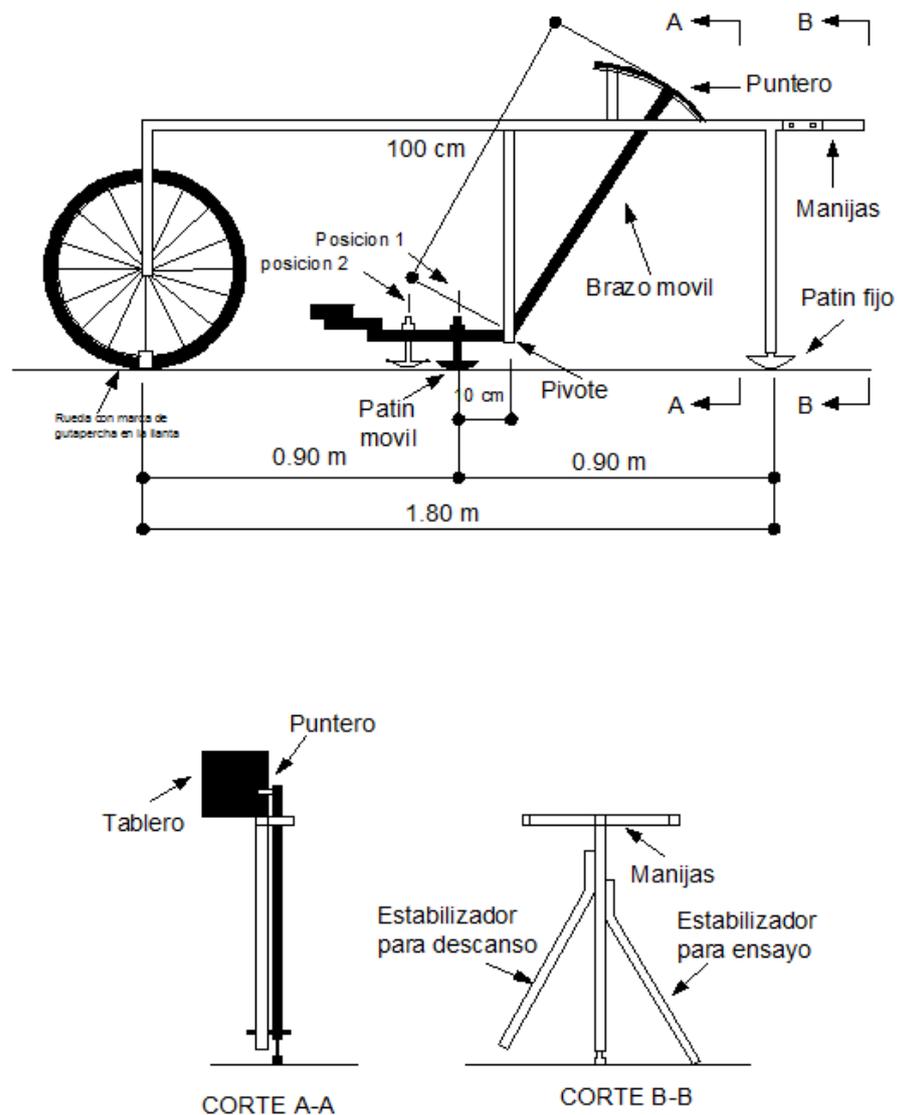


Figura 48: Esquema del Rugosímetro MERLIN.

FUENTE: (Del Aguila P. , 2000)



La figura muestra la parte de un equipo MERLIN

- Rueda con arca de gutapercha.
- Patín móvil.
- Pivote.
- Brazo móvil.
- Puntero.
- Manijas.
- Patín fijo.
- Tablero.
- Estabilizador para descanso
- Estabilizador para ensayo.

#### **2.2.6.6. MÉTODO DEL ENSAYO DE RUGOSÍMETRO MERLIN**

##### **A) El tablero del MERLIN**

La relación entre el patín móvil – pivot y pivot – puntero es de 1 a 10, lo cual da entender que un movimiento en la parte inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm (10 mm) 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 cuál se desliza el puntero. (Almanza Mendoza, 2014). Las mediciones de 25 a 50 indican depresiones y de 1 a 25 son elevaciones.

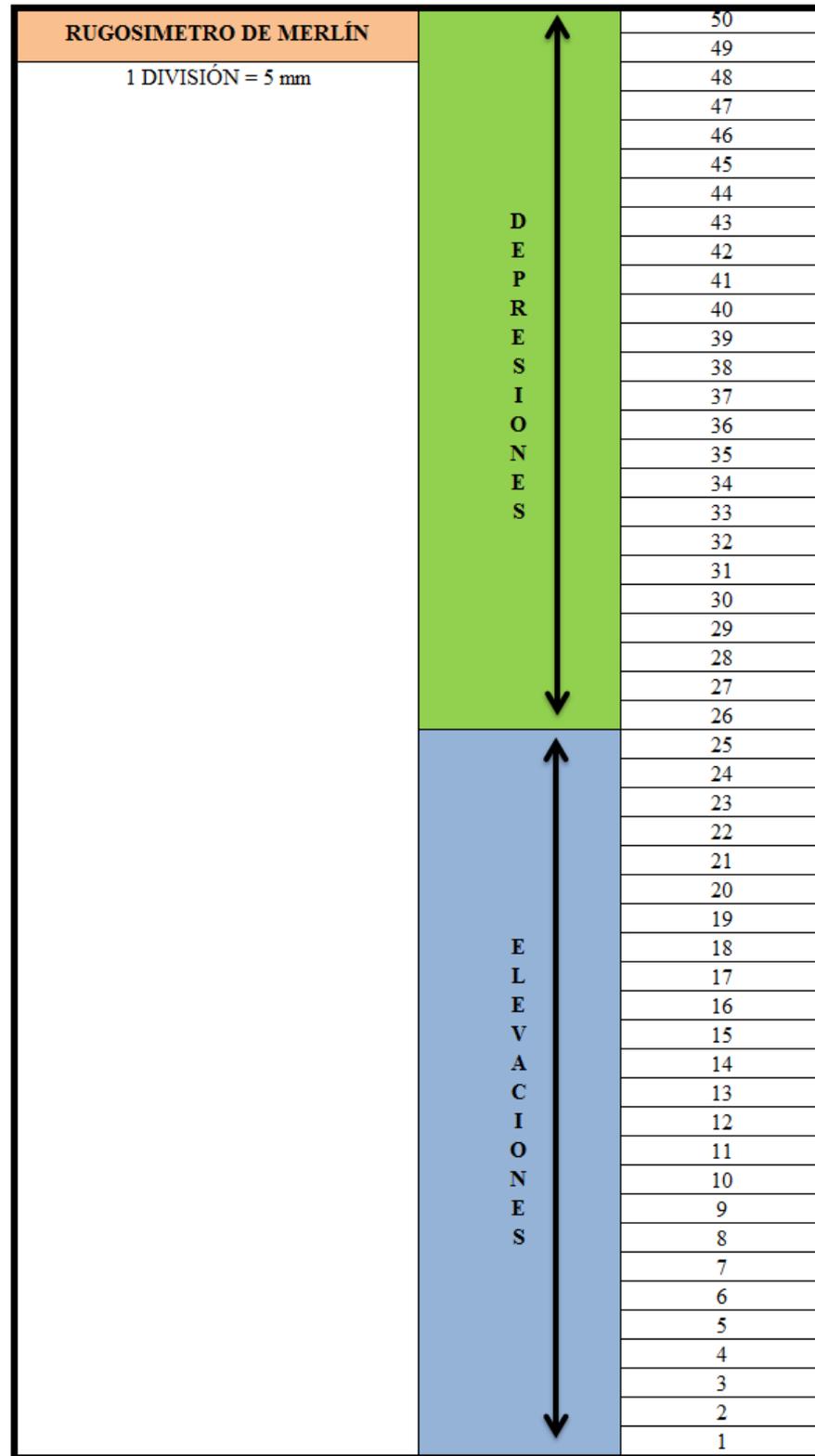


Figura 49: Configuración del tablero del MERLIN.

FUENTE: (Almanza Mendoza, 2014)

**B) Procedimiento de Ensayo.**

Se debe seleccionar una longitud del tramo de carretera de, aproximadamente, 400m, y para la ejecución del ensayo es necesario dos personas uno que opere el equipo y el otro que anote las desviaciones. Las desviaciones detectadas por el patín móvil son indicadas en el tablero, las observaciones se realizan cada 2m, hasta completar las 200 lecturas, la velocidad de recorrido, aproximado, es de 2 km /h. (Almanza Mendoza, 2014) Las anotaciones de las observaciones realizadas deben ser hechas en un formato como el que se muestra en la figura siguiente:

**ENSAYO PARA MEDICION DE RUGOSIDAD  
(HOJA DE CAMPO)**

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

ENSAYO N°  DEL KM  AL KM

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

N° DE RESULTADOS

Factor de Ajuste

Ancho de Histograma

Valor "D"

Rugosidad

R=0.593+0.0471D (2.4<IRI<15.9)  
R=0.0485D (IRI<2.4)

OBSERVACIONES

Figura 50: Formato de recolección de datos

FUENTE: (Almanza Mendoza, 2014)

Los datos recolectados se deben representar en un histograma, esto es, como parte del trabajo de gabinete de la evaluación de la rugosidad del pavimento.

### 2.2.6.7. CÁLCULO DEL IRI CON RUGOSÍMETRO MERLIN

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 MERLIN 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. (Del Aguila P. , 2000). En la figura 31 se puede observar que el apoyo 1 y apoyo 2 forman una línea recta, respecto a la cual el apoyo móvil mide la desviación.

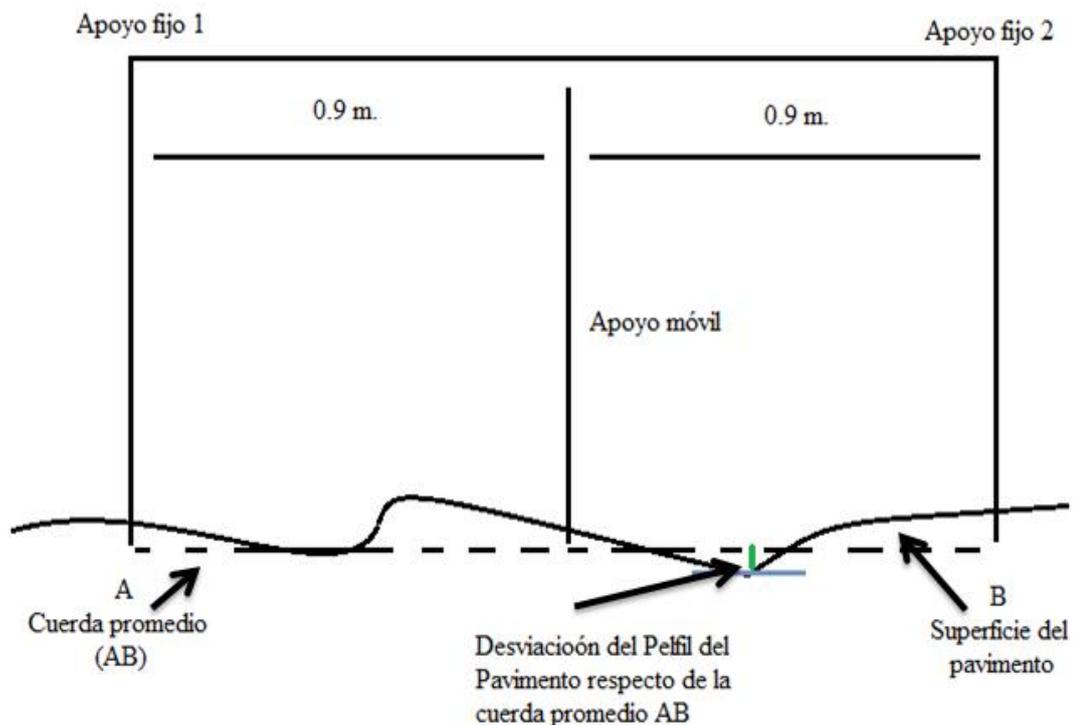


Figura 51: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio

FUENTE: (Del Aguila P. , 2000)

### A) Histograma de la Distribución de Frecuencias.

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de la distribución de frecuencias. En el histograma existe la posibilidad de medir la 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. (Almanza Mendoza, 2014). La longitud total para tomar las muestras es de, aproximadamente, 400 metros, pues, las lecturas se toman cada 2 metros.

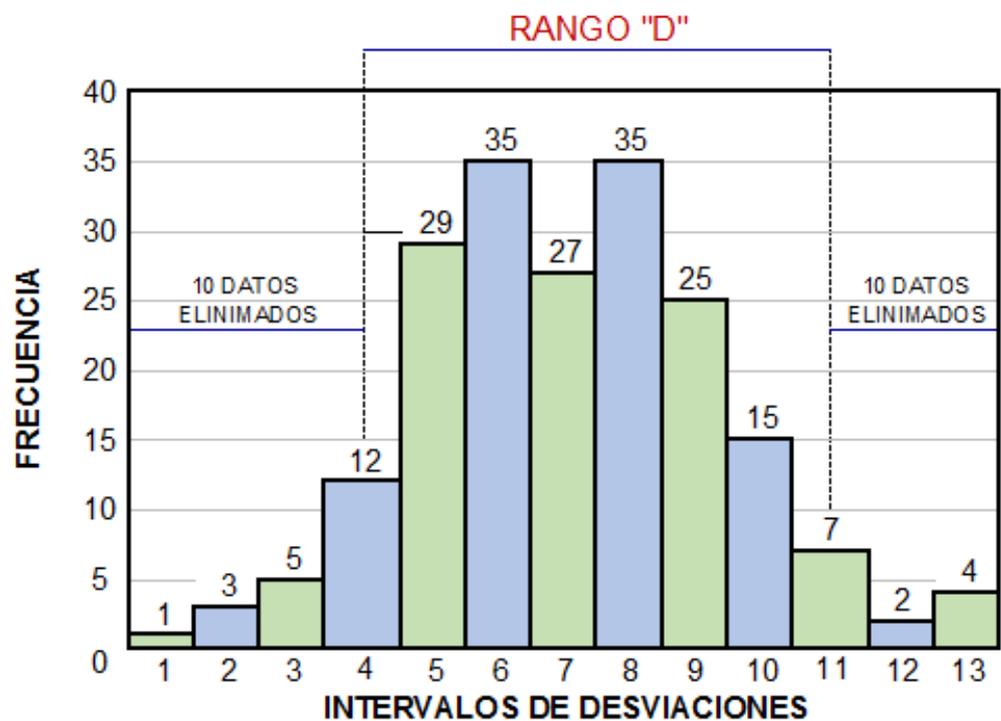


Figura 52: Histograma de la distribución de frecuencias.

FUENTE: (Del Aguila P. , 2000)



## B) Cálculo del Rango “D”

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma. Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. (Del Aguila P. , 2000). Debemos de tener en cuenta que cuando en el tablero el puntero indica valores cercanos a 25, el pavimento es menos rugoso y si en cambio está muy alejado de 25, indica que el pavimento presenta muchas imperfecciones.

El rango obtenido del histograma debe ser convertido a milímetros (mm), para lo cual se multiplica con el valor de cada unidad (5mm), cuando se llega a este punto se ha calculado la rugosidad en escala MERLIN en cual debe ser convertido a escala IRI.

## C) 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”. (Del Aguila P. , 2000). El procedimiento de la obtención de “FC” se calcula mediante la siguiente ecuación:



$$F. C. = \frac{EP * 10}{(LI - LF) * 5}$$

Donde.

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Al multiplicar el rango “D” por el F.C. se obtiene el valor de la rugosidad en “unidades MERLIN”.

#### D) Correlaciones D versus IRI.

A partir de las investigaciones por encargo del Banco Mundial en la década de los 80' 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 MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

$$2.4 < IRI < 15.9, \quad \text{Entonces } IRI = 0.593 + 0.0471D$$

$$IRI < 2.4. \quad \text{Entonces } IRI = 0.0485D$$

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. (Almanza Mendoza, 2014). En consecuencia, la primera

ecuación es apta para pavimentos en uso o con varios años de servicio.

## **2.2.7. DEFLECTOMETRÍA**

### **2.2.7.1. GENERALIDADES**

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por la acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”. Llamado así en honor al Ing. A. C. Benkelman, quien la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test<sup>1</sup>). Desde entonces su uso se ha difundido, 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. (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985). Este método está en el grupo de ensayos no destructivos, son de los métodos más empleados ya que no causan daños en los pavimentos existentes.

### **2.2.7.3. LA VIGA BENKELMAN**

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en el figura 53, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto “D”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “E”).

Adicionalmente, el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que



cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

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”, determinando que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador.

Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto “D” se recupera en lo que a la deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el “principio de medición” con la viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto “D” de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto “D” al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE’) no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes (ver figura 53). (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985).

La profundidad de la influencia del ensayo de Viga Benkelman depende de varios factores (espesores de las capas estructurales, rigidez de la subrasante y fundación, rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente, historia previa de la estructura). CONREVIAl – MTC menciona que al superar la profundidad de 1.50m, las deflexiones calculadas son menos confiables.

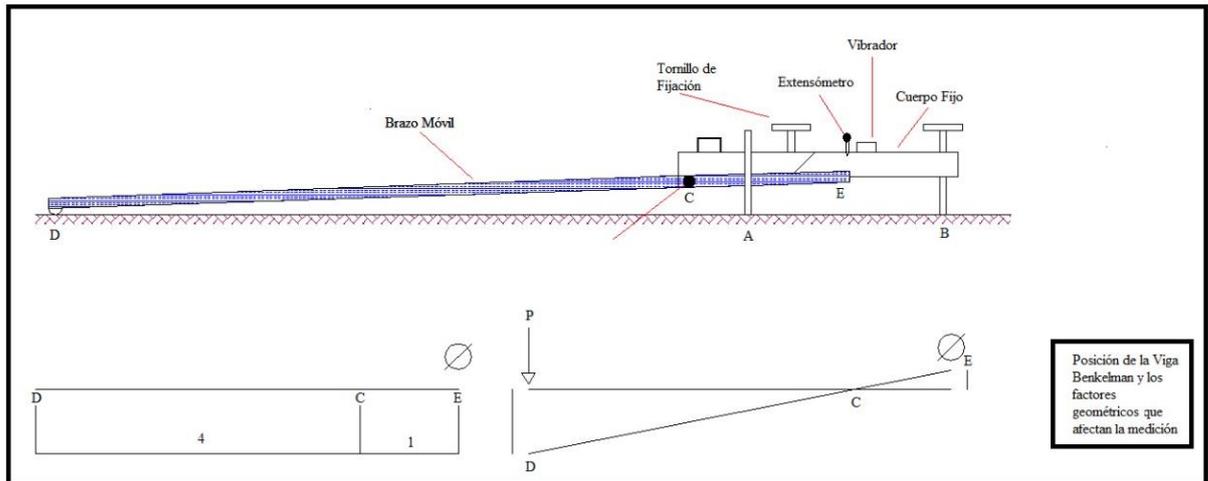


Figura 53: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.

FUENTE: (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)

### 2.1.5.3 EQUIPO REQUERIDO

Para (Ramos Vilca, 2017), el equipo para la realización de ensayos de la medición de deflexiones es:

- A) Deflectómetro Viga Benkelman, Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm.
- B) Camión cargado, con eje trasero de 18,000 lb. (8.2 tn) igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi. Para (**Meza Palomino, 2017**) se puede usar un vehículo con las características siguientes: El eje trasero simple con una carga de 8,200 kg distribuida en sus ejes duales y equipado con cámaras neumáticas. La presión de inflado de las llantas de 80 psi, que está dentro del rango de 75 a 85 psi. Las cubiertas de la llanta de 10" x 20" de 18 lonas, infladas a la presión indicada y en buen estado. La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambos neumáticos de cada rueda dual es de 32 cm.



- C) Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- D) Accesorios de medición y varios (cinta métrica de 3m, plumones, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lapiceros, señal de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, etc.).

#### **2.1.5.4 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO**

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 lb. (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 54).

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que éste último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: se coloca la viga en posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad.

Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 54), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante,

basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

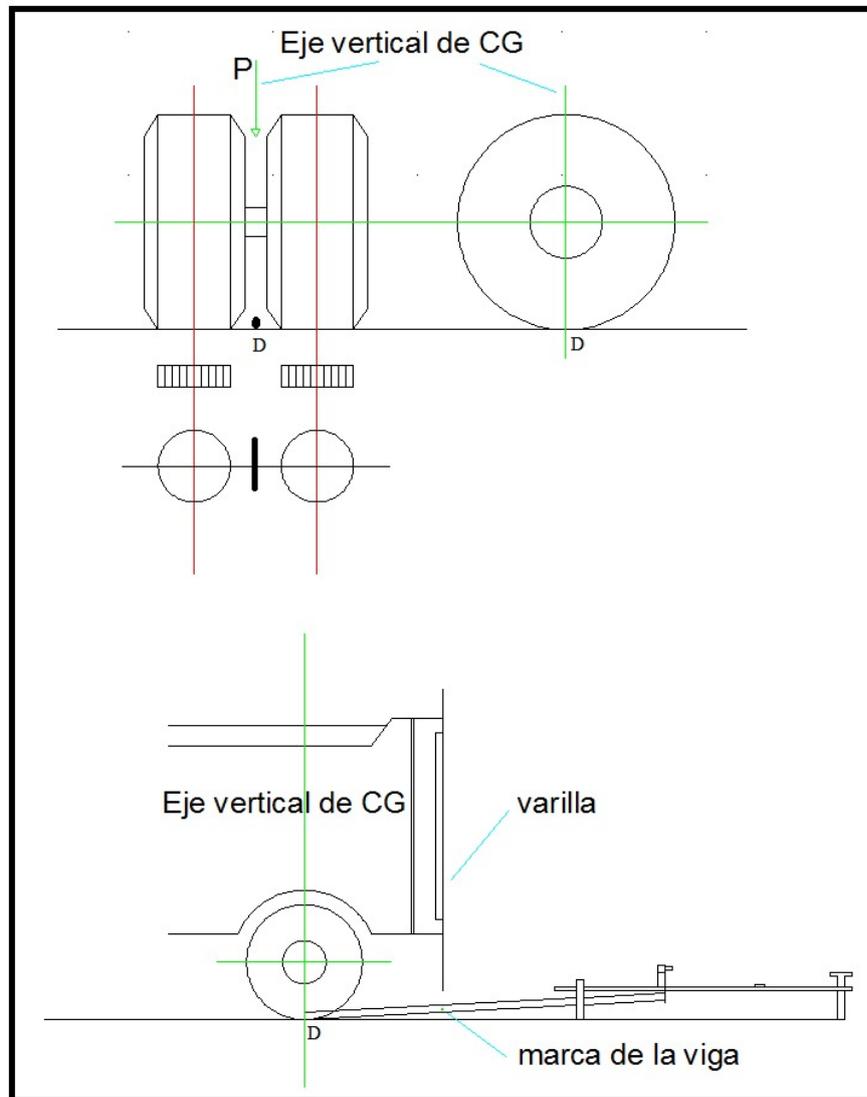


Figura 54: Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la Viga Benkelman.

FUENTE: (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)

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 30, 40 y 50 cm). Para la metodología del análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se



desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Como normal se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realizará al doble de la distancia de la primera marca adicional.

Estas dos distancias se determinan, específicamente, para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

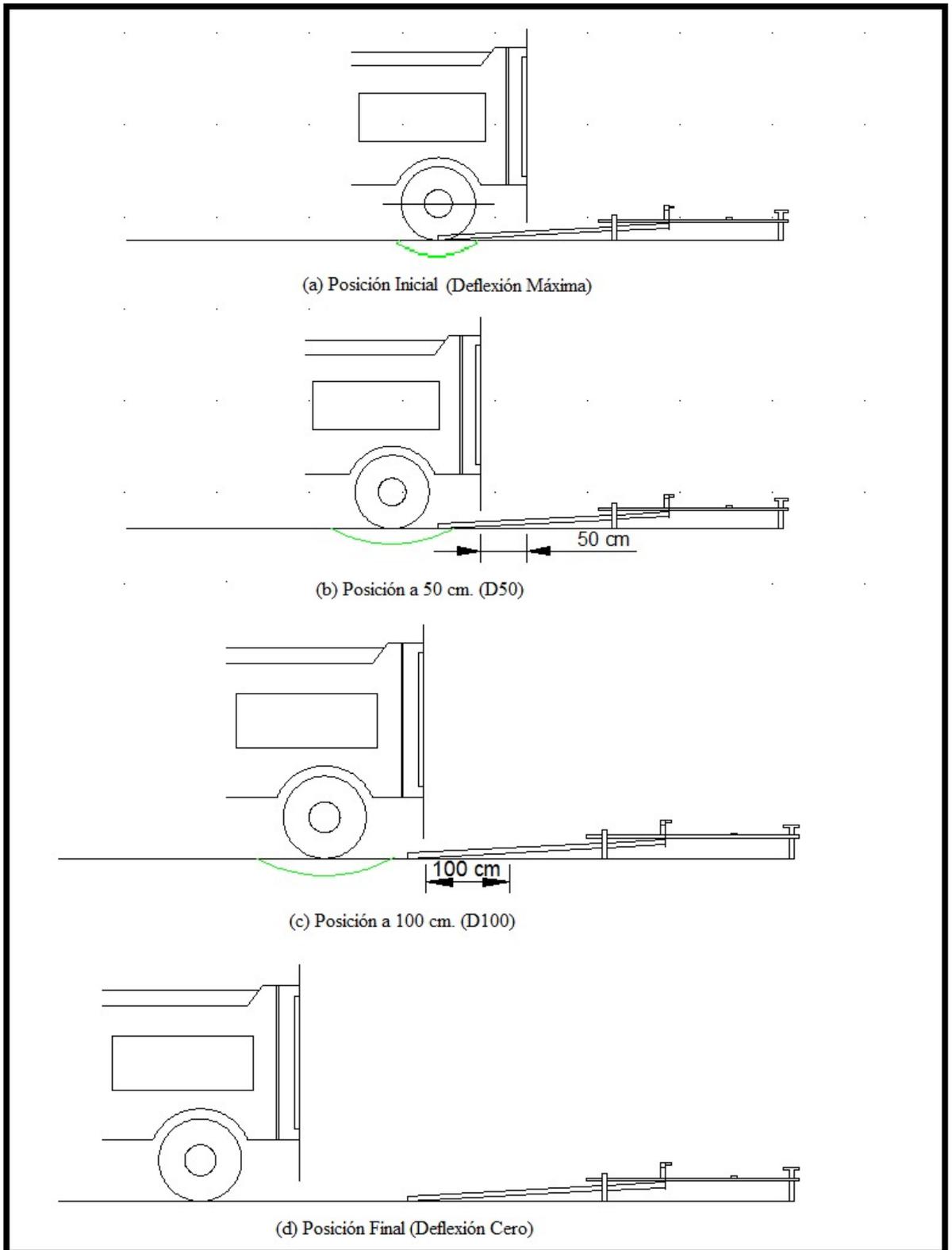


Figura 55: Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman.

FUENTE: (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena



vertical y la marca inicial (ver figura 55), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (ver figura 55) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.

Todo el trabajo deberá ser supervisado, permanentemente, por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, asimismo tomará la anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.). La tabla N° 8 muestra un formato adecuado para la recopilación de datos de campo. (Ramos Vilca, 2017)



Tabla N° 8: Hoja de cálculo para la recopilación de deflexiones.

**EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA (VIGA BENKELMAN)**

**PROYECTO**

**CARRIL**

**ESTRUC. PAVIMENTO**

**PESO EJE POST.**

**PRESION DE INFLADO**

**FECHA**

**REALIZADO POR**

N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES				OBSERVACIONES
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D0	D25	D50	D100	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

FUENTE: (Ramos Vilca, 2017)

**2.1.5.5 CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES**

Una vez tomados los datos de campo, el cálculo de las deflexiones para cada estación consiste en sustraer la lectura final (punto de referencia de deflexión cero) a cada una de las otras, representando las respectivas diferencias, la deformación en dichos puntos, las cuales en conjunto definen la curva de deflexión de superficie del pavimento.

(Ramos Vilca, 2017)

## A) DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Es el valor que mejor representa a un determinado sector evaluado.

La fórmula a utilizar para su cálculo se establece de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N° 9: Deflexiones características según el tipo de carretera.

Tipo de carretera Deflexión característica $D_c$ Observación	Deflexión característica $D_c$ Observación	$D_c$ Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	$DC=Dm+1.645\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%.
Carreteras cuales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	$DC=Dm+1.645\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%.
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000- 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$DC=Dm+1.645\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%.
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000- 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$DC=Dm+1.282\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%.
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400- 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$DC=Dm+1.282\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%.
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA $\leq 200$ veh/día, de una calzada.	$DC=Dm+1.036\cdot\sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 85%.

Nota:  $DC$ = Deflexión característica,  $Dm$ =Deflexión media,  $\sigma$ =Desviación estándar.

FUENTE: (MTC, 2013)



Considerando el método CONREVIAl, la deflexión característica debe ser menor a la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ) (Meza Palomino, 2017).

### 2.1.5.6 RADIO DE CURVATURA

La línea elástica de la deformación, especialmente, debajo del punto inicial de la aplicación de la carga, presenta el principal y más importante grado de curvatura (curvatura máxima) que se puede evaluar en el análisis de la deflexión.

Al analizar los diversos procedimientos para determinar el grado de curvatura máximo de la deformada, lo que se presenta más simple y expedito para ese fin como comprobaciones experimentales, es la verificación de que la línea de deflexión se aproxima mucho a la forma de una parábola hasta una distancia un poco mayor que 0,25 metros, para ambos lados del eje de aplicación de la carga. (Madruga Ferreira, 2007).

El radio de curvatura según el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, puede ser calculado por la fórmula:

$$RC = \frac{3125}{D_0 - D_{25}}$$

Donde:

RC: Radio de curvatura.

$D_0$ : Deflexión recuperable en el eje vertical de carga, en centésimas de milímetro (mm.  $10^{-2}$ ).

$D_{25}$ : Deflexión recuperable a 25 centímetros del eje vertical de carga, en centésimas de milímetro (mm.  $10^{-2}$ ).



## A) ANÁLISIS DE LOS RADIOS DE CURVATURA

Es muy importante entender el significado de los radios de curvatura, pues, de acuerdo con sus valores asociados con los valores de deflexión correspondientes, se pueden establecer diversas conclusiones con respecto a la calidad de las capas que constituyen el pavimento que está siendo analizado. En principio, las grandes deflexiones podrían estar simplemente producidas por las deficiencias de calidad de las capas inferiores del pavimento, en especial, de la subrasante, pero no siempre es lo que parece, sin embargo, la situación se vuelve más clara cuando se evalúa en conjunto la deflexión con el radio de curvatura, más o menos de acuerdo con los siguientes casos (Madruga Ferreira, 2007).

### a) Baja deflexión y grandes radios de curvatura

El suelo estará en buen estado, tanto las capas superiores como las inferiores estarán de acuerdo a los requerimientos de calidad si la deflexión superficial es menor a la deflexión máxima admisible.

### b) Baja deflexión y pequeños radios de curvatura

Probablemente, la capa superior estará con calidad deficiente (granulometría, grado de compactación, CBR, etc.). En principio el problema no se concentra en las capas inferiores porque las deflexiones son bajas pero el caso requiere una investigación más cuidadosa.

### c) Altas deflexiones y grandes radios de curvatura

En principio, en el caso se presentan grandes deflexiones en las capas subyacentes que es donde debe estar concentrado el problema de la deficiencia en



la calidad de materiales o humedad excesiva, independientemente de la calidad de los materiales de las capas superiores que puedan tener calidad satisfactoria o no.

d) Altas deflexiones y pequeños radios de curvatura

El suelo será totalmente deficiente, no cumplirá con los requerimientos de calidad tanto en las capas superiores como inferiores, está construido con materiales inadecuados y/o las capas han sido deficientemente compactadas, y/o las condiciones de drenaje son insatisfactorias.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Desde el punto de vista del enfoque o paradigma, la investigación es mixta ya que abarca dos tipos: cualitativo y cuantitativo. Es cualitativa porque utiliza la recolección de datos con base en la medición cualitativa y obtendremos resultados descriptivos. Es cuantitativa porque utiliza la recolección de datos con base en la medición numérica. (Hernández Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Investigación descriptiva: El alcance es descriptivo porque busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. (Hernández Sampieri et al., 2014) en este caso se realizará un análisis superficial del pavimento flexible a través del método del PCI, el IRI y la deflectometría.

##### 3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación, se desarrolló a partir del método descriptivo, que busca un conocimiento inicial de la realidad que se produce de la observación directa del investigador y del conocimiento que se obtiene mediante la lectura. (Abreu, 2014)

##### 3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación fue no experimental. Es no experimental (PCI) toda vez que las variables no fueron manipuladas y no se realizó ningún experimento con las mismas. El procedimiento consiste en analizar el estado actual del pavimento flexible a

nivel superficial. (Hernández Sampieri et al., 2014).

### 3.1.4. POBLACIÓN

Para (López, 2014) la población es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación. Para el desarrollo del trabajo, la población fue finita y estuvo representada por el número total de las calles o avenidas con pavimento flexible de la ciudad de Puno.

A continuación, se muestra una lista de las principales vías con pavimento flexible de la ciudad de Puno y sus respectivas longitudes.

Tabla N° 10: Vías con pavimento flexible

AVENIDA	LONGITUD
Circunvalación	5100
Simón Bolívar	3200
Sesquicentenario	2400
Juliaca	2300
El Sol	2080
El Estudiante	1600
Costanera	1300
Leoncio Prado	1300
Arequipa	1300
La Torre	1300
Floral	1200
Tacna	1100
Titikaka	900
Libertad	900
Lampa	900
Laykakota	800
Cajamarca	700
Deustua	700
Puno	700
Deza	650
Ricardo Palma	650
Moquegua	600
Ilave	600

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

### 3.1.5. MUESTRA

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Se puede decir que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido, en sus necesidades, al que llamamos población. (Behar Rivero, 2008)

Se utilizó el método de muestreo no probabilístico en el cual la elección no depende de la probabilidad, si no de las características de la investigación. (Hernández Sampieri et al., 2014). Asumimos como muestra las principales avenidas de la ciudad de Puno (Av. Floral y Av. El Sol), tomando en cuenta su alto tránsito y su carácter de principales vías.

Para determinar el número de ensayos se utilizó la normatividad MTC y la longitud total de las vías y el número de calzadas.

Tabla N° 11: Ensayos Av. Floral

ENSAYO	ENSAYO/ METRO	AV. FLORAL			
		DISTANCIA (m)	N° DE CALZADAS	N° DE ENSAYO/ PUNTO	N° DE UNID. DE MUESTRAS
ÍNDICE DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	40	1200	2	60	60
IRI (RUGOSIMETRO MERLIN)	2	1200	2	2400	6
DEFLECTOMETRIA (VIGA BENKELMAN)	50	1200	2	24	24

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 12: Ensayos Av. El Sol



ENSAYO	ENSAYO/ METRO	AV. EL SOL			
		DISTANCIA (m)	N° DE CALZADAS	N° DE ENSAYO/ PUNTO	N° DE UNID. DE MUESTRAS
ÍNDICE DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	40	2080	2	104	104
IRI (RUGOSIMETRO MERLIN)	2	2080	2	2080	10
DEFLECTOMETRIA (VIGA BENKELMAN)	50	2080	2	41	41

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

### 3.1.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

- Para la prueba de la hipótesis de cada objetivo específico, se usó la prueba estadística “t” Student para una muestra. Con un valor referencial planteado según el reglamento.
- Para encontrar la relación entre los resultados de los tres métodos, se usó el coeficiente de Correlación de Pearson.
- Para los dos casos nos apoyamos en el programa estadístico SPSS versión 25.

## 3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VÍAS EN ESTUDIO

### 3.2.1. AV. FLORAL

La Av. floral es una vía de doble sentido de circulación, con dos carriles por sentido, en la calzada Izquierda, cuenta con un ancho de vía de 6.10 m. con un ancho de vereda de 1.20m, rieles del tren con un ancho de 3.60 m. Esta avenida consta de un separador central de 17.70 m, por la calzada derecha cuenta con un ancho de vía de 7.40, ambas vías no cuentan con cunetas. La longitud total de la Av. Floral cuenta con una longitud de 1200 m. (1.2 km.).

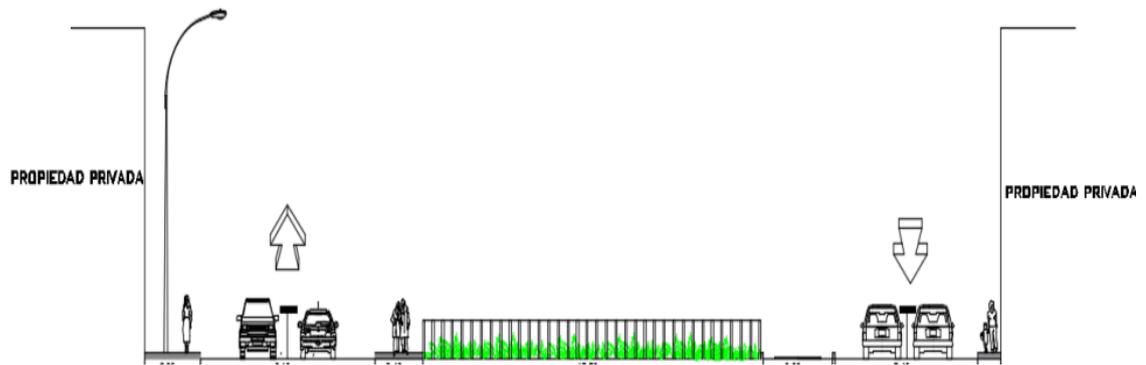


Figura 56: Av. Floral

FUENTE: GOOGLE EARTH

### 3.2.2. AV. EL SOL

La Av. El sol es una vía de doble sentido de circulación, con dos carriles por sentido, cada sentido con un ancho de vía de 7.20 m. a 7.85 m., con un separador central de 1.5 m. y una longitud total de 2080 m. (2.08 km.).

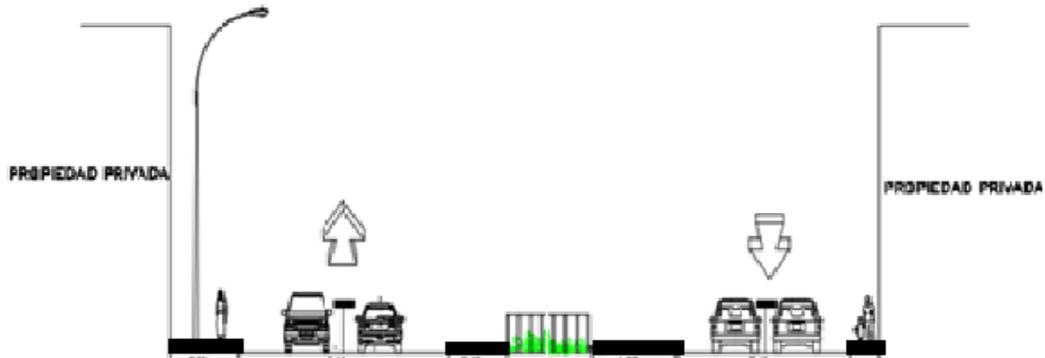


Figura 57: Av. El Sol

FUENTE: GOOGLE EARTH

### 3.3. MEDICIÓN DEL PCI

#### 3.3.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

##### A) Consideraciones previas

Se seleccionaron unidades de muestra con un largo de 40 metros, para las dos avenidas; ya que los anchos oscilaban a los 7 metros. Todo esto bajo el criterio del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos (MAV,2012).



#### B) Materiales e instrumentos

- Wincha de 50 metros
- Winchas de 10 metros
- Reglas
- Formatos
- Implementos de seguridad

#### C) Personal

Para la ejecución del trabajo se consideró a 3 personas, dos personas para medir y asignar la severidad de las fallas y una para el registro en el formato correspondiente.

#### D) Ejecución

La medición se realizó de forma continua para cada unidad de estudio, anotando con precisión el tipo de falla y su severidad. Además, de las observaciones encontradas.

### 3.3.2. DETERMINACIÓN DEL PCI EN LAS UNIDADES DE ESTUDIO

Para el caso:

VIA : AV. FLORAL  
TRAMO : AF 01  
SECTOR : 0+000 @ 0+040  
CALZADA : DERECHO

A) Pasamos los datos a una hoja de cálculo (Av. Floral derecha 0+000m – 0+ 040m)

Tabla N° 13: Modelo de llenado del Formato PCI.

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								
4	A	0.40								
7	A	7.15	4.15							
10	A	5.50	3.00	2.90	3.70	2.35				
10	M	6.46	2.05	1.63	4.02	2.66	10.00	2.43	1.91	5.43
10	B	1.30	1.15	2.54	1.83					
11	A	0.91								
11	M	1.54	0.30							
13	M	1.00	2.00	4.00	1.00					
17	A	1.66	0.60							
19	M	13.02	15.30	4.58	0.18	0.08	2.96	0.54	0.56	24.00
19	M	0.60	6.67							

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

B) Cálculo de la densidad

- Se totalizan las fallas separándolas por cada severidad.
- La densidad se obtiene dividiendo el subtotal entre el área de la unidad de muestreo.

Tabla N° 14: Cálculo de la densidad

TIPO DE FALLA	SEV.	CANTIDAD									CANT. TOTAL	DENS.
4	A	0.40									0.40	0.13
7	A	7.15	4.15								11.30	3.58
10	A	5.50	3.00	2.90	3.70	2.35					17.45	5.52
10	M	6.46	2.05	1.63	4.02	2.66	10.00	2.43	1.91	5.43	36.59	11.58
10	B	1.30	1.15	2.54	1.83						6.82	2.16
11	A	0.91									0.91	0.29
11	M	1.54	0.30								1.84	0.58
13	M	1.00	2.00	4.00	1.00						8.00	2.53
17	A	1.66	0.60								2.26	0.72
19	M	13.02	15.30	4.58	0.18	0.08	2.96	0.54	0.56	24.00	61.21	19.37
19	M	0.60	6.67								7.27	21.67

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

C) Cálculo de los valores deducidos



- Según los tipos y severidad de las fallas, además de la densidad calculada; podemos calcular los valores deducidos con los ábacos del ANEXO A.
- Para determinar la densidad usamos la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{cantidad total por falla}}{\text{área total de la unidad de muestreo}}$$

Tabla N° 15:Ejemplo valores deducidos

FALLA	SEVERIDAD	CANT. TOT.	DENSIDAD	VD
4	A	0.40	0.13	0.00
7	A	11.30	3.58	13.00
10	A	17.45	5.52	22.00
10	M	36.59	11.58	19.00
10	B	6.82	2.16	1.00
11	A	0.91	0.29	10.00
11	M	1.84	0.58	9.00
13	M	8.00	2.53	49.00
17	A	2.26	0.72	8.00
19	M	61.21	19.37	0.00
19	M	7.27	21.67	27.00

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- De las hojas de registro obtenidas anteriormente se tiene el valor de la densidad que en nuestro caso es 11.38%, para la falla 10, con una severidad media (M), estos valores se identificarán en el siguiente gráfico (Grietas longitudinales y transversales):

CURVA DE VALORES DEDUCIDOS - GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

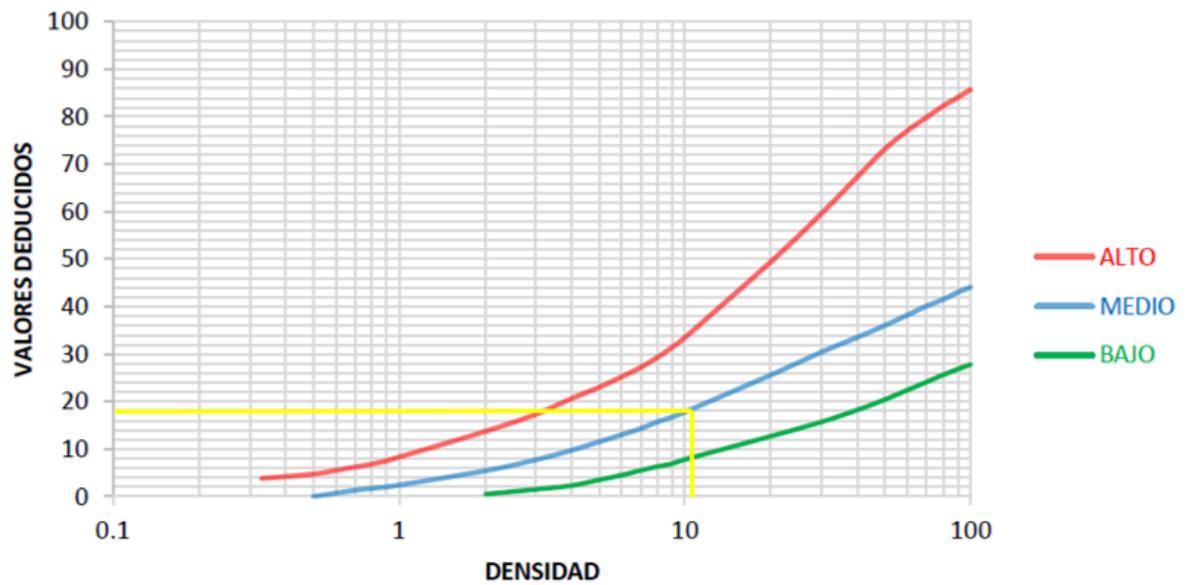


Figura 58: ejemplo del valor de deducción -Grietas longitudinales y transversales.

FUENTE: Manual de Evaluación de Pavimentos “Universidad Nacional de Ingeniería” – 2009.

- Entonces el valor de deducción para 11.38 y una severidad media es 19.
- De la misma manera utilizamos los ábacos para cada falla y tipo de severidad

Tabla N° 16: Valores deducidos

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANT. TOT.	DENSIDAD	VALOR DE DEDUCCION
4	A	0.40	0.13	0.00
7	A	11.30	3.58	13.00
10	A	17.45	5.52	22.00
10	M	36.59	11.58	19.00
10	B	6.82	2.16	1.00
11	A	0.91	0.29	10.00
11	M	1.84	0.58	9.00
13	M	8.00	2.53	49.00
17	A	2.26	0.72	8.00
19	M	61.21	19.37	0.00
19	M	7.27	21.67	27.00

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

D) Determinar el máximo valor deducido corregido (VDC), y el valor q.



- Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que dos. El valor total es usado en lugar del máximo CDV para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento siguiente:
- Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, esta lista será, 49, 27, 22, 19, 13, 10, 9, 8, 1. Teniendo un total de 8 valores deducidos mayores que 2.
- Se debe de tomar solo el máximo de valores deducidos, el cual se calcula de la siguiente fórmula:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * 100 - HDV$$

Donde:

m = número máximo admisible de los valores deducidos

HDV= máximo para el valor deducido

Reemplazando en la fórmula

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * 100 - 49$$

$$m = 5.68$$

- Entonces solo tomamos los 5 mayores valores deducidos y 0.68 del sexto valor, haciendo un total de 6 valores (q); posteriormente reducimos a 2 cada valor deducido mayor de 2.
- Para el primer valor deducido se le asigna el menor valor entre el q y m, para el ejemplo tomamos el valor q=6 para el primer valor y seguimos disminuyendo 1 a q hasta llegar a un q=1.

Tabla N° 17: Máximo admisible de valores deducidos

CANT. VD MAYORES A 2		MAX. ADM. VD		VALORES DEDUCIDOS						VD	Q
				49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	6.80		
q=	8	m=	5.68	49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	6.80	136.80	6.00
				49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	2.00	132.00	5.00
				49.00	27.00	22.00	19.00	2.00	2.00	121.00	4.00
				49.00	27.00	22.00	2.00	2.00	2.00	104.00	3.00
				49.00	27.00	2.00	2.00	2.00	2.00	84.00	2.00
				49.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	59.00	1.00
										0.00	0.00

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- Para el cálculo del valor de deducción corregido, utilizamos el valor de deducción, el valor de q y el ábaco siguiente:

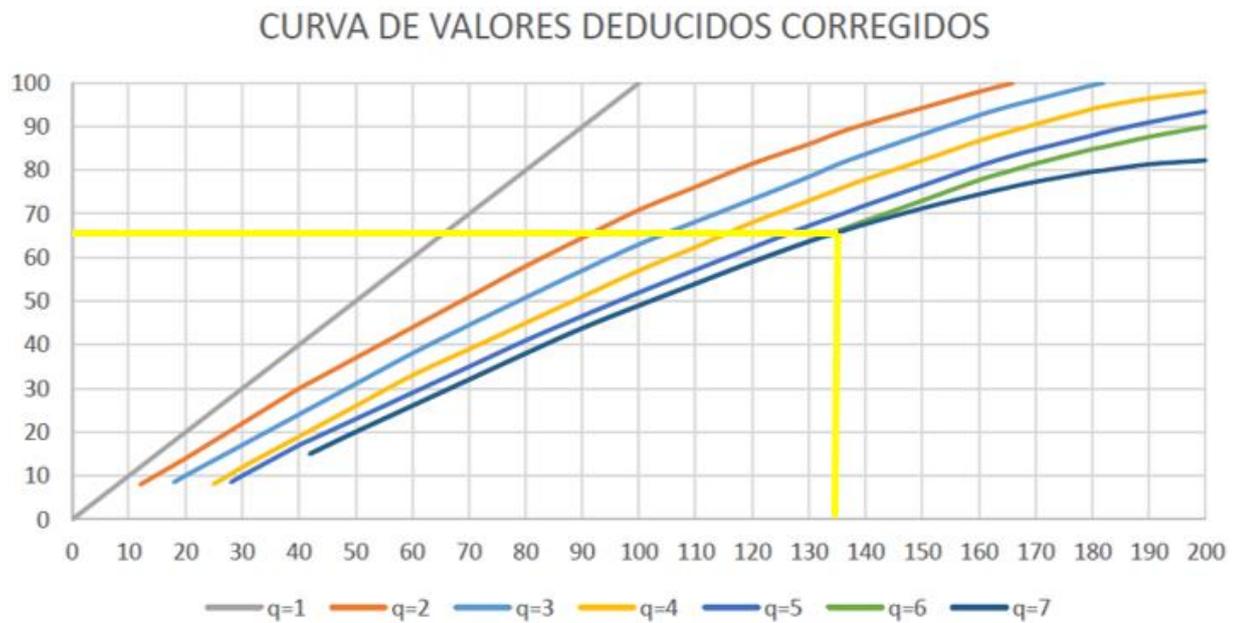


Figura 59: Ejemplo del cálculo del valor de deducción corregido.

FUENTE: Manual de Evaluación de Pavimentos “Universidad Nacional de Ingeniería” – 2009.

- De la misma forma calculamos el VDC para cada uno.

Tabla N° 18: Cálculo del valor de deducción corregido

CANT. MAYORES A 2	VD	MAX. ADM. VD	VALORES DEDUCIDOS						VD	q	VDC	
			49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	6.80				
q=	8	m=	5.68	49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	6.80	136.80	6.00	66.00
				49.00	27.00	22.00	19.00	13.00	2.00	132.00	5.00	69.00
				49.00	27.00	22.00	19.00	2.00	2.00	121.00	4.00	69.00
				49.00	27.00	22.00	2.00	2.00	2.00	104.00	3.00	65.00
				49.00	27.00	2.00	2.00	2.00	2.00	84.00	2.00	60.00
				49.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	59.00	1.00	59.00
										0.00	0.00	0.00
VALOR TOTAL DE DEDUCCION CORREGIDO									VDC =		69.00	

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- Tomamos el mayor de los valores de deducción corregido

$$VDC = 69$$

- Finalmente, con el valor deducido corregido obtenido se procede a calcular el valor de PCI

$$PCI = 100 - VDC$$

$$PCI = 100 - 69$$

$$PCI = 31$$

- Asignamos la condición del pavimento de acuerdo a la figura 8.
- $PCI = 31 \rightarrow$  *CONDICIÓN MALO*

Tabla N° 19: Condición del pavimento.

PCI=100-VDC	CONDICION DE PAVIMENTO
31	MALO

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.



### 3.4 MEDICION DEL IRI CON EL EQUIPO MERLÍN

#### 3.4.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

##### A) Consideraciones previas

Se seleccionó tramos de 400 m de longitud, determinando la huella a estudiar en cada calzada.

##### B) Materiales e instrumentos

- Carretilla MERLIN
- Formatos
- Implementos de seguridad

##### C) Personal

Para la ejecución de los ensayos se consideró 3 personas que trabajaron conjuntamente, el primero para operar y conducir el equipo, el segundo para anotar las lecturas y un auxiliar de apoyo.

##### D) Ejecución

- Las observaciones se realizaron estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la longitud de circunferencia de la rueda del Rugosímetro MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realizó al cabo de una vuelta de la rueda.
- En cada observación se hizo descansar el instrumento sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura 60).

- Para determinar un valor de rugosidad se debieron efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.



Figura 60: lectura del equipo Av. Floral

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- La posición adoptada por el puntero correspondió a una lectura entre 1 y 50, la que se anotó en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Tabla N° 20: Formato de campo del rugosímetro MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	20	33	24								
2	28	20	22								
3	25	22	19								
4	15	17									
5	26	19									
6	21	18									
7	26	19									
8	13	19									
9	19	5									
10	19	19									
11	20	20									
12	25	22									
13	29	20									
14	25	18									
15	22	17									
16	26	22									
17	20	18									
18	22	21									
19	19	19									
20	18	19									

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- El proceso de la medición se continuó realizando a una velocidad promedio de 2 km/h.
- La prueba empezó estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, tomando lecturas de manera continua para cada unidad de muestra (200 lecturas).

### 3.4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL IRI

Para el caso:



VÍA : AV. FLORAL  
TRAMO : AF 01  
SECTOR : 0+000 @ 0+400  
CALZADA : DERECHO  
HUELLA : IZQUIERDA

A) Pasamos los datos a una hoja de cálculo

Tabla N° 21: Formato llenado de IRI

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	33	24	31	17	21	24	21	21	23
2	28	20	22	33	22	18	15	0	19	18
3	25	22	19	28	19	20	15	0	6	22
4	15	17	11	11	10	21	17	22	31	15
5	26	19	35	11	9	7	16	17	23	16
6	21	18	26	3	17	21	29	23	17	26
7	26	19	12	17	21	18	20	21	0	32
8	13	19	29	8	22	16	23	17	0	15
9	19	5	20	8	26	30	21	18	21	12
10	19	19	3	30	8	26	20	21	30	22
11	20	20	20	23	29	24	14	27	24	20
12	25	22	21	15	22	14	20	22	33	24
13	29	20	7	11	18	19	22	16	27	7
14	25	18	0	2	22	16	19	19	25	19
15	22	17	23	27	21	21	25	17	42	24
16	26	22	25	21	24	10	22	17	15	18
17	20	18	16	17	17	23	19	0	19	27
18	22	21	20	0	22	16	20	21	19	13
19	19	19	10	25	15	19	17	19	19	18
20	18	19	6	22	20	20	17	20	16	0

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

B) Realizamos el histograma de frecuencias

Tabla N° 22: Histograma de frecuencias

$\delta$	f	$\delta$	f	$\delta$	f	$\delta$	f	$\delta$	F
1	0	11	4	21	17	31	2	41	0
2	1	12	2	22	18	32	1	42	1
3	2	13	2	23	7	33	3	43	0
4	0	14	2	24	7	34	0	44	0
5	1	15	8	25	7	35	1	45	0
6	2	16	8	26	7	36	0	46	0
7	3	17	15	27	4	37	0	47	0
8	3	18	11	28	2	38	0	48	0
9	1	19	22	29	4	39	0	49	0
10	3	20	18	30	3	40	0	50	0

(f) frecuencia.

( $\delta$ ) intervalo de desviaciones

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

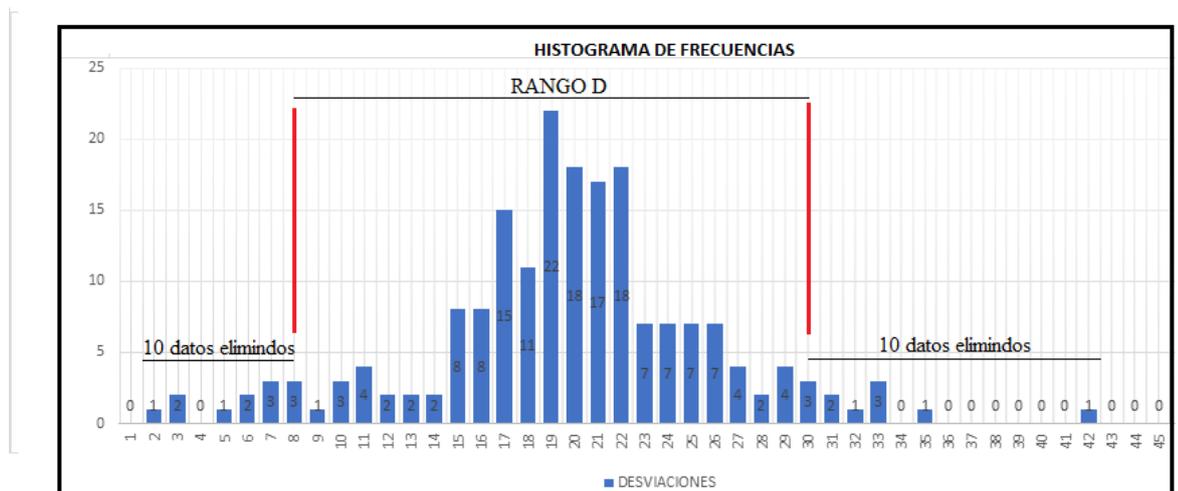


Figura 61: Histograma de frecuencias

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.



### C) Cálculo del rango D

Como explica la teoría se eliminan el 10% de los datos tomados en el campo, es decir eliminamos 10 datos de cada lado del Histograma de Frecuencias que corresponden a errores o singularidades en la medición, y lo que queda es el rango "D".

- Lado Izquierdo: se eliminan los datos de las lecturas 2, 3, 5, 6, 7, y un dato de la lectura 8.

$$\text{Entonces: Lado Izq.} = (3 - 1)/3 = 0.67$$

- Lado Derecho: se eliminan los datos de las lecturas 42, 35, 33, 32, 31 y dos datos de la lectura 30.

$$\text{Entonces: Lado Der.} = (3 - 2)/3 = 0.33$$

Luego el Rango "D" quedaría:

$$D = 0.67 + 21 + 0.33 = 22$$

### D) Cálculo del Factor de Corrección

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5]$$

EP: Espesor de la pastilla

LI: Lectura Inicial del Puntero

LF: Lectura Final del Puntero

El valor de la corrección lo tomamos de la calibración realizada en el campo

$$F.C. = 0.9666666667$$

### E) Cálculo del rango "D" corregido

$$\text{Siendo: } D \text{ corr.} = D * F.C.* 5$$



Reemplazando tenemos:  $D \text{ corr.} = 22 * 0.96666667 * 5$

$D \text{ corr.} = 123.347$

F) Cálculo de IRI.

En la fórmula:  $IRI = 0.593 + 0.0471 * D$

Reemplazando:  $IRI = 0.593 + 0.0471 * 123.347 = 6.40 > 2.4$

Entonces para el sector 0+000 @ 0+400 tenemos: IRI 6.40 m/km

Y con el mismo procedimiento calculamos el Índice de Rugosidad Internacional para los tramos de cada calzada en las Av. El Sol y Floral.

### **3.5. MEDICION DE LA DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN**

#### **3.5.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO**

A) Consideraciones previas

De acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales MTC E 1002-2016, se consideró:

- Punto de ensayos cada 50m.
- Distancia del borde 0.90m (por tener anchos de carril mayores a 3.60m)

B) Materiales e instrumentos

- Viga Benkelman de doble brazo
- Vehículo de carga
- Termómetro – De 0° a 100° C con divisiones en cada grado.
- Un cronómetro.
- Wincha de acero de 2m y otra de 25 o 50 m.

C) Personal



- Se consideró para la manipulación y manejo del camión a 2 personas, chofer y ayudante. Para manipular el equipo Viga Benkelman se consideró a 2 personas; además de los tesistas.

#### D) Ejecución

- Se hizo las mediciones de peso y presión de la llanta del camión. El peso del camión lecturado fue de 18,000 lb (8,200 kg), el cual se tomó del eje posterior simple de la llanta doble de un camión. La presión de inflado de las llantas se verificó en 80 psi (5.6 kg/cm<sup>2</sup>).
- Los puntos del pavimento a ser ensayados fueron marcados convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea se localizó el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se utilizó la distancia considerada en el ítem A.
- La rueda dual externa del camión fue colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, se colocó en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando lentamente el camión, se hizo coincidir la guía vertical con la línea marcada a 90cm del borde del pavimento, de modo que simultáneamente el punto a ensayar quedo entre ambas llantas de la rueda dual.



Figura 62: Colocación de la rueda en el punto de ensayo

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

- Se colocó la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba del primer brazo coincidió con el punto de ensayo y la viga no rozó contra las llantas de la rueda dual.



Figura 63: Colocación de la Viga Benkelman en el punto de ensayo

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.



- Se liberaron los seguros de los brazos y se ajustó la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición quedaron en contacto con los diales.
- Una vez instalada la viga en el punto de medición coincidiendo con la varilla vertical y la marca inicial, se verificó que ésta se encuentre alineada, longitudinalmente, con la dirección del movimiento del camión. Se puso el dial en cero, se activó el vibrador y mientras el camión se desplazó muy lentamente se procedió a tomar lecturas conforme a la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se alejó lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que correspondió al punto de referencia con deflexión cero.

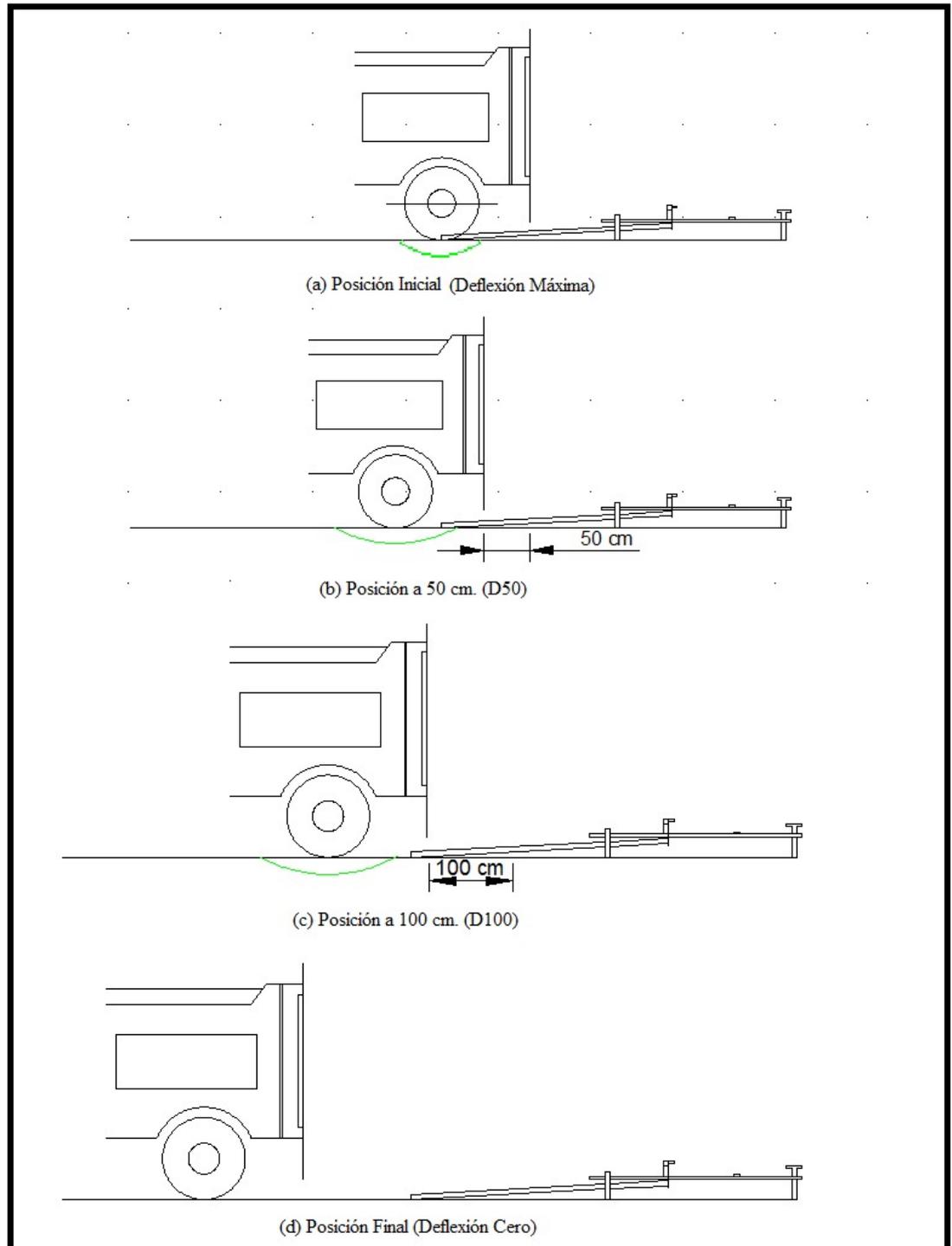


Figura 64: Esquematzación del Proceso de Medición con la Viga Benkelman

FUENTE: (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)



### 3.5.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Para el caso:

VÍA : AV. FLORAL  
TRAMO : AF 01  
SECTOR : 0+000 @ 1+200  
CALZADA : DERECHO  
HUELLA : IZQUIERDA

A) teniendo las mediciones efectuadas en campo.

Tabla N° 23: Lecturas de campo Viga Benkelman

#### EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA (VIGA BENKELMAN)

PROYECTO AV. FLORAL  
CALZADA DERECHO PESO EJE POST. 8200 kg FECHA 29/09/2019  
ESTRUC. PAVIMENTO BASE GRANULAR/CARPETA PRESION DE INFLADO 80PSI FACT. CORRECC 1.1

N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES CORREGIDAS					RADIO DE CURVATURA	OBSERVACIONES
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D'0	D'25	D'50	D'75	D'100		
1	00+000	D	0	0	1	3	3	6							
2	00+100	D	0	0	0	0	0	4							
3	00+200	D	0	0	0	0	2	3							
4	00+300	D	0	0	2	1	4	18							
5	00+400	D	0	0	3	2	4	10							
6	00+500	D	0	0	0	0	1	2							
7	00+600	D	0	2	6	2	10	18							
8	00+700	D	0	0	1	1	3	13							
9	00+800	D	0	0	1	0	8	31							
10	00+900	D	0	0	2	2	6	20							
11	01+000	D	0	0	0	0	0	7							
12	01+100	D	0	0	2	0	6	21							
13	01+200	D	0	0	1	1	4	7							

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.



B) calculamos las deflexiones corregidas (D0).

De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D0 = (Lf - L0) \times K \times C$$

Donde:

D0= Deflexión simple (corregida).

L0 = Lectura inicial de la estación.

Lf= Lectura final de la estación.

K = Constante de la viga (relación de brazos 2:1).

C= Corrección de unidades para milímetros.

Para L0: con; K = 4 C = 1.1

Tabla N° 24: Desarrollo de cálculo del D corregido.

N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES CORREGIDAS				
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D'0	D'25	D'50	D'75	D'100
1	00+000	D	0	0	1	3	3	6	26	26	22	13	13
2	00+100	D	0	0	0	0	0	4	18	17	17	17	17
3	00+200	D	0	0	0	0	2	3	13	13	13	13	4
4	00+300	D	0	0	2	1	4	18	79	79	70	75	62
5	00+400	D	0	0	3	2	4	10	44	44	31	35	26
6	00+500	D	0	0	0	0	1	2	9	8	8	8	4
7	00+600	D	0	2	6	2	10	18	79	70	53	70	35
8	00+700	D	0	0	1	1	3	13	57	57	53	53	44
9	00+800	D	0	0	1	0	8	31	136	136	132	136	101
10	00+900	D	0	0	2	2	6	20	88	88	79	79	62
11	01+000	D	0	0	0	0	0	7	31	30	30	30	30
12	01+100	D	0	0	2	0	6	21	92	92	84	92	66
13	01+200	D	0	0	1	1	4	7	31	30	26	26	13

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

C) Calculamos el Radio de Curvatura

De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$RC = 3125/(D'0 - D'25) \text{ expresado en mm}$$

Donde:

D'0= Deflexión corregida 0.

D'25 = Deflexión corregida 25.

Tabla N° 25:Radio de Curvatura

N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES CORREGIDAS					RADIO CURVATU RA
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D'0	D'25	D'50	D'75	D'100	
1	00+000	D	0	0	1	3	3	6	26	26	22	13	13	7102
2	00+100	D	0	0	0	0	0	4	18	17	17	17	17	7102
3	00+200	D	0	0	0	0	2	3	13	13	13	13	4	7102
4	00+300	D	0	0	2	1	4	18	79	79	70	75	62	7102
5	00+400	D	0	0	3	2	4	10	44	44	31	35	26	7102
6	00+500	D	0	0	0	0	1	2	9	8	8	8	4	7102
7	00+600	D	0	2	6	2	10	18	79	70	53	70	35	355
8	00+700	D	0	0	1	1	3	13	57	57	53	53	44	7102
9	00+800	D	0	0	1	0	8	31	136	136	132	136	101	7102
10	00+900	D	0	0	2	2	6	20	88	88	79	79	62	7102
11	01+000	D	0	0	0	0	0	7	31	30	30	30	30	7102
12	01+100	D	0	0	2	0	6	21	92	92	84	92	66	7102
13	01+200	D	0	0	1	1	4	7	31	30	26	26	13	7102

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

D) CALCULAMOS EL PROMEDIO ARITMÉTICO O DEFLEXIÓN MEDIA

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Donde:

n: Número total de medidas.

Di: Deflexiones desde i=1 a i=n.

$\bar{D}$ : Deflexión media de n deflexiones.

E) Hallamos la desviación estándar



$$\text{para "n"} \leq 30 \rightarrow \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación estándar.

n: Número total de medidas.

$D_i$ : Deflexiones desde  $i=1$  a  $i=n$ .

$\bar{D}$ : Deflexión media de n deflexiones.

F) Hallando el coeficiente de variación (C.V.)

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

C.V. = Coeficiente de variación.

$\sigma$  = Desviación estándar.

$\bar{D}$  = Deflexión media.

G) calculamos la deflexión característica

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

Donde:

$D_c$  = Deflexión característica.

$\bar{D}$  = Deflexión media.

$\sigma$  = Desviación estándar.

Tabla N° 26: Deflexión característica



DEFLEXIONES CORREGIDAS					RADIO DE
D'0	D'25	D'50	D'75	D'100	CURVATURA
26	26	22	13	13	7102
18	17	17	17	17	7102
13	13	13	13	4	7102
79	79	70	75	62	7102
44	44	31	35	26	7102
9	8	8	8	4	7102
79	70	53	70	35	355
57	57	53	53	44	7102
136	136	132	136	101	7102
88	88	79	79	62	7102
31	30	30	30	30	7102
92	92	84	92	66	7102
31	30	26	26	13	7102

MÁXIMO	136.40	135.96	MÁXIMO	7102.27
MÍNIMO	8.80	8.36	MÍNIMO	355.11
PROMEDIO	54.15	53.07	PROMEDIO	6583.26
DES. ESTANDAR	38.37	37.99		
CV	70.861973	71.579679		
DC	117.27987			

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

#### H) Calculamos la deflexión admisible

La deflexión admisible, corresponde a aquella que alcanza el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto, esta deflexión se calcula considerando la sollicitación de cargas para ese tiempo, representado en el valor “N” de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio. Para lo cual el Manual de Carreteras Suelos, Geología. Geotecnia y Pavimentos en la Sección Suelos y Pavimentos, ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por el CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) – Estudio de rehabilitación de carreteras del país. MTC-Perú 1983, la que se muestra a continuación:



$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

$D_{adm}$  = Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones Viga Benkelman).

$N$  = Número de ejes estándares equivalentes de 8.2 Tn acumulados en el periodo de diseño, expresado en millones.

Los valores de  $N$  resultan del estudio de tránsito, lo cual integra conteos de vehículos.

Reemplazando en la fórmula:

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

El valor de  $N$  calculado del estudio de tráfico para cada vía es: ANEXO F.

Tabla N° 27: Resumen aforo ( $N$ )

	<b>N</b>	<b>D adm</b>
AV. FLORAL IZQ.	$2.92 \times 10^6$	$79.21 \times 10^{-2}$
AV. FLORAL DER.	$4.50 \times 10^6$	$71.08 \times 10^{-2}$
AV. EL SOL IZQ.	$5.94 \times 10^6$	$66.32 \times 10^{-2}$
AV. EL SOL DER.	$5.81 \times 10^6$	$66.70 \times 10^{-2}$

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Para el Factor Camión (FC) se asume a los vehículos con su máxima capacidad en cuanto a peso.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR EL MÉTODO DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI)

Se determinó el estado superficial del pavimento existente en la Av. Floral y Av. El Sol, mediante la metodología PCI; determinado Índice de Condición de Pavimento (PCI) expresado en porcentaje.

##### 4.1.1. DATOS RECOLECTADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PCI

Los formatos con datos recolectados se presentan en el ANEXO B.

##### 4.1.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO PCI

En el siguiente cuadro se presentan la síntesis de los ensayos del Índice de Condición de Pavimento PCI. En la cual la columna de calificación se realizó de acuerdo a la escala sugerida por la norma ASTM D6433

Tabla N° 28: Resumen de resultados – Av. Floral

SECCION	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. FLORAL DERECHA	FD	1	0+000	0+040	31	MALO
	FD	2	0+040	0+080	19	MUY MALO
	FD	3	0+080	0+120	2	FALLADO
	FD	4	0+120	0+160	4	FALLADO
	FD	5	0+160	0+200	15	MUY MALO
	FD	6	0+200	0+240	5	FALLADO



Continuación...

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI		
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN	
AV. FLORAL DERECHA	FD	7	0+240	0+280	5	FALLADO	
	FD	8	0+280	0+320	2	FALLADO	
	FD	9	0+320	0+360	2	FALLADO	
	FD	10	0+360	0+400	9	FALLADO	
	FD	11	0+400	0+440	0	FALLADO	
	FD	12	0+440	0+480	22	MUY MALO	
	FD	13	0+480	0+520	4	FALLADO	
	FD	14	0+520	0+560	14	MUY MALO	
	FD	15	0+560	0+600	20	MUY MALO	
	FD	16	0+600	0+640	4	FALLADO	
	FD	17	0+640	0+680	12	MUY MALO	
	FD	18	0+680	0+720	1	FALLADO	
	FD	19	0+720	0+760	0	FALLADO	
	FD	20	0+760	0+800	22	MUY MALO	
	FD	21	0+800	0+840	30	MALO	
	FD	22	0+840	0+880	19	MUY MALO	
	FD	23	0+880	0+920	47	REGULAR	
	FD	24	0+920	0+960	38	MALO	
	FD	25	0+960	0+1000	68	BUENO	
	FD	26	0+1000	0+1040	79	MUY BUENO	
	FD	27	0+1040	0+1080	70	MUY BUENO	
	FD	28	0+1080	0+1120	76	MUY BUENO	
	FD	29	0+1120	0+1160	80	MUY BUENO	
	FD	30	0+1160	0+1200	57	BUENO	
	AV. FLORAL IZQUIERDA	FI	1	0+000	0+040	0	FALLADO
		FI	2	0+040	0+080	12	MUY MALO
		FI	3	0+080	0+120	20	MUY MALO
		FI	4	0+120	0+160	11	MUY MALO
		FI	5	0+160	0+200	26	MALO
		FI	6	0+200	0+240	20	MUY MALO
FI		7	0+240	0+280	11	MUY MALO	
FI		8	0+280	0+320	22	MUY MALO	
FI		9	0+320	0+360	13	MUY MALO	
FI		10	0+360	0+400	62	BUENO	
FI		11	0+400	0+440	75	MUY BUENO	
FI		12	0+440	0+480	60	BUENO	

Continuación...

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. FLORAL IZQUIERDA	FI	13	0+480	0+520	64	BUENO
	FI	14	0+520	0+560	31	MALO
	FI	15	0+560	0+600	10	MUY MALO
	FI	16	0+600	0+640	2	FALLADO
	FI	17	0+640	0+680	0	FALLADO
	FI	18	0+680	0+720	0	FALLADO
	FI	19	0+720	0+760	0	FALLADO
	FI	20	0+760	0+800	0	FALLADO
	FI	21	0+800	0+840	13	MUY MALO
	FI	22	0+840	0+880	0	FALLADO
	FI	23	0+880	0+920	0	FALLADO
	FI	24	0+920	0+960		
	FI	25	0+960	0+1000		
	FI	26	0+1000	0+1040	41	REGULAR
	FI	27	0+1040	0+1080	36	MALO
	FI	28	0+1080	0+1120	19	MUY MALO
	FI	29	0+1120	0+1160	15	MUY MALO
FI	30	0+1160	0+1200	50	REGULAR	

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 29: Resumen de resultados – Av. El Sol

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. EL SOL DERECHA	SD	1	0+000	0+040	15	MUY MALO
	SD	2	0+040	0+080	24	MUY MALO
	SD	3	0+080	0+120	17	MUY MALO
	SD	4	0+120	0+160	8	FALLADO
	SD	5	0+160	0+200	7	FALLADO
	SD	6	0+200	0+240	1	FALLADO
	SD	7	0+240	0+280	4	FALLADO
	SD	8	0+280	0+320	32	MALO
	SD	9	0+320	0+360	10	MUY MALO
	SD	10	0+360	0+400	14	MUY MALO
	SD	11	0+400	0+440	5	FALLADO

Continuación...

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. EL SOL DERECHA	SD	12	0+440	0+480	2	FALLADO
	SD	13	0+480	0+520	4	FALLADO
	SD	14	0+520	0+560	6	FALLADO
	SD	15	0+560	0+600	34	MALO
	SD	16	0+600	0+640	19	MUY MALO
	SD	17	0+640	0+680	5	FALLADO
	SD	18	0+680	0+720	5	FALLADO
	SD	19	0+720	0+760	8	FALLADO
	SD	20	0+760	0+800	5	FALLADO
	SD	21	0+800	0+840	6	FALLADO
	SD	22	0+840	0+880	0	FALLADO
	SD	23	0+880	0+920	0	FALLADO
	SD	24	0+920	0+960	8	FALLADO
	SD	25	0+960	0+1000	2	FALLADO
	SD	26	0+1000	0+1040	0	FALLADO
	AV. EL SOL DERECHA	SD	27	0+1040	0+1080	16
SD		28	0+1080	0+1120	17	MUY MALO
SD		29	0+1120	0+1160	12	MUY MALO
SD		30	0+1160	0+1200	16	MUY MALO
SD		31	0+1200	0+1240	22	MUY MALO
SD		32	0+1240	0+1280	7	FALLADO
SD		33	0+1280	0+1320	17	MUY MALO
SD		34	0+1320	0+1360	22	MUY MALO
SD		35	0+1360	0+1400	20	MUY MALO
SD		36	0+1400	0+1440	2	FALLADO
SD		37	0+1440	0+1480	8	FALLADO
SD		38	0+1480	0+1520	0	FALLADO
SD		39	0+1520	0+1560	9	FALLADO
SD		40	0+1560	0+1600	10	MUY MALO
SD		41	0+1600	0+1640	4	FALLADO
SD		42	0+1640	0+1680	13	MUY MALO
SD		43	0+1680	0+1720	34	MALO
SD		44	0+1720	0+1760	37	MALO
SD	45	0+1760	0+1800	37	MALO	
SD	46	0+1800	0+1840	26	MALO	



Continuación...

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. EL SOL DERECHA	SD	48	0+1880	0+1920	12	MUY MALO
	SD	49	0+1920	0+1960	5	FALLADO
	SD	50	0+1960	0+2000	34	MALO
	SD	51	0+2000	0+2040	6	FALLADO
	SD	52	0+2040	0+2080	16	MUY MALO
AV. EL SOL IZQUIERDA	SI	1	0+000	0+040	14	MUY MALO
	SI	2	0+040	0+080	14	MUY MALO
	SI	3	0+080	0+120	21	MUY MALO
	SI	4	0+120	0+160	9	FALLADO
	SI	5	0+160	0+200	24	MUY MALO
	SI	6	0+200	0+240	16	MUY MALO
	SI	7	0+240	0+280	11	MUY MALO
	SI	8	0+280	0+320	22	MUY MALO
	SI	9	0+320	0+360	12	MUY MALO
	SI	10	0+360	0+400	22	MUY MALO
	SI	11	0+400	0+440	17	MUY MALO
	SI	12	0+440	0+480	40	REGULAR
	SI	13	0+480	0+520	0	FALLADO
	SI	14	0+520	0+560	21	MUY MALO
	SI	15	0+560	0+600	46	REGULAR
	SI	16	0+600	0+640	70	MUY BUENO
	SI	17	0+640	0+680	62	BUENO
	SI	18	0+680	0+720	43	REGULAR
	SI	19	0+720	0+760	0	FALLADO
	SI	20	0+760	0+800	0	FALLADO
	SI	21	0+800	0+840	0	FALLADO
	SI	22	0+840	0+880	0	FALLADO
	SI	23	0+880	0+920	0	FALLADO
	SI	24	0+920	0+960	36	MALO
	SI	25	0+960	0+1000	40	REGULAR
	SI	26	0+1000	0+1040	41	REGULAR
	SI	27	0+1040	0+1080	13	MUY MALO
	SI	28	0+1080	0+1120	7	FALLADO
	SI	29	0+1120	0+1160	13	MUY MALO
	SI	30	0+1160	0+1200	31	MALO
	SI	31	0+1200	0+1240	26	MALO



Continuación...

SECCIÓN	UNIDAD DE MUESTRA		PROGRESIVA		PCI	
			INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. EL SOL IZQUIERDA	SI	32	0+1240	0+1280	8	FALLADO
	SI	33	0+1280	0+1320	0	FALLADO
	SI	34	0+1320	0+1360	0	FALLADO
	SI	35	0+1360	0+1400	4	FALLADO
	SI	36	0+1400	0+1440	0	FALLADO
	SI	37	0+1440	0+1480	2	FALLADO
	SI	38	0+1480	0+1520	0	FALLADO
	SI	39	0+1520	0+1560	3	FALLADO
	SI	40	0+1560	0+1600	0	FALLADO
	SI	41	0+1600	0+1640	4	FALLADO
	SI	42	0+1640	0+1680	17	MUY MALO
	SI	43	0+1680	0+1720	12	MUY MALO
	SI	44	0+1720	0+1760	21	MUY MALO
	SI	45	0+1760	0+1800	8	FALLADO
	SI	46	0+1800	0+1840	21	MUY MALO
	SI	47	0+1840	0+1880	0	FALLADO
	SI	48	0+1880	0+1920	1	FALLADO
	SI	49	0+1920	0+1960	2	FALLADO
	SI	50	0+1960	0+2000	0	FALLADO
	SI	51	0+2000	0+2040	0	FALLADO
SI	52	0+2040	0+2080	8	FALLADO	

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Para la evaluación de la Av. Floral y Av. El Sol se tiene como Índice de Condición de Pavimento promedio por secciones lo siguiente:

Tabla N° 30: Resumen Método PCI por secciones

SECCIÓN	PROGRESIVA		PCI	
	INICIO	FIN	PCI	CALIFICACIÓN
AV. FLORAL DERECHA	0+000	0+1200	25	MALO
AV. FLORAL IZQUIERDA	0+000	0+1200	22	MUY MALO
AV. EL SOL DERECHA	0+000	0+2080	13	MUY MALO
AV. EL SOL IZQUIERDA	0+000	0+2080	15	MUY MALO

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

De la tabla anterior se puede observar que el PCI para la Av. Floral en la calzada derecha es de 25 teniendo una calificación de MALO y para el izquierdo es de 22, teniendo una calificación de MUY MALO.

De la tabla anterior se puede observar que el PCI para la Av. El Sol en la calzada derecha es de 13 y para el izquierdo es de 15, teniendo una calificación de MUY MALO.

#### **4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI**

La regularidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La unidad de medición de rugosidad que se emplea en el Perú es el IRI (International Roughness Index- Índice de Rugosidad Internacional), parámetro desarrollado por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos. Para determinar el IRI se utilizó el equipo Rugosímetro MERLIN.



#### 4.2.1. ENSAYOS REALIZADOS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN

Los formatos con los datos de campo se encuentran en el ANEXO C.

#### 4.2.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE REGULARIDAD

En el siguiente cuadro se presentan la síntesis de los ensayos de regularidad con el rugosímetro MERLIN.

Tabla N° 31: Resumen de Regularidades por Secciones

SECCIÓN	PROGRESIVA		LONG. INTERV.	IRI (m/km)			
	INICIO	FIN		CALZADA DERECHA		CARRIL IZQUIERDA	
				HUELLA DER.	HUELLA IZQ.	HUELLA DER.	HUELLA IZQ.
AV. FLORAL DERECHA	0+000	0+400	400	-	6.40	-	-
	0+400	0+800	400	-	4.62	-	-
	0+800	1+200	400	-	4.27	-	-
AV. FLORAL IZQUIERDA	0+000	0+400	400	-	-	7.72	-
	0+400	0+800	400	-	-	4.36	-
	0+800	1+200	400	-	-	6.49	-
AV. EL SOL DERECHA	0+000	0+400	400	4.12	-	-	-
	0+400	0+800	400	6.14	-	-	-
	0+800	1+200	400	5.13	-	-	-
	1+200	1+600	400	5.32	-	-	-
	1+600	2+000	400	3.54	-	-	-
AV. EL SOL IZQUIERDA	0+000	0+400	400	-	-	-	4.16
	0+400	0+800	400	-	-	-	4.95
	0+800	1+200	400	-	-	-	5.17
	1+200	1+600	400	-	-	-	6.28
	1+600	2+000	400	-	-	-	4.80

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 32: Regularidades promedio por Secciones

SECCIÓN	PROGRESIVA		IRI PROMEDIO(m/km)			
	INICIO	FIN	CALZADA DERECHA		CALZADA IZQUIERDA	
			HUELLA DER.	HUELLA IZQ.	HUELLA DER.	HUELLA IZQ.
AV. FLORAL DERECHA	0+000	1+200	-	5.05	-	-
AV. FLORAL IZQUIERDA	0+000	1+200	-	-	6.19	-
AV. EL SOL DERECHA	0+000	2+000	4.85	-	-	-
AV. EL SOL IZQUIERDA	0+000	2+000	-	-	-	5.07

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Podemos observar que el valor IRI en la Av. Floral, para la calzada derecha oscila entre 4.27-6.40 m/km; y para la calzada izquierda oscila entre 4.36-7.72 m/km.

Podemos observar que el valor IRI en la Av. El Sol, para la calzada derecha oscila entre 3.54-6.14 m/km; y para la calzada izquierda oscila entre 4.16-6.28 m/km.

### **4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA DEFLEXIÓN Y DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA, EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN**

Para determinar la deflexión característica y el radio de curvatura utilizamos el ensayo Viga Benkelman, siguiendo la metodología planteada.

La medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura es muy importante para la evaluación del pavimento.

#### **4.3.1. ENSAYOS REALIZADOS CON LA VIGA BENKELMAN**

Los formatos con la recolección de datos se presentan en el ANEXO D

### 4.3.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE VIGA BENKELMAN

Tabla N° 33: Resumen de Viga Benkelman

SECCIÓN	PROGRESIVA		DEFLEXIÓN Y RADIO DE CURVATURA			
	INICIO	FINAL	D'0 PROM	D'25 PROM	D CARACTERISTICA	RADIO DE CURVATURA
AV. FLORAL DERECHA	0+000	0+1200	54.15	53.07	117.28	6583.26
AV. FLORAL IZQUIERDA	0+000	0+1200	63.29	59.33	106.78	4056.49
AV. EL SOL DERECHA	0+000	1+000	65.72	62.56	124.01	5848.61
	1+000	2+000	60.44	50.48	102.18	5233.07
AV. EL SOL IZQUIERDA	0+000	1+000	52.40	51.96	85.00	7102.27
	1+000	2+000	80.80	76.52	122.43	4632.62

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 34: Comparación D característica con D admisible

SECCIÓN	PROGRESIVA		D característica	D adm
	INICIO	FINAL		
AV. FLORAL DERECHA	0+000	0+1200	$117.28 \times 10^{-2}$	$71.08 \times 10^{-2}$
AV. FLORAL IZQUIERDA	0+000	0+1200	$106.78 \times 10^{-2}$	$79.21 \times 10^{-2}$
AV. EL SOL DERECHA	0+000	2+000	$110.99 \times 10^{-2}$	$66.70 \times 10^{-2}$
AV. EL SOL IZQUIERDA	0+000	2+000	$103.71 \times 10^{-2}$	$66.32 \times 10^{-2}$

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Podemos observar que el de la deflexión en la Av. Floral, para la calzada derecha es de  $117.28 \times 10^{-2}$ ; y para la calzada izquierda es de  $106.78 \times 10^{-2}$ .

Podemos observar que el de la deflexión en la Av. El Sol, para la calzada derecha es de  $110.99 \times 10^{-2}$ ; y para la calzada izquierda es de  $103.71 \times 10^{-2}$ .

De la tabla N° 34 podemos visualizar que las deflexiones características son mayores que las deflexiones admisibles para cada vía y calzada.

#### 4.4. COMPARACION ENTRE LOS MÉTODOS

Para realizar la comparación de los métodos, elaboramos la siguiente tabla N°35 donde asignamos valores para cada 200 metros según lo calculado para deflexión IRI Y PCI; y nos apoyamos con el programa estadístico SPSS. Utilizaremos el coeficiente de Correlación de Pearson.

Tabla N° 35: Resumen de los resultados realizados

Vía Calz.	Progres. Inicial	Progres. Final	DEFLEC.		IRI IRI calc.	PCI	
			DC	D adm		Valor PCI	Condición
FD	00+000	00+200	30.12	79.21	6.40	14.20	MUY MALO
FD	00+200	00+400	99.79	79.21	6.40	4.60	FALLADO
FD	00+400	00+600	101.90	79.21	4.62	12.00	MUY MALO
FD	00+600	00+800	158.19	79.21	4.62	7.80	FALLADO
FD	00+800	01+000	172.02	79.21	4.27	40.40	REGULAR
FD	01+000	01+200	109.84	79.21	4.27	72.40	MUY BUENO
FI	00+000	00+200	101.11	71.08	7.72	13.80	MUY MALO
FI	00+200	00+400	175.68	71.08	7.72	25.60	MALO
FI	00+400	00+600	68.92	71.08	4.36	48.00	REGULAR
FI	00+600	00+800	164.05	71.08	4.36	0.40	FALLADO
FI	00+800	01+000	89.44	71.08	6.49	42.60	REGULAR
FI	01+000	01+200	60.03	71.08	6.49	32.20	MALO
SD	00+000	00+200	107.92	66.32	4.12	14.20	MUY MALO
SD	00+200	00+400	119.74	66.32	4.12	12.20	MUY MALO
SD	00+400	00+600	135.94	66.32	6.14	10.20	MUY MALO
SD	00+600	00+800	180.43	66.32	6.14	8.40	FALLADO
SD	00+800	01+000	63.13	66.32	5.13	3.20	FALLADO
SD	01+000	01+200	152.14	66.32	5.13	12.20	MUY MALO
SD	01+200	01+400	141.93	66.32	5.32	17.60	MUY MALO
SD	01+400	01+600	134.27	66.32	5.32	5.80	FALLADO
SD	01+600	01+800	95.84	66.32	3.54	25.00	MALO
SD	01+800	02+000	47.06	66.32	3.54	23.20	MUY MALO
SI	00+000	00+200	102.16	66.70	4.16	16.40	MUY MALO
SI	00+200	00+400	117.13	66.70	4.16	16.60	MUY MALO

Continuación...

Vía Calz.	Prog. Inicial	Prog. Final	DEFLEC.		IRI IRI calc.	PCI	
			DC	D adm.		Valor PCI	Condición
SI	00+400	00+600	61.55	66.70	4.95	24.80	MUY MALO
SI	00+600	00+800	85.04	66.70	4.95	35.00	MALO



SI	00+800	01+000	74.75	66.70	5.17	15.20	MUY MALO
SI	01+000	01+200	87.95	66.70	5.17	21.00	MUY MALO
SI	01+200	01+400	153.82	66.70	6.28	7.60	FALLADO
SI	01+400	01+600	123.15	66.70	6.28	1.00	FALLADO
SI	01+600	01+800	156.73	66.70	4.80	12.40	MUY MALO
SI	01+800	02+000	149.32	66.70	4.80	4.80	FALLADO

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Para determinar la relación entre los métodos, separamos los datos por vías y se presentan los resultados como se observa en la tabla N° 36.

Tabla N° 36: Correlación de Pearson

<b>Correlaciones</b>				
<b>VIA</b>		<b>PCI – IRI</b>	<b>PCI - DELEX.</b>	<b>IRI - DEFLEX.</b>
Floral Derecha	Correlación de Pearson	-0.537	0.194	-0.729*
	Sig. (bilateral)	0.272	0.712	0.100
	N	6	6	6
Floral Izquierda	Correlación de Pearson	-0.043	-0.655*	0.113
	Sig. (bilateral)	0.935	0.158	0.831
	N	6	6	6
El Sol Derecha	Correlación de Pearson	-,701*	-0.324	,692*
	Sig. (bilateral)	0.024	0.361	0.027
	N	10	10	10
El Sol Izquierda	Correlación de Pearson	-0.430	-,697*	0.219
	Sig. (bilateral)	0.215	0.025	0.543
	N	10	10	10

(\*) valores que consideran relación.

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

De la tabla N° 36 podemos determinar lo siguiente:



- Av. Floral – Derecha: IRI-DEFLEXION. Tenemos un valor  $(r) = -0.729$  lo que indica que existe una relación mediana entre las variables, además que esta relación es inversa, es decir que si el IRI aumenta la Deflexión se reduce
- Av. Floral – Izquierda: PCI-DEFLEXION. Tenemos un valor  $(r) = -0.655$  lo que indica que existe una relación baja entre las variables, además que esta relación es inversa, es decir que si el PCI aumenta la Deflexión se reduce.
- Av. Floral – Derecha: PCI-IRI. Tenemos un valor  $(r) = -0.701$  lo que indica que existe una relación mediana entre las variables, además que esta relación es inversa, es decir que si el PCI aumenta la IRI se reduce. IRI-DEFLEXION. Tenemos un valor  $(r) = 0.692$  lo que indica que existe una relación mediana entre las variables, además que esta relación directa, es decir que si el IRI aumenta la Deflexión se reduce.
- Av. Floral – Derecha: PCI-DEFLEXION. Tenemos un valor  $(r) = -0.697$  lo que indica que existe una relación mediana entre las variables, además que esta relación es inversa, es decir que si el PCI aumenta la Deflexión se reduce.

Finalmente, de lo comentado podemos aseverar que estadísticamente no existe relación entre cada uno de los métodos, a pesar de que cada uno mide ciertos parámetros.

#### **4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

A continuación, se verifica el cumplimiento del objetivo general y los tres (03) objetivos específicos planteados para la presente investigación:

Objetivos Específico 1: Evaluar la condición del pavimento utilizando la metodología PCI en la Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.

Hipótesis Específica1: El índice de la condición del pavimento en la Av. Floral y

Av. El Sol de la ciudad de Puno es menor a 40 en la escala de calificación del PCI; por tanto, tiene una condición de malo, muy malo y fallado según la norma ASTM D6433-03. (Manual del PCI. Figura 8)

Utilizamos la prueba estadística “t” Student para una muestra. Utilizamos lo siguiente, además nos apoyaremos en el programa estadístico SPSS:

- Hipótesis nula;  $H_0: \rho = 0$ : el valor PCI es 40.
- Hipótesis alterna;  $H_0: \rho < 0$ ; el valor PCI < 40
- Nivel de confianza del 90% o un riesgo del 10%  $\alpha=0.10$

Tabla N° 37: Prueba “t” Student-PCI

Prueba para una muestra					
Valor de prueba = 40					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Significancia
Floral Derecha	-3.046	29	0.005	-14.767	0.0024518
Floral Izquierda	-2.409	29	0.023	-12.900	0.0112834
El Sol Derecha	-17.542	51	0.000	-26.885	1.493E-23
El Sol Izquierda	-10.706	51	0.000	-24.962	5.981E-15

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

De la tabla N° 37, obtenemos una significancia menor al  $\alpha=0.10$ . Entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna que los valores del PCI son menores a 40.

Sí se cumplió el objetivo planteado, ya que podemos concluir de la prueba planteada que los valores del PCI de las vías estudiadas, tienen valores menores 40. Teniendo estos una valoración entre “MALO y MUY MALO”.



Objetivo Específico 2: Evaluar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento utilizando el rugosímetro de Merlín en la Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.

Hipótesis Específica 2: El índice de rugosidad internacional (IRI) de la Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno es mayor a 3.5 m/Km. Recomendado para carreteras con un IMDA de 6000 y 4000 veh/día de calzadas separadas con dos carriles, según el Manual de Carreteras MTC. (Tabla N° 5).

Utilizamos la prueba estadística “t” Student para una muestra. Utilizamos lo siguiente, además nos apoyaremos en el programa estadístico SPSS:

- Hipótesis nula;  $H_0: \rho = 0$ : el valor IRI es 3.5.
- Hipótesis alterna;  $H_0: \rho > 0$ ; el valor IRI  $> 3.5$
- Nivel de confianza del 90% o un riesgo del 10%  $\alpha=0.10$

Tabla N° 38: Prueba “t” Student-IRI

Prueba para una muestra					
Valor de prueba = 3.5					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Significancia
Floral Derecha	2.341	2	0.144	1.567	0.0720193
Floral Izquierda	2.741	2	0.111	2.690	0.055665
El Sol Derecha	2.942	4	0.042	1.350	0.0211608
El Sol Izquierda	4.548	4	0.010	1.572	0.0052169

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

De la tabla N° 38, obtenemos una significancia menor al  $\alpha=0.10$ . Entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna que los valores del IRI son mayores a 3.5 m/km.

Sí se cumplió el objetivo planteado, ya que podemos concluir de la prueba planteada que los valores del IRI de las vías estudiadas, tienen valores mayores a 3.5 m/km.

Objetivo Específico 3: Evaluar el estado del pavimento, mediante deflectometría y rugosidad, en la carretera Puno – Vilque – Mañazo, en los 4 Km más críticos.

Hipótesis Específica 3: Las deflexiones del pavimento flexible en la Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno son mayores a las deflexiones admisibles determinadas con el IMDA de cada vía, según El Manual de Carreteras MTC. (CONREVIAl 1983).

Utilizamos la prueba estadística “t” Student para una muestra. Utilizamos lo siguiente, además nos apoyaremos en el programa estadístico SPSS:

- Hipótesis nula;  $H_0: \rho = 0$ : el valor de deflexión característica es el valore de la deflexión admisible.
- Hipótesis alterna;  $H_0: \rho > 0$ ; el valor de deflexión característica  $>$  deflexión admisible.
- Nivel de confianza del 90% o un riesgo del 10%  $\alpha=0.10$

Tabla N° 39: Prueba “t” Student-DEFLEXION

Prueba para una muestra						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Valor de prueba	Significancia
Floral Derecha	1.593	5	0.172	32.767	79.21	0.08604273
Floral Izquierda	1.946	5	0.109	38.792	71.08	0.05461687
El Sol Derecha	4.009	9	0.003	51.520	66.32	0.00153342
El Sol Izquierda	4.093	9	0.003	44.460	66.70	0.00135303

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.



De la tabla N° 39, obtenemos una significancia menor al  $\alpha=0.10$ , entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna que los valores de la deflexión característica son mayores que los valores de deflexión admisible.

Sí se cumplió el objetivo planteado, ya que podemos concluir de la prueba planteada que los valores del de deflexión característica son mayores que los valores de la deflexión admisible. Para cada caso.

#### Objetivo General

Determinar la condición superficial del pavimento flexible de la Av. Floral y Av. El Sol de la ciudad de Puno.

#### Hipótesis General

La condición superficial del pavimento flexible en la Av. Floral, y Av. El Sol de la ciudad de Puno no cumple con los parámetros PCI, IRI Y DEFLECTOMETRIA recomendados para su tipo y características.

Se cumplió el objetivo general de evaluar el pavimento mediante la metodología PCI, la rugosidad y la deflectometría en la Av. Floral y Av. El Sol, utilizando para ello el rugosímetro Merlin y la viga Benkelman; mediante esto se verificó que la hipótesis general es cierta ya que los resultados fueron corroborados estadísticamente, indicando una condición superficial del pavimento deficiente.

#### **4.6. ALTERNATIVAS DE SOLUCION**

Podemos plantear o recomendar algunas medidas de solución de acuerdo a cada metodología realizada.

#### 4.4.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO - PCI

Algunas de las intervenciones a realizar según el tipo y severidad de cada falla.

Consideramos las fallas con mayor presencia en el estudio realizado.

Tabla N° 40: Matriz de alternativas de solución - Floral

PLANTILLA	AVENIDA FLORAL CALZADA IZQUIERDA			AVENIDA FLORAL CALZADA DERECHA		
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR
1	00+000	00+040	Reconstrucción	00+000	00+040	Rehabilitación
2	00+040	00+080	Reconstrucción	00+040	00+080	Reconstrucción
3	00+080	00+120	Reconstrucción	00+080	00+120	Reconstrucción
4	00+120	00+160	Reconstrucción	00+120	00+160	Reconstrucción
5	00+160	00+200	Reconstrucción	00+160	00+200	Reconstrucción
6	00+200	00+240	Reconstrucción	00+200	00+240	Reconstrucción
7	00+240	00+280	Reconstrucción	00+240	00+280	Reconstrucción
8	00+280	00+320	Reconstrucción	00+280	00+320	Reconstrucción
9	00+320	00+360	Reconstrucción	00+320	00+360	Reconstrucción
10	00+360	00+400	Rehabilitación	00+360	00+400	Reconstrucción
11	00+400	00+440	Mantenimiento	00+400	00+440	Reconstrucción
12	00+440	00+480	Rehabilitación	00+440	00+480	Reconstrucción
13	00+480	00+520	Rehabilitación	00+480	00+520	Reconstrucción
14	00+520	00+560	Rehabilitación	00+520	00+560	Reconstrucción
15	00+560	00+600	Reconstrucción	00+560	00+600	Reconstrucción
16	00+600	00+640	Reconstrucción	00+600	00+640	Reconstrucción
17	00+640	00+680	Reconstrucción	00+640	00+680	Reconstrucción
18	00+680	00+720	Reconstrucción	00+680	00+720	Reconstrucción
19	00+720	00+760	Reconstrucción	00+720	00+760	Reconstrucción
20	00+760	00+800	Reconstrucción	00+760	00+800	Reconstrucción
21	00+800	00+840	Reconstrucción	00+800	00+840	Reconstrucción
22	00+840	00+880	Reconstrucción	00+840	00+880	Reconstrucción
23	00+880	00+920	Reconstrucción	00+880	00+920	Rehabilitación
24	00+920	00+960	Reconstrucción	00+920	00+960	Rehabilitación
25	00+960	01+000	Losas de C°	00+960	01+000	Rehabilitación
26	01+000	01+040	Losas de C°	01+000	01+040	Mantenimiento
27	01+040	01+080	Rehabilitación	01+040	01+080	Rehabilitación
28	01+080	01+120	Reconstrucción	01+080	01+120	Mantenimiento
29	01+120	01+160	Reconstrucción	01+120	01+160	Mantenimiento
30	01+160	01+200	Rehabilitación	01+160	01+200	Rehabilitación

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 41: Matriz de alternativas de solución – El Sol

PLANTILLA	AVENIDA EL SOL CALZADA IZQUIERDA			AVENIDA EL SOL CALZADA DERECHA		
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR
1	00+000	00+040	Reconstrucción	00+000	00+040	Reconstrucción
2	00+040	00+080	Reconstrucción	00+040	00+080	Reconstrucción
3	00+080	00+120	Reconstrucción	00+080	00+120	Reconstrucción
4	00+120	00+160	Reconstrucción	00+120	00+160	Reconstrucción
5	00+160	00+200	Reconstrucción	00+160	00+200	Reconstrucción
6	00+200	00+240	Reconstrucción	00+200	00+240	Reconstrucción
7	00+240	00+280	Reconstrucción	00+240	00+280	Reconstrucción
8	00+280	00+320	Reconstrucción	00+280	00+320	Rehabilitación
9	00+320	00+360	Reconstrucción	00+320	00+360	Reconstrucción
10	00+360	00+400	Reconstrucción	00+360	00+400	Reconstrucción
11	00+400	00+440	Reconstrucción	00+400	00+440	Reconstrucción
12	00+440	00+480	Rehabilitación	00+440	00+480	Reconstrucción
13	00+480	00+520	Reconstrucción	00+480	00+520	Reconstrucción
14	00+520	00+560	Reconstrucción	00+520	00+560	Reconstrucción
15	00+560	00+600	Rehabilitación	00+560	00+600	Rehabilitación
16	00+600	00+640	Rehabilitación	00+600	00+640	Reconstrucción
17	00+640	00+680	Rehabilitación	00+640	00+680	Reconstrucción
18	00+680	00+720	Rehabilitación	00+680	00+720	Reconstrucción
19	00+720	00+760	Reconstrucción	00+720	00+760	Reconstrucción
20	00+760	00+800	Reconstrucción	00+760	00+800	Reconstrucción
21	00+800	00+840	Reconstrucción	00+800	00+840	Reconstrucción
22	00+840	00+880	Reconstrucción	00+840	00+880	Reconstrucción
23	00+880	00+920	Reconstrucción	00+880	00+920	Reconstrucción
24	00+920	00+960	Rehabilitación	00+920	00+960	Reconstrucción
25	00+960	01+000	Rehabilitación	00+960	01+000	Reconstrucción
26	01+000	01+040	Rehabilitación	01+000	01+040	Reconstrucción
27	01+040	01+080	Reconstrucción	01+040	01+080	Reconstrucción
28	01+080	01+120	Reconstrucción	01+080	01+120	Reconstrucción
29	01+120	01+160	Reconstrucción	01+120	01+160	Reconstrucción
30	01+160	01+200	Rehabilitación	01+160	01+200	Reconstrucción
31	01+200	01+240	Reconstrucción	01+200	01+240	Reconstrucción
32	01+240	01+280	Reconstrucción	01+240	01+280	Reconstrucción
33	01+280	01+320	Reconstrucción	01+280	01+320	Reconstrucción
34	01+320	01+360	Reconstrucción	01+320	01+360	Reconstrucción
35	01+360	01+400	Reconstrucción	01+360	01+400	Reconstrucción
36	01+400	01+440	Reconstrucción	01+400	01+440	Reconstrucción
37	01+440	01+480	Reconstrucción	01+440	01+480	Reconstrucción



Continuación...

PLANTILLA	AVENIDA EL SOL CALZADA IZQUIERDA			AVENIDA EL SOL CALZADA DERECHA		
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	MEDIDAS A TOMAR
38	01+480	01+520	Reconstrucción	01+480	01+520	Reconstrucción
39	01+520	01+560	Reconstrucción	01+520	01+560	Reconstrucción
40	01+560	01+600	Reconstrucción	01+560	01+600	Reconstrucción
41	01+600	01+640	Reconstrucción	01+600	01+640	Reconstrucción
42	01+640	01+680	Reconstrucción	01+640	01+680	Reconstrucción
43	01+680	01+720	Reconstrucción	01+680	01+720	Rehabilitación
44	01+720	01+760	Reconstrucción	01+720	01+760	Rehabilitación
45	01+760	01+800	Reconstrucción	01+760	01+800	Rehabilitación
46	01+800	01+840	Reconstrucción	01+800	01+840	Reconstrucción
47	01+840	01+880	Reconstrucción	01+840	01+880	Rehabilitación
48	01+880	01+920	Reconstrucción	01+880	01+920	Reconstrucción
49	01+920	01+960	Reconstrucción	01+920	01+960	Reconstrucción
50	01+960	02+000	Reconstrucción	01+960	02+000	Rehabilitación
51	02+000	02+040	Reconstrucción	02+000	02+040	Reconstrucción
52	02+040	02+080	Reconstrucción	02+040	02+080	Reconstrucción

FUENTE: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

#### 4.4.2. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL – IRI

Al superar el IRI recomendado, la alternativa de solución es el microfresado.

#### 4.4.3. DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Considerando los resultados obtenidos, podemos determinar mediante la siguiente tabla que la medida correctiva a adoptar es el refuerzo y reconstrucción.

Tabla N° 42: Medidas correctivas Viga Benkelman

Hipótesis	Datos Deflectométrico Obtenidos		Calidad Estructura		Necesidad de Estudios Complementarios	Criterio de Cálculo para Refuerzo	Medidas Correctivas
	D < Da	Ro > 100	Si Dp < 3Dadm	Regular			
I	D < Da	Ro > 100	Buena		NO		Solo Correcciones de Superficie
II	D > Da	Ro > 100	Si Dp < 3Dadm	Regular	NO	Deflectómetro	Refuerzo (*)
			Si Dp > 3Dadm	Mala	SI	Deflectómetro, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
III	D < Da	Ro < 100	Regular a Mala		SI	Deflectómetro, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
IV	D > Da	Ro < 100	Mala		SI	Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción

(\*) Construcción de una capa de refuerzo sobre el pavimento existente. Asfalto sobre asfalto y Hormigón sobre asfalto con empleo de la capa base.

FUENTE: Criterios para la evaluación estructural DNER PRO 11-79

## 4.7. DISCUSIÓN

### 4.7.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO

Los resultados obtenidos con la evaluación PCI para nuestras vías resultan ser MALO Y MUY MALO, dichos datos resultan coincidentes con los obtenidos por (Cuba Alvarez, 2017); dicho autor evaluó también las avenidas urbanas. Además, de que planteó las alternativas de rehabilitación y reconstrucción.



Los tipos de fallas encontradas, son las que prevalecen para un pavimento flexible (grieta del tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos, y desintegración o disgregación superficial). (Ramos Vilca, 2017) y (Choque Palacios, 2019) encontraron la prevalencia de estas fallas en la evaluación de las vías de pavimentos flexibles.

#### **4.7.2 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL**

Los resultados de la evaluación con el MERLIN consideran que los valores superan los aceptados por el reglamento para nuestra vía, (Almanza Mendoza, 2014) obtuvo resultados similares ya que asegura que los valores superan los admisibles; además de considerar que el MERLIN es el método más adecuado para la medición de la regularidad.

#### **4.7.3. DEFLECTOMETRIA**

Las deflexiones características superan las deflexiones admisibles, por ende el pavimento se encuentra en malas condiciones y requiere medidas de intervención. (Meza Palomino, 2017) concluye resultados similares para la evaluación de una vía urbana en la ciudad de Arequipa, dicha vía presenta estructura y condiciones similares a la nuestra.



## V. CONCLUSIONES

- La condición superficial del pavimento flexible en la Av. Floral y Av. El Sol se determinó al realizar la evaluación PCI, IRI, DEFLECTOMETRIA obteniendo de estos, valores por debajo de lo recomendado por la ASTM- D6433-03. Y MTC- 2013. Concluyendo así que el pavimento tiene una condición deficiente y requiere rehabilitación.
- De la evaluación mediante el método del Índice de Condición de Pavimento se determinó, estadísticamente, que la condición superficial de los pavimentos estudiados es menor a 40. Permitiendo calificar la condición superficial del pavimento como MALA Y MUY MALA para la Av. Floral en la calzada derecha e izquierda respectivamente, y MUY MALA para la Av. El Sol en ambas calzadas. Según la ASTM D6433-18. Figura 8.
- De la evaluación del pavimento con el Rugosímetro MERLIN, se determinó estadísticamente que los valores del IRI superan el 3.5 m/km recomendado en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras” (EG- 2013). Tabla N° 5. Además, se obtuvo los valores IRI de: En la Av. Floral 5.05 m/km la calzada derecha y 6.19 m/km en la calzada izquierda. En la Av. El Sol 4.85 m/km en la calzada derecha y 5.07 m/km en la calzada izquierda. Por ende, podemos aseverar que la regularidad (IRI) en los pavimentos de las vías analizadas es deficiente y en consecuencia la condición superficial no es buena.
- Del ensayo con la Viga Benkelman en el pavimento se concluye, estadísticamente, que los valores de la deflexión característica superan los valores de deflexión admisible para cada calzada. CONREVIAl-MTC (1983). Se determinó los valores de deflexión característica promedio de: Para la Av. Floral  $117.28 \times 10^{-2}$  mm en el carril derecho,  $106.78 \times 10^{-2}$  mm en el carril izquierdo; para la Av.



El Sol  $110.99 \times 10^{-2}$  mm en el carril derecho,  $103.71 \times 10^{-2}$  mm en el carril izquierdo. Lo que indica que la deflexión y por ende la condición superficial del pavimento está en malas condiciones.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un mejor control de la calidad de los materiales que se utilizan en el proceso constructivo, así como el estudio de la cantera, granulometría de los materiales, etc.
- Se sugiere tomar medidas correctivas y de mantenimiento por las entidades correspondientes (Municipalidad Provincial de Puno). Para corregir las fallas existentes, según la metodología PCI se recomienda las alternativas de solución descritas en el punto 4.4.1., según el INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) se recomienda hacer un microfresado en los puntos más críticos de las vías en estudio y finalmente según el estudio de deflectometría se requiere un refuerzo en la estructura del pavimento o una reconstrucción total de la vía.
- Realizar los ensayos de Índice de la Condición del Pavimento – PCI, Índice de Rugosidad Internacional – IRI, Ensayo de Deflectometría, con personal calificado y con conocimientos sobre los ensayos descritos, equipos calibrados y certificados.
- Es necesario utilizar equipos de seguridad en el proceso de la recolección de datos en campo como son: chaleco, casco, mascarilla, cinta de seguridad, conos de seguridad, entre otros, ya que la inspección visual es un trabajo peligroso por el tránsito alto en las vías.
- Con la utilización de las 3 metodologías aplicadas (PCI, IRI, VIGA BENKELMAN), podemos considerar una evaluación completa del estado superficial del pavimento.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alave Aguilar, J. C. (2013). *Evaluacion del Micro Pavimento Slurry Seal Tipo II, Mediante Deflectometria y Rugosidad; En la carretera IIRSA Sur-Tramo V; Torata-Humajalso, Km 59+000 AL Km 61+000, Después de 2 Años de Aplicación*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Allende Garcia, F. (2017). *Evaluacion comparativa de la serviciabilidad de las vias: SAPHI-SAQSAWAMAN, SAQSAWAMAN-ABRA CCORAO, ABRA CCORAO-CCORAO Y CCORAO-RAYANIYOC; segun la determinación del indice de la condicion del pavimento (PCI) y el indice de la rugosidad internacional (IRI)*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Almanza Mendoza, D. A. (2014). *Evaluación del Modelo “QUARTER CAR” para la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del Tramo Huancavelica - Santa Inés*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- American Society for Testing and Materials D6433. (2018). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. U.S.
- Choque Palacios, J. A. (2019). *Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC en la evaluación superficial de pavimento flexible, tramo EMP.PE-3S - Atuncolla, 2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cuba Alvarez, W. I. (2017). *Evaluación Superficial del Pavimento Flexible Aplicando el Método del PCI en un tramo de la Av. República de Polonia – Distrito de San Juan de Lurigancho*. Lima: Universidad Cesar Vallejo .



- Del Aguila, P. (1999). *Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el Rugosímetro MERLIN*. Sevilla.
- Del Aguila, P. (2000). *Metodología para la Determinación de Rugosidad de los Pavimentos*. Lima.
- Hiliquín Brañez, M. L. (2016). *Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI, en la AV. Jorge Chávez del distrito de Pocollay en el año 2016*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Jimenez Sanchez, E. (1998). *Evaluación Estructural no Destructiva de Pavimentos*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Sanfandila.
- Leguía Loarte, P. B., & Pacheco Risco, H. F. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho - Huaura - Lima)*. Lima: Universidad San Martín de Porres.
- Madruga Ferreira, C. (2007). *Trabalhando com Viga Benkelman*. Recuperado el 19 de 09 de 15, de <https://es.slideshare.net/castilloaroni/deflectometra-pavimentos-trabajando-con-viga-benkelman>
- MAV. (2012). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos*. Costa Rica.
- Medina Palacios, A., & De la Cruz Puma, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Meza Palomino, H. C. (2017). *Evaluación deflectométrica obtenida con la viga benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008*



*en la avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa.*

Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

Meza Pereira, A. A. (2018). *Propuesta técnica y económica de la reparación de carretera ruta 160 Km 128.2 al 128.7 Comuna de Lebu*. Universidad Técnica Federico Santa María: Chile.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.

MTC. (2013). *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos*. .

MTC. (2013). *Manual De Carreteras – Conservación Vial*. Perú.

MTC y Consorcio de rehabilitación vial CONREVIAL. (1983). Estudio de la Rehabilitación de carreteras en el País. (Vol C). Lima

Osuna, R. (2008). *Propuesta para la implementacion de un Sistema de administracion de pavimentos para la red vial de la ciudad de Mazatlan*. México: UNAM.

Paucar Curo, E. (2019). *Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo el índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la Avenida Floral y Jirón Carabaya, Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Pereda Huaman, C. V. (2014). *Indice de la condicion del pavimento de la carretera Cajamarca-La Colpa* . Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Ramos Vilca, W. (2017). *Evaluación del estado del pavimento por deflectometría e Índice de Rugosidad Internacional de la carretera: Puno – Vilque – Mañazo – 4Km críticos - 2015*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.



- Rondon, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos. Materiales, construcción y diseño* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Macro-Ecoe ediciones.
- S. Hoffman, M., & M. del Aguila, P. (1985). *Estudios de la Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)*. Lima: Louis Berger Internacional inc. LAGESA Ingenieros Consultores.
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports Roads and Parking Lots* (Segunda ed.). Springer Science + Bussiness Media. LLC.
- SIGNOVIAL. (2018). *www.signovial.pe*. Recuperado el 20 de Setiembre de 2019, de <http://signovial.pe/blog/visibilidad-zonas-trabajo/>
- Tapia Ruiz, W. E. (2018). *Evaluación del comportamiento funcional del pavimento rígido del Jr. Jose Sabogal Cdra. 01 - 08 utilizando el rugosímetro Merlin y las propuestas de técnicas de rehabilitación*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ventura, J., & Alvarenga, E. (2005). *Determinación del Índice de Regularidad Internacional IRI*. El Salvador: Ministerio de Transporte, Obras Públicas, Vivienda y Desarrollo Urbano.
- Zevallos Gamarra, R. E. (2018). *Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca*. Lima: Universidad César Vallejo.



## ANEXOS

Anexo A: Curvas de valor de deducción.

Anexo B: PCI.

Anexo C: IRI.

Anexo D: Viga Benkelman.

Anexo E: Panel fotográfico.

Anexo F: Aforo.

Anexo G: Certificados de calibración de los equipos.