



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Evaluación superficial de la avenida la cultura en el distrito de
wanchaq-cusco a través del método del PCI”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Pinedo Veliz, Juan Carlos Dimas

ASESOR:

ING. Jorge Jhon Gabriel Beltran

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2017

Página del Jurado



Mg. César Teodoro Arriola Prieto
PRESIDENTE



Mg. Raúl Heredia Benavides
SECRETARIO



Mg. Jorge John Gabriel Beltran
VOCAL

DEDICATORIA

A Dios, a mi madre María, a mis hijos Nathaniel y Joao, a mis profesores y a todos mis amigos cercanos que estuvieron conmigo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, sin él no hubiese podido llegar hasta este tiempo de mi carrera, a mi hermosa familia que los tengo muy presentes por todo lo que han aportado en mí, asimismo a mi casa de estudios Universidad Cesar Vallejo y a la escuela de Ingeniería que durante los años aportaron y vieron mi crecimiento académico y personal. Quiero terminar agradeciendo a todas las personas que colaboraron para la realización de este hermoso trabajo.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Juan Carlos Dimas Pinedo Veliz, con DNI N° 42577807, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, Octubre de 2017



PINEDO VELIZ, JUAN CARLOS DIMAS

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado, presento ante ustedes la Tesis titulada:

“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LA AVENIDA LA CULTURA EN EL DISTRITO DE WANCHAQ – CUSCO, A TRAVÉS DEL MÉTODO PCI”, para su revisión, esperando que la presente cumpla con los criterios evaluativos y de esta manera obtenga su aprobación, todo esto se ejecuta en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

El autor.

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado “EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LA AVENIDA LA CULTURA EN EL DISTRITO DE WANCHAQ – CUSCO, A TRAVÉS DEL MÉTODO PCI”, tuvo como objetivo principal realizar la evaluación superficial del pavimento flexible de la vía mencionadas aplicando el método Pavement Condition Index (PCI), con el fin de conocer la condición del pavimento flexible existente.

El método Pavement Condition Index (PCI); constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, así mismo ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación. Se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, valor que cuantifica el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Se determinó que el 100 por ciento de la vía 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 la vía en estudio.

Al realizar la evaluación superficial del pavimento flexible mediante el método Pavement Condition Index, se conoce que el estado de conservación de la Av. La Cultura es “Bueno” con un PCI de 63 para la sección 1 y para la sección 2 de 46.

Palabras claves: Evaluación superficial de pavimentos flexibles, Índice de Condición de pavimentos (PCI).

ABSTRACT

The research paper called “EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LA AVENIDA LA CULTURA EN EL DISTRICTO DE WANCHAQ – CUSCO, A TRAVÉS DEL MÉTODO PCI”, main objective was to make the surface evaluation of flexible pavement of the road mentioned applying the Pavement method condition Index (PCI), in order to know the condition of the existing flexible pavement.

The Pavement Condition Index method (PCI); is the most comprehensive and objective assessment rating pavement thus being widely accepted and formally adopted as standard procedure, and has been published by ASTM as a method of analysis and application. It was developed to provide an index of the structural integrity of the pavement and operational condition of the surface, value that quantifies the state is the pavement for their respective treatment and maintenance.

It was determined that 100 percent of the roads has not been evaluated; Therefore the application of the PCI methodology for identifying the evaluation parameters, determining the condition index and obtaining the pavement condition can finally perform superficial evaluation pavement for the condition of the road in study .

When performing the surface evaluation of flexible pavement through the Pavement Condition Index method, it is known that the conservation status of Av. La Cultura is “GOOD” with a PCI of 63 for section 1 and for section 2 is 46.

Keywords: Surface evaluation of flexible pavements, pavement condition index (PCI)

ÍNDICE

Página del Jurado.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad Problemática.....	2
1.2 Trabajos Previos.....	4
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	6
1.3.1. Definición de Pavimento.....	6
1.3.2. Factores a considerar en el diseño de pavimentos.....	10
1.3.3. Ciclo de vida de un pavimento.....	12
1.3.4. Mantenimiento de pavimentos.....	14
1.3.5. Método del PCI (Pavement Condition Index).....	16
1.4. Formulación del problema	28
1.4.1. Problema general.....	28
1.4.2. Problemas específicos	28
1.5. Justificación del Estudio.....	28
1.6. Hipótesis.....	29
1.7. Objetivos.....	30
1.7.1 Objetivo general.....	30
1.7.2 Objetivo específico.....	30
2. METODOLOGÍA.....	31
2.1. Diseño de investigación	31
2.2 Variables, operacionalización	32
2.2.1 Variables.....	32
2.2.2 Operacionalización	32
2.3 Población y muestra	32

2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	33
3.	RESULTADOS.....	34
3.1.	Datos Generales de campo.....	34
3.1.1	Ubicación.....	34
3.1.2	Altitud	34
3.1.3	Características Generales de los suelos de la ciudad del Cusco ..	34
3.1.4	Aspectos Generales de la Microzonificación de suelos de la ciudad del Cusco.....	37
3.1.5	Condiciones climáticas.....	39
3.1.6	Características de la zona	40
3.1.7	Características del tránsito.....	40
3.1.8.	Características de la Vía.....	40
3.2.	Muestreo y unidades de muestreo	41
3.3	Levantamiento de Fallas.	42
3.4	Calculo del PCI de la Unidad de muestra y sección	42
3.5	Resultados y análisis	47
4.	DISCUSIÓN.....	50
4.1	Interpretación de resultados.	50
4.2	Propuesta de Mantenimiento y Restauración del Pavimento	51
4.2.1	Riego tipo Niebla o Fog Seal	52
4.4.2	Micropavimento Asfáltico en Frio (MPAF).....	55
5.	CONCLUSIONES.	57
6.	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	60
	ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Fallas del método del PCI	17
Tabla 02: Hojas de registro de en vías de pavimento asfáltico	20
Tabla 03: Hoja de registro de la muestra U1 (Cuadra 6 y 7)	42
Tabla 04: Hoja de registro de la muestra U1- Valor Deducido (DV)	44
Tabla 05: Orden, cambio del menor y suma de DV	46
Tabla 06: PCI de la sección 1	47
Tabla 07: PCI sección 1 y 2	47
Tabla 08: Resumen de fallas en las Unidades de Muestra	49
Tabla 09: Resumen de fallas en la Sección 1	49
Tabla 10: Resumen de fallas en la Sección 2	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Estructura típica de un pavimento flexible	07
Figura 02: Estructura típica de un pavimento semirígido	08
Figura 03: Estructura típica de un pavimento rígido	09
Figura 04: Estructura típica de un pavimento articulado	10
Figura 05: Ciclo de vida genérico de los pavimentos	14
Figura 06: Esquema de deterioro de un pavimento flexible con el tiempo	15
Figura 07: Índice PCI: Definición de Niveles de Servicio	19
Figura 08: Curva de corrección para pavimentos de asfalto	26
Figura 09: Ubicación de la zona de estudio	34
Figura 10: Secciones típicas del pavimento existente	41
Figura 11: Valor Deducido para falla fisura en	43
Figura 12: Cálculo del número de Valores Deducidos “m” para el Máximo Valor Deducido 32	45
Figura 13: CDV para $q = 4$, y el total de DV = 62	46
Figura 14: PCI en porcentajes	48
Figura 15: Aplicación Sistemática	54
Figura 16: Aplicación artesanal	54
Figura 17: Aspecto de película continua del Fog seal	55
Figura 18: Fabricación con mezcladora tipo trompo	56

CAPITULO I.

1. INTRODUCCIÓN.

Las vías urbanas son muy importantes en nuestro país debido a que generan beneficios económicos: tales como la reducción de costos operativos, ahorro en los tiempos de viaje de los usuarios, impulsa el comercio, agricultura, ganadería, turismo, etc; por otro lado, también genera beneficios sociales, tales como: mayor integración y comunicación entre las localidades del ámbito de influencia, mayor comodidad en los viajes ante la ausencia de desperfectos en la vía, mayor seguridad vial, generación de puestos de trabajos con la contratación de trabajadores locales en las faenas de mantenimiento, etc.

Sin embargo la mayor parte de estas vías, se encuentran en malas condiciones, debido a subdiseños estructurales, materiales de baja calidad, procesos constructivos defectuosos y siendo la principal causa, la carencia de un mantenimiento preventivo adecuado por parte de las autoridades competentes.

En algunos exiguos casos, si bien se efectúa la faena de mantenimiento preventivo, son utilizados métodos y materiales inadecuados. En tal sentido, se hace necesario contar con un documento que establezca las principales metodologías técnicas para el mantenimiento de vías urbanas, por tanto, la presente investigación propondrá una metodología adecuada para el mantenimiento preventivo de la Avenida La Cultura en el distrito de Wanchaq – Cusco, para lo cual se hará su respectiva evaluación utilizando el método del PCI (Paviment Condition Index).

Así pues, para efectos de verificar la condición del pavimento de la Avenida La Cultura en el distrito de Wanchaq - Cusco, se ha empleado el Método PCI (Pavement Condition Index), el cual consiste en la determinación de esta condición a través de inspecciones visuales, reconociendo tipo o clase, severidad y cantidad de fallas encontradas a nivel superficial para posteriormente proponer una alternativa de mantenimiento preventivo.

Producto de la auscultación del pavimento y siguiendo la metodología del PCI, se calcula un Índice de Condición Superficial que califica el nivel en que se

encuentra el pavimento evaluado determinándose si el pavimento está fallado, es malo, muy malo, regular, o es bueno, muy bueno o excelente.

Aplicando el criterio del PCI, a partir de los resultados, se hace referencia en esta tesis de la estimación de la condición en que se encuentra el pavimento asfáltico de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco. Este parámetro hace parte del Índice de Condición Integral del Pavimento SEFACE (Serviciabilidad - IRI, Fisuramiento/Agrietamiento - PCI e Índice de Condición Estructural - ICE), es decir solamente servirá para definir la condición superficial del pavimento (FA) y a partir de ello sugerir una alternativa técnico-económica empleando Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros (EAMp) en sus diversas y versátiles aplicaciones, para el mantenimiento de la vía evaluada.

Finalmente, cabe referir que la evaluación de la Condición Integral del Pavimento (Índice SEFACE) de la Av. La Cultura es un tema más amplio, ya que deberá evaluarse funcionalmente la regularidad a través del IRI (Índice de Regularidad Internacional) y estructuralmente mediante mediciones deflectométricas que definen el ICE (Índice de Condición Estructural) del pavimento. Las evaluaciones complementarias para determinar el índice SEFACE no hacen parte de la presente tesis.

Es necesario mencionar que, la presente investigación, centra fundamentalmente su problemática en la interrogante: ¿El estado en que se encuentra el pavimento asfáltico de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco ofrece adecuadas condiciones para los usuarios?.

1.1 Realidad Problemática.

Uno de los problemas más críticos de las vías urbanas de las ciudades de nuestro país es el pésimo estado en que se encuentran sus pavimentos, ya que es frecuente encontrar en ellos agrietamientos, corrugaciones, depresiones y baches los cuales dificultan el tránsito normal de los vehículos y generan incomodidad en los usuarios.

Las entidades competentes encargadas de ejecutar las obras de infraestructura vial, comúnmente diseñan y ejecutan el pavimento de las vías urbanas con técnicas convencionales, las cuales muchas veces son inadecuadas para el sector en donde se encuentra el proyecto debido a la geografía y factores

climáticos. Adicionalmente, esta circunstancia se agrava debido a que no realizan el mantenimiento preventivo de la vía, en muchos casos llegando a un estado de deterioro que obliga a rehabilitar o en todo caso reconstruir la estructura del pavimento; muchas veces debido a circunstancias políticas o simplemente dejadez de las mismas autoridades.

Las actividades de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras de los pavimentos se van haciendo cada vez más importantes, a medida que ellas se degradan con el tiempo y la acción del tránsito. El énfasis que se debería poner en la administración de pavimentos es la preservación de la inversión inicial, mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida útil del pavimento.

La importancia de fomentar el mantenimiento y el mejoramiento de la red vial resulta de la necesidad que tienen las autoridades y la sociedad de impulsar el crecimiento y el desarrollo de las diferentes localidades del país. Al contar con mejores vías de comunicación, las regiones, localidades, municipios, departamentos, etc., tendrán mayores posibilidades para integrarse a los mercados, favoreciendo sus ventajas comparativas, lo que contribuirá a fortalecer su productividad y aumentar su capacidad de desarrollo.

Se debe mencionar que las vías son una condición necesaria para el desarrollo económico y social de una localidad, ciudad, región o nación, ya que sirven de enlace en el intercambio de bienes y personas, así como de la cultura, dando con ello origen a las relaciones de producción y a las relaciones sociales necesarias para el progreso.

Al existir una adecuada red vial, la distancia entre las regiones y localidades se reduce, generándose una disminución en el costo del transporte. En consecuencia, habrá mejor competencia regional y local. Lo anterior, necesariamente debe ir ligado a un adecuado sistema de Administración Vial, logrando optimizar los recursos que se invierten para este tipo de proyectos, así como la eficiencia y funcionalidad de las vías.

El mantenimiento y rehabilitación de un pavimento, cubren un rango muy amplio de actuaciones que varían desde la simple corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las

operaciones de reconstrucción, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada.

Las fallas que degradan un pavimento se producen debido a diversos factores, entre otros: sub-diseño del paquete estructural, materiales empleados en las capas del pavimento de baja calidad, procesos constructivos sin control de calidad, deficiencia de drenaje o sub-drenaje, efecto de repeticiones de cargas vehiculares e influencias climáticas {3}. Sin embargo, lo principal es que no existe una cultura de mantenimiento preventivo adecuado en las vías urbanas, es decir, no se evalúa preventivamente el comportamiento del pavimento con el transcurrir del tiempo, permitiendo que se intervenga solamente cuando es necesario rehabilitar o reconstruir la vía.

Lo ideal es realizar evaluaciones funcionales y estructurales periódicas que nos informen del estado de la estructura de los pavimentos de las vías, de tal manera que las reparaciones necesarias correspondan a trabajos de mantenimiento preventivo o reparación menor, y no de rehabilitación o reconstrucción. De esta forma, preservamos la inversión inicial pública, economizando recursos, ya que el costo por rehabilitar o reparar un pavimento es mucho más elevado que el costo que significa una faena de mantenimiento.{8}

Por lo dicho anteriormente, el método del PCI, es un método sencillo y práctico para la evaluación de los pavimentos dentro de nuestra realidad nacional; por lo que es necesaria su implementación a nuestra realidad, con un ejemplo práctico de su uso en la Avenida La Cultura del Distrito de Wanchaq – Cusco a lo largo de 3470 metros lineales de pavimento.

1.2 Trabajos Previos.

Para fundamentar esta investigación se consultaron fuentes nacionales e internacionales, entre las que se mencionan a continuación:

CONTRERAS, C.C. (2012). Diagnóstico del estado situacional de la vía: Av. Argentina – Av. 24 de Junio por el método: Índice de condición de pavimentos (Tesis para optar por el título de ingeniería civil). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.

Investigación en la cual se tuvo como objetivo aplicar el método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Luis Montero. Mil doscientos metros lineales de pista se estudiaron a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía.

ARMIJOS, CH. (2009). Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja. (Tesis para optar el título de ingeniería civil). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja.

Investigación en la cual se evalúa algunas calles de la ciudad de Loja a través del método del PCI.

MIRANDA, R. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. (Tesis para optar el título de ingeniería civil). Universidad Austral de Chile. Santiago. Valdivia.

En la cual se muestra la conservación de pavimentos aplicada a los sectores 1 y 2 de Valdivia, destacando las causas que produjeron estos deterioros, y las reparaciones aplicadas, destacando los procesos constructivos en la reconstrucción de calzadas de pavimentos y carpetas asfálticas, sirviendo de un gran aporte a los profesionales que pretendan desarrollarse en el área de obras viales.

MEDINA, A Y DE LA CRUZ, M.(2015). Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima.

Investigación en la cual con la aplicación del método PCI se determina el Índice de Condición de Pavimento en el Jr. José Gálvez. Exactamente 6929.25 m² o 842.20 metros lineales de pista de concreto asfáltico han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía.

RAFAEL, A Y FLORES, J. (2012). Manual de Mantenimiento en Vías Urbanas, utilizando Mezcla Asfáltica en Caliente, Tibia y en Frío. (Tesis Internacional para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de El Salvador. San Salvador.

Manual en el cual se establece técnicas de mantenimiento vial con la utilización de mezclas asfálticas a diferentes temperaturas.

ARÉVALO, E. (2012). Índice de Condição do Pavimento (PCI) para aplicação em Sistemas de Gerencia de Pavimentos Urbanos. Investigación en la cual se aplica el PCI para lograr establecer técnicas de mantenimiento vial en vías urbanas de Brasil.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

1.3.1 Definición de Pavimento.

Es una estructura de varias capas construida sobre la sub-rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está compuesto por: base, sub-base y capa de rodadura {9}.

Los pavimentos, según la doctrina comunmente aceptada, pueden ser de cuatro tipos, los cuales son: flexibles, rígidos , semirígidos y articulados {7}. Se diferencian por la estructura y las capas que las conforman. Asimismo, como se transmiten los esfuerzos y deflexiones a las capas subsecuentes.

1.3.1.1 Pavimento flexible.

Es una estructura compuesta por capas granulares y como capa de rodadura una carpeta constituida por materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

Este tipo de pavimentos, están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base.

No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias según las necesidades particulares de cada obra.

La sub-rasante: Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la sub-rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%.

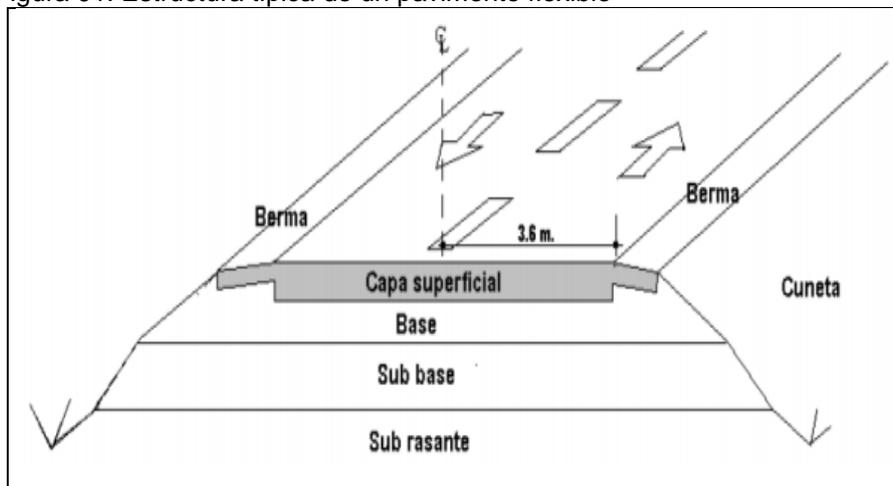
La sub-base: Impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub-rasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los agregados finos de la su-rasante la contaminen

menoscabando su calidad; adicionalmente, soportará los esfuerzos transmitidos por las cargas de vehículos a través de las capas superiores y transmitiéndolas en un nivel adecuado de la sub-rasante. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento, adicionalmente, dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse.

La base: Proporciona un elemento resistente que transmite a la su-base y a la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. Es la capa inferior a la capa de rodadura, será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento, a su vez, esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base.

La Carpeta Asfáltica: Proporcionará una superficie uniforme y estable al tránsito, resistiendo los efectos abrasivos del mismo. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento; adicionalmente, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Figura 01. Estructura típica de un pavimento flexible



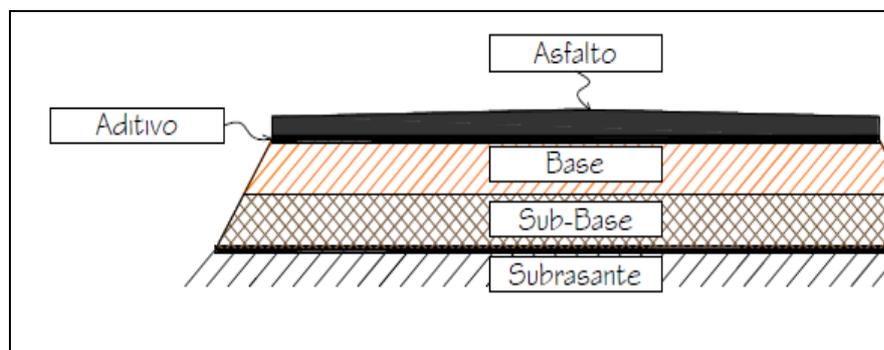
Fuente: Propia.

1.3.1.2. Pavimento semirrígido.

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso, también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. {14}

Este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. 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 los costos de construcción {1}.

Figura 02. Estructura típica de un pavimento semirígido.



Fuente: Armijos,2009.

1.3.1.3 Pavimento rígido.

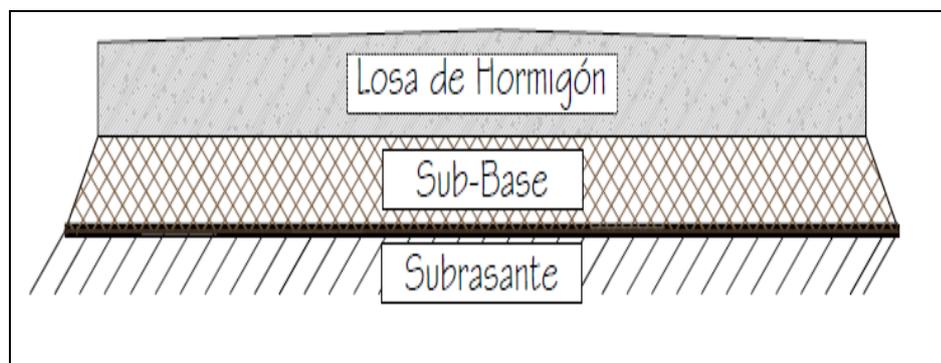
Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub-rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento {3}.

- La sub-base del pavimento rígido, tiene como función la de impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de materiales fino con agua fuera de la estructura del

pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la sub-rasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas, adicionalmente sirve como capa de transición y suministra un apoyo uniforme, estable y permanente; también ayuda a controlar los cambios volumétricos de la sub-rasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.

Figura 03. Estructura típica de un pavimento rígido



Fuente: Armijos, 2009.

1.3.1.4. Pavimento articulado.

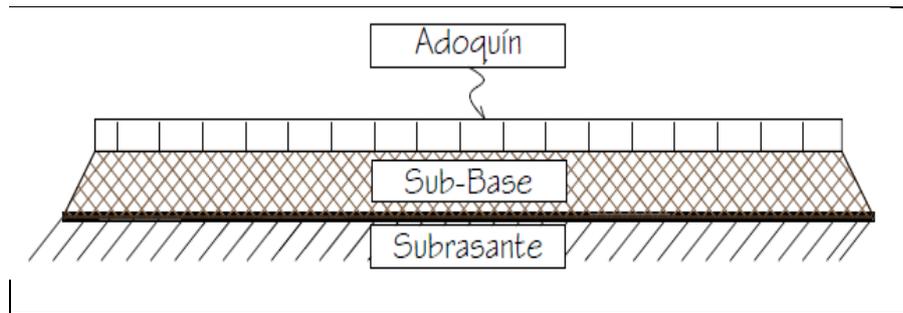
Están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí.

Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

La Capa de arena del pavimento articulado, es de poco espesor, consiste en arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base y sirve de asiento para los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas de estos.

El sello de arena, está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuyen al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.

Figura 04. Estructura típica de un pavimento articulado



Fuente: Armijos,2009.

1.3.2. Factores a considerar en el diseño de pavimentos.

1.3.2.1 El tránsito:

Interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.

1.3.2.2 La sub-rasante:

De la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de sub-rasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.

Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.

1.3.2.3 El clima:

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub-rasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.{12}

1.3.2.4 Micropavimento Asfáltico (MPA):

Es un tipo de mezcla asfáltica que emplea ligantes asfálticos modificados con polímeros, los cuales mezclados con agregados pétreos, filler mineral activo (cemento portland o cal hidratada, cenizas, etc.) agua y aditivos a temperatura ambiente, nos proporcionan morteros asfálticos que pueden ser aplicados en espesores milimétricos, con el acabado que se requiera, presentan alta durabilidad y resistencia al desgaste, y garantizan largos periodos de vida útil y cumplen con las normas internacionales ISSA (International Slurry Surfacing Association) y nacionales establecidas por las EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Esta aplicación permite el uso de tamaño máximo de agregados hasta de 3/8" de diámetro {8}. De acuerdo a su tamaño pueden ser:

Tipo I: (espesor de 4 a 15 mm)

Tipo II: (espesor de 6 a 20 mm)

Tipo III: (espesor de 10 a 30 mm)

1.3.2.5 Emulsión asfáltica Modificada con Polímeros:

Ligante asfáltico constituido por Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) emulsificado en agua, con la adición de un polímero compatible. La

incorporación del polímero puede hacerse en el momento de la emulsificación o previamente deberá modificarse el CAP. Las proporciones de polímero para la modificación están en el orden de 3 a 5 % en peso.{19}

1.3.2.6 Revestimiento de un pavimento:

Es la capa superficial de un pavimento o superficie de rodadura, la cual puede ser una losa de concreto hidráulico, un Tratamiento Asfáltico Superficial, una Mezcla Asfáltica o un Micropavimento Asfáltico (MPA); en espesores que serán función del nivel de solicitaciones y factores climatológicos de la zona de aplicación.

1.3.3. Ciclo de vida de un pavimento

En los últimos años, cada vez es mayor el número de vehículos ligeros y de carga que se mueven por las vías del país, creando la necesidad de brindar mayor comodidad y seguridad a los usuarios, lo que implica la utilización de metodologías que permitan analizar desde el punto de vista administrativo y de costos cual será la mejor opción de mantenimiento, rehabilitación o de mejoramiento de las vías en el Perú, desde la corrección de defectos superficiales hasta la reconstrucción de la vía para recuperar la capacidad estructural de esta. El análisis del ciclo de vida de los pavimentos es una herramienta metodológica que facilita a la institución vial escoger la estrategia técnico-económica que proveerá el comportamiento deseado del pavimento al menor costo en el período proyectado. Para evitar el deterioro de los pavimentos se deben establecer procedimientos de administración vial capaces de generar un completo control en cuanto a mantenimiento o rehabilitación {4}. Lo ideal sería no realizar actividades de rehabilitación ni menos reconstrucción, sino actividades previas de supervisión para ejecutar un mantenimiento preventivo que garantice el buen estado del pavimento.

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento {2}. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

Construcción: El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural

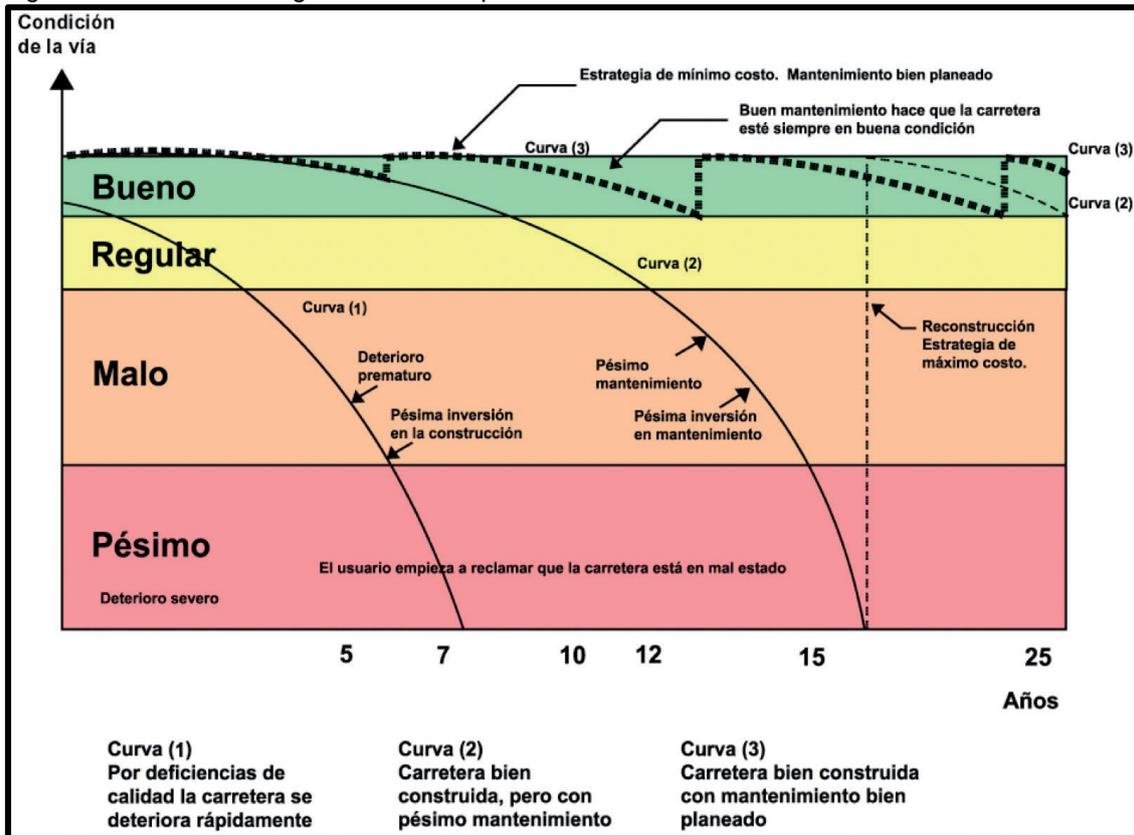
Deterioro imperceptible: El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual esta alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

Deterioro acelerado: Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Deterioro total: Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumenta y la vía se hace intransitable.{16}

Según lo descrito anteriormente los pavimentos sufren deterioros permanentes debido a las sollicitaciones externas como el tránsito, lluvias, etc. cuyos efectos pueden resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la figura 5 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos disminuye con el tiempo.

Figura 05: Ciclo de vida genérico de los pavimentos flexibles



Fuente: Propia.

1.3.4. Mantenimiento de pavimentos.

Se define como mantenimiento de pavimentos, al conjunto de actividades que se realizan adecuada y oportunamente, las cuales están destinadas a asegurar el funcionamiento aceptable a largo plazo de los pavimentos visando el menor costo posible, con el propósito de conservarlos en buenas condiciones de modo que presten el servicio para el que fueron diseñados de una manera eficiente. {15}

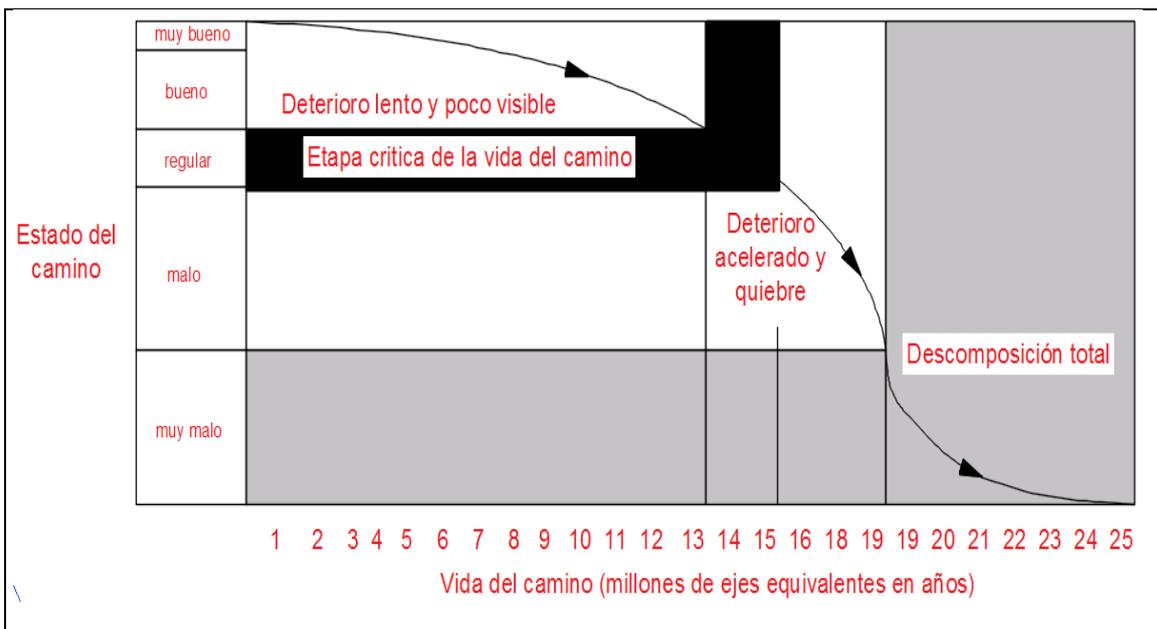
Los pavimentos tienen como propósito prestar un servicio al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es muy importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos {6}. El concepto de conservación de pavimentos significa la acción de cuidar que su servicio se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importante por parte de la agencia responsable.

El patrimonio vial del país viene incrementándose y sigue creciendo, con ello se pone de manifiesto la necesidad de disponer de una completa información del

estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente. Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar a la decisión, seccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, dentro de las disponibilidades económicas de la entidad administradora, sea esta pública o privada (3).

Se entiende por gestión de pavimentos todas aquellas acciones de conservación que aplicadas en el tiempo mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural. La figura 6, muestra un gráfico de la forma general en cómo se deterioran los pavimentos, en él se puede observar que en los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente el término de la vida útil del camino.

Figura 06: Esquema de deterioro de un pavimento flexible con el tiempo.



Fuente: Solminihac, 2003.

Las actividades de mantenimiento vial urbano que se proponen en esta tesis están basadas en las Especificaciones Técnicas Nacionales del MTC/EG-2013 y en las Internacionales (AASHTO-American Association of State Highway and Transportation Officials, ASTM D2397, ISSA cuyas siglas en inglés, significan International Slurry Surfacing Association) que refieren las normas para aplicar las Emulsiones Asfálticas Convencionales y Modificadas con Polímeros, y se

establecen los procedimientos específicos para actividades de mantenimiento vial.

1.3.5 Método del PCI (Pavement Condition Index)

Es una técnica que consiste en determinar 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 {4}.

El PCI es un índice numérico, que varía de 0 para pavimentos fallados, a 100 para pavimentos en perfectas condiciones. El cálculo del PCI está basado en los resultados de una inspección visual de la superficie en la cual el tipo de anomalía, severidad y cantidad son identificados.{18} El PCI fue desarrollado para proporcionar un índice de la integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie.{20} La información de anomalías obtenida como la parte del estudio de la condición de PCI proporciona una visión de las causas de anomalía, y si es relativo a la carga actuante o al efecto de factores climáticos.

El grado de deterioración del pavimento es una función del tipo de anomalía, severidad de anomalía, y cantidad o densidad de anomalía. Debido al número grande de condiciones posibles, producir un índice que tendría en cuenta los tres factores era un problema considerable. Para superar este problema, “los valores deducidos” se introdujeron como un tipo de factor clave para indicar el grado de efecto que cada combinación de tipo de anomalía, nivel de severidad y la densidad de anomalía tiene la condición del pavimento.{17}

Para determinar el PCI de una sección de pavimento, primero se divide la sección en unidades de inspección, llamadas “Unidades de Prueba”.

Se divide el tramo a evaluar en segmentos de aproximadamente 225 m². Cada segmento es inventariado llenando manualmente una planilla con los tipos, cantidades y severidades de cada defecto encontrado. Las características de las fallas o defectos se presentan en la tabla 1, a continuación:

Tabla 01: Fallas del método PCI

FALLA	FORMA DE MEDIR
Fisuras/grietas tipo cuero de cocodrilo	área
Exudación	área
Grietas en bloque	área
Elevaciones	longitud
Corrugación	área
Hundimientos localizados	área
Grietas de borde	longitud
Fisuras/grietas por reflexión	longitud
Desnivel pista/berma	longitud
Fisuras/grietas longitudinales y transversales	longitud
Parches	longitud
Pulimiento de agregados	área
Baches	área
Ahuellamientos	área
Corrimiento de carpeta de rodadura	área
Desgaste Superficial	área

Fuente: NORMA ASTM D6433-03

1.3.5.1. Terminología.

A continuación se definen los principales términos utilizados en el método, que son de vital importancia para la comprensión y correcta aplicación del mismo.

Red de pavimento: Es el conjunto de pavimentos a ser administrados por una entidad y tiene una función específica. Por ejemplo, un aeropuerto o una avenida, es una red de pavimento.

Tramo de pavimento: Un tramo es una parte identificable de la red de pavimento. Por ejemplo, cada camino o estacionamiento es un tramo separado.

Sección de pavimento: Es un área de pavimento contigua de construcción, mantenimiento, historial de uso y condición uniformes. Una sección debe tener el mismo volumen de tráfico e intensidad de carga.

Unidad de muestra del pavimento: Es una subdivisión de una sección de pavimento que tiene un tamaño estándar que varía de $225 \pm 90 \text{ m}^2$, si el pavimento no es exactamente divisible entre 2500 o para acomodar condiciones de campo específicas.

Muestra al azar: Unidad de muestra de la sección de pavimento, seleccionada para la inspección mediante técnicas de muestreo aleatorio.

Muestra adicional: Es una unidad de muestra inspeccionada adicionalmente a las unidades de muestra seleccionadas al azar, con el fin de incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición del pavimento.

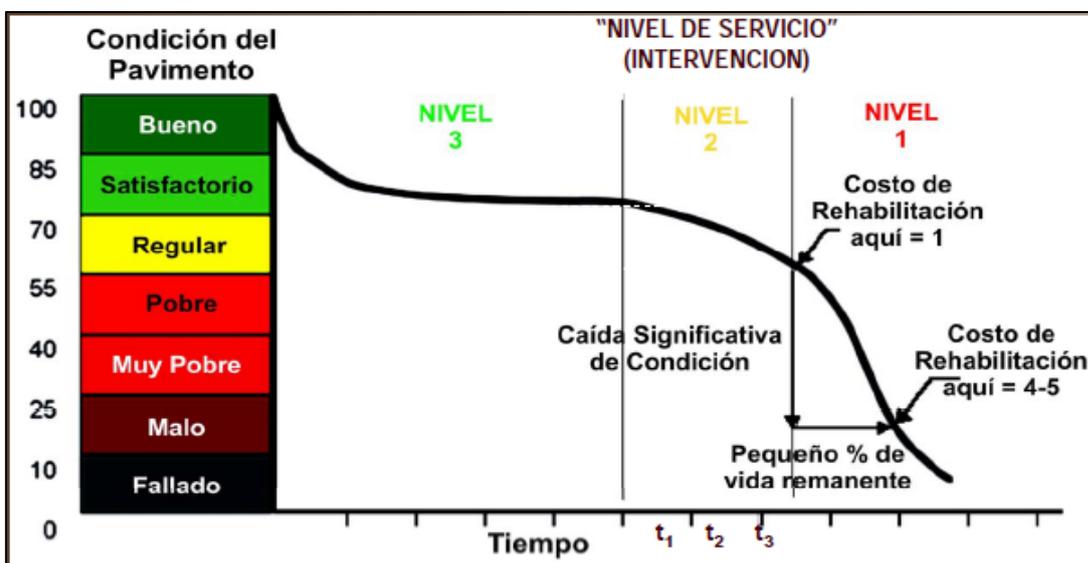
Deben ser consideradas como muestras adicionales aquellas muestras muy pobres o excelentes que no son típicas en la sección ni entre las unidades de muestra, que contienen deterioros poco comunes tales como cortes utilitarios (ejemplo: corte para instalación de tuberías de agua o desagüe, electricidad, teléfonos, etc.).

Si una unidad de muestra que contiene una falla poco común es escogida al azar como unidad de muestra, ésta deberá ser considerada como unidad de muestra adicional y otra unidad de muestra al azar deberá ser escogida. Si todas las unidades de muestra son inspeccionadas, entonces no habrá unidades de muestra adicionales.

Índice de condición del pavimento (PCI): Es un grado numérico de la condición del pavimento. 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.

Grado de la condición del pavimento: Es una descripción cualitativa de la condición del pavimento, como una función del valor de PCI que varía entre “fallado” hasta “bueno”, como se aprecia en la figura 7.

Figura 07. Índice PCI: Definición de Niveles de Servicio



Fuente: Propia.

Fallas del pavimento: Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por las cargas de tráfico, factores ambientales, deficiencias constructivas, o una combinación de estas causas.

1.3.5.2 Materiales e Instrumentos utilizados en el PCI.

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. En la tabla 2 se aprecia un modelo utilizado como hoja de registro.

1.3.5.3. Muestreo y Unidades de Prueba

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

- Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
- Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
- Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
- Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
- Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.

Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.

El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95% de confiabilidad), es calculado empleando la siguiente Ecuación y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

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

Donde:

e = error admisible en el cálculo del PCI de la sección, comúnmente, e = +/- 5 puntos del PCI.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

Al realizar la inspección se asume que la desviación estándar es 10. Esta suposición debe ser comprobada de la forma como se describe a continuación después de haber determinado los valores del PCI. Para sub-siguientes inspecciones, la desviación estándar de la inspección precedente debe ser utilizada para determinar el valor de "n". Cuando el número mínimo de unidades a ser evaluadas es menor que cinco (n < 5), se recomienda evaluar todas las unidades.

Si obtener el 95% de confiabilidad resultare crítico, la conveniencia del número de unidades inspeccionadas debe ser verificada. El número de unidades de muestra fue estimado en base a un valor de desviación estándar asumido. Calcular el valor actual de la desviación estándar de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{n - 1}}$$

Donde:

PCI_i = PCI de la unidad de muestra i.

PCI_f = PCI promedio de las unidades de muestra analizadas.

n = Número total de unidades de muestra analizadas.

s = Desviación estándar.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

Calcular el número revisado mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas utilizando el valor actual de la desviación estándar. Si el número de unidades de muestra revisado a ser inspeccionadas es mayor que el número de muestras ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar unidades de muestra adicionales al azar.

Estas unidades de muestra deben ser espaciadas uniformemente a través de la sección. Repetir este proceso de chequeo del número de unidades de muestra revisado, e inspeccionar las unidades de muestra adicionales al azar hasta que el número total de unidades de muestra inspeccionadas sea igual o mayor al número mínimo requerido de unidades de muestra “n”, usando la desviación estándar total de muestras reales.

Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas esté definido, calcular el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección seleccionando la primera muestra al azar. El intervalo del espaciamiento “i” de las unidades a ser muestreadas debe ser calculado mediante la siguiente fórmula redondeando el resultado al próximo número entero menor:

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

Donde:

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = número de unidades de muestra a ser inspeccionadas.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

La primera unidad de muestra a ser inspeccionada es seleccionada al azar entre las unidades de muestra 1 hasta “i”. Las unidades de muestra en la sección que son incrementos sucesivos del intervalo “i” después de la primera unidad seleccionada al azar también son inspeccionadas.

Las unidades de muestra adicionales deben ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

Cabe mencionar que un inconveniente del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. Puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez queden incluidas de forma inapropiada en un

muestreo aleatorio. Para evitarlo, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

1.3.5.4 Técnica de reconocimiento

- 1° Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra seleccionada.
- 2° Registrar el tramo y número de sección así como el número y tipo de unidad de muestra (al azar o adicional).
- 3° Registrar el tamaño de unidad de muestra.
- 4° Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida.
- 5° El método de medición se encuentra detallado en la descripción de cada falla.
- 6° Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

1.3.5.5 Cálculo del PCI.

1.3.5.5.1. Determinación del PCI de la unidad de muestra.

Culminada la inspección de campo y con la información recolectada sobre las fallas existentes, se procede a calcular el PCI, el cual se basa en el término de “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas. El proceso de cálculo se divide en tres etapas, las cuales se detallan a continuación:

Etapa 1. Cálculo de los valores deducidos (DV)

- Sumar la cantidad total de cada tipo de daño para cada nivel de severidad. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- Dividir la cantidad total de cada tipo de daño según el nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestra y multiplicar el resultado por 100 para obtener la densidad porcentual para cada tipo y severidad de daño.

- Se determina el DV para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” para asfalto, las cuales se muestran en los anexos de esta tesis.

Etapa 2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m).

- Si ninguno o solamente un *valor deducido individual* es mayor que 2%, el valor deducido total es usado en lugar del máximo valor deducido corregido (CDV) para determinar el PCI; caso contrario, el máximo CDV debe ser determinado usando los pasos convencionales correspondientes.
- Crear una lista de los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- Se determina el número máximo admisible de valores deducidos (m) utilizando la gráfica de ajuste del número de valores reducidos o la siguiente fórmula:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100.00 - HDV_i)$$

Donde:

HDVi = mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

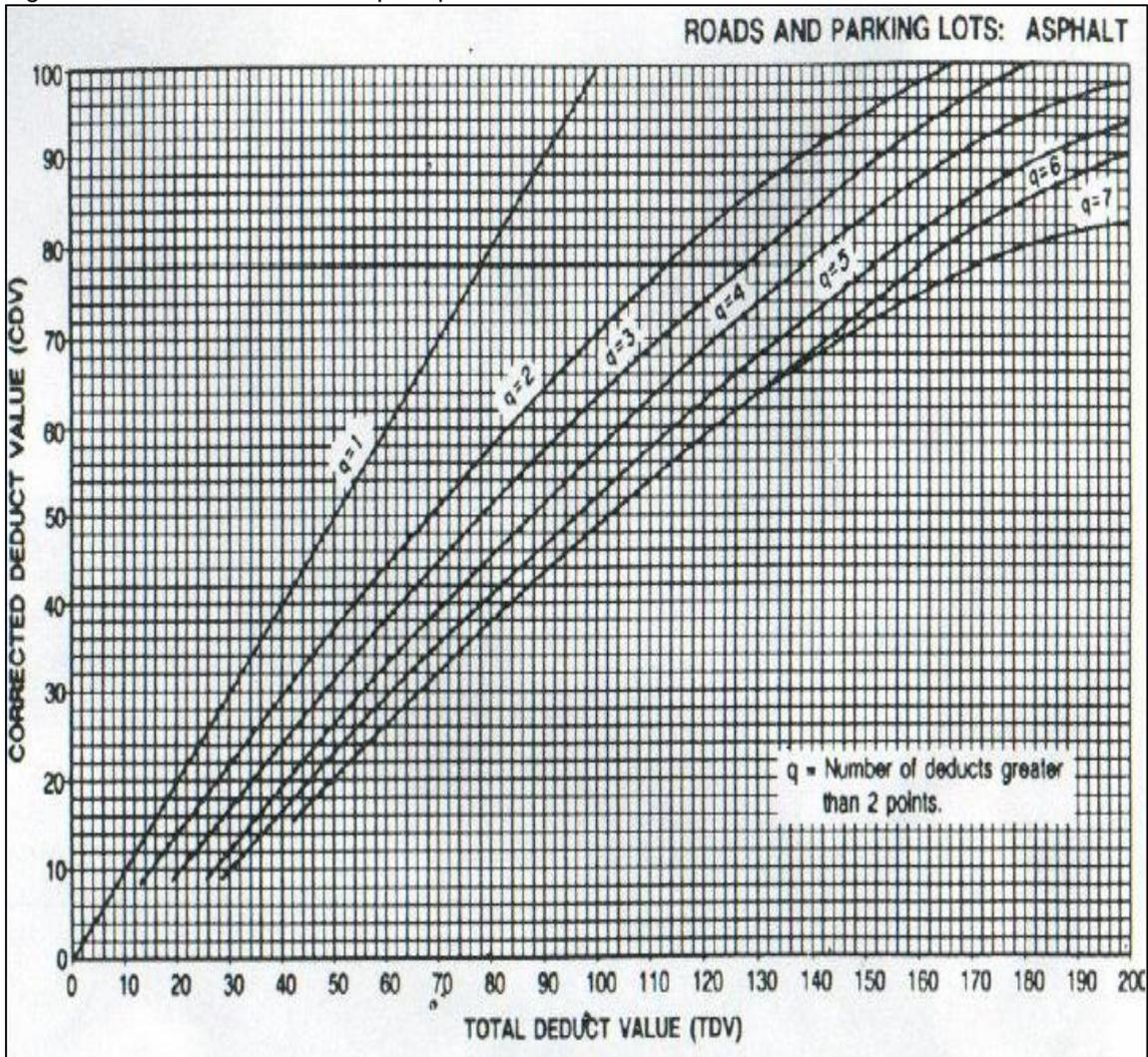
m = Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

Etapa 3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

- Luego de determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m), se debe seguir un proceso de iteración para hallar el máximo valor deducido corregido. Primero se determina el valor deducido total, sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determinar el CDV con q (en la primera iteración q = m) y el valor deducido total en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento, la cual se muestra a continuación:

Figura 08. Curva de corrección para pavimentos de asfalto



Fuente: Norma ASTM D6433-03

- En la siguiente iteración, se cambia el menor valor deducido por 2% para luego sumar y hallar un nuevo valor deducido total, en este caso el valor q es igual a "m -1". Se repite el mismo procedimiento hasta lograr que q = 1.
- El *máximo CDV* es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso, valor que nos permitirá hallar el PCI haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - \text{máx. } CDV$$

Donde:
 Máx. CDV = Máximo valor deducido corregido
 PCI = Índice de condición de pavimento
 Fuente: Norma ASTM D6433-03

1.3.5.6. Determinación del PCI de la sección.

Si todas las unidades de muestreo son inventariadas o si todas las unidades de muestra inspeccionadas son escogidas en forma aleatoria, entonces el PCI de la sección es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra inspeccionadas.

$$PCI_S = PCI_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

Donde:

PCI_r = PCI ponderado del área de las unidades de muestra inspeccionadas en forma aleatoria.

PCI_{ri} = PCI de la unidad de muestra aleatoria "i".

A_{ri} = área de la unidad de muestra aleatoria "i".

n = número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

Si hay unidades de muestra adicionales que han sido inspeccionadas, el PCI ponderado de área de las unidades adicionales inspeccionadas es calculado empleando la siguiente ecuación:

$$PCI_a = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}}$$

Fuente: Norma ASTM D6433-03

El PCI de la sección de pavimento es calculado empleando la siguiente ecuación:

$$PCI_s = \frac{PCI_r (A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + PCI_a (\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A}$$

Donde:

PCI_a = PCI ponderado del área de las unidades de muestra adicionales.

PCI_{ai} = PCI de la unidad de muestra adicional "i".

A_{ai} = área de la unidad de muestra adicional "i".

A = área de la sección.

m = número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas.

PCIs = PCI ponderado del área de la sección de pavimento.

Fuente: Norma ASTM D6433-03

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿El estado en que se encuentra el pavimento asfáltico de la Av. La Cultura en el distrito de wanchaq – Cusco, ofrece adecuadas condiciones para los usuarios?; para lo cual se usará el método del PCI para evaluar el mencionado pavimento.

1.4.2. Problemas específicos

- La falta de un adecuado mantenimiento preventivo de vías urbanas en el municipio provincial del Cusco, afecta la vida útil proyectada del pavimento de la vía en estudio.

1.5. Justificación del Estudio

Las estadísticas nacionales e internacionales muestran, que el costo proveniente de la pésima conservación de las vías, genera en promedio un considerable aumento del 40% en los costos operacionales, 60% en gastos adicionales con combustibles y 100% en tiempos de viaje para los usuarios.

Adicionalmente, es sabido que siempre resulta más favorable realizar faenas de mantenimiento rutinarias a los pavimentos urbanos, ya que de no

realizarlas, se tendría que realizar reparaciones mayores a los mismos generando un gasto mucho mayor para las entidades responsables {5}. Como puede observarse en el gráfico de la figura 5, la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo permite conservar una vía en mejores condiciones durante más tiempo, y si las tareas preventivas son realizadas oportunamente escogiendo las técnicas apropiadas, los materiales con la calidad necesaria y la oportunidad para aplicarlos en el marco de una visión de mediano y largo plazo; los beneficios económicos resultan significativos respecto a la alternativa de no ejecutarlas.

Actualmente, en las entidades públicas responsables de la infraestructura vial urbana, se observa la ausencia de un sistema de gestión vial o por lo menos no está a la vista de todos. En general, se desconoce la forma de cómo debería ser tratado un pavimento, cuando éste entra en vida de servicio o sufre las primeras señales de deterioros, además no existe un procedimiento técnico-específico que sirva para ejecutar las respectivas actividades de prevención o reparaciones al pavimento. En tal sentido, las instituciones encargadas de realizar los trabajos de mantenimiento y reparación de vías urbanas, suelen utilizar criterios técnicos que normalmente no son los más adecuados, a pesar de existir Especificaciones Técnicas Nacionales e Internacionales relacionados con el tema, muchos de los funcionarios las desconocen o no las interpretan correctamente, lo cual a la larga conlleva a generar mayores gastos públicos.

Por lo antes expuesto, se justifica este estudio como modelo de evaluación para pavimentos urbanos, aplicándose el método expedito del PCI en la evaluación superficial de la Av. La Cultura – Cusco, y proponiéndose soluciones que emplean el mayor avance de la tecnología de las Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros.

1.6. Hipótesis.

1.6.1. Hipótesis general.

La condición actual de la Av. La Cultura en el distrito de Wanchaq – Cusco, se encontraría deteriorada mostrando fallas en todo el tramo de estudio.

1.6.2. Hipótesis específica.

- El PCI hallado en la Avenida la Cultura del distrito de Wanchaq – Cusco, servirá para definir las soluciones técnico-económicas más óptimas de mantenimiento preventivo en la mencionada vía.

1.7. Objetivos.

1.7.1 Objetivo general.

El objetivo principal es determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco, con lo cual se podrá determinar si la vía se encuentra en adecuadas condiciones para el confort y seguridad de los usuarios durante su período de vida útil proyectado.

1.7.2 Objetivo específico.

- Plantear soluciones optimizadas para el mantenimiento preventivo de vías urbanas empleando Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros (EAMp).

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño de investigación

El presente trabajo, de acuerdo al fin que se persigue, corresponde a una investigación aplicada; ya que buscará conocer y modificar una realidad problemática {11}.

La presente investigación es realizada en cuatro pasos secuenciales que constituyen la “metodología de trabajo”:

Primer paso: recolección de datos.

Segundo paso: Análisis de datos.

Tercer paso: Optimización de soluciones.

Cuarto paso: Conclusiones y recomendaciones.

En función a la incidencia y tipicidad de fallas se selecciona una superficie de pavimento a evaluar, la que será dividida en *Unidades de Muestreo*, es decir por áreas mínimas establecidas según el método utilizado procediéndose a la recolección de datos a través del levantamiento de fallas o deterioros existentes para luego proceder a una evaluación o análisis de estos.

Fase siguiente se procede a discutir los resultados, de tal manera que se propongan soluciones óptimas desde el punto de vista técnico y económico. Finalmente, las conclusiones responden a interrogantes planteadas en el problema de investigación y la hipótesis (7), recomendando evaluaciones complementarias que sustenten la Condición Integral del Pavimento (Índice SEFACE).

De esta manera, se utiliza el método del PCI (Pavement Condition Index) para evaluar la condición superficial del pavimento de la Av. La Cultura en el distrito de Wanchaq, ciudad de Cusco, y se plantearán soluciones optimizadas para el oportuno mantenimiento preventivo de la vía usando Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros.

2.2 Variables, operacionalización

2.2.1 Variables

a) Independiente: Índice de Condición del Pavimento.

b) Dependiente: Evaluación del Pavimento.

2.2.2 Operacionalización

Las variables se operacionalizan a través de la metodología de investigación empleada, los indicadores y sus medidas.

Indicadores:

- Cantidad y tipo de fallas en el pavimento
- Nivel de serviciabilidad del pavimento
- Practicidad y facilidad de aplicación

Medidas:

- Severidad de fallas: L: Baja, M: Media o H: Alta
- Condición de serviciabilidad del pavimento: Fallado, Malo, Muy Pobre, Pobre, Regular, Satisfactorio, Bueno.
- Tiempo de ejecución.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

La población de esta investigación está circunscrita a la Av. La Cultura en la ciudad del Cusco (10 Kilómetros).

2.3.2 Muestra

La muestra está representada por la superficie del pavimento de la Avenida La Cultura en el distrito de Wanchaq, en la Ciudad de Cusco; a lo largo de 3470 metros lineales.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La toma de muestras se realizó haciendo uso de un odómetro, wincha, regla y cordel; conos de seguridad para control de tránsito vehicular y una hoja modelo del PCI para el registro de fallas levantadas.

La zona de estudio fue seleccionada fundamentándose en la precariedad del comportamiento que presentan los pavimentos de las vías urbanas en la ciudad del Cusco, y especialmente el de la Av. La Cultura del distrito de Wanchaq - Cusco, debido a la acción de cargas vehiculares y principalmente del efecto climatológico (lluvias, temperaturas bajas, las cuales generan gradientes térmicos pronunciados).

La validez, confiabilidad y procesamiento de datos, así como los resultados se circunscriben al procedimiento establecido por el método PCI.

CAPITULO III

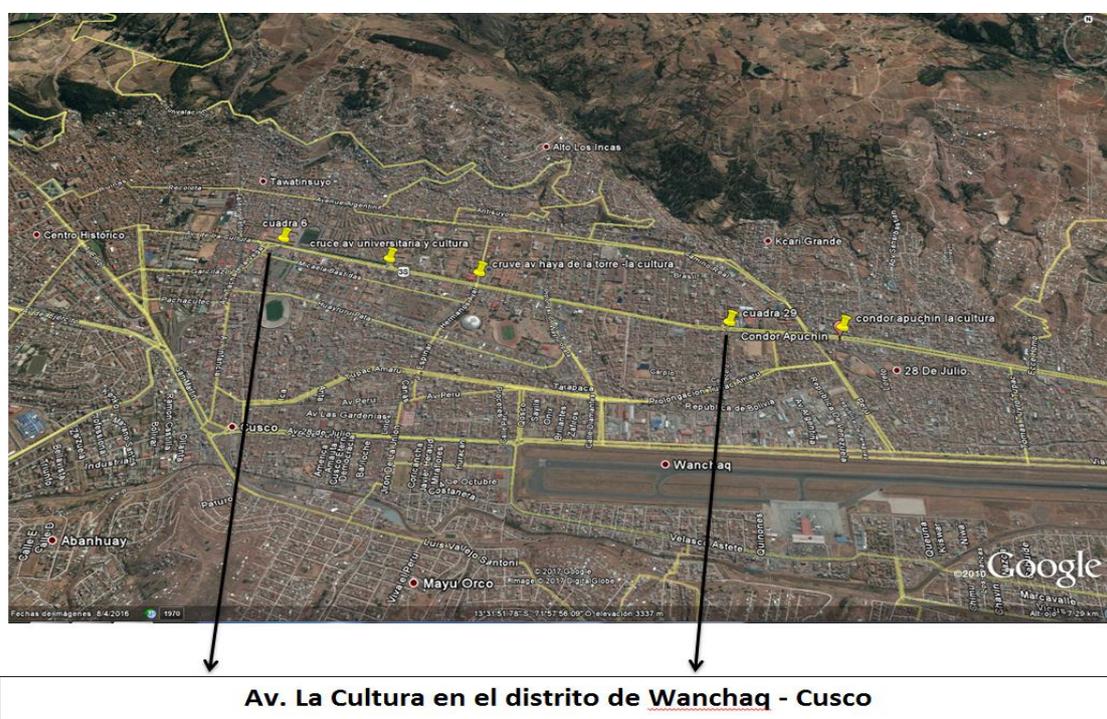
3. RESULTADOS

3.1. Datos Generales de campo

3.1.1 Ubicación

El tramo de vía evaluada es el pavimento comprendido entre la cuadra 6 (Avenida Garcilaso de la Vega) y la cuadra 30 (Pasaje Cervecer) de la Avenida La Cultura en el distrito de Wanchaq, dentro de la ciudad del Cusco.

Figura 09: Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Base de datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.1.2 Altitud

La ciudad del Cusco se encuentra a 3399 metros sobre el nivel medio del mar (m.s.n.m.).

3.1.3 Características Generales de los suelos de la ciudad del Cusco

No se contó con el estudio de suelos correspondiente a la vía en evaluación, sin embargo para tener una referencia presentamos el estudio de

Microzonificación de la ciudad del Cusco, cuyo autor es el Ing. Juan Menéndez García. En este estudio se evidencia la estratigrafía de los suelos de fundación de la ciudad, incluida la Avenida La Cultura.

La ciudad del Cusco está ubicada en el río Huatanay con un ancho no mayor a 3 km, rodeada por cerros, presentando dos zonas muy diferenciadas, el fondo del valle y las elevaciones que circulan.

En el origen del valle y parte de las elevaciones se encuentran ubicadas las construcciones de mayor importancia de la ciudad desde el incanato, la colonia (centro histórico).

La parte más baja del valle y el resto de elevaciones conforman la zona de expansión de la ciudad. En la parte baja las urbanizaciones y en las altas asentamientos urbanos - popular.

Los suelos del valle tienen diferentes orígenes desde depósitos lacustres lago de Morkill Lago, las terrazas aluviales formadas por los ríos, los depósitos coluviales a manera de conos de deyección hasta rellenos recientes, esta conformación define, en primera instancia una distribución que puede considerarse como una zonificación geológica.

Superficialmente y hasta donde se han ejecutado perforaciones se encuentran suelos cuyas constantes físicas definen zonas diferenciadas.

Otra condición de los suelos de la ciudad del Cusco es la que presentan los rellenos de los cauces de los ríos Huatanay, Tulumayo y Chunchumayo; que constituyen las actuales y principales avenidas como el Sol, Tulumayo, Ejército y Retiro.

Rellenos recientes aún no consolidados y apoyados en los antiguos lechos de ríos, cuyas profundidades varían entre 1.50 y 4.00 m y los anchos alcanzan hasta 50.00 m.

Se presentan estratigrafías típicas de zonas cuya ubicación topográfica corresponde a la siguiente distribución:

Zona Baja 1: Donde se ubican el Aeropuerto, Urbanizaciones Populares y el Parque Industrial.

La estratigrafía que se muestra en el perfil correspondiente del estudio realizado por el Ing. Menendez, está caracterizada por constituir un depósito lacustre en el inferior y fluvial superficialmente constituyendo capas sucesivas de arcillas limosas, arenas y gravas apoyadas en un estrato de arcilla compacta a los 33.00 m de profundidad.

El nivel freático se encuentra a partir de 0.50 m. El estrato superficial apto para recibir cimentación tiene las características siguientes:

- La relación de vacíos llega a valores de 0.78
- Las humedades son mayores a las de saturación, 29%.
- La Resistencia al Corte varían entre de 0.25 a 0.45 kg/cm².

La cimentaciones de viviendas populares presentan permanente humedad.

Zona Baja 2: Ubicada al Sur Este de la ciudad, próxima a la anterior, pero con un desnivel del orden de los 30.00 m, a manera de una terraza, constituida por depósitos de capas alternadas de arena, arcilla arenosa, trípoli calcáreo de color blanco llamado ccontay. De esta zona se tiene dos perfiles, uno de ellos de prospección geofísica de 70.00 m de profundidad y el otro de prospección mecánica de 12.00 m de profundidad.

Hasta los 12.00 m no se encuentra el nivel freático, se registran Resistencias al Cortante entre 0.84 a 2.10 kg/cm², en ensayos de Veleta.

Las Presiones Admisibles alcanzan 3.00 kg/cm², en suelos gravo-arcillosos compactos entre 2.50 m hasta 5.00 m.

Zona Baja 3: Esta zona se considera como aquella que está caracterizada por rellenos en las cuencas de ríos, es la de mayor requerimiento de uso del centro de la ciudad principalmente la Avenida Sol, zona comercial, edificios de gran volumen y peso.

Superficialmente se presentan rellenos no consolidados constituidos por desmontes y desperdicios de la ciudad, los que se apoyan en los lechos de los ríos que atraviesan la ciudad.

Los lechos están constituidos por gravas y arenas con contenido de limo, compactos. Estos suelos están ubicados de 4.00 a 5.00 m por debajo del nivel actual de pista.

El nivel freático se encuentra a una profundidad de 3.50 m y las presiones admisibles son mayores a 1.00 kg/cm² alcanzando hasta 1.60 kg/cm².

Las áreas entre las cuencas formando plataformas elevadas están constituidas por material coluvial que vendrían a ser los conos de deyección de las cuencas Saphi y Picchu, caracterizados porque superficialmente y hasta profundidad de 3.00 a 5.00 m se encuentran arcillas compresibles, limos y arenas finas apoyados en gravas y arenas gruesas con presencia de bolonera empacados en limos y compactos con densidades relativas hasta de 75%. El nivel freático se detecta a partir de los 4.00m de profundidad.{12}

Las presiones admisibles en los estratos de arcillas y limos varía entre 0.80 kg/cm², hasta 1.50 kg/cm², Gráfico N° 2.

3.1.4 Aspectos Generales de la Microzonificación de suelos de la ciudad del Cusco

Geología:

La geología de la cuenca del Cusco está constituida por las formaciones siguientes: Depósitos Cuaternarios, Terraza fluvial, Flujos de lodo, Depósitos Lacustres (formación San Sebastián), Intrusivo de Saccsayhuamán, Grupo Capas Rojas, Formación Yuncaypata,

Topografía:

El hecho de que la ciudad del Cusco esté ubicada en el fondo del valle y parte de la expansión urbana ocupe los cerros circundantes, hace que los taludes naturales sean alterados y desestabilizados por la construcción de vías de acceso, variación del escurrimiento de las aguas de lluvia y la consecuente infiltración en el macizo, por lo que se requiere de la identificación de zonas con riesgo de estabilidad; además se debe agregar el efecto erosivo de los ríos desde las partes altas de las cuencas, hasta las entradas a las canalizaciones, produciéndose deslizamientos con el inminente peligro de represamiento e inundación del casco histórico monumental de la ciudad.

En los últimos años ya se han producido deslizamientos de taludes naturales tanto fuera de la ciudad como en urbanizaciones populares. En la evaluación de daños ocasionados por el sismo del año 1986, el INC ha registrado inmuebles seriamente dañados por derrumbes en la zona norte de la ciudad, sector correspondiente al talud debajo de las ruinas de Saccsayhuaman.

Tipos de suelos:

De acuerdo a la descripción de la estratigrafía de los suelos subyacentes de las zonas caracterizadas, existen sectores altos constituidos por suelos gruesos compactos, con niveles freáticos a partir de los 4.00 m, luego se tienen zonas con suelos finos en la superficie, plásticos y no plásticos con el nivel freático casi superficial, suelos deformables y finalmente rellenos recientes sobre lechos de río que fueron canalizados.

Correlación de características de los suelos con intensidades sísmicas

Correlacionando las características de los suelos subyacentes en las zonas establecidas y las intensidades obtenidas en el trabajo sobre estimación de intensidades sísmicas MM, realizado por el Ing. Carlos Malpartida (Evaluación de Intensidades Sísmicas – Sismo del 5 de abril de 1986, Cusco 1987), se tienen los resultados siguientes:

En la Zona Baja 1, y parte de la Zona Alta 2, conformada por suelos limosos y arcillosos con un rango de Módulos de Elasticidad de 62 a 187 kg/cm², obtenidos

a partir de la Resistencia al Corte, corresponden grados de intensidad de VII MM.

En el resto de la Zona Alta 2, los rangos del Módulo de Elasticidad alcanzan valores de 630 a 1,260 kg/cm², correspondiendo a suelos Gravo-Arcillosos compactos, cuyas intensidades alcanzan a VI MM.

En la zona Centro distribuida en terrazas 4, se tienen rangos del Módulo de Elasticidad de 92 a 277 kg/cm², correspondiendo suelos limosos con intensidad VI MM.

Finalmente, la evaluación del comportamiento de los suelos subyacentes de la ciudad del Cusco, ante cargas estáticas, dinámicas y accidentes

naturales, con fines de una microzonificación funcional, deberá ser realizada con los trabajos y estudios siguientes:

- Recopilación y sistematización de la información existente-
- Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geodinámicos
- Estudios de Sismología Regional y Local
- Estudios Geotécnicos y de Mecánica de Suelos
- Estudio de las Cuencas Hidrográficas
- Estudio de la Estabilidad de Taludes Naturales par la sectorización por coeficientes de seguridad
- Estudio de Respuestas del Terreno con Instrumentación Sísmica.

Se sugiere que todas las actividades propuestas deberán ser realizadas y financiadas por instituciones como la Municipalidad, Instituto Geofísico del Perú, Instituto Nacional de Cultura y Entidades Nacionales e Internacionales relacionadas con la preservación del patrimonio histórico monumental, en coordinación con la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

3.1.5 Condiciones climáticas

El clima cusqueño es relativamente fresco. La temperatura promedio anual fluctúa entre los 10.3°C y los 13°C (entre 50.54° y 52.34° Fahrenheit). Hay un poco de uniformidad en la temperatura entre verano e invierno. Normalmente hace frío en la noche y durante las primeras horas de la mañana aumenta considerablemente la temperatura hasta el mediodía. En los más días soleados la temperatura ambiente en la ciudad alcanza en promedio los 20°C.

La ciudad de Cusco se halla bajo la influencia macro-climática de grandes masas de aire provenientes de la selva sur oriental, del Altiplano, e incluso de la lejana región de la Patagonia. Los vientos que llegan del Altiplano peruano-boliviano son más bien fríos y secos, al igual que los que provienen de la Patagonia, ingresando por la zona sur oriental y que por lo general suponen eventos climáticos de mayor escala.

Por otro lado, los vientos locales que se generan en sus valles y en sus llanuras tienen la función de distribuir calor y humedad a lo largo del día. Los

vientos de la selva sur implican inmensas masas de aire cargadas de humedad, que son impulsadas por los vientos alisios del oriente.

La altitud en la que se encuentra el Cusco y su proximidad al ecuador genera una variedad de climas en los que se distinguen dos estaciones bien definidas:

La estación de lluvias, que va de noviembre febrero o marzo. La media de las precipitaciones anuales en la ciudad fluctúa entre los 600 a 1000 mm.

La estación de seco, de febrero o marzo hasta octubre. Durante el mes de junio la temperatura cae frecuentemente hasta 5° ó 7°C (23° ó 19.4°F) e inclusive puede llegar a bajo cero.

3.1.6 Características de la zona

El tramo evaluado de la Avenida La Cultura recorre zonas de comercio zonal y viviendas. Al realizar un recorrido se logra observar mucho comercio, negocios como restaurantes, tiendas de abarrotes, bodegas, colegios, hoteles de hasta tres pisos, se encuentran La Gran Unidad Escolar Clorinda Mato de Turner, La Gran Unidad Escolar Inca Garcilaso de la Vega, La Universidad San Antonio Abad con su iglesia.

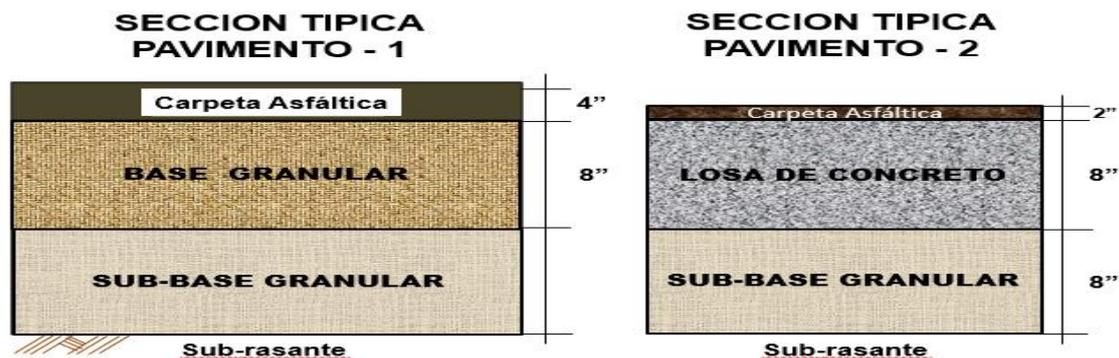
3.1.7 Características del tránsito.

El tipo de vehículos usual que transita en esta determinada vía son los siguientes: motos lineales, autos, camionetas, combis, buses y camiones pequeños.

3.1.8. Características de la Vía.

La estructura del pavimento existente de la Av. La Cultura en estudio, está constituida en una parte por una sección de pavimento rígido recapeado con Concreto Asfáltico y otra parte por una sección de pavimento flexible (asfáltico), tal y como se muestra en la figura N° 10:

Figura N° 10: Secciones típicas del pavimento existente.



Fuente: Propia.

3.2. Muestreo y unidades de muestreo

Las características de la vía son las mismas para ambos sentidos. Cada sección debe ser dividida en unidades de muestras, las cuales deben tener áreas de evaluación en segmentos de aproximadamente 225 m² +/- 90 m². El área total del tramo evaluado de la Avenida La Cultura es de 32,444.50 m², sin embargo de acuerdo al origen y estado del pavimento se ha tomado un área representativa de 9,733.35 m², de las cuales 7,617.40 m² corresponden a la sección 1 y el resto 2,115.95 m² a la sección 2.

La sección 1 se ha dividido en 25 unidades y la sección 2 en 7 unidades de prueba. Cada unidad de prueba tiene 304.10 m².

Estadísticamente con 95% de confiabilidad, se ha calculado el número mínimo de unidades de muestra, para las secciones definidas:

Sección 1:

$$n = \frac{25 \times (10)^2}{(5)^2 \times (25 - 1) + (10)^2}$$

$$n = 10$$

Sección 2:

$$n = \frac{7 \times (10)^2}{(5)^2 \times (7 - 1) + (10)^2}$$

$$n = 5$$

Es decir, se ha realizado el levantamiento de fallas de las 15 unidades de muestreo definidas anteriormente.

3.3 Levantamiento de Fallas.

Para registrar el inventario de fallas se ha procedido conforme lo describe la teoría del PCI - Procedimiento Estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03. A continuación, se presenta un ejemplo para el caso de la Unidad de muestra 1 (U1) de la sección 1, de cómo son llenadas las hojas de registro con los datos de levantamiento de fallas, que nos permite de manera ordenada y didáctica registrar la información.

Tabla 3: Hoja de registro de la muestra U1 (Cuadra 6 y 7)

METODO DE PCI								ESQUEMA		
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía:		Av. La Cultura		Sección		1		Unidad de prueba: U1 (Cuadra 6 y 7)		
Responsable:		Juan Carlos Pinedo		Fecha		2017		Area: 304.10		
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversal					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad							Total	Densidad	Valor deducido
3M	193.45							193.45		
11M	0.96	2.84	2.35	2.00	2.15	2.45	2.65	15.40		
18L	6.15							6.15		
18M	4.18							4.18		

Fuente: Elaboración propia

3.4 Calculo del PCI de la Unidad de muestra y sección

Siguiendo el mismo ejemplo se calcula el PCI de la unidad de muestra U1 perteneciente a la sección 1. A continuación mostramos nuevamente la tabla de la hoja registro de la unidad de muestra U1, donde se muestran los

resultados de la densidad y el Valor Deducido (DV) para cada tipo de falla y nivel de severidad.

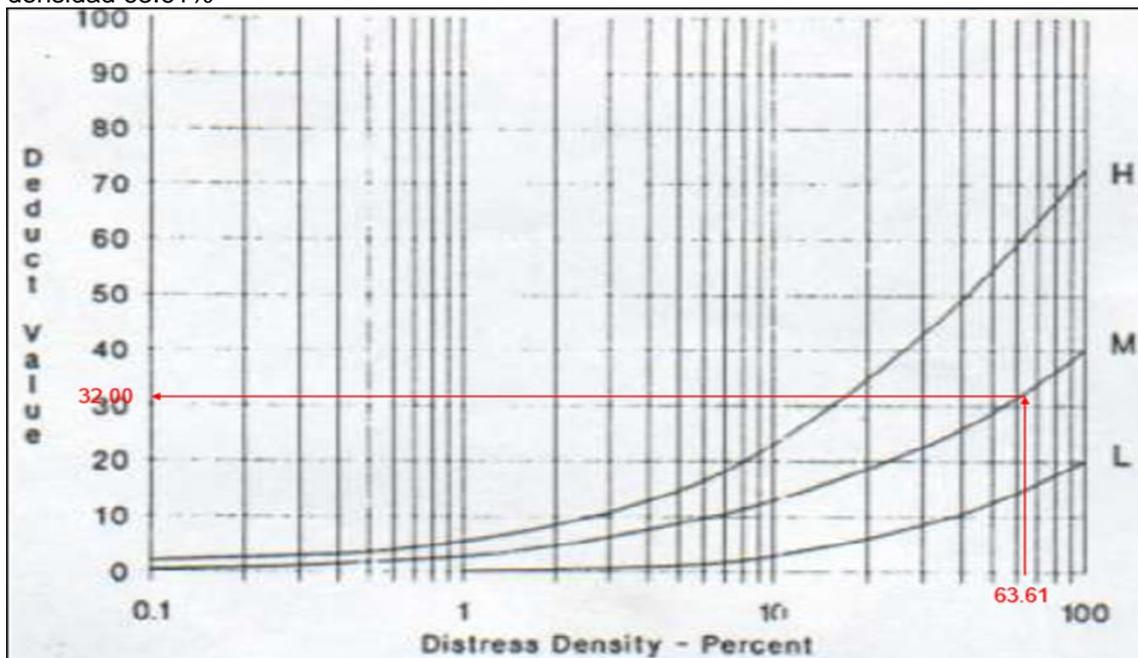
Para calcular la densidad, se divide el área total por cada tipo de falla y severidad, dividiéndose entre el total del área de la muestra.

Ejemplo, para la primera falla se tiene un área de 133.45 m², valor dividido entre el área total de la unidad 304.10 m², se obtiene 63.61%.

Para calcular el Valor Deducido (DV) de la primera falla levantada, se emplea la curva de DV para asfalto correspondiente a la falla fisura en bloque - tipo 3M.

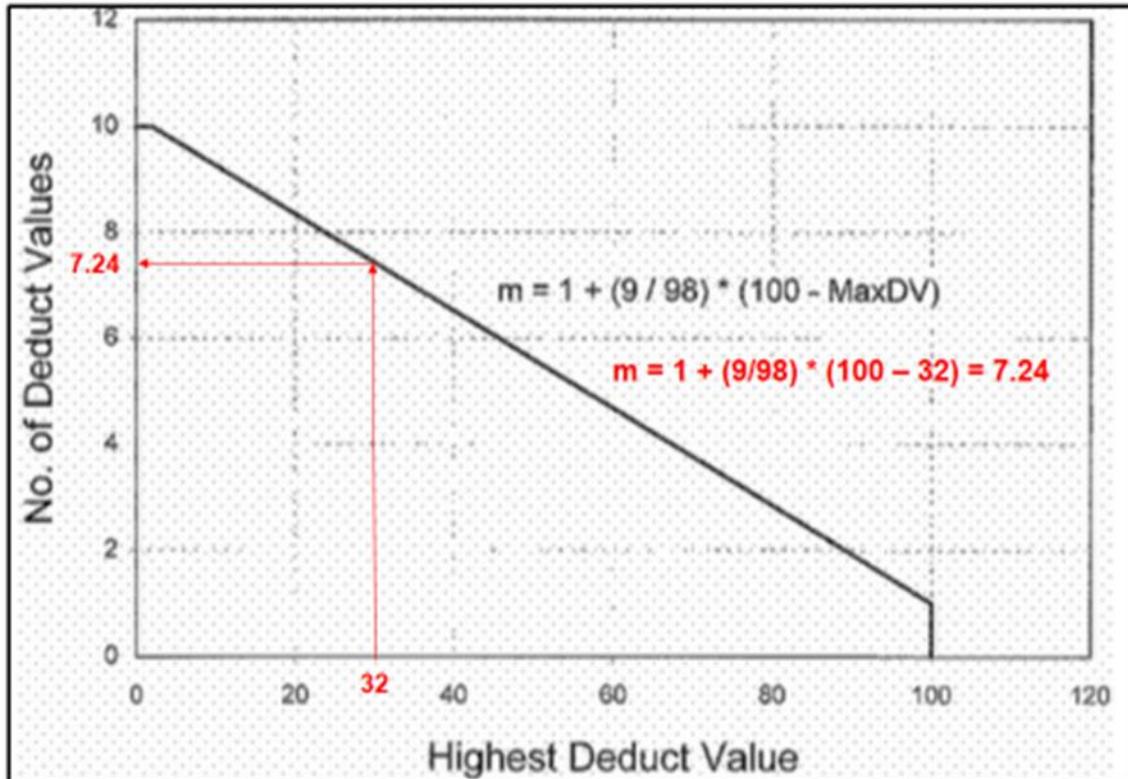
El Valor Deducido para esta primera falla le corresponde el valor 32, tal y como se muestra en la figura 12.

Figura 11: Determinación del Valor Deducido para falla fisura en bloque nivel medio con densidad 63.61%



Fuente: Propia

Figura 12: Cálculo del número de Valores Deducidos “m” para el Máximo Valor Deducido 32

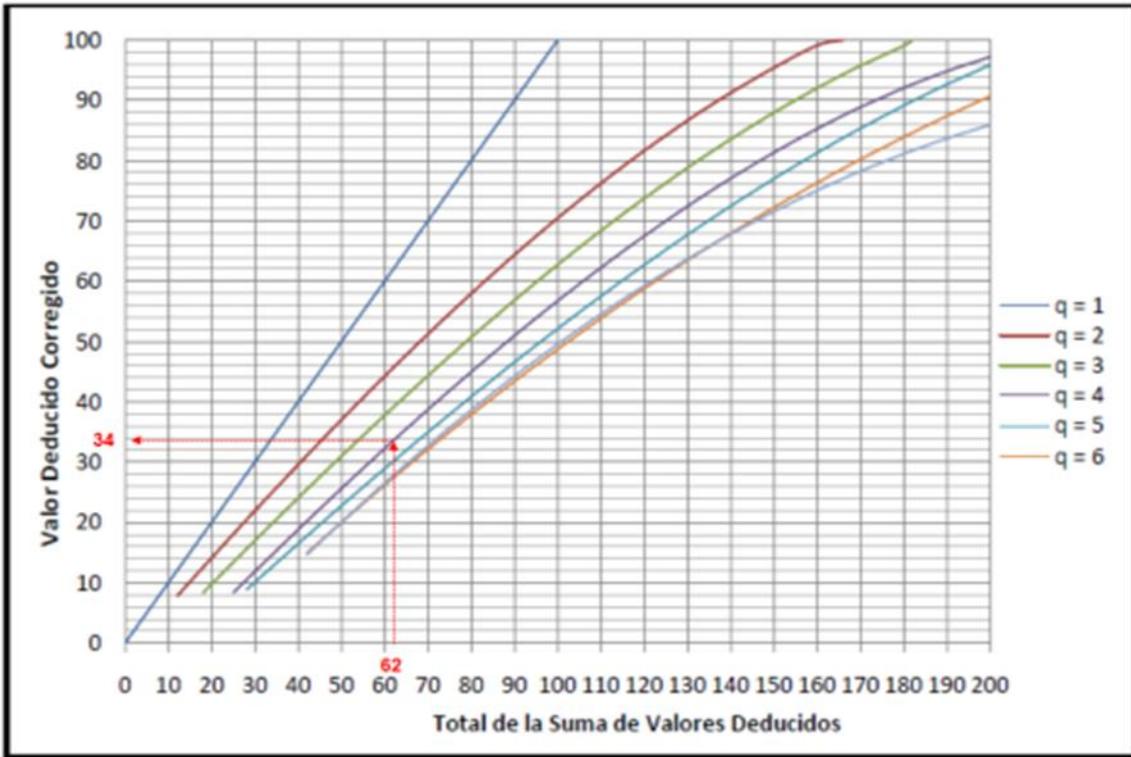


Fuente: Propia.

Se procede a ordenar de menor a mayor los 7.24 valores deducidos mayores que 2. El ejemplo solo cuenta con cuatro DV, por lo que se utilizaron todos.

Luego de ordenar los cuatro primeros DV, se suman e ingresan en la gráfica valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos, para el primer caso $q = 4$, ya que contamos con cuatro DV en un inicio, obteniéndose como valor deducido corregido (CDV) de 34. Se repetirá lo mismo, reemplazando el último valor reducido por 2 y reduciendo el valor de “q” en una unidad, hasta que “q” sea igual a 1, determinándose los CDV para cada valor de “q”.

Figura 13: CDV para q = 4, y el total de DV = 62



Fuente: Propia.

Tabla 05: Orden, cambio del menor y suma de DV

Número	Valor Deducido				m = 7.24	Total	q	CDV
	Mayor	←	Menor					
1	32.00	22.00	5.00	3.00	Suma de DV → 62.00	62.00	4	34.00
2	32.00	22.00	5.00	2.00	Se va cambiando el último DV sucesivamente	61.00	3	39.00
3	32.00	22.00	2.00	2.00		58.00	2	43.00
4	32.00	2.00	2.00	2.00		38.00	1	38.00
5								
6								
7								
8								

"q" disminuye en 1, hasta que sea igual a 1

Fuente: Propia.

Luego de calcular todos los CDV se escoge el mayor para el cálculo del PCI de la unidad de muestra, usando fórmula descrita en el procedimiento normalizado, obteniéndose como resultado para nuestro ejemplo: $PCI = 100 - \text{Máx. CDV}$, es decir, $PCI = 100 - 43 = 57$. La clasificación correspondiente para el PCI según la escala de graduación obtenida, es Bueno.

A continuación, como ejemplo se calcula el PCI de la sección 1. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida el cálculo.

Tabla 06: PCI de la sección 1.

Sección	Unidad de muestra	Area de muestra (A)	PCI de la muestra (B)	A x B	D/C	Estado de la sección
1	U1	304.10	0.57	173	63	Bueno
	U2	304.10	0.57	173		
	U3	304.10	0.60	182		
	U4	304.10	0.65	198		
	U5	304.10	0.69	210		
	U6	304.10	0.68	207		
	U7	304.10	0.35	106		
	U8	304.10	0.83	252		
	U9	304.10	0.83	252		
	U10	304.10	0.48	146		
		3041.00		1901		
		(C)		(D)		

Fuente: Propia.

3.5 Resultados y análisis

Una vez registrados todas las fallas e información de la vía, y obtenidos los índices de condición respectivos para cada unidad de muestra, se logró determinar el valor del PCI promedio de las 2 secciones determinadas. Para tener una idea global de cuál es el estado del pavimento de la Avenida La Cultura, se ha elaborado una tabla donde se muestra a manera de resumen las secciones, las unidades de muestra, el área de cada una de ella, el valor de PCI de cada unidad de muestra, el valor del PCI de las secciones identificadas y por último la clasificación correspondiente a los valores de PCI.

Tabla 07: PCI sección 1 y 2

Sección	Unidad de muestra	Area de muestra	PCI de la muestra	Estado de la muestra	PCI de la sección	Estado de la sección
1	U1	304.10	0.57	Bueno	63	Bueno
	U2	304.10	0.57	Bueno		
	U3	304.10	0.60	Bueno		
	U4	304.10	0.65	Bueno		
	U5	304.10	0.69	Bueno		
	U6	304.10	0.68	Bueno		
	U7	304.10	0.35	Malo		
	U8	304.10	0.83	Muy Bueno		
	U9	304.10	0.83	Muy Bueno		
	U10	304.10	0.48	Regular		
2	U11	304.10	0.40	Regular	46	Regular
	U12	304.10	0.35	Malo		
	U13	304.10	0.39	Malo		
	U14	304.10	0.40	Regular		
	U15	304.10	0.77	Muy Bueno		

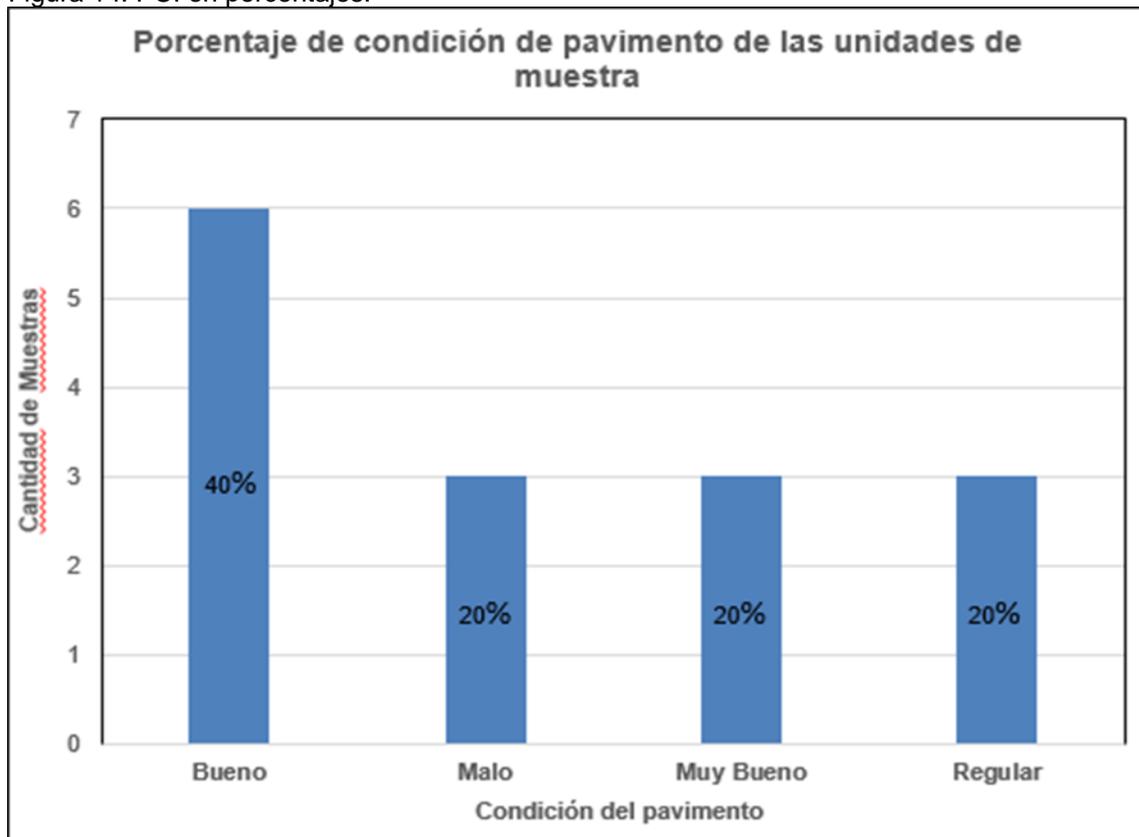
Fuente: Propia

Se logra determinar que la vía evaluada en ambas secciones determinadas presenta una condición de pavimento regular, con lo cual el pavimento brinda adecuadas condiciones a los usuarios.

Podemos definir que las condiciones de pavimento que predominan en la vía son buenas, en una proporción del 60%. Siendo la condición del estado regular del orden de 20% y 20% el estado es Malo. Cabe referir que los valores de PCI de las tres unidades de Muestra que refieren las condiciones de Malo al pavimento evaluado, resultan en valores próximos de 40%, es decir próximos del estado Regular.

A continuación, se presenta un gráfico que muestra el porcentaje de Condición de Pavimento de las Unidades de Muestra analizadas:

Figura 14: PCI en porcentajes.



Fuente: Propia.

En las siguientes figuras, se presenta la información del tipo de fallas que se identificaron en las dos secciones que conforman el pavimento de la vía evaluada, así como los metrados totales por cada tipo de falla y nivel de

severidad (L), (M) y (H), con el fin de determinar que fallas son más preponderantes y que tipo de intervención o faena deberá aplicarse.

Tabla 08: Resumen de fallas en las Unidades de Muestra

Fallas en las Unidades de Muestra			Unidad de medida	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (H)
Piel de Cocodrilo			m2	3.74	25.32	6.68
Fisuras en Bloque			m2	150.72	675.58	0.00
Fisuras de Borde			ml	12.72	27.60	0.00
Fisuras de reflexión de junta			ml	5.36	79.06	0.00
Fisuras longitudinales y transversales			ml	33.36	46.82	0.00
Parches y parches de Corte Utilitario			m2	12.27	18.54	0.00
Baches			m2	6.62	0.00	0.00
Peladuras por intemperismo			m2	37.88	48.72	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 09: Resumen de fallas en la Sección 1.

Fallas en Sección 1			Unidad de medida	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (H)
Fisuras en Bloque			m2	134.46	645.97	0.00
Fisuras de Borde			ml	12.72	27.60	0.00
Fisuras de reflexión de junta			ml	5.36	79.06	0.00
Fisuras longitudinales y transversales			ml	29.83	19.64	0.00
Parches y parches de Corte Utilitario			m2	12.27	18.54	0.00
Baches			m2	6.62	0.00	0.00
Peladuras por intemperismo			m2	22.49	34.62	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Resumen de fallas en la Sección 2

Fallas en Sección 2			Unidad de medida	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (H)
Piel de Cocodrilo			m2	3.74	25.32	6.68
Fisuras en Bloque			m2	16.26	29.61	0.00
Fisuras longitudinales y transversales			ml	3.53	27.18	0.00
Peladuras por intemperismo			m2	15.39	14.10	0.00

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo A: Cálculos, se presenta en resto de cuadros que incluyen toda la información resumida tomada de campo sobre todos los tipos de fallas que se identificaron en las dos secciones que conforman la vía evaluada, así como el área total de cada tipo de falla y nivel de severidad.

De la misma manera, en los anexos A.1 hasta el A.4 se presentan los cálculos del PCI para cada Unidad de Muestra y el PCI promedio para cada sección.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN

4.1 Interpretación de resultados.

En primer lugar, de los resultados se puede determinar que la preponderancia de fallas en las dos secciones definidas y analizadas es del tipo fisuras en bloque.

Las causas que ocasionan este tipo de fallas en pavimentos de altura, están relacionadas a diferentes efectos como por ejemplo:

Cambios bruscos de temperaturas con gradientes térmicos mayores a 15 °C (variación de temperatura entre el día y la noche), que obligan al ligante asfáltico convencional empleado en las mezclas asfálticas de la carpeta de rodadura a trabajar con recuperación elástica mínimo de 80%. En tal sentido, a propuesta considera para cualquier faena de mantenimiento del pavimento emplear Ligantes Modificados con Polímeros.

Puede ser atribuible al fenómeno de contracción y dilatación normal de la losa de concreto en la zona con pavimento rígido recapeado, lo cual se refleja en la superficie asfáltica de rodadura.

Oxidación prematura del ligante de la mezcla asfáltica de la carpeta de rodadura debido a la alta incidencia de los rayos solares en altitudes por encima de 3000 m.s.n.m.

Deficiencias en el Control de Calidad durante el proceso constructivo de las obras, materiales y criterios que no cumplen las Especificaciones Técnicas y no son adecuados para trabajar en proyectos de altura.

En segundo lugar, las fallas que más afectan al pavimento evaluado son las de tipo Fisuras Longitudinales y Transversales, las cuales también pueden ocasionadas por cambios de temperatura y oxidación del ligante asfáltico. Asimismo, se registran fallas tipo Fisuras de Reflexión de Junta, debido a que existe un tramo comprendido entre las cuadras 8, 13 y 18 de la Av. La Cultura con pavimento rígido recapeado con carpeta asfáltica. Estas fisuras, tal y como se denominan son fisuras que se reflejan en la superficie de rodadura, debido

al trabajo de dilatación y contracción de las losas de concreto en el sector de las juntas del pavimento rígido existente recapeado.

En tercer lugar se registran fallas tipo Peladuras por Intemperismo, las cuales se ocasionan por acciones climatológicas como lluvias, heladas y/o gradientes térmicos, que afectan la adhesividad ligante-agregado, es decir se desprende el ligante asfáltico del agregado de la mezcla asfáltica de la carpeta de rodadura del pavimento.

Por lo demás, las fallas tipo Fisuras de Borde, Piel de Cocodrilo, Parche y parches de Corte Utilitario y los baches localizados en la cuadra 14 (U6). Salvo los baches, que son ocasionados por desprendimientos de carpeta asfáltica, debido generalmente a proceso constructivo defectuoso; las causas de fisuras de borde generalmente provienen de efectos térmicos, y las fisuras piel de cocodrilo, pueden ser una acumulación de fatiga térmica y de cargas vehiculares provenientes de fisuras longitudinales y transversales, en bloque o de borde.

Los valores del PCI encontrados en el análisis de Unidades de Muestra y las secciones definidas, servirán como herramienta para presupuestar el mantenimiento preventivo del pavimento de la vía evaluada, describiéndose el nivel de intervención y las actividades a ser ejecutadas. Los resultados de PCI para cada Unidad de Muestra y las dos secciones definidas se presentan en el Anexo A.3 de esta tesis.

4.2 Propuesta de Mantenimiento y Restauración del Pavimento

En líneas generales las condiciones del pavimento de la Av. La Cultura se encuentra en buenas condiciones. La mayoría de sus fallas está en nivel Moderado (M) y Leve (L), siendo el momento oportuno y propicio para intervenir el pavimento con faenas de mantenimiento preventivo. Los trabajos de mantenimiento en su mayoría corresponden a sellar la pista con riegos asfálticos puros tipo Fog Seal (riego tipo niebla), riegos alternados con esparcido de agregados o Micropavimento Asfáltico en Frio, Localizadamente deberán ejecutarse bacheos mínimos y sellado de fisuras y o grietas.

Las fallas con Severidad Leve deberán ser tratados aplicando un riego asfáltico del tipo Fog Seal (riego tipo niebla), de manera que se proteja el estado del

pavimento. Sin embargo, cabe aclarar que este nivel de severidad de fallas en el pavimento de la vía, no afectan de manera significativa la normal circulación vehicular, ni la comodidad de los usuarios.

Las fallas de nivel Moderado, deberán ser tratadas sellando todo el ancho de la pista con la aplicación de un Micropavimento Asfáltico en Frio, con espesor de 10 milímetros.

Los baches puntuales en nivel Leve (L), Moderado (M) o Severo (H), se deberán intervenir inmediatamente.

Para efectos de garantizar mejor calidad y mayor vida útil en zonas como el Cusco con gradientes térmicos pronunciados (mayor a 15°C), se releva la importancia de emplear como ligante, las Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros.

La propuesta de esta tesis consiste en determinar la condición del pavimento a través del PCI, con el fin de sugerir la aplicación de faenas de mantenimiento preventivo (antes que de tipo correctivo), las cuales preserven el estado actual del pavimento de la vía evaluada, para garantizar su vida útil proyectada.

Las aplicaciones sugeridas para el caso estudiado, se detallan en los sub-ítems siguientes.

4.2.1 Riego tipo Niebla o Fog Seal

Definición

Aplicación de emulsión asfáltica diluida sobre un pavimento asfáltico antiguo, con fines de mejorar su impermeabilidad o rejuvenecer a aquellos que presentan signos de desgaste o desagregación debido a una deficiente dosificación del concreto asfáltico y el consecuente envejecimiento del ligante. Este también uniformiza la coloración negra del ligante original de la mezcla.

Tipo de ligante

Generalmente debe ser fluidificable y de baja concentración de residuo asfáltico, pudiendo utilizarse emulsiones convencionales o modificadas con polímeros de ruptura rápida/lenta o emulsión para morteros.

Para el caso de rejuvenecimiento de pavimentos, se recomienda emulsión modificada con polímeros, debido a que esta reblandece el ligante existente.

Dosificación

Diluir en igual proporción de agua hasta alcanzar máximo dos veces y media la cantidad de emulsión.

Se podrán emplear tasas de dosificación de la dilución, del orden de: 1:1 a 1:2.5, dependiendo de la superficie asfáltica existente.

La tasa de aplicación en la pista deberá estar en el orden de 0.30 a 0.60 litros/m² de residuo asfáltico.

Para el caso de coloración, debido a su mayor capacidad de impregnación, es recomendable utilizar emulsión tipo CSS-1 o CSS-1h (Clasificación de la ASTM D2397).

Consideraciones de proceso constructivo

La dilución es aplicada sobre la superficie seca o levemente húmeda.

Aplicar la dilución utilizando camión imprimador o distribuidor de ligante a presión.

El tránsito puede ser librado en un período de 1 a 2 horas, después del riego, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona de aplicación.

Control de calidad y consideraciones

Ensayo afinidad agua-emulsión, p/garantizar compatibilidad.

“Diluir 1,0 litro de agua en 1,0 litro de emulsión, agitar de 2 a 3 minutos. Pasar la dilución a través del tamiz N° 100 (150 um), Si queda retenido más de 1 % del peso del material, se considera que el agua es incompatible con la emulsión”.

El agua debe ser potable y exenta de sustancias nocivas.

Ensayo en laboratorio de la dilución a la tasa de aplicación, para garantizar el residuo asfáltico requerido en la pista, de forma que no se pegue en los neumáticos de los vehículos, después de librar la vía al tránsito”.

La temperatura ambiente mínima será de 10°C, y la superficie del pavimento deberá estar bien limpia.

La aplicación dependiendo de la envergadura de la obra, podrán utilizarse equipamientos como Tanques Imprimadores o Motopulverizadores. A continuación se muestran fotografías ilustrativas:

Figura 15: Aplicación Sistemática



Fuente: Propia.

Figura 16: Aplicación artesanal.



Fuente: Propia.

Figura 17: Aspecto de película continua del Fog seal.



Fuente: Propia.

4.4.2 Micropavimento Asfáltico en Frio (MPAF)

Definición:

Es un tipo de mezcla asfáltica que emplea ligantes asfálticos modificados con polímeros, los cuales mezclados con agregados pétreos, filler mineral activo (cemento portland o cal hidratada, cenizas, etc.) agua y aditivos a temperatura ambiente, nos proporcionan morteros asfálticos que pueden ser aplicados en espesores milimétricos, con el acabado que se requiera, presentan alta durabilidad y resistencia al desgaste, y garantizan largos periodos de vida útil y cumplen con las normas internacionales ISSA (*International Slurry Surfacing Association*) y nacionales establecidas por las EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Esta aplicación permite el uso de tamaño máximo de agregados hasta de 3/8" de diámetro. De acuerdo a su tamaño pueden ser:

- Tipo I: (espesor de 4 a 15 mm)
- Tipo II: (espesor de 6 a 20 mm)

- Tipo III: (espesor de 10 a 30 mm)

El ligante que emplea el MPAF es una Emulsión asfáltica Modificada con Polímeros, constituido por Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) emulsificado en agua, con la adición de un polímero compatible. La incorporación del polímero puede hacerse en el momento de la emulsificación o previamente deberá modificarse el CAP. Las proporciones de polímero para la modificación están en el orden de 3 a 5 % en peso.

Figura 18: Fabricación con mezcladora tipo trompo.



Fuente: Propia.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES.

El estado del pavimento del tramo evaluado en la Avenida La Cultura es preponderantemente *Buena* para el 40% de las secciones identificadas. Sin embargo, también se han identificado 20% de las Unidades de Muestra en estado *Muy Buena*, lo cual significa que un 60% del pavimento de la Avenida La Cultura actualmente está apto para brindar condiciones aceptables para los usuarios.

Las condiciones de pavimento Regular y Malo son menos predominantes en el pavimento, identificándose el 20% para cada uno de estas condiciones. No existe ninguna unidad de muestra en condiciones de excelente.

Las fallas identificadas en la vía evaluada son las siguientes:

- Fisuras en bloque
- Fisuras longitudinales y transversales
- Parches y parches de corte utilitario
- Fisuras de reflexión de junta
- Huecos o baches
- Fisuras de Borde
- Piel de Cocodrilo
- Peladuras por intemperismo.

Los valores de PCI calculados para cada sección: Buena y Regular, determinan el tipo de intervención requerido en el pavimento. Por los resultados, en el sector de estado Buena a Muy Buena, la faena consistirá en aplicar un riego asfáltico del tipo Fog Seal (riego tipo niebla) en todo el ancho de la vía, usando ligante Emulsionado Modificada con Polímeros, de manera que se proteja el estado actual del pavimento. En el sector de condición Regular, se deberá aplicar a lo largo y ancho de toda la vía un sellado con Micropavimento Asfáltico en Frío, de espesor 10 mm. Asimismo, los baches de mediana severidad identificados en áreas puntuales, deberán

ser tratados inmediatamente con Mezcla Asfáltica en Frio, trabajada con Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un aforo para identificar la carga vehicular que transita sobre la vía evaluada y obtener resultados más precisos en el momento de definir las secciones.

Por los resultados obtenidos es recomendable realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación inmediatos, debido a que la proporción de unidades de muestreo en condición buena es 60% y regular es de 20%.

Los trabajos de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, deberían ser inmediatas para evitar mayores costos de reconstrucción. Asimismo, existen baches puntuales que deberán ser reparados urgentemente.

Es recomendable que se adopte como obligatoria la norma ASTM relacionada al PCI a la realidad peruana para vías urbanas, como parte de la determinación del Índice Global del Pavimento, es decir complementar este cálculo con la obtención del Índice SEFACE, que mide la rugosidad a través del IRI (Índice de Regularidad del pavimento) e ICE (Índice de Condición Estructural).

BIBLIOGRAFÍA

1. ARMIJOS, CH. (2009). Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja. (Tesis para optar el título de ingeniería civil).Universidad Técnica Particular de Loja. Loja.
2. CONTRERAS,C.C. (2012). Diagnóstico del estado situacional de la vía: Av. Argentina – Av. 24 de Junio por el método: Índice de condición de pavimentos(Tesis para optar por el título de ingeniería civil). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.
3. MIRANDA, R. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. (Tesis para optar el título de ingeniería civil). Universidad Austral de Chile. Santiago. Valdivia.
4. RODRÍGUEZ, E. (2009).Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla.(Tesis para optar el título de ingeniería civil).Universidad de Piura. Piura.
5. SARMIENTO, CH Y ARIAS. T.(2015). Análisis y diseño vial de la avenida Mártir Olaya ubicada en Lurín. (Tesis para optar el título de ingeniería civil).Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima.
6. GAMBOA, K. (2009). Cálculo del índice de condición aplicado en el pavimento flexible en la Avenida La Palmera de Piura. (Tesis para optar el título de ingeniería civil). Universidad de Piura. Piura.
7. MEDINA, A Y DE LA CRUZ, M.(2015). Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima.
8. ARÉVALO, E. (2012). Índice de Condição do Pavimento (PCI) para aplicação em sistmas de gerencia de pavimentos urbanos.
9. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013). Manual de Carreteras EG-2013.
10. SOLMINIHAC, H. (2003). Gestión de Infraestructura Vial. Santiago de Chile. Editorial UCCH.

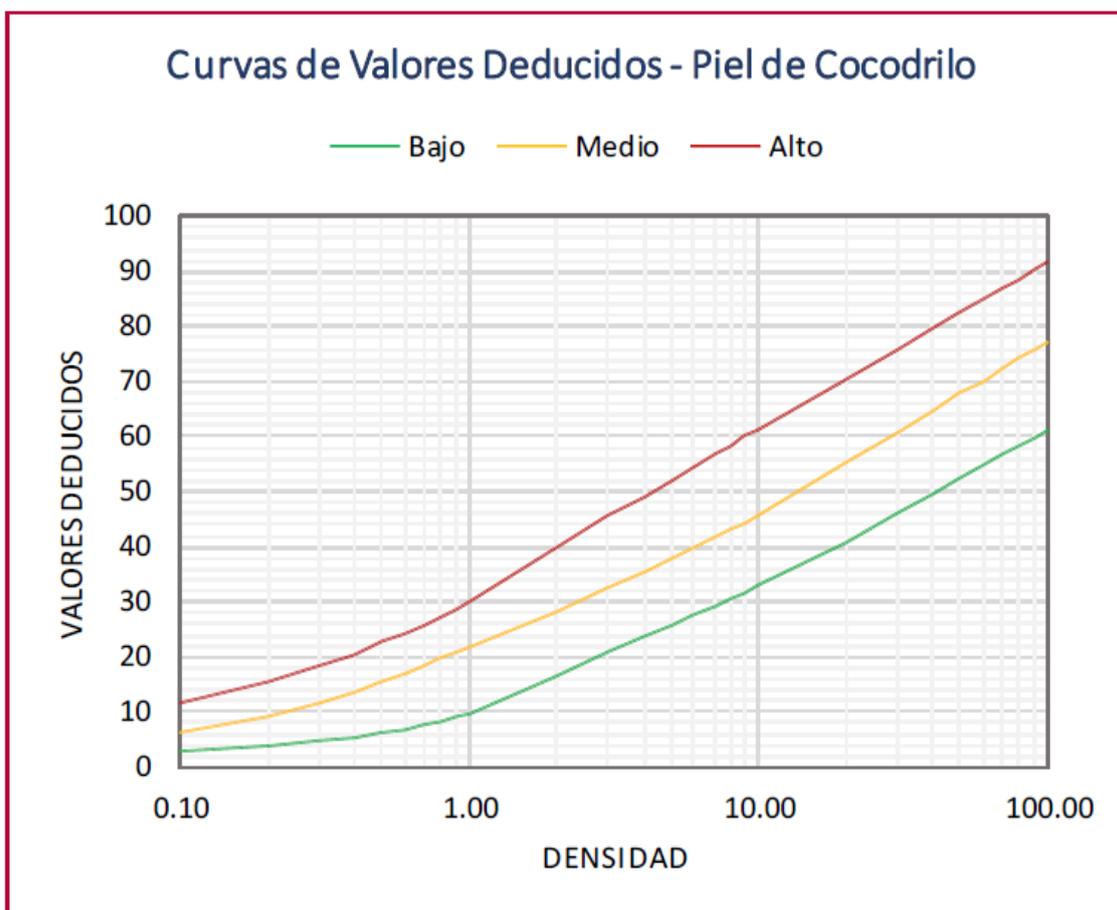
11. BORJA, M.(2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
12. MENEDEZ. G.J.(2014). Microzonificación de la ciudad del Cusco. Cusco.
13. AASHTO, ASTM D 6333-03, (2004). Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos.
14. CHANG, C. (2005). Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.
15. VIVAR, G. (1995). Diseño y construcción de pavimentos. 2da Edición. Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
16. GUTIERREZ, W. (1994) Índice de Condición del Pavimento. Método de Evaluación de Pavimentos Asfálticos. Conferencia.
17. SHAHIN, M. (2005). Pavement Management for Airports Roads and Parking. Guía para la evaluación de pavimentos con superficie asfáltica. Segunda edición.
18. RABANAL, J. (2014). Análisis del estado de conservación del pavimento flexible de la vía de Evitamiento Norte, utilizando el método del índice de condición del pavimento. Lima, Perú: Universidad privada del Norte. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil.
19. Instituto Peruano de Economía (IPE - 2008). Lecciones del mantenimiento de carreteras en el Perú, 1992 - 2007. Lima, Perú.
20. U.S. Army Engineer Research and Development Center. (2001). Manual Paver asphalt surfaced airfields Pavement Condition Index (PCI). Estados Unidos.

ANEXOS

Anexo A: CÁLCULOS

A.1 Curvas de Valor Deducido (DV)

1. Piel de Cocodrilo



Niveles de Severidad

Baja (Low - L): Fisuras, grietas finas longitudinales principalmente paralelas entre sí con pocas o ninguna interconexión. Las fisuras no están saltadas.

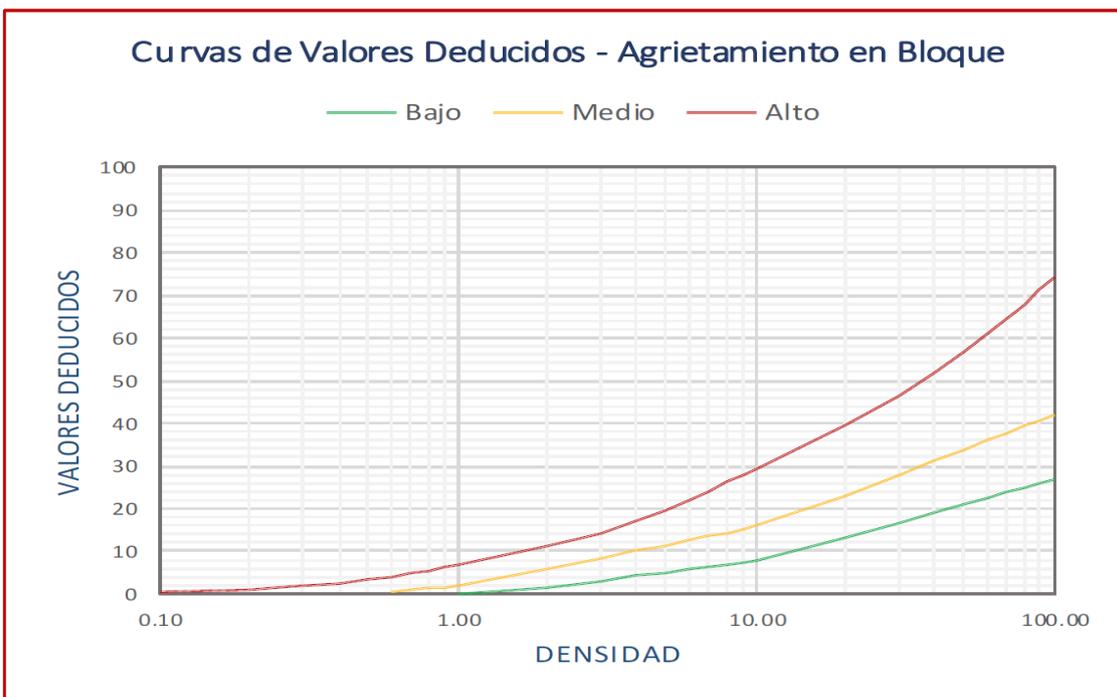
Media (Moderate - M): El desarrollo de las fisuras es en forma de piel de cocodrilo con fisuras con saltaduras leves. El fisuramiento piel de cocodrilo de mediana severidad se define como fisuras interconectadas de un patrón bien definido, donde todos los bloques se mantienen unidos (buena trabazón granular).

Alta (High - H): El fisuramiento se ha desarrollado a un punto donde los bloques están bien de limitados y las fisuras tienen saltaduras. Algunos de los bloques están a punto de desprenderse debido al paso de los vehículos.

2. Exudación



3. Agrietamiento en Bloque



Niveles de Severidad

Baja (Low - L):

Bloques definidos por grietas sin saltaduras, con algunas de ellas con sus bordes verticales o levemente saltadas. No existen fisuras sin sellar con un ancho promedio de 6mm o menos y las selladas tienen el sello satisfactoriamente.

Media (Moderate - M):

Las fisuras selladas y no selladas están moderadamente saltadas.

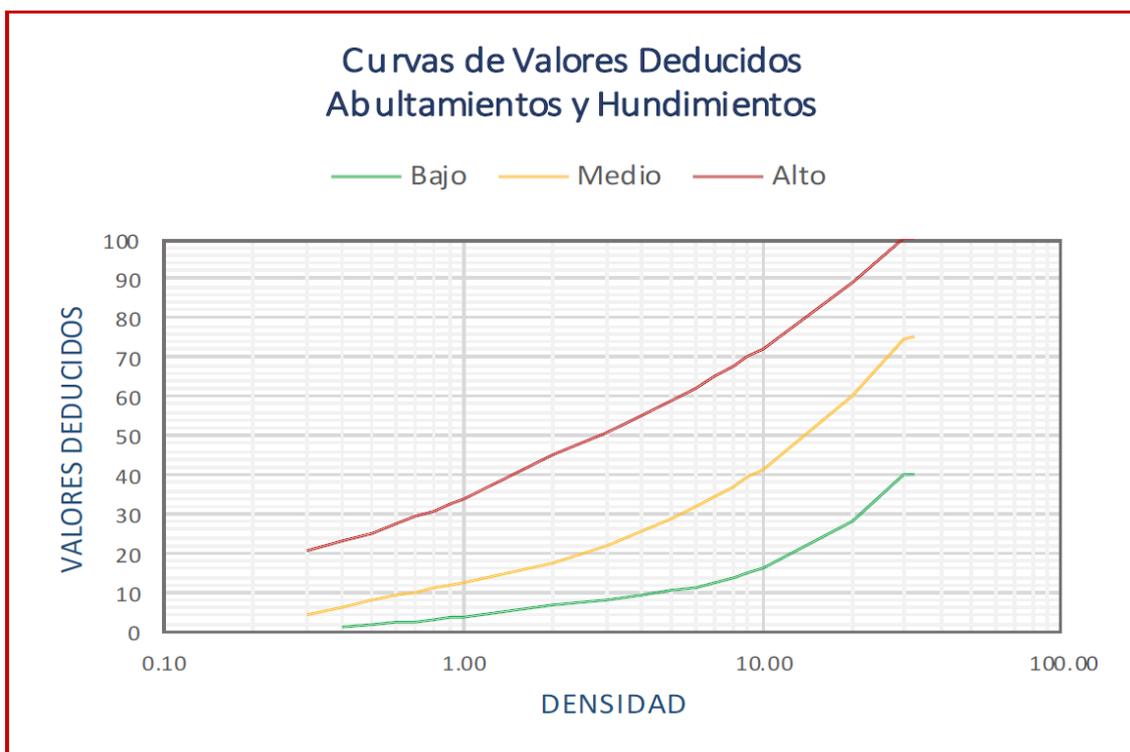
Las fisuras no selladas que no están saltadas o solo tienen saltaduras menores, pero tienen un ancho medio mayor a 6mm aproximadamente.

Las fisuras selladas que no están saltadas o tienen solamente saltaduras menores con una pequeña pérdida de material o tienen un sello en condición no satisfactoria.

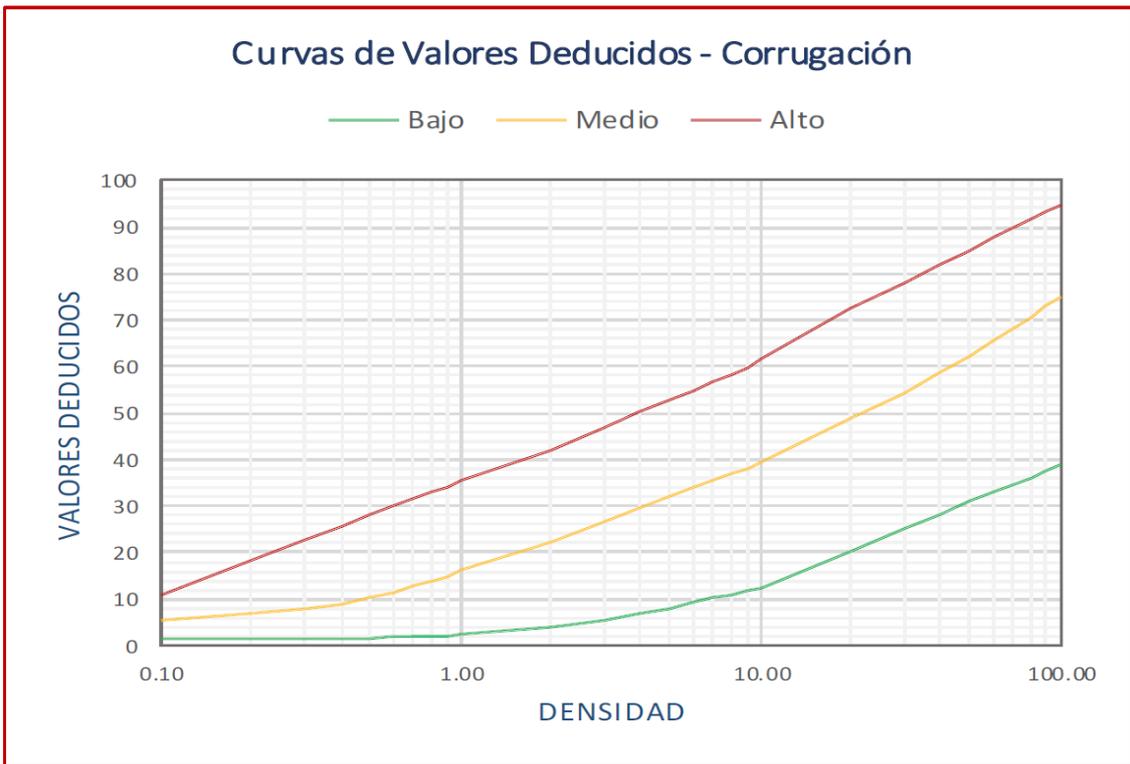
Alta (High - H):

Los bloques son bien definidos por fisuras que están severamente saltadas.

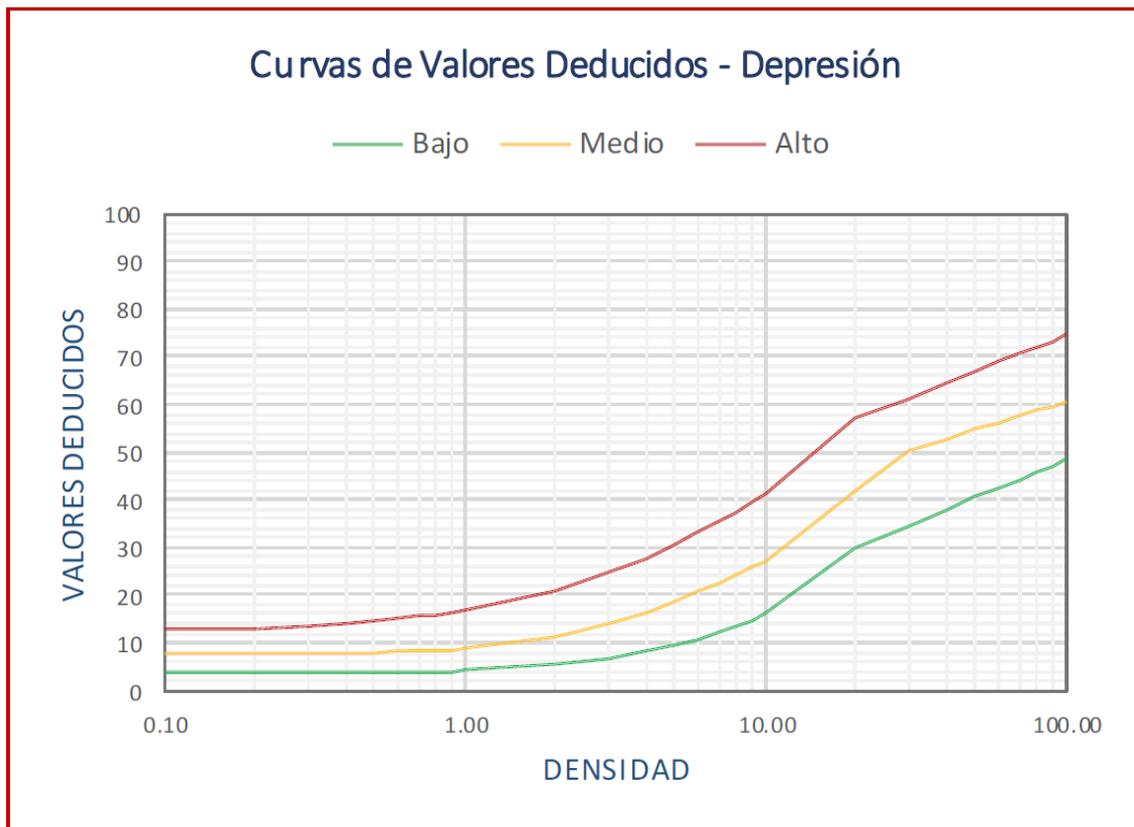
4. Hundimientos



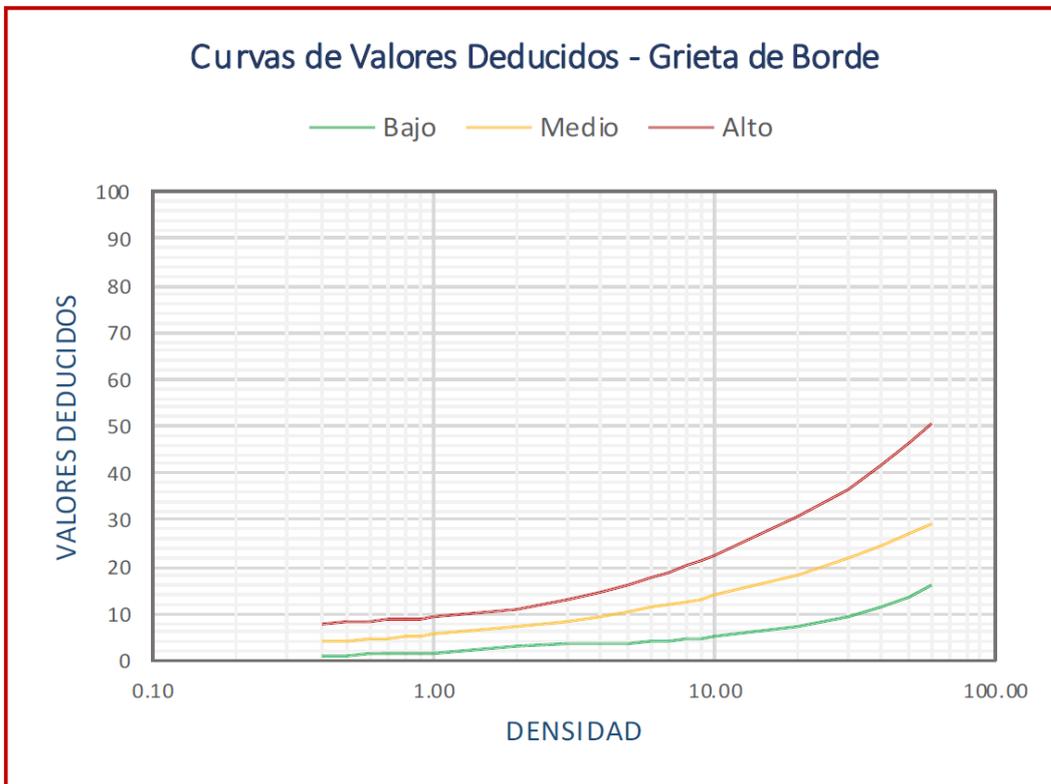
5. Corrugaciones



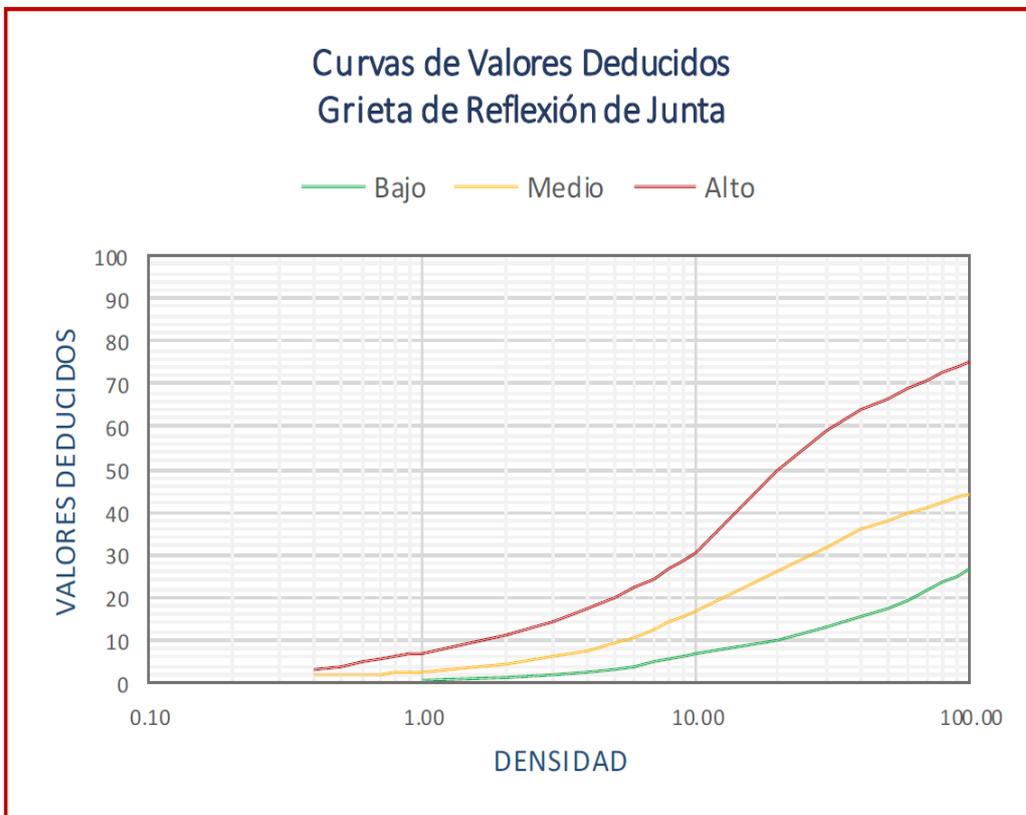
6. Depresión



7. Grieta de borde



8. Fisuras de reflexión de junta



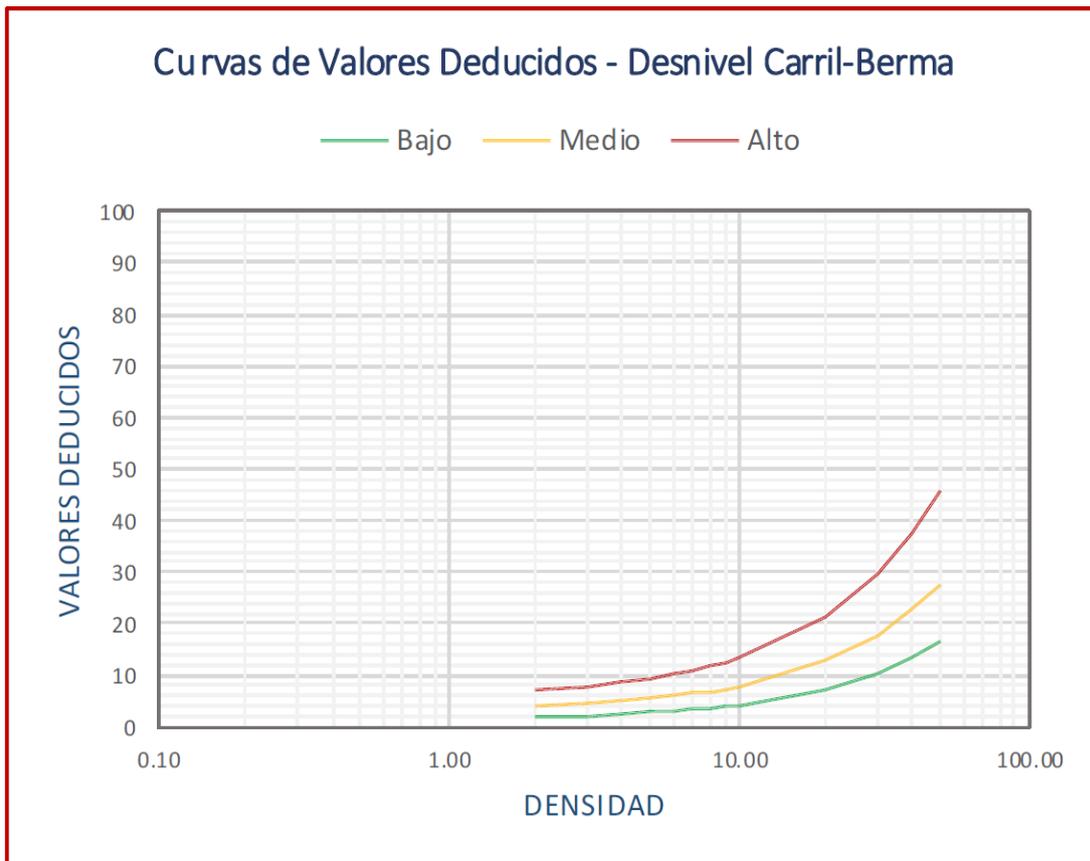
Niveles de Severidad

Baja (Low - L): Las fisuras están sin saltaduras o con saltaduras leves y pueden estar selladas o no selladas. Fisuras no selladas de ancho promedio 6mm o menos. Fisuras selladas de ancho promedio 25mm, pero con el sello en buenas condiciones.

Media (Moderate - M): Fisuras están con saltaduras moderadas, selladas o no (de cualquier ancho), las fisuras selladas están sin saltaduras o con saltaduras leves, pero el sello está en regular estado; las grietas no selladas no tienen saltaduras o tienen saltaduras leves, pero el ancho promedio de las fisuras es mayor a 6mm; o existe un deterioro leve en la vecindad de la fisura o en las esquinas de las fisuras interconectadas.

Alta (High - H): Las fisuras están severamente saltadas con pérdida de material. Las fisuras pueden estar selladas o no selladas de cualquier ancho.

9. Desnivel carril - berma



10. Grietas Longitudinales y Transversales



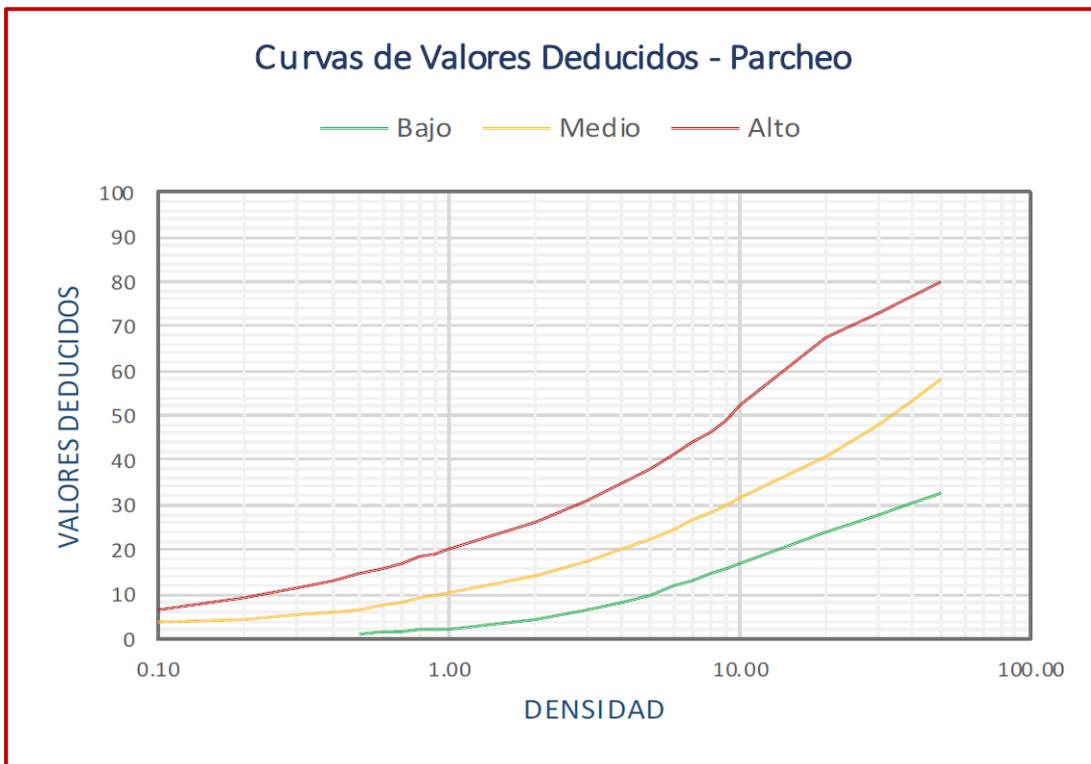
Niveles de Severidad

Baja (Low - L): Fisuras solo tienen saltaduras leves o sin saltaduras, y pueden estar selladas o no. Las fisuras no selladas tienen un ancho promedio menor a 6mm. Las fisuras selladas pueden tener cualquier ancho, pero la condición del sello es buena.

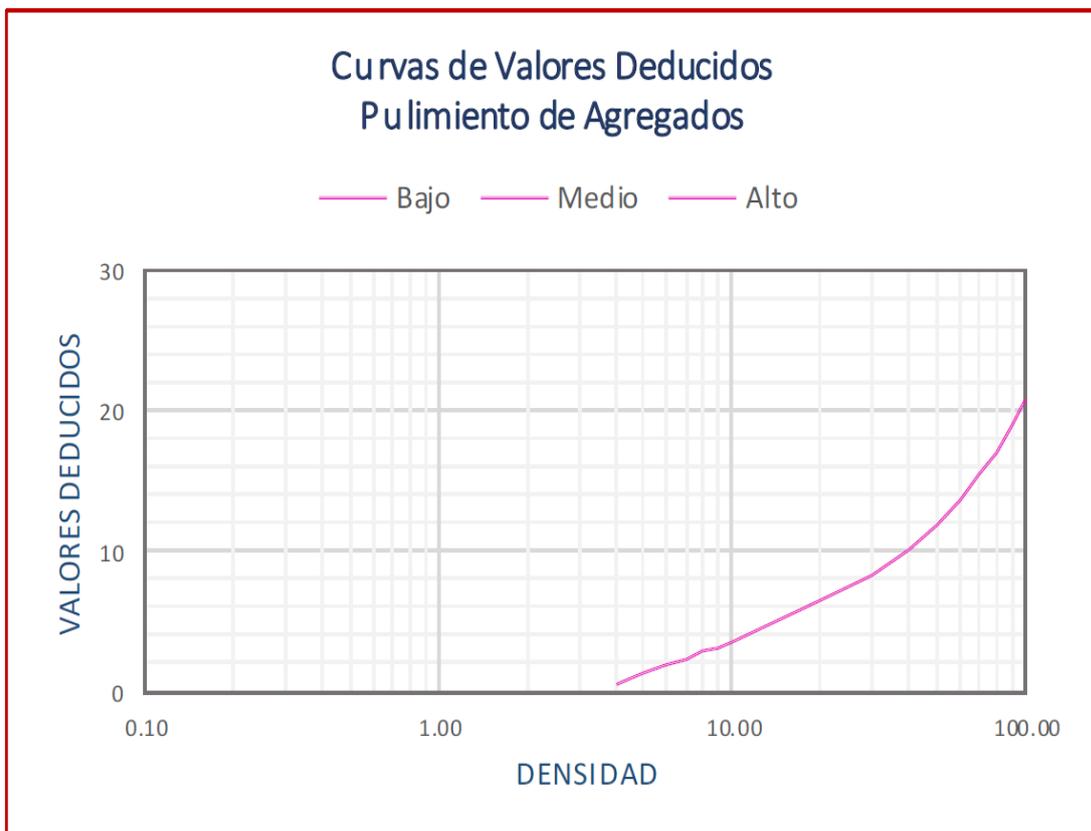
Media (Moderate - M): (1) Las fisuras están con saltaduras moderadas y pueden estar selladas o no selladas de cualquier ancho; (2) Las fisuras selladas no tienen saltaduras o tienen saltaduras de baja severidad, pero el sello está en estado regular; (3) Las Fisuras no selladas no tiene saltaduras o están con saltaduras de baja severidad y el ancho promedio de la fisura mayor a 6mm y (4) Las fisuras aleatorias de baja severidad están en la vecindad de la fisura o en los bordes de las fisuras interconectadas.

Alta (High - H): Las fisuras tienen saltaduras de severidad alta y se han perdido trozos o dicha pérdida ha ocasionado daño por intrusión de material. Las fisuras pueden estar selladas o no y ser de cualquier ancho.

11. Parches y Parches de Cortes Utilitarios



12. Pulimiento de agregados



13. Baches/Huecos



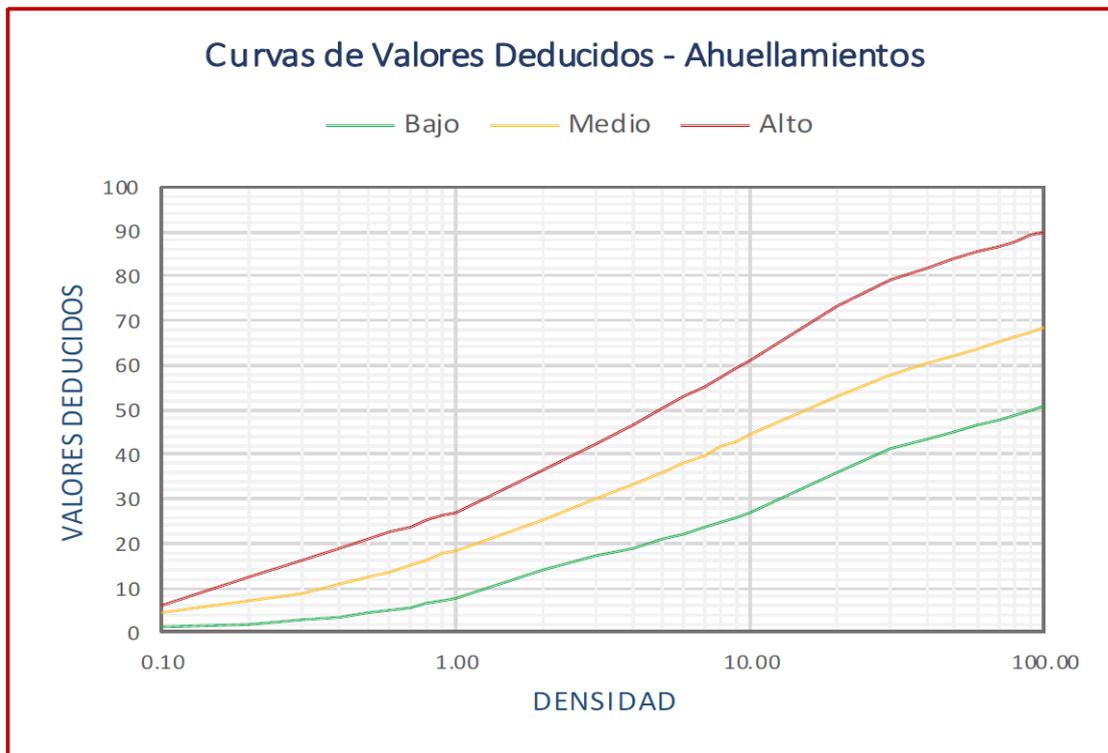
Niveles de Severidad

Baja (Low - L): El bacheo está en buenas condiciones y su comportamiento es satisfactorio.

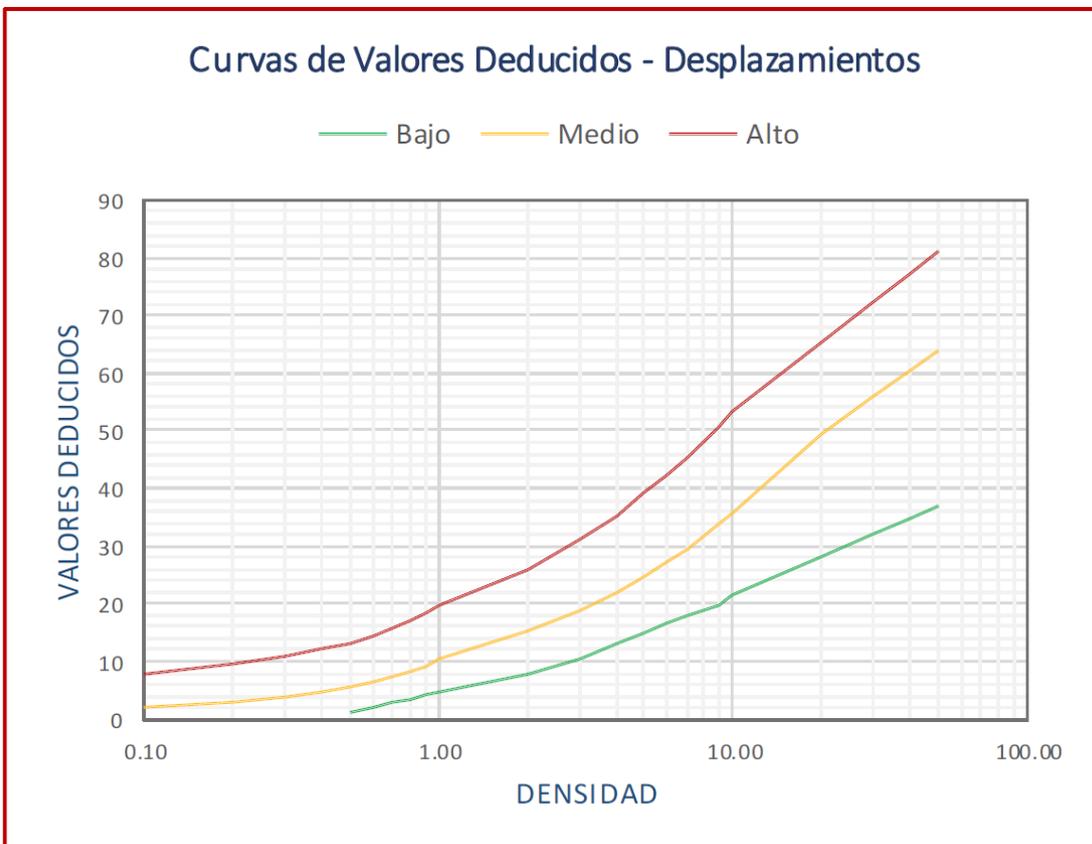
Media (Moderate - M): El bacheo está de algún modo deteriorado afectando la calidad de la rodadura en parte de su extensión.

Alta (High - H): El bacheo está severamente deteriorado y afecta de manera significativa la calidad de la rodadura. El bacheo requiere un pronto reemplazo.

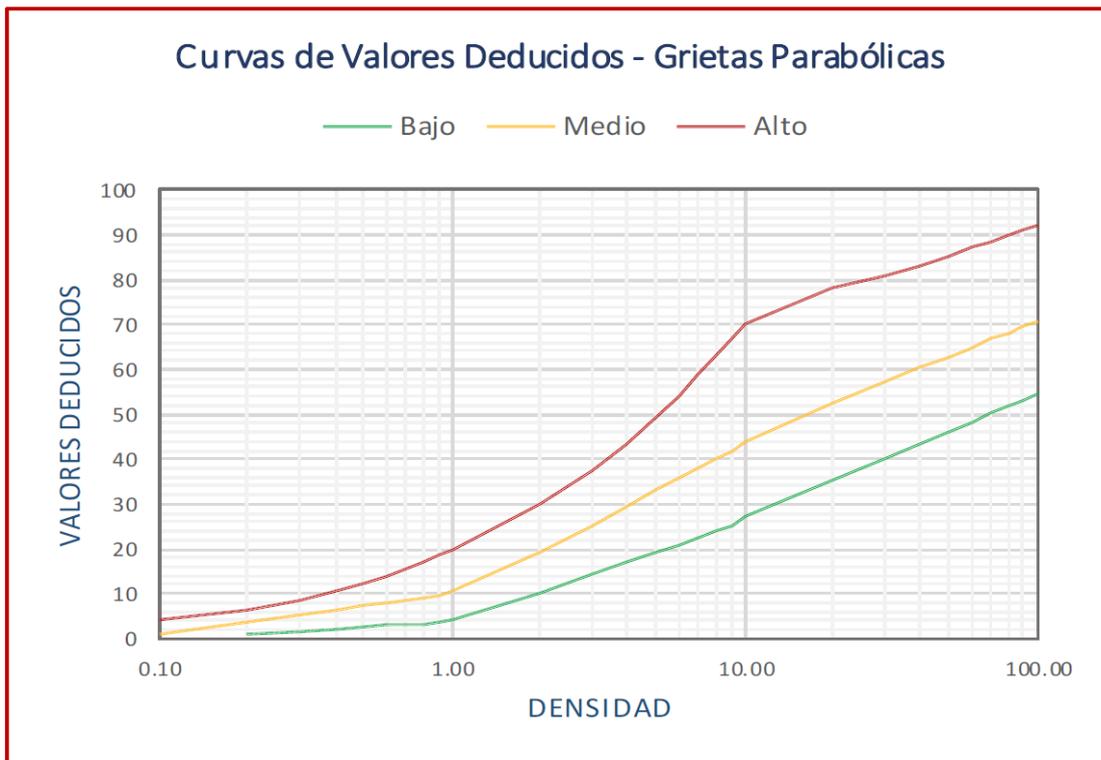
14. Ahuellamiento



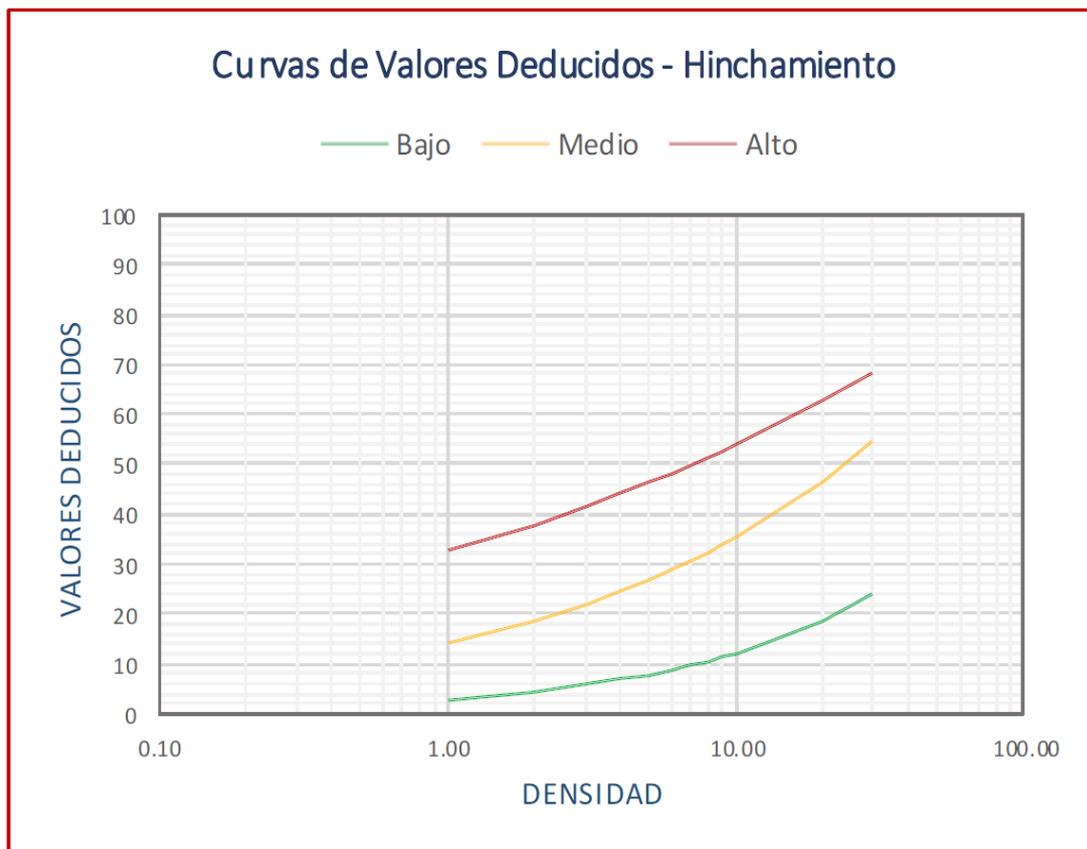
15. Desplazamiento



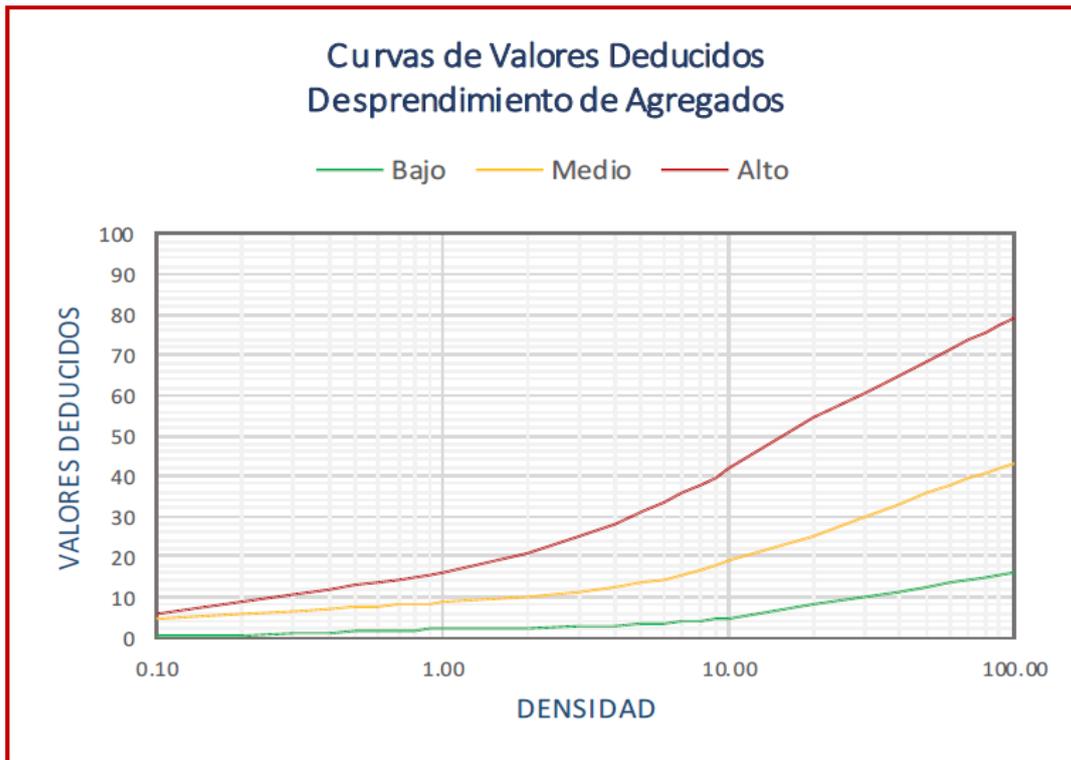
16. Grieta parabólica



17. Hinchamiento



18. Desprendimiento de agregados.



METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U5 (Cuadra 13)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido		
18M	0.85	4.12	3.25			8.22	2.70	20.00		
8M						79.06	26.00	21.50		

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U6 (Cuadra 14)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido		
10L	2.55	4.12	2.99			9.66	3.18	2.20		
13L	0.72	0.91	1.68	3.31		6.62	2.18	30.00		

METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U7 (Cuadra 15)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area:		304.10		
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido		
10M	3.98	3.66	4.85			12.49	4.11	62.50		
18L	2.12	1.12	0.54	3.22		7.00	2.30	5.00		

METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U8 (Cuadra 17)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area:		304.10		
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido		
3M	3.12	0.68	3.35	0.99		8.14	2.68	5.50		
18M	2.27	1.35				3.62	1.19	13.00		
11L	2.15	3.13				5.28	1.74	4.50		

METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U9 (Cuadra 18)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad				Total	Densidad	Valor deducido			
10L	1.77	2.78	2.59		7.14	2.35	4.50			
3M	3.89	4.78	6.98	5.57	21.22	6.98	10.50			
8L	2.60	2.76			5.36	1.76	2.50			
18L	1.56	2.12	2.89	2.77	9.34	3.07	22.00			
11L	1.55	1.94			3.49	1.15	2.25			

METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección		1	Unidad de prueba: U10 (Cuadra 19, 20 y 21)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha		2017	Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad				Total	Densidad	Valor deducido			
10M	2.25	1.75	3.15		7.15	2.35	49.50			
11L	3.50				3.50	1.15	2.50			

METODO DE PCI							ESQUEMA		
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: Av. La Cultura		Sección 2		Unidad de prueba: U11 (Cuadra 22)					
Responsable : Juan Carlos Pinedo		Fecha 2017		Area: 304.10					
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.		
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento		
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo		
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento			
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento			
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido	
1M	6.41	9.34				15.75	5.18	38.00	
10M	1.65	2.02	1.73			5.40	1.78	42.00	
18M	4.51					4.51	1.48	15.00	
3M	5.75	3.45	3.17			12.37	4.07	8.00	

METODO DE PCI							ESQUEMA		
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: Av. La Cultura		Sección 2		Unidad de prueba: U12 (Cuadra 23)					
Responsable : Juan Carlos Pinedo		Fecha 2017		Area: 304.10					
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión					11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.		
2. Exudación	7. Fisura de borde					12. Agregado pulido	17. Hinchamiento		
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta					13. Baches	18. Peladura por intemperismo		
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma					14. Ahuellamiento			
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales					15. Desplazamiento			
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido	
1M	3.52	6.05				9.57	3.15	35.00	
10M	2.11	4.03	0.91			7.05	2.32	49.00	
18M	5.14					5.14	1.69	17.00	
3L	12.15	1.89	2.22			16.26	5.35	3.50	

METODO DE PCI							ESQUEMA		
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección 2		Unidad de prueba: U13 (Cuadra 24, 25 y 26)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha 2017		Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión				11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde				12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta				13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma				14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales				15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido	
1H	3.15	2.07	1.46			6.68	2.20	40.00	
10M	2.36	1.77	1.46			5.59	1.84	42.00	
18M	4.45					4.45	1.46	15.00	
3M	4.10	2.50	2.22			8.82	2.90	6.00	

METODO DE PCI							ESQUEMA		
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección 2		Unidad de prueba: U14 (Cuadra 27 y 28)				
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha 2017		Area: 304.10				
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión				11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.			
2. Exudación	7. Fisura de borde				12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta				13. Baches	18. Peladura por intemperismo			
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma				14. Ahuellamiento				
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales				15. Desplazamiento				
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido	
1L	2.25	1.49				3.74	1.23	12.00	
10M	3.02	1.34	2.72	2.06		9.14	3.01	54.00	
18L	11.15					11.15	3.67	7.00	
3M	1.87	2.10	2.02	2.43		8.42	2.77	5.70	

METODO DE PCI							ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Av. La Cultura			Sección 2		Unidad de prueba: U15 (Cuadra 29)					
Responsable : Juan Carlos Pinedo			Fecha 2017		Area: 304.10					
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión				11. Parches y Parches cort. Utilit.	16. Fisura paraból. o x deslizam.				
2. Exudación	7. Fisura de borde				12. Agregado pulido	17. Hinchamiento				
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta				13. Baches	18. Peladura por intemperismo				
4. Hundimientos	9. Desnivel carril-berma				14. Ahuellamiento					
5. Corrugación	10. Fisuras long. y transversales				15. Desplazamiento					
Falla	Cantidad						Total	Densidad	Valor deducido	
10L	1.03	0.93	1.57				3.53	1.16	20.50	
18L	2.55	1.69					4.24	1.39	3.50	

A.3 Cálculo del Valor Deducido Corregido (CDV)

SECCION 1 (U1 a U10):

CDV-U1

$$m1 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 6.70$$

Número	Valor Deducido					m = 6.7	Total	q	CDV
1	38.00	12.00	2.00				52.00	3	32
2	38.00	12.00	2.00				52.00	2	38
3	38.00	2.00	2.00				42.00	1	41
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 41 = 59$ (Bueno)

CDV-U2

$$m2 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 6.97$$

Número	Valor Deducido					m = 6.7	Total	q	CDV
1	35.00	21.00	10.00				66.00	3	42
2	35.00	21.00	2.00				58.00	2	43
3	38.00	2.00	2.00				42.00	1	42
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 43 = 57$ (Bueno)

CDV-U3

$$m3 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 7.34$$

Número	Valor Deducido					m = 6.7	Total	q	CDV
1	31.00	17.00	14.00	2.50			64.50	4	36.00
2	31.00	17.00	14.00	2.00			64.00	3	40.00
3	31.00	17.00	2.00	2.00			52.00	2	38.00
4	31.00	2.00	2.00	2.00			37.00	1	37.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 40 = 60$ (Bueno)

CDV-U4

$m4 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 7.7$

Número	Valor Deducido					m = 7.7	Total	q	CDV
1	27.00	16.50	4.00	2.40			49.90	4	26.00
2	27.00	17.00	4.00	2.00			50.00	3	30.00
3	27.00	17.00	2.00	2.00			48.00	2	35.00
4	27.00	2.00	2.00	2.00			33.00	1	33.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 35 = 65$ (Bueno)

CDV-U5

$m5 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 8.21$

Número	Valor Deducido					m = 8.21	Total	q	CDV
1	21.50	20.00					41.50	2	31.00
2	22.00	2.00					24.00	1	24.00
3									
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 31 = 69$ (Bueno)

CDV-U6

$m6 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 7.43$

Número	Valor Deducido					m = 7.43	Total	q	CDV
1	30.00	2.20					32.20	2	24.00
2	30.00	2.00					32.00	1	32.00
3									
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 32 = 68$ (Bueno)

CDV-U7

$$m7 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 4.44$$

Número	Valor Deducido						m = 4.44	Total	q	CDV
1	62.50	5.00					67.50	2	49.00	
2	62.50	2.00					64.50	1	65.00	
3										
4										
5										
6										
7										
8										

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 65 = 35$ (Malo)

CDV-U8

$$m8 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 8.99$$

Número	Valor Deducido						m = 8.99	Total	q	CDV
1	13.00	5.50	4.50				23.00	3	12.00	
2	13.00	5.50	2.00				20.50	2	15.00	
3	13.00	2.00	2.00				17.00	1	17.00	
4										
5										
6										
7										
8										

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 17 = 83$ (Muy Bueno)

CDV-U9

$$m9 = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 8.16$$

Número	Valor Deducido						m = 8.16	Total	q	CDV
1	22.00	10.50	4.50	2.50	2.25		41.75	5	12.00	
2	22.00	11.00	5.00	3.00	2.00		43.00	4	15.00	
3	22.00	11.00	5.00	2.00	2.00		42.00	3	17.00	
4	22.00	11.00	2.00	2.00	2.00		39.00	2	17.00	
5	22.00	2.00	2.00	2.00	2.00		30.00	1	17.00	
6										
7										
8										

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 17 = 83$ (Muy Bueno)

CDV-U10

$$m_{10} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 5.64$$

Número	Valor Deducido					m = 5.64	Total	q	CDV
1	49.50	10.50					60.00	2	44.00
2	49.50	2.00					51.50	1	52.00
3									
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 52 = 48$ (Bueno)

SECCION 2 (U11 a U15):

CDV-U11

$$m_{11} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 6.33$$

Número	Valor Deducido					m = 6.33	Total	q	CDV
1	42.00	38.00	15.00	8.00			103.00	4	59.00
2	42.00	38.00	15.00	2.00			97.00	3	60.00
3	42.00	38.00	2.00	2.00			84.00	2	60.00
4	42.00	2.00	2.00	2.00			48.00	1	48.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 60 = 40$ (Regular)

CDV-U12

$$m_{12} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 5.68$$

Número	Valor Deducido					m = 5.68	Total	q	CDV
1	49.00	35.00	17.00	3.50			104.50	4	60.00
2	49.00	35.00	17.00	2.00			103.00	3	65.00
3	49.00	35.00	2.00	2.00			88.00	2	63.00
4	49.00	2.00	2.00	2.00			55.00	1	55.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 65 = 35$ (Malo)

CDV-U13

$$m_{13} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 6.33$$

Número	Valor Deducido					m = 6.33	Total	q	CDV
1	42.00	40.00	15.00	6.00			103.00	4	59.00
2	42.00	40.00	15.00	2.00			99.00	3	61.00
3	42.00	40.00	2.00	2.00			86.00	2	61.00
4	42.00	2.00	2.00	2.00			48.00	1	48.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 61 = 39$ (Malo), en el límite de Regular.

CDV-U14

$$m_{14} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 5.22$$

Número	Valor Deducido					m = 5.22	Total	q	CDV
1	54.00	12.00	10.00	5.70			81.70	4	46.00
2	54.00	12.00	10.00	2.00			78.00	3	50.00
3	54.00	12.00	2.00	2.00			70.00	2	51.00
4	54.00	2.00	2.00	2.00			60.00	1	60.00
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 60 = 40$ (Regular)

CDV-U15

$$m_{15} = 1 + (9/98) * (100 - \text{Max DV}); m = 8.30$$

Número	Valor Deducido					m = 8.30	Total	q	CDV
1	20.50	3.50					24.00	2	18.00
2	21.00	2.00					23.00	1	23.00
3									
4									
5									
6									
7									
8									

PCI de la Unidad de Muestra: $PCI = 100 - 23 = 77$ (Muy Bueno)

A.4 Cálculo del PCI de las Secciones

PCI – Sección 1

Sección	Unidad de muestra	Area de muestra (A)	PCI de la muestra (B)	A x B	D/C	Estado de la sección
1	U1	304.10	0.57	173	63	Bueno
	U2	304.10	0.57	173		
	U3	304.10	0.60	182		
	U4	304.10	0.65	198		
	U5	304.10	0.69	210		
	U6	304.10	0.68	207		
	U7	304.10	0.35	106		
	U8	304.10	0.83	252		
	U9	304.10	0.83	252		
	U10	304.10	0.48	146		
		3041.00		1901		
		(C)		(D)		

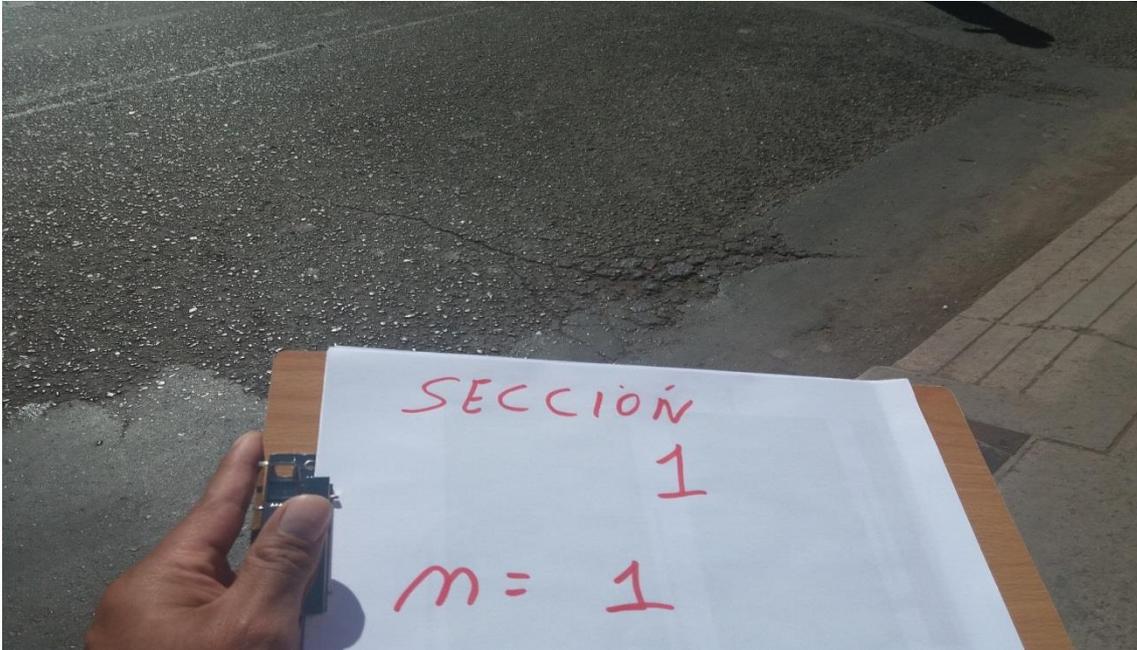
PCI – Sección 2

Sección	Unidad de muestra	Area de muestra (A)	PCI de la muestra (B)	A x B	D/C	Estado de la sección
2	U11	304.10	0.40	122	46	Regular
	U12	304.10	0.35	106		
	U13	304.10	0.39	119		
	U14	304.10	0.40	122		
	U15	304.10	0.77	234		
		1520.50		702		
		(C)		(D)		

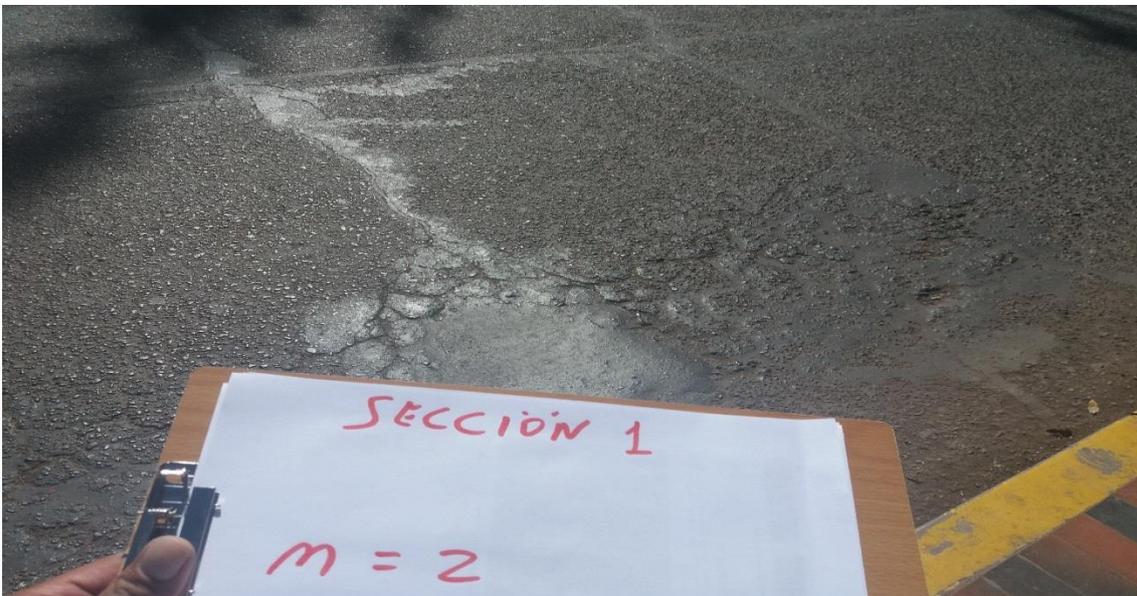
Anexo B: FOTOGRAFIAS

B.1 Fotos del muestreo

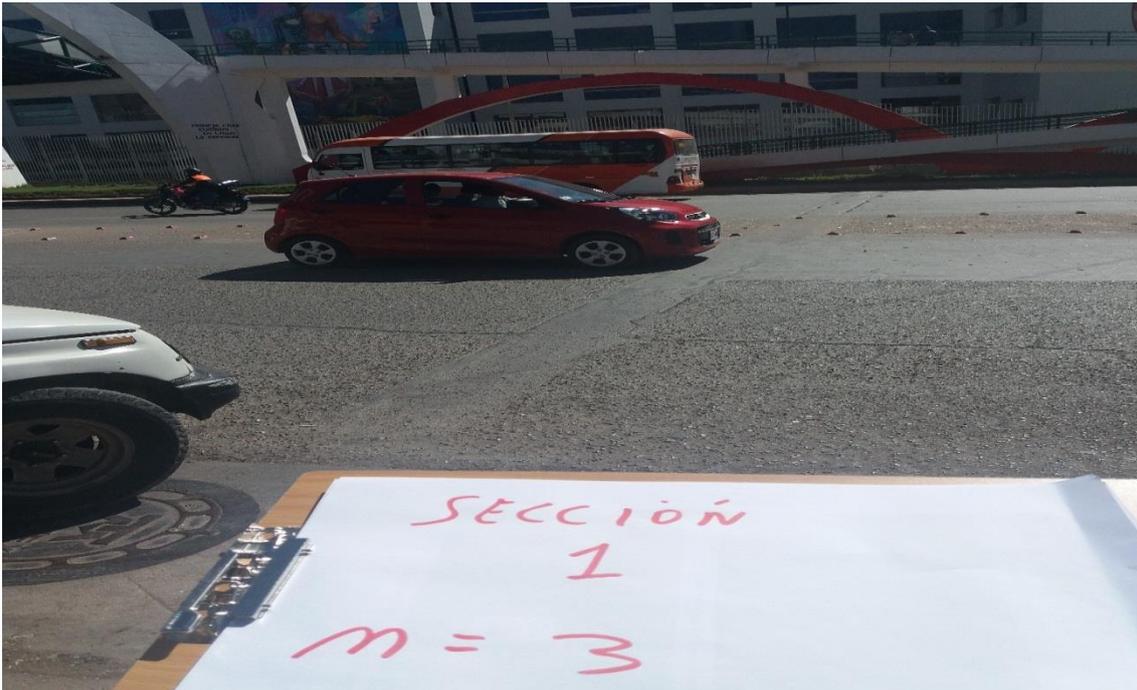
Sección 1. N=1.



Sección 1. N=2

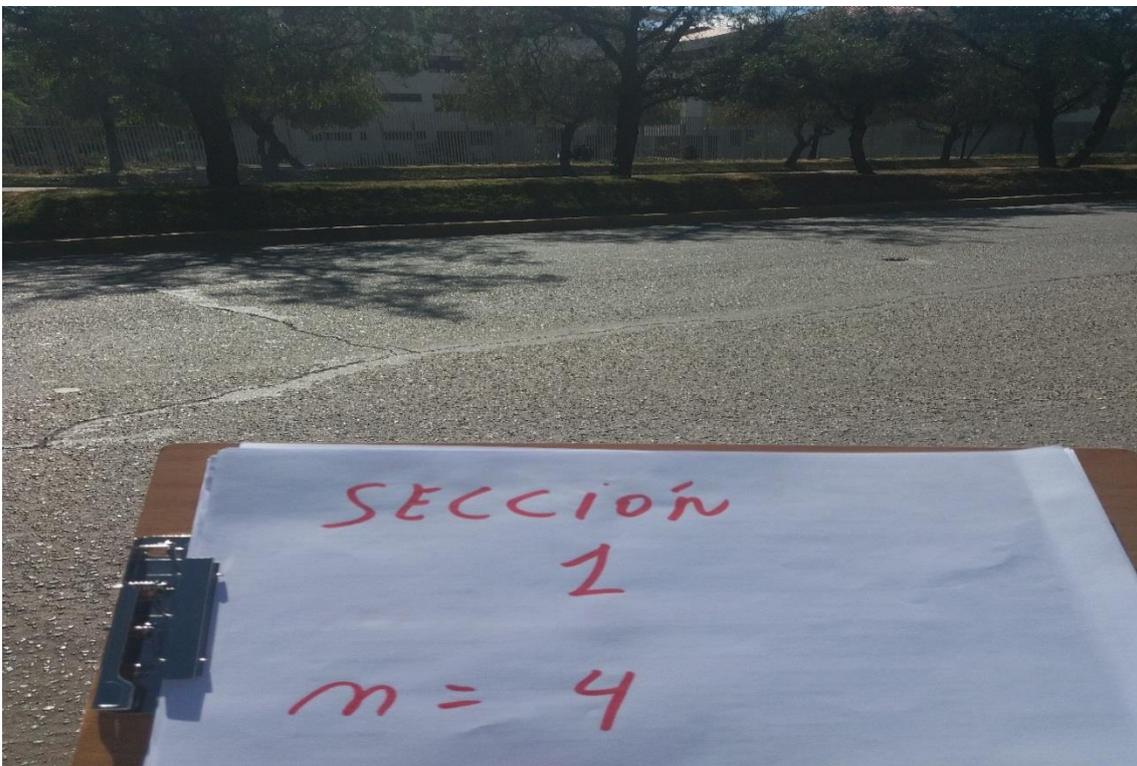


Sección 1. N=3



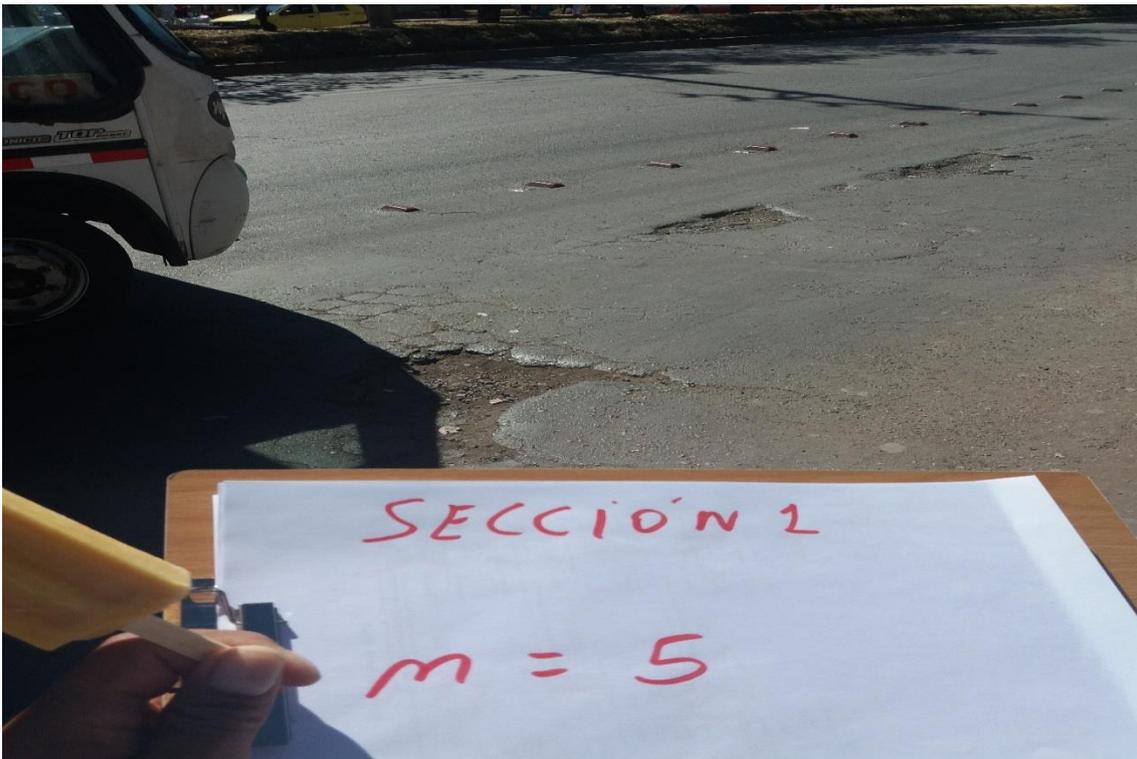
SECCIÓN
1
 $m = 3$

Sección 1. N=4

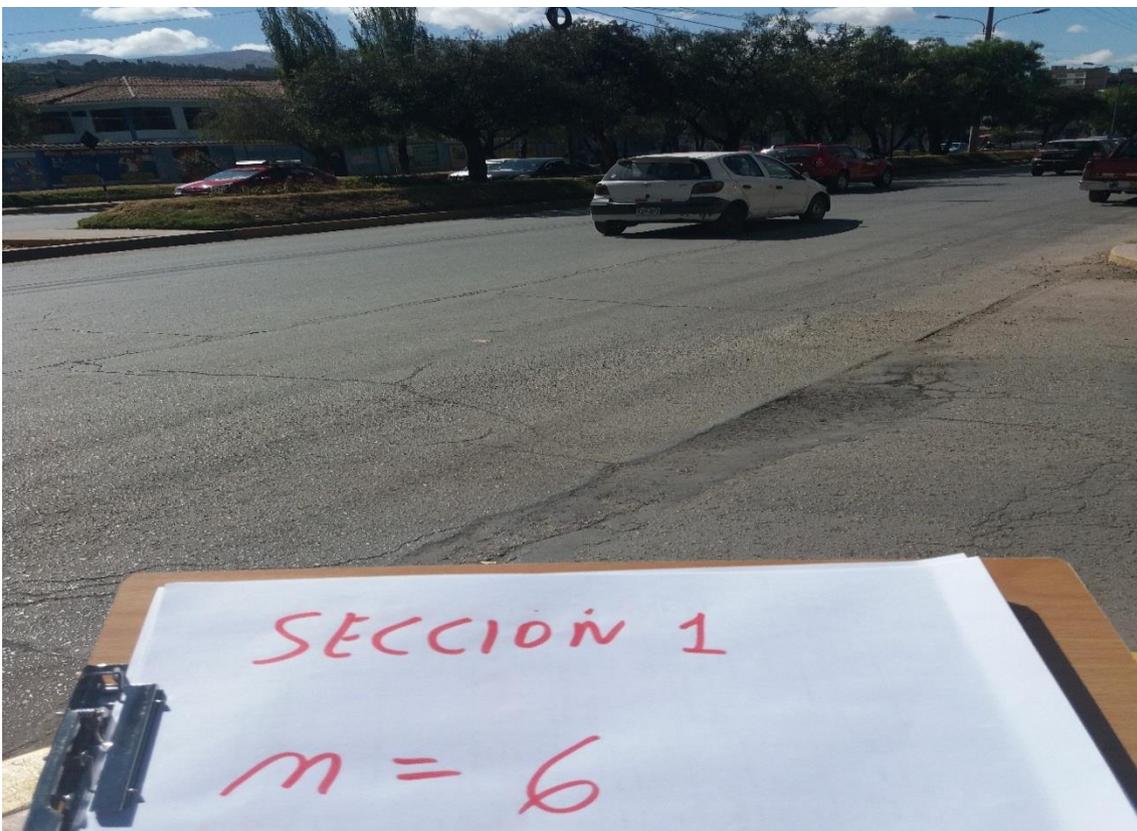


SECCIÓN
1
 $m = 4$

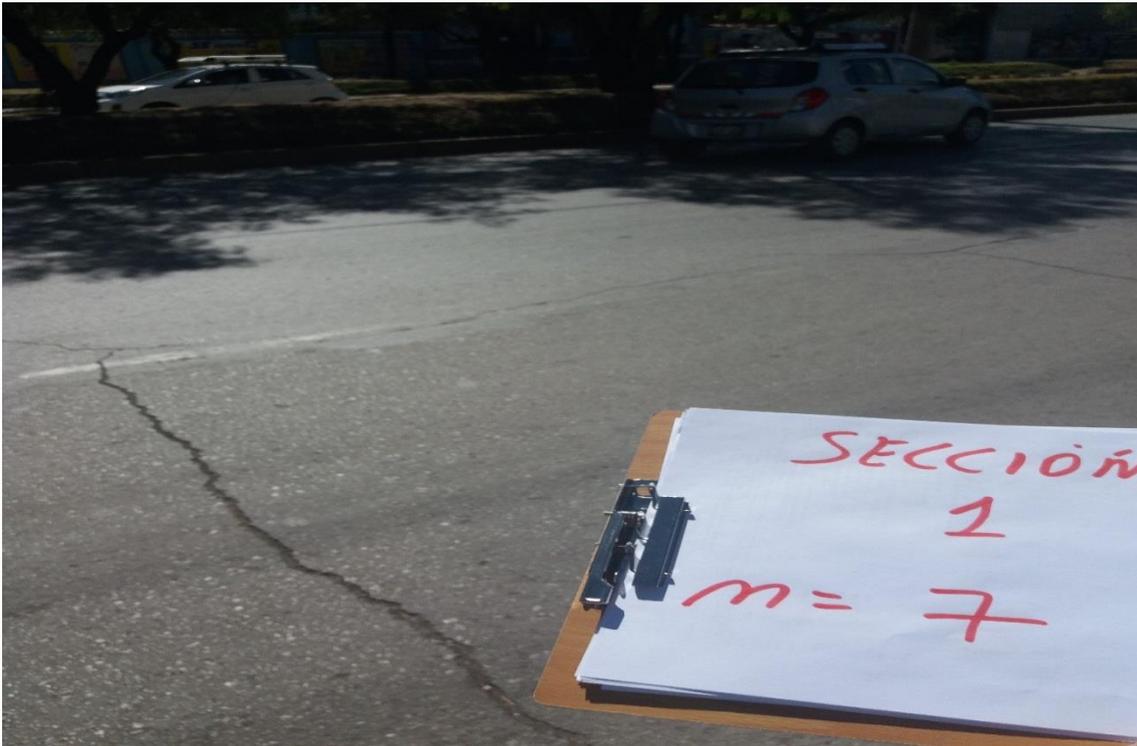
Sección 1. N=5



Sección 1. N=6



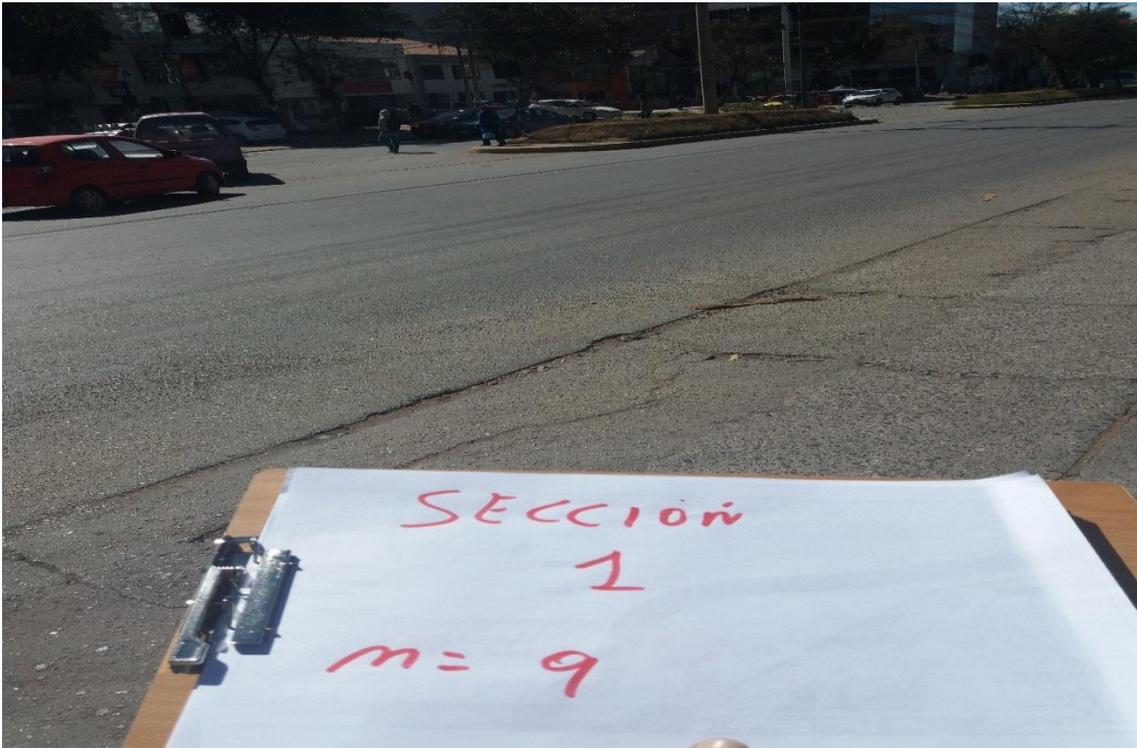
Sección 1. N=7



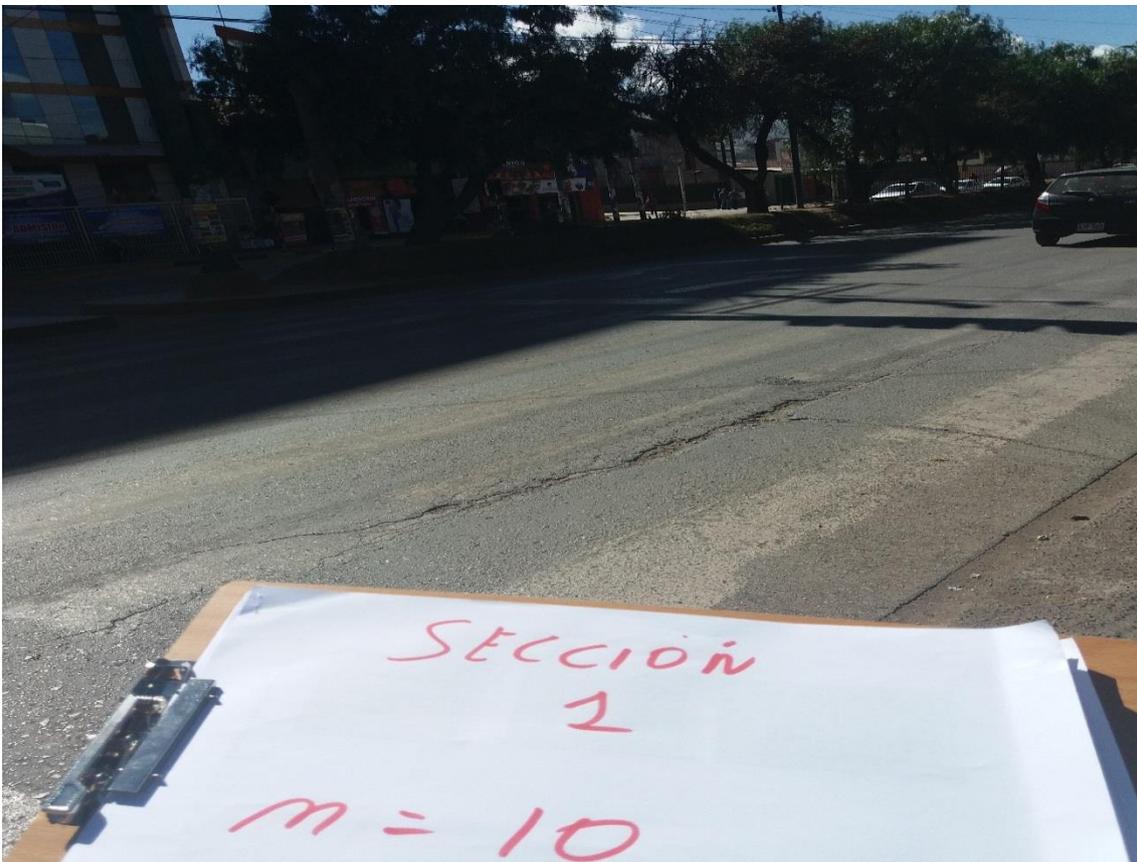
Sección 1. N=8



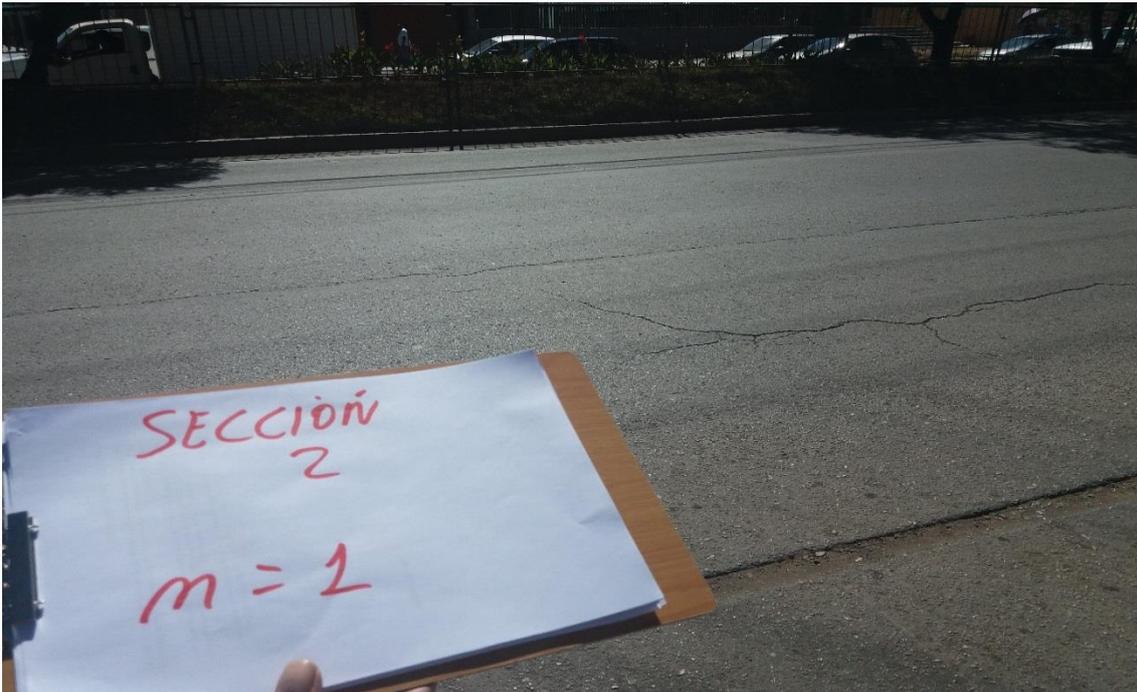
Sección 1. N=9



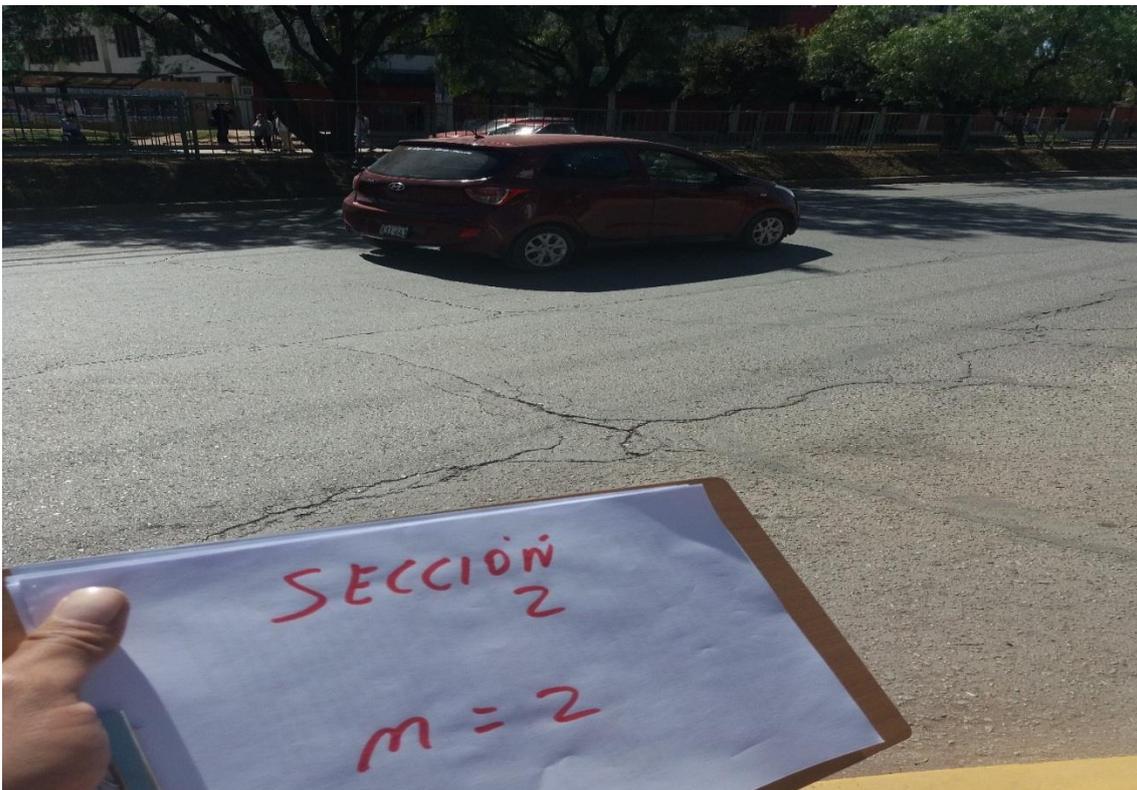
Sección 1. N=10



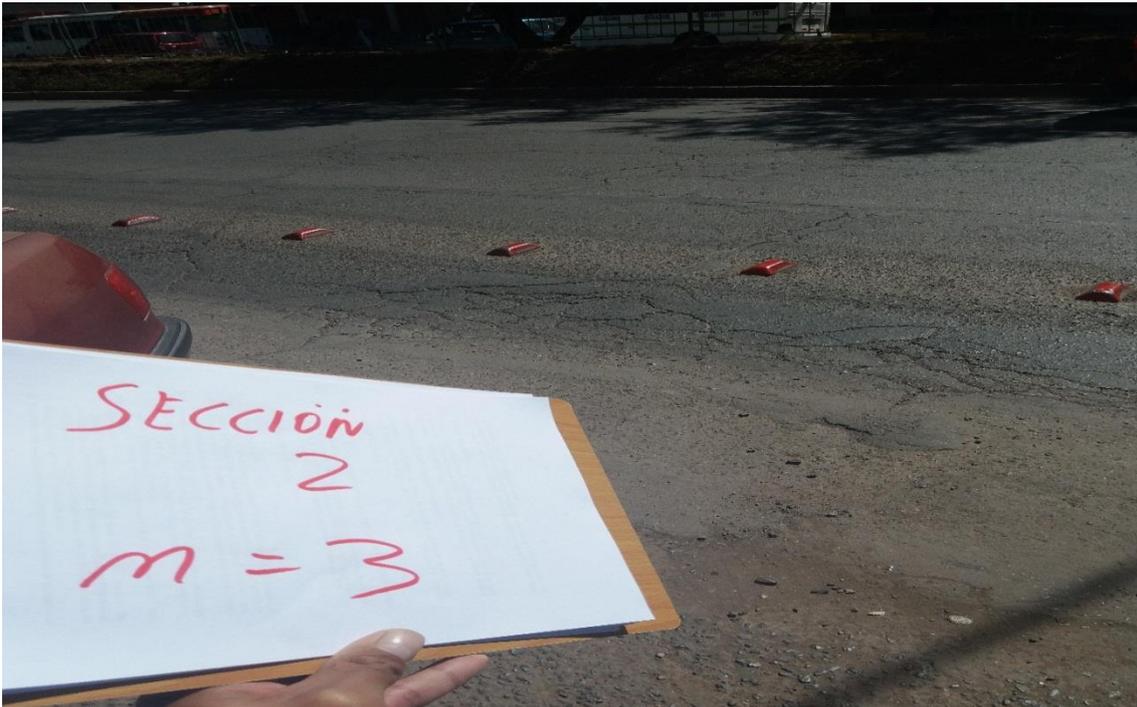
Sección 2. N=1



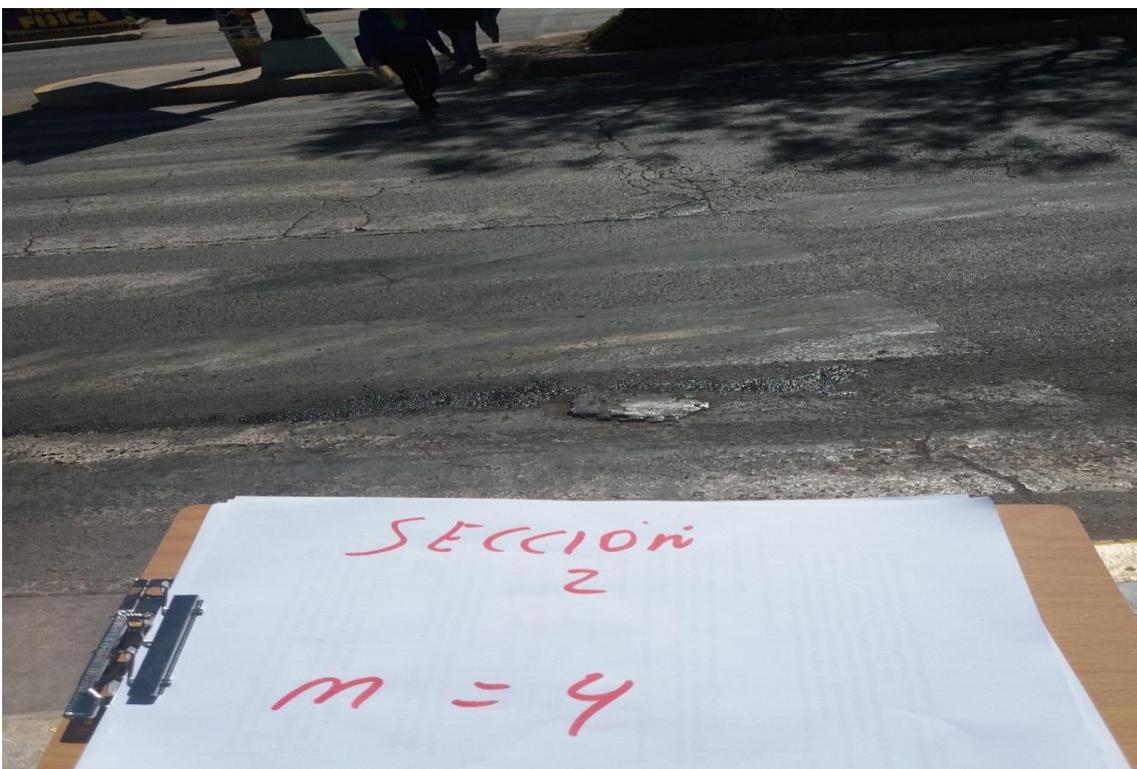
Sección 2. N=2



Sección 2. N=3



Sección 2. N=4



Sección 2. N=5

