

# **APLICACIÓN DE UN MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL CON BASE EN DAÑOS SUPERFICIALES DE PAVIMENTO**

## **CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1. GENERALIDADES.-**

La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento a evaluar. El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este.

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente al servicio, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad
- Fallas superficiales
- Pérdida de fricción.

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas, como las definidas en el párrafo anterior.

La calidad del pavimento se puede cuantificar a través de la capacidad estructural del mismo. La cual puede realizarse por métodos debidamente normados, sin embargo cuantificar la comodidad del usuario al transitar por la vía se vuelve relativo a la percepción

de cada usuario, la cual tiene directa relación con la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento en estudio.

Se realizaron estudios para conocer cuáles eran los factores de un camino que influían de manera directa en los costos de operación de los vehículos, demostrando que uno de los principales es el estado superficial, por lo cual se procedió a buscar diversos equipos de medición de la rugosidad.

El Índice Internacional de Rugosidad mejor conocido por IRI, fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial de las carreteras por el Banco Mundial en 1986. Permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicarla en valores de IRI, permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en qué condiciones superficiales se encuentra la red vial y detectar algunas anomalías existentes.

El Índice Internacional de Rugosidad permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el Índice Internacional de Rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

Lo que se pretende es la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de manera más rápida y con métodos que no demanden equipo costoso y personal entrenado que generen retrasos y pérdida de tiempo, sino al contrario realizarlo por métodos visuales a través de la auscultación del pavimento en estudio, analizando las diferentes fallas que se pueden presentar en la capa de rodadura y de esta manera poder cuantificar la regularidad superficial y el confort experimentado por los usuarios al transitar estas vías, y así poder determinar la calidad superficial de la vía de una manera mucho más fácil y que los costos del mismo no sean tan elevado y así poder obtener el índice de estado de la infraestructura

vial, siendo para este, el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) el parámetro de mayor importancia para su determinación, presentando un factor de influencia del 35%.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN.-**

Siendo el mantenimiento de las carreteras uno de los principales problemas debido al rápido deterioro de la capa de rodadura sin importar el tipo de pavimento, sea este: flexible, rígido o mixto, es frecuente encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos que circulan.

No se puede hablar de una causa única del deterioro de las carreteras. Las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores: podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, de errores constructivos, de un deficiente sistema de drenaje en caso de precipitaciones, del efecto de solicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros.

Pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave.

Lo ideal es detectar y evaluar los daños de los pavimentos con la suficiente anticipación, de manera que las reparaciones resultantes correspondan a trabajos de conservación o reparación menor, y no de reconstrucción. De esta forma, se ahorra dinero y recursos, ya que el costo por reparar un pavimento es mucho más elevado que el costo por mantenimiento.

Por lo antes señalado, en la presente investigación, se pretende desarrollar un modelo matemático para determinar el Índice de Rugosidad Internacional a partir del conocimiento de deterioro presente en estructuras de pavimentos.

Con el modelo propuesto se pretende realizar la estimación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) utilizando métodos visuales de auscultación de la infraestructura vial, llevando a cabo inspecciones, utilizando instrumentos y equipo que nos permita obtener los daños superficiales.

### **1.3. DISEÑO TEÓRICO.-**

#### **1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA.-**

Para identificar qué técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar el servicio del pavimento; se debe en primer lugar, evaluar la vía y conocer el estado real en que se encuentra. Para ello, existen varios métodos de evaluación superficial de pavimentos, uno de ellos es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que va a ser estudiado y aplicado en el presente estudio.

Sin embargo los equipos automatizados utilizados para la medición y evaluación de deterioros en pavimentos rígidos y flexibles, si bien permiten tener mejor consistencia y objetividad de la información, lo que permite la normalización de los criterios para la evaluación de los daños, siendo estos sistemas automatizados de gran eficiencia si se relacionan con un buen sistema de administración de pavimentos. Pero el costo para la adquisición de estos equipos es demasiado elevado, aunque posterior a la inversión inicial para adquirir los equipos, el costo de la auscultación automatizada se reduce considerablemente.

Ante esta situación es que se busca opciones para poder resolver este problema que implica la necesidad de aplicar nuevas tecnologías que permitan no solamente la ejecución de los trabajos de mantenimiento en forma eficaz y económica que permitirá calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva, pero abaratando los elevados costos para la adquisición de los equipos y demora de tiempo que esto conlleve.

### **1.3.2. PROBLEMA.-**

¿Cómo determinar el indicador de estado IRI a través de los deterioros y fallas superficiales identificados en pavimentos flexibles en la red fundamental de la ciudad de Tarija?

### **1.3.3. OBJETIVOS.-**

#### **1.3.3.1. OBJETIVO GENERAL.-**

Aplicar un modelo de regresión para la estimación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional IRI), que tenga de base la correlación entre las fallas superficiales y el IRI, procedimiento que se utilizará cuando no se cuente con los equipos necesarios para la determinación de este indicador de estado en forma directa sino a través de un inventario de daños y deterioros superficiales.

#### **1.3.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-**

- Desarrollar los conceptos, principios y características de la determinación del IRI en pavimentos.
- Analizar y describir los métodos disponibles para la obtención del IRI en pavimentos.
- Establecer los tramos de estudio donde se determine el IRI con ambas metodologías que nos sirvan para encontrar la correlación y validación del modelo matemático.
- Realizar mediciones de las fallas en un tramo de estudio para luego poder realizar un procesamiento de datos, para así poder determinar un modelo matemático para calcular el IRI.
- Determinar el IRI a través del modelo matemático en los tramos de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos del IRI en los tramos de estudio y realizar la validación al método utilizado a través del modelo matemático y establecer las valoraciones respectivas.

## **1.4. DISEÑO METODOLÓGICO.-**

### **1.4.1. UNIDAD DE ESTUDIO.-**

Consideramos como unidad de estudio la Evaluación Superficial de Pavimentos a objeto de establecer indicadores de estado superficial de un pavimento.

### **1.4.2. POBLACIÓN.-**

La Evaluación de Pavimentos requiere de métodos establecidos para evaluar su condición superficial, por lo cual nuestra población serán el conjunto de metodologías para evaluar de forma directa e indirecta la condición de estado de los pavimentos.

### **1.4.3. MUESTRA.-**

Del conjunto de metodologías para evaluar pavimentos, utilizamos como muestra representativa al método indirecto de determinación del indicador de estado IRI a través del modelo planteado en base a las fallas que tiene el pavimento.

### **1.4.4. MUESTREO.-**

Se tiene como muestra los tramos:

- TRAMO 1 Av. Callejones - Carretera a San Jacinto
- TRAMO 2 Av. Los Sauces y Av. Julio Arce
- TRAMO 3 Puerta del Chaco – Puente Jarcas

### **1.4.5. VARIABLES.-**

Tenemos establecido en nuestro estudio dos variables independiente y dependiente.

La **variable independiente** es la condición del pavimento flexible deteriorado cuya inventariación de fallas será la base de la información para incorporar al modelo de regresión aplicado para la determinación del IRI.

La **variable dependiente** es el valor del IRI a través del modelo regresión utilizado para su determinación.

#### 1.4.6. MEDIOS.-

**Procedimientos para la recopilación de datos.-** Los procedimientos o técnicas usadas para la recopilación de los datos serán la auscultación visual, la medición de las fallas superficiales, así como también se realizara la medición del IRI con ayuda de un equipo normado.

La técnica para la auscultación del pavimento será la observación de cada una las fallas existentes en el lugar del proyecto y posteriormente la clasificación del tipo de fallas encontradas en el mismo.

La técnica utilizada para realizar la medición de las fallas será mediante el uso de instrumentos para la determinación del tamaño de la falla tales como: cinta métrica para determinar la longitud de la falla y el vernier para determinar el ancho de las fisuras.

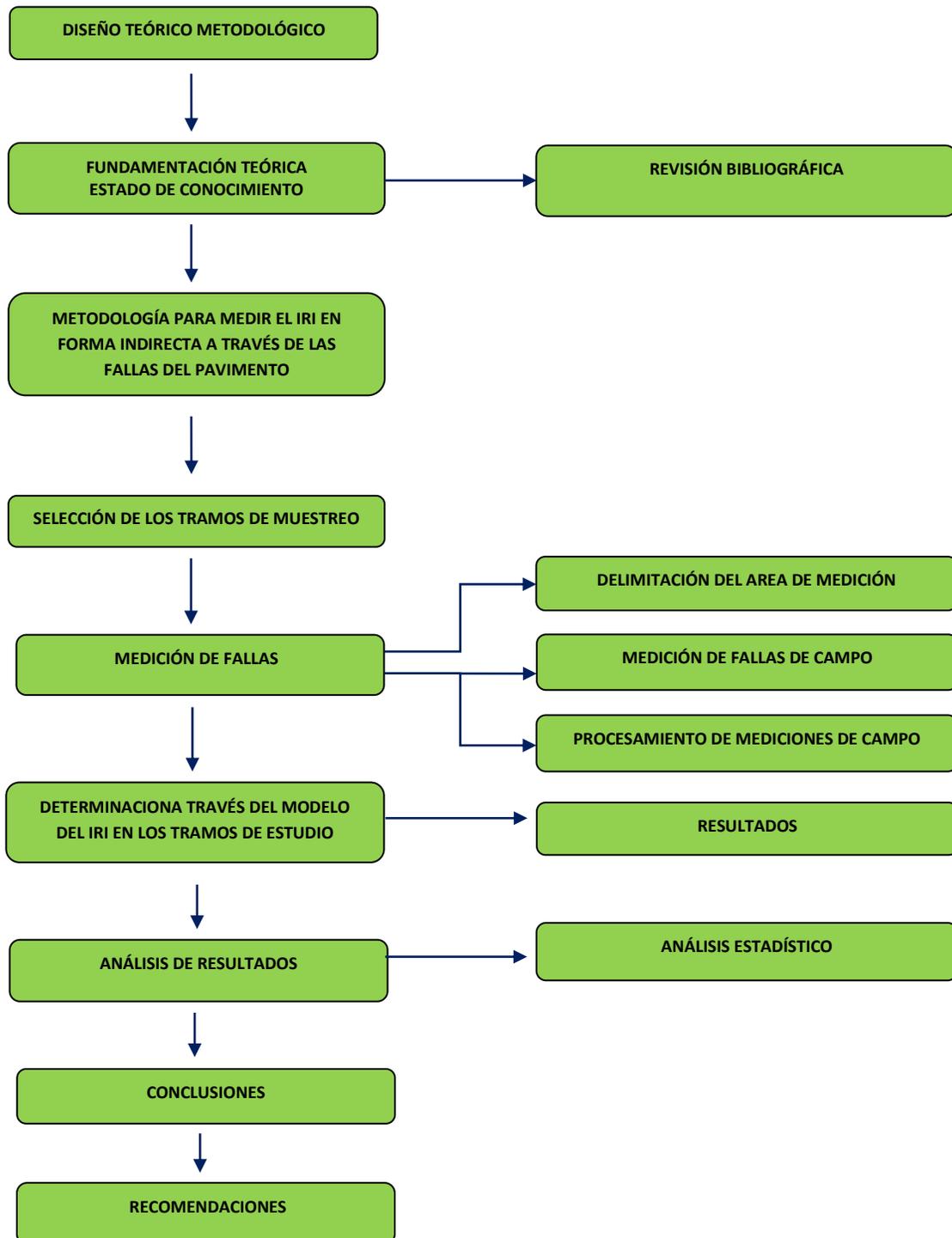
La técnica utilizada para la determinación del IRI con equipo normado será el relevamiento de la superficie con el uso de Equipo topográfico, el nivel de ingeniero y la mira para así una vez terminado el levantamiento de puntos realizar a través de un programa computarizado INPACO para la obtención del valor del IRI.

**Procesamiento de Datos.-** Los datos obtenidos con la auscultación se procesarán luego para exponerlos en forma clara y fácilmente asimilable. El objetivo será obtener a partir de estos datos un modelo matemático para la predicción del IRI (índice de Rugosidad Internacional), así de tal manera sintetizar los valores, a partir de un análisis de toda la información contenida en nuestro inventario de recolección de datos.

Para la realización de nuestro estudio el software a utilizar será:

- Programa Word para el desarrollo de toda la teoría del diseño y presentación final.
- Programa Excel para las planillas de cálculos.
- Programa para la determinación del IRI de nuestro tramo de estudio.

### 1.4.7. METODOLOGÍA.-



En la metodología a emplearse se la puede subdividir en:

- **Información Teórica Marco Conceptual.-** Es la elaboración de toda la parte teórica basada en toda la bibliografía encontrada y utilizada con respecto al tema del proyecto. Se buscará la teoría de mayor relevancia e importancia según los objetivos del proyecto.
- **Recopilación de Datos.-** Se procederá a recopilar datos del lugar de la zona en estudio. Para obtener mayor información se procederá a realizar un relevamiento de todos los aspectos importantes y sobresalientes de la zona en estudio.  
La recopilación de información se refiere a inventariar cada uno de los daños y deterioros superficiales que se pueden encontrar en el tramo en estudio. Para tales daños y/o deterioros se realizara una clasificación de los tipos de falla su severidad. La recopilación de información también comprende la realización de mediciones de daños causados por paso del tiempo en el lugar del proyecto.
- **Procesamiento de Datos.-** Finalizadas las tareas de recolección de datos se procederá a realizar un ordenamiento de los datos obtenidos en campo.  
Se procederá a clasificar los tipos de fallas encontrados en el tramo para poder realizar un una mejor apreciación de los daños superficiales más relevantes que incidirán en la elaboración del proyecto.  
  
Se procederá a determinar resultados obtenidos por auscultación visual y por las mediciones que se realizaran en el lugar.
- **Análisis de Datos.-** Una vez terminado el procesamiento de datos se analiza e interpreta los resultados obtenidos para llegar a si o determinar los parámetros más sobresalientes para la realización del estudio.
- **Tratamiento Estadístico.-** Los métodos y el tratamiento estadístico son fundamentales para verificar la confiabilidad de los datos obtenidos para realizar nuestro estudio.

## **1.5. ALCANCE.-**

El alcance del presente estudio está referido a la aplicación de un modelo para la determinación del IRI y tiene como finalidad recolectar toda la información necesaria acerca de los daños superficiales y procesarla para poder identificar parámetros que son necesarios para realizar el estudio de determinación del IRI, de tal manera que permita identificar de la incidencia que tiene cada uno de los tipos de falla en la determinación del IRI, y posteriormente realizar un análisis comparativo que defina la optimización del método empleado, de tal manera que el análisis nos permita producir con un margen de aceptación el modelo propuesto.

Inicialmente se describen los aspectos importantes del estudio, nos servirá de base para el conocimiento en general sobre el tema en estudio y cada uno de sus puntos importantes sobre el conocimiento del problema a solucionar, los objetivos y alcances del estudio. Además de los medios que se utilizaran y la metodología que se seguirá en la aplicación práctica.

Posteriormente en el siguiente capítulo se procederá a desarrollar el fundamento teórico del estudio, se determinara los conceptos más relevantes con referencia al tema de estudio; conceptos que colaboren y corroboren los objetivos propuestos del proyecto. En tal sentido se desarrollara desde los tipos de pavimento y sus componentes, la evaluación de los pavimento con todas las metodología, haciendo énfasis en lo que respecta a la evaluación superficial, y dentro de ella en la evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional). Por otra parte como establece nuestro objetivo es importante desarrollar la metodología para una evaluación de daños y deterioros superficiales de la carretera de manera que se pueda establecer un indicador de estado.

En forma teórica como fundamento se describirán los diferentes equipos y sus metodologías para medir indicadores de estado.

El capítulo de aplicación práctica debido a que es nuestro objetivo realizar la aplicación cuya realización de cada uno de los puntos para la determinación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional), en este trabajo se inicia con la ubicación del tramo de estudio

para luego realizar un inventario e inspección visual de la superficie del pavimento, teniendo en cuenta el tipo de daños que se pueden presentar en este y llevando un registro de cada uno de estos, para luego procesar esa información para determinar los indicadores de estado que nos proporcionan la información de campo.

Finalmente establecemos las conclusiones y recomendaciones a las que estará referido nuestro estudio serán producto de lo obtenido en todo el estudio realizado a lo largo del desarrollo de cada uno de los puntos tratados en cada fase del proyecto.

## **CAPÍTULO II.- EVALUACIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS Y SUS INDICADORES DE ESTADO**

### **2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, son estructuras formadas por varias capas (sub-base, base y carpeta asfáltica) las cuales se construyen sobre la subrasante.

**La carpeta asfáltica**, que constituye la capa de rodadura es la que soporta directamente las sollicitaciones del tráfico.

Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos para carpetas asfálticas son: granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. En este caso, la granulometría es de mucha importancia, y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos deben cubrirse en su totalidad con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiará la superficie por cubrir. Ya que al aumentar o disminuir los finos, se afecta más la superficie por cubrir, que cuando hay un cambio en las partículas gruesas.

#### **Los agregados**

Los agregados de una mezcla asfáltica deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Sólo el 5 % deben ser alargadas.
2. No contengan material orgánico.
3. No deben tener más del 20% de material blando (laja).
4. Contracción lineal  $<3$ .
5. No debe tener un tamaño mayor a  $2/3$  de la capa.
6. Debe soportar la prueba de interperismo acelerado.
7. Debe soportar la prueba de desgaste con un valor  $<40$ .
8. Debe tener adherencia con el asfalto.
9. Su densidad aparente debe ser mayor a 2,3.

## **Cemento asfáltico**

El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido, de color café oscuro. Para poder ser mezclado con los materiales pétreos, debe calentarse a 140°C.

Las carpetas asfálticas más comunes son los tratamientos superficiales por riego con gravilla y los concretos asfálticos.

**La base**, es la capa del pavimento situada debajo de la capa de rodadura, su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tráfico suele corresponder a la intensidad del tráfico pesado.

Las características que deben tener los materiales, de tal forma que sean resistentes son:

- El valor soporte CBR debe ser > al 50%.
- Debe ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- No deben presentar cambios de volúmenes que sean perjudiciales.
- El porcentaje de desgaste que se realiza con la máquina de los ángeles debe ser < al 50%.
- La fracción de material que pasa el tamiz N° 40 debe tener un límite líquido <25%.
- Su Índice de plasticidad debe ser < al 6%.
- La fracción que pasa el tamiz N° 200 no debe exceder de 2/3 de la fracción que pasa el tamiz N° 40.

**La sub base**, es la capa situada debajo de la base y sobre la subrasante. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos. En todo caso suele ser una capa de transición necesaria.

Las características recomendadas para esta capa son las siguientes:

- El material debe ser granular (A – 1 o A – 2).
- Su límite líquido sea  $<$  al 35%.
- Un índice plástico no  $>$  a 6.
- Un valor soporte CBR  $>$  15%.
- Como su función principal es de ser una capa drenante, el material fino que pasa el tamiz N° 200, no debe ser  $>$  al 8%.

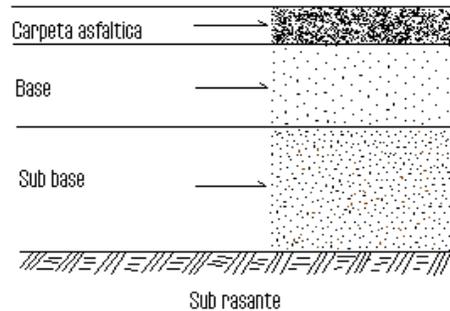


Fig. 2.1 Componentes del pavimento

## 2.2. PROPÓSITOS DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTOS FLEXIBLE

Dichas capas tienen como fin satisfacer los siguientes propósitos:

- 1) Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.

Un pavimento de asfalto debe estar constituido de tal manera que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado, y a la vez, se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción del tránsito. Por lo tanto un pavimento de asfalto debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

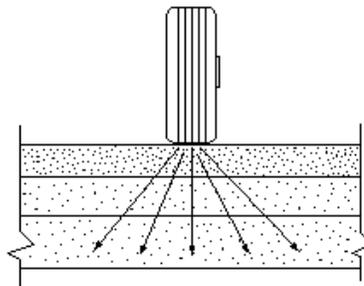


Fig. 2.2 Distribución de cargas de tránsito

2) Tener la impermeabilidad necesaria.

El pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. De esto se deduce que siempre será buena práctica ingenieril el que se cuente con suficiente drenaje al proyectarse un pavimento, ya que incorporado ello a la impermeabilidad necesaria del pavimento en sí, redundará en una obra estable.

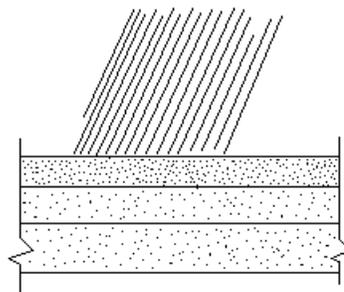


Fig. 2.3 Pavimento con impermeabilidad suficiente

3) Resistir la acción destructora de los vehículos.

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. También el tránsito provoca cierta acción de molienda y amasado. De ahí que el pavimento deba resistir estos efectos.

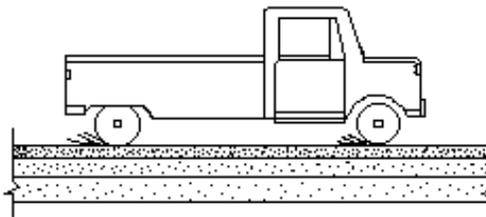


Fig. 2.4 Resistencia a acción destructora de vehículos

4) Tener resistencia a los agentes atmosféricos.

Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman. Es de tenerse en cuenta que hay materiales que resisten mejor que otros estos efectos y por lo tanto la vida económica y útil del pavimento será mayor cuando los materiales que lo formen tengan más capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos.

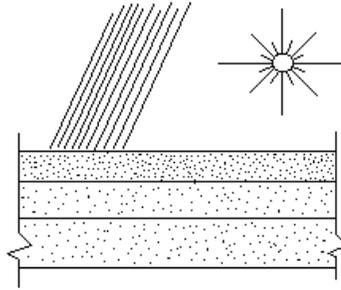


Fig. 2.5 Resistencia a agentes atmosféricos

- 5) Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

La superficie de rodamiento de un pavimento debe de ser segura para la condición de los vehículos y lo suficientemente lisa para proporcionar una marcha confortable y una larga vida de los vehículos, sin embargo, esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antideslizante cuando se encuentre húmeda.

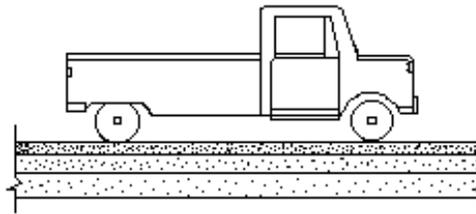


Fig. 2.6 Superficie de rodamiento que permita el transito

- 6) Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o subbase.

En no pocas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de la subbase, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

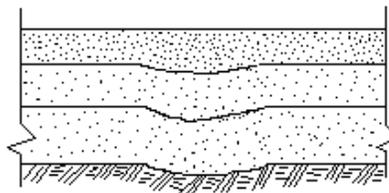


Fig. 2.7 Flexibilidad para adaptarse a fallas

### **2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

El pavimento flexible debe cumplir con ciertas características, tales como:

- Resistencia estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad y
- Costo

#### **Resistencia estructural**

La estructura de un pavimento flexible, debe proyectarse y constituirse de forma que pueda sustentar las más elevadas frecuencias de tráfico y cargas por eje, distribuyendo las presiones y tensiones impuestas; reduciéndolas en magnitud, hasta que puedan ser soportadas con seguridad por el terreno natural.

Por ello, se deben ponderar dos aspectos al momento de diseñar; que son:

1. La capacidad de carga que deberán tener las capas constituyentes del pavimento.
2. La capacidad de carga de la subrasante.

El primer punto, es indicativo de que el espesor del pavimento, debe calcularse para asegurar un comportamiento satisfactorio durante largo tiempo, teniendo en cuentas las condiciones del tráfico, las características del terreno y los materiales de construcción. Esto exige, usualmente, que se empleen materiales de resistencia y valor cada vez más elevados. Las características de los materiales a ser utilizados, influirán en el espesor de cada una de las capas componentes del pavimento y, por lo tanto en el espesor total.

En cuanto al análisis de la capacidad de carga de la subrasante, se puede decir que es de vital importancia, ya que al constituir el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, debe cumplir la función de soportar, y a su vez, transmitir los esfuerzos a la terracería hasta niveles convenientes.

## **La deformabilidad**

El problema de la deformabilidad de los pavimentos, tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia, porque dada la naturaleza de los materiales que forman sus capas, la deformabilidad crece hacia los niveles inferiores. Por lo tanto, desde este punto de vista, la deformabilidad resulta ser importante a niveles relativamente profundos, y esto, debido a dos aspectos:

1. Porque las deformaciones excesivas están asociadas con estados de falla.
2. Y porque un pavimento deformado, pueden dejar de cumplir sus funciones, independientemente a que las deformaciones hayan conducido a un colapso estructural.

Cada vez que una carga ha hecho su paso, ocurre alguna deformación en la superficie y en las capas inferiores. Si la carga es excesiva, sus aplicaciones repetidas ocasionarán asperezas y agrietamientos, los que finalmente conducen a un hundimiento total.

Las deformaciones que se pueden presentar en un pavimento son de dos tipos: Elástica y Plástica.

### **a. Deformación elástica**

Esta ocurre cuando la carga viva o carga por rueda, deforma temporalmente los materiales de la cimentación, comprimiendo el aire que llena los huecos de la base y subrasante. En la deformación verdaderamente elástica, la superficie regresa a su posición original después de que la carga ha hecho su paso, de modo que no se produce una falta de uniformidad permanente, aún, bajo aplicaciones repetidas de la carga.

### **b. Deformación plástica**

Ocurre cuando la presión del fluido y del aire dentro de los poros de la infraestructura, material de cimiento o pavimento, se combina con fuerzas producidas por la carga para desplazar el material del camino. La deformación resultante es progresiva bajo la repetición de la carga y constituye la causa principal del hundimiento de la superficie del camino.

Un problema muy complejo radica en medir la deformación que el pavimento va a sufrir realmente bajo la carga, por lo que en la actualidad, los métodos de diseño, consideran una cierta deformabilidad que este dentro de límites tolerables.

La estimación de las deformaciones elásticas, es posible hacer con razonable precisión conociendo los materiales que constituirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen, y que pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas. La prueba más utilizada es la del deformímetro BENKELMAN.

Una vez determinado el módulo de deformación de las diferentes capas, la deformación elástica puede ser determinada en base a las teorías dadas para tal efecto.

La medición de las deformaciones plásticas se ha atacado con criterios puramente empíricos, cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño, requiere de extrapolaciones experimentales; por ejemplo, la diversidad de las cargas se refiere a una carga única llamada estándar, resultado de estudios estadísticos en tramos experimentales o carreteras sometidas a la acción de tránsito real o clasificado. Se intenta que la carga estándar tome en cuenta el efecto de repetición, pues al definirla, se ha correlacionado su propio efecto destructivo con el que causarían las cargas reales con sus repeticiones respectivas.

### **La durabilidad**

Las incertidumbres prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar, porque no se conoce ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo. Lo único evidente, es el hecho de que la durabilidad de una determinada vía, está íntimamente ligada con los trabajos de conservación que puedan realizarse en la vía.

### **El costo**

El costo para la construcción de una carretera, está en función directa del tipo de pavimento elegido y de los materiales que intervendrán en su estructura, porque una subrasante resistente, será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, pudiendo usar sobre

ella, capas de espesores reducidos sin comprometer la estabilidad general, lo que conduciría a generar ahorros en la inversión.

## 2.4. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Las vías terrestres se planean y se construyen para que estén en servicio un determinado número de años (como mínimo), que se llama vida útil de la obra.

Al estar en operación una obra vial, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra vial, que aceleren su falla, por lo que para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

El deterioro que se va teniendo en las obras viales, se va observando y se le asigna una calificación, dándole un valor de 1 a 5 que se llama índice de servicio. Cuando una obra se pone a funcionar, recién construida, debe tener una calificación entre 4.5 y 5, la cual va disminuyendo conforme pasa el tiempo ( $n$ ), y según el tipo de mantenimiento que este tenga. Fig. 2.8.

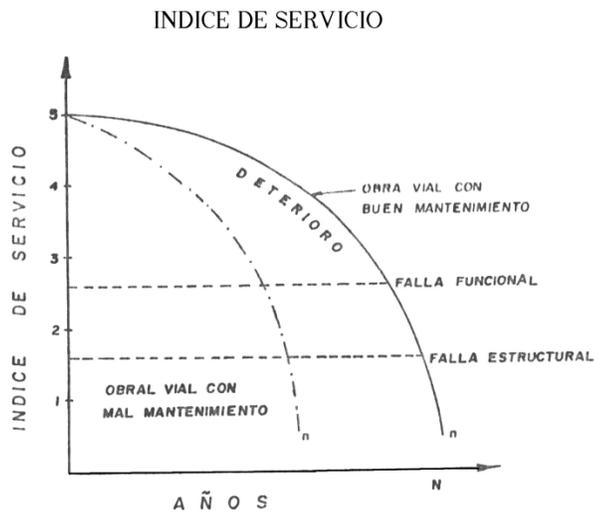


Fig. 2.8 Índice de Servicio

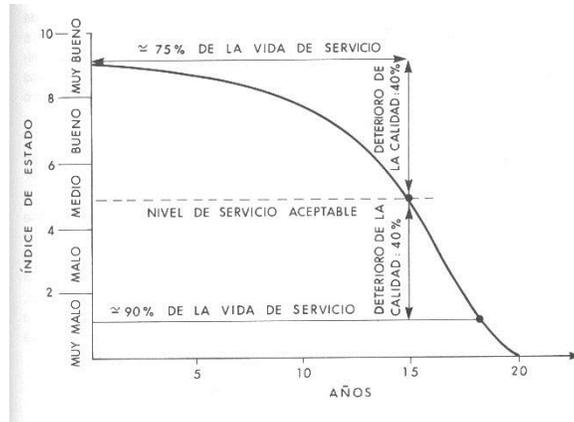


Fig. 2.9 Nivel de Servicio

La evaluación de pavimentos es una tarea muy importante, que cada institución dedicada al mantenimiento y conservación de las vías (caminos, calles, autopistas) debe realizar, con el único propósito de detectar las posibles fallas o anomalías que pudiera presentar una determinada vía, para luego ver la mejor alternativa de solución en caso de necesitarla, de tal forma poder seguir dando una continuidad de operación a dicha vía.

Para la evaluación de pavimentos, se puede decir que ésta evaluación se la subdivide en:

- Evaluación Superficial
- Evaluación Estructural

#### 2.4.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Se entiende por evaluación superficial la inspección realizada en una vialidad con el objeto de determinar los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento.

Existen diferentes indicadores para establecer el estado superficial de un pavimento. Cada indicador generalmente es expresado a través de fórmulas, en las que se recoge una serie de parámetros del pavimento. Para cada indicador existen tablas en las cuales se dan valores que indican en que condición se encuentra el pavimento, generalmente cada país en su norma de pavimentos establece estos límites.

En el caso de nuestro país no existe una norma respecto a estos indicadores. Los diversos organismos internacionales que investigan los pavimentos han creado diversos índices que

permiten evaluar en qué estado se encuentra, esto con la finalidad de recomendar una rehabilitación oportuna.

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

- Índice de condición de pavimento (PCI).
- Índice de serviciabilidad presente (PSI).
- Índice de regularidad internacional (IRI).
- Índice de estado (IE).

Cada uno de estos indicadores establece rangos para evaluar el pavimento. Su finalidad principal es definir en qué estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también puede ser un indicador de la necesidad de realizar una evaluación estructural.

Existen otros indicadores como el IFI (Índice de Fricción Internacional), que nace a mediados de la década de los noventa. La importancia de este indicador radica en que un pavimento con un IFI determinado, éste donde éste, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado para obtenerlo.

## **2.4.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL**

### **2.4.2.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN PCI (PAVIMENTO CONDITION INDEX) ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO**

El método de evaluación de pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y. Shain y S.D. Khon y publicado por el Cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos en 1978.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimento (PCI) para carreteras, calles y estacionamientos para proveer al ingeniero de:

- a) Un método estándar para evaluación de la condición de la superficie operacional de una sección de pavimento.
- b) Un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.

- c) Un método para determinar el comportamiento mediante determinación continúa del PCI.

El método determina el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en base a información obtenida de una inspección visual. Este índice ayuda al ingeniero en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación.

El grado de deterioro de un pavimento está en función de:

- El tipo de falla.
- La severidad de la falla (ancho de las grietas, etc.).
- La densidad de la falla (% del área afectada).

$$PCI = 100 - \left[ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} VD(T_i, S_j, D_{ij}) \right] * F$$

Dónde:

PCI = Índice de Condición de pavimento.

VD = Valor de deducción, en función del tipo de falla (Ti), severidad (Sj), y densidad de fallas (Dij) observables en el pavimento.

I = Tipos de falla.

J = Grados de severidad.

P = Número de fallas en el pavimento analizado.

Mi = Grados de severidad para la falla "i".

F = Factor de ajuste, en función de la sumatoria total y el número de valores de deducción mayores que 5.

## 2.4.2.2. MÉTODO DE EVALUACIÓN PSI (PRESENT SERVICE INDEX) ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE

El Índice de Serviabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviabilidad. Para este fin se adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviabilidad, valor que en la práctica no se obtiene, por el contrario si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy grande.

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles, es la utilización de la siguiente ecuación.

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C_1 - 0.3 * C_2 - 0.1 * C_3$$

Dónde:

C1, C2, C3, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala.

Tabla 2.2 Valores para la determinación del PSI

RUGOSIDAD LONGITUDINAL	Valor C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
INTENSIDAD DE GRIETAS Y PARCHES	Valor C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
DEFORMACION TRANSVERSAL	Valor C3
Sin deformidad ni <u>ahuellamiento</u>	1
Medianamente deformado y <u>ahuellado</u>	2
Fuertemente deformado y <u>ahuellado</u>	3

El valor final del PSI de la sección del pavimento es:

$$\overline{PSI} = \frac{\sum PSI_i}{n}$$

Dónde:

PSI<sub>i</sub> = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

### 2.4.2.3. MÉTODO DE EVALUACIÓN IRI (ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)

Este índice como su propio nombre lo indica evalúa el estado de la superficie del pavimento, en qué condiciones se encuentra, por lo tanto al igual que el PSI está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento.

El IRI es el número de irregularidades (desplazamientos verticales), dividido por la longitud del intervalo (m/km). En la actualidad hay diversos instrumentos que permiten obtener el IRI de una manera rápida y precisa.

Aplicaciones:

- Medida y registro de la regularidad superficial de un pavimento.
- Obtención del perfil del mismo.

El IRI no solamente se usa para evaluar pavimentos antiguos. En algunos países como España, se usa para la recepción de obras nuevas. Se ha especificado que el IRI no debe superar determinados valores para realizar la recepción de carreteras.

En lo referente a las escalas de clasificación existen diferentes, en cada país de acuerdo a su experiencia se pueden establecer estos límites. En la tabla 2.1 se muestran valores de IRI para algunos países.

Tabla 2.1. Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE.UU.	< 2.4	2.4 – 4.7	> 4.7		
España	0 – 2.5	2.5 – 4.0	> 4	2.5	1.85
Chile	0 – 3	3.0 – 6.0	> 4	2.5	2.5
Honduras	< 3.5	3.5 – 6.0	> 6		
Uruguay	< 3.9	4.0 – 6.0	> 4.6		

Cada país de acuerdo a su experiencia establece estos límites. En el caso de nuestro país aún no existe una normalización al respecto y generalmente se basan en los de otros países. Esto es muy subjetivo ya que los índices de otros países no reflejan las características de los pavimentos del país.

El PSI y el IRI están relacionados con el estado de la superficie del pavimento y con la perspectiva de confort que el usuario tendrá del mismo. Esto ha llevado a los investigadores a establecer relaciones entre ambos indicadores. Esto es muy importante ya que permitirá realizar las pruebas solamente para uno de ellos, obteniéndose con este dato el otro mediante relaciones realizadas por diferentes autores.

### **2.4.3. TIPO DE FALLAS**

A continuación se muestran las distintas fallas que se presentan en los pavimentos flexibles, los cuales consideraremos en nuestro estudio.

Antes de describir individualmente cada tipo de falla, es importante aclarar algunos puntos que generalmente presentan duda con respecto a la forma de medición de distintas fallas:

- a. Si están presentes la grietas piel de cocodrilo y ahuellamiento en la misma área, ambas fallas se miden separadamente.
- b. Si el pavimento presenta exudación, el agregado pulido no se cuenta en la misma área.
- c. Si existen grietas en los bordes de una falla de elevación – hundimiento, estas se miden separadamente.
- d. Fallas en un bache no se cuentan, ellas sólo afectan la severidad del bache.
- e. Los huecos se miden por número de huecos con una determinada área y no como área total.

En algunos casos se requiere entender como es afectada la calidad de rodaje por diversos tipos de falla a fin de determinar su severidad.

El efecto sobre la calidad de rodaje es:

- **BAJO:** Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.

- **MEDIO:** (1) Se producen vibraciones o saltos significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. (2) Saltos individuales o continuos que producen molestias.
- **ALTO:** (1) Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad. (2) Saltos individuales, que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular.

### 1) GRIETA PIEL DE COCODRILO



Fig. 2.10. Piel de Cocodrilo

Una serie de grietas interconectadas, producidas por fatiga de la mezcla asfáltica. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y se propagan a la superficie, habiendo sido inicialmente grietas longitudinales paralelas. Posteriormente bajo el efecto del tráfico, estas se conectan formando polígonos de diferentes tamaños que semejan la piel de un cocodrilo o un alambre de gallinero.

Estas grietas, que ocurren sólo en áreas sometidas a tráfico, se consideran una falla estructural severa y generalmente son acompañadas de ahuellamientos.

#### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Grietas muy finas longitudinales y paralelas, con poca o ninguna interconexión.

**MEDIA (M):** Grietas más desarrolladas e interconectadas con algo de desintegración en los bordes.

**ALTA (H):** Las grietas han progresado de tal forma que muestran bloques (partículas) bien definidos con fuerte desintegración de los bordes. Algunos pedazos pueden soltarse fácilmente.

**Forma de Medición:**

Se mide en  $M^2$  de área. Es frecuente encontrar diferente severidad en una misma área afectada. En caso que no se pueda separar o estimar las áreas correspondientes a cada nivel, debe considerarse el área total como afectada de la mayor severidad.

**2) EXUDACIÓN DE ASFALTO**



Fig. 2.11. Exudación del Asfalto

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento creando una superficie brillante y reflectiva, normalmente pegajosa. La exudación es causada por exceso de asfalto en la mezcla, en aplicación de sellos, y/o bajo contenido de vacíos. Ocurre normalmente a elevadas temperaturas.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** La exudación ha ocurrido en un grado y es apenas notable. El asfalto no se pega a los zapatos y neumáticos.

**MEDIA (M):** La exudación se ha incrementado. El asfalto se adhiere a zapatos y neumáticos solamente en los días más calurosos.

**ALTA (H):** La exudación es severa y extensa. Una considerable cantidad de asfalto se pega a neumáticos y zapatos al aumentar la temperatura.

**Forma de medición:**

Se mide en M<sup>2</sup> de área.

**3) GRIETAS DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)**



Fig. 2.12. Grietas de Contracción (Bloque)

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares, con lados entre 30 cm. y 3 mts.

Estas grietas son causadas principalmente por contracción del asfalto, por efecto de las variaciones cíclicas de temperatura. No están asociadas con cargas o fatiga, e indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente. Ocurren generalmente en grandes áreas del pavimento, algunas veces en áreas sin tráfico.

En general difieren de las grietas piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y en que éstas últimas son causadas por cargas (fatiga) y ocurren sólo en áreas traficadas.

**Nivel de severidad:**

**BAJA (L):** (1) Grietas sin sellar de ancho inferior a 10 mm. (3/8”).

(2) Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

**MEDIA (M):** (1) Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm. (3/8” a 2”).

(2) Grietas sin sellar hasta 51 mm. (2”) con grietas finas adyacentes.

(3) Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

**ALTA (H):** (1) Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media y/o alta severidad.

(2) Grietas sin sellar de más de 51 mm. (2”) de ancho.

(3) Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacente está severamente dañado.

**Forma de medición:**

Grietas de contracción son medidas en  $M^2$  de área afectada. Normalmente ocurren con una sola severidad en la misma sección de pavimento. Si se observan diferentes niveles de severidad en la misma sección de pavimento. Si se observan diferentes niveles de severidad, estos deben reportarse separadamente.

**4) ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS**



Fig. 2.13. Elevaciones - Hundimientos

Las elevaciones son pequeñas y localizadas protuberancias de la superficie del pavimento. A diferencia de las deformaciones por empuje que son producidos por inestabilidad del pavimento, las elevaciones son producidas por:

- (1) Movimientos y levantamiento de trozos de losas de concreto debajo de la capa asfáltica.
- (2) Hinchamiento por localización.
- (3) Infiltración de materiales en las juntas

Los hundimientos son pequeñas y abruptas deformaciones de la superficie. No debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por hinchamiento.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Producen bajo efecto sobre calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Producen medio efecto sobre calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Producen alto efecto sobre calidad de rodaje.

**Forma de medición:**

Las elevaciones y hundimientos se miden en metros lineales. Si estas fallas se presentan perpendiculares al tráfico y separadas menos de 3 mts., se denominan corrugaciones. Si se presentan conjuntamente con grietas ambas deben ser contadas.

## 5) CORRUGACIONES

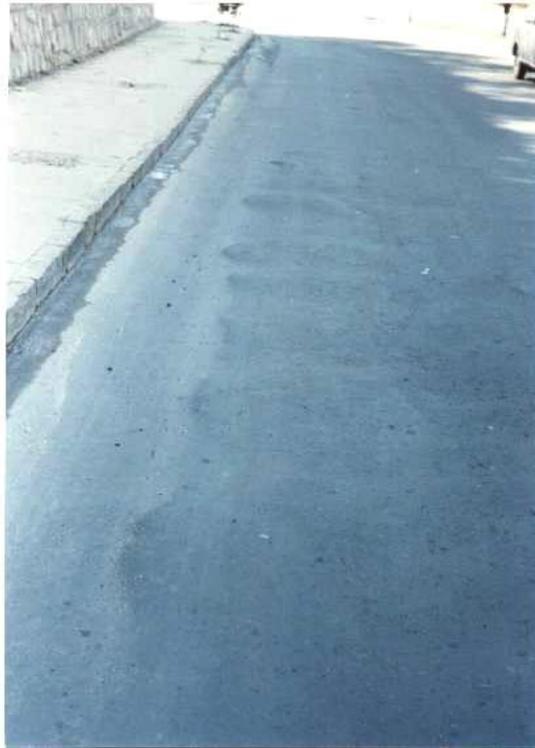


Fig. 2.14. Corrugaciones

Estas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas menos de 3 mts., en sentido transversal al tráfico. Son causadas normalmente por el tráfico en pavimento de base o superficie inestable.

### **Nivel de severidad:**

**BAJA (L):** Produce bajo efecto sobre calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Produce medio efecto sobre calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

### **Forma de medición:**

Se miden en  $M^2$  de área.

## 6) DEPRESIONES



Fig. 2.15. Depresiones

Son áreas de pavimento con elevación inferior a las adyacentes. Las pequeñas depresiones son difíciles de observar en los pavimentos secos.

Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua, que normalmente dejan una marca de contorno al secar.

Generalmente son producto de asentamientos de la fundación o fallas constructivas. Pueden producir rugosidad y ser peligrosas al llenarse de agua. Se diferencian de los hundimientos en que no son abruptos.

### **Nivel de severidad:**

**BAJA (L):** 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulg.).

**MEDIA (M):** 25 a 51 mm (1 a 2 pulg.)

**ALTA (H):** Más de 51 mm (> 2 pulg.).

### **Forma de medición:**

Esta falla se mide  $M^2$  de área.

## 7) GRIETAS DE BORDE



Fig. 2.16. Grietas de borde

Son grietas longitudinales paralelas, contenidas en una franja de 30 a 60 cm. en el borde externo del pavimento. Esta falla es acelerada por las cargas y puede ser causada por congelación de la base y/o subrasante, materiales expansivos y falla de soporte lateral. En algunos casos se puede llegar a producir pérdida del borde por disgregación.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Grietas de baja severidad sin disgregación.

**MEDIA (M):** Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de borde.

**ALTA (H):** Considerable rotura de borde y disgregación en grietas.

NOTA: Nivel de severidad de grietas ver falla N°.

### **Forma de medición:**

Esta falla se mide en metros lineales.

## 8) GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS



Fig. 2.17. Grietas de Reflexión de Juntas

Sólo ocurren en capas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto (rígidos). No incluyen grietas de reflexión de ningún otro tipo de base o material bajo el asfalto superficial. Normalmente son longitudinales y transversales causadas por contracción y expansión, o movimiento de las losas por infiltración de agua.

Esta falla no está asociada con el tráfico, sin embargo, este puede producir disgregación de los bordes. El conocer las dimensiones de la losa de concreto ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

### Nivel de Severidad:

**BAJA (L):** (1) Grietas sin sellar de ancho inferior a 10 mm. (3/8")

(2) Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

**MEDIA (M):** (1) Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm. (3/8" a 2").

(2) Grietas sin sellar hasta 51 mm. (2") con grietas finas adyacentes.

(1) Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

**ALTA (H):** (1) Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media y/o alta severidad.

(2) Grietas sin sellar de más de 51 mm. (2") de ancho.

(3) Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacente está severamente dañado.

**Forma de Medición:**

Se miden en metros lineales, la longitud correspondiente a diferente severidad debe anotarse por separado aun cuando se trate de una sola grieta. Si se observan elevaciones o hundimientos, deben anotarse por separado.

**9) DESNIVEL CALZADA – HOMBRILLO**

Fig. 2.18. Desnivel de Calzada - Hombrillo

Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo. Normalmente causado por erosión o asentamiento del hombrillo, o elevación de la calzada sin nivelar la altura del hombrillo.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** La diferencia de elevación es de 25 a 51 mm (1" a 2").

**MEDIA (M):** La diferencia de elevación entre 51 y 102 mm (2" a 4").

**ALTA (H):** La diferencia de elevación es mayor de 102 mm (4").

**Forma de medición:**

Esta falla es medida en metros lineales.

## 10) GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

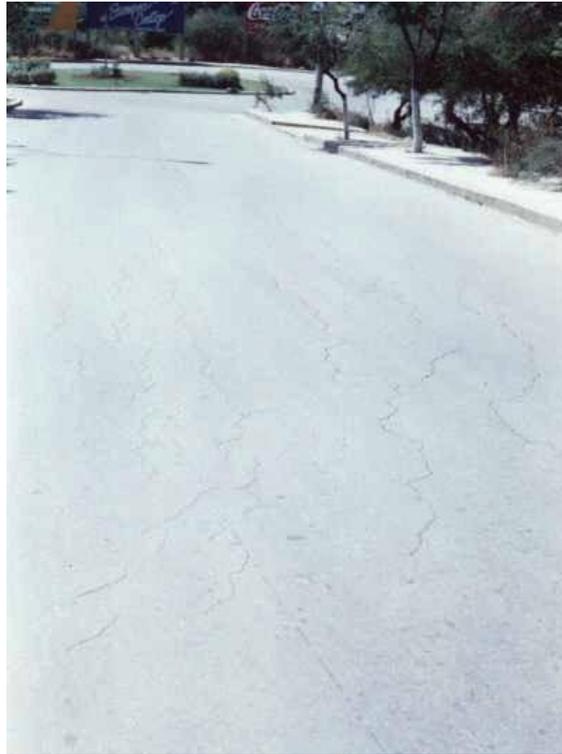


Fig. 2.19. Grietas Longitudinales y Transversales

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o eje de construcción. Son generalmente causadas por:

- (1) Mala construcción de junta de franjas de asfalto.
- (2) Contracción del asfalto debido a los cambios de temperatura y el envejecimiento.
- (3) Reflexión de las grietas del pavimento inferior, grietas en el asfalto.

Las grietas transversales son aproximadamente perpendiculares al eje del pavimento y pueden ser causadas por las mismas razones indicadas.

Estos tipos de grietas no están generalmente asociadas con tráfico y/o cargas.

### Nivel de severidad:

**BAJA (L):** (1) Grietas sin sellar de ancho inferior a 10 mm. (3/8")

- (2) Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

**MEDIA (M):** (1) Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm. (3/8" a 2").

- (2) Grietas sin sellar hasta 51 mm. (2") con grietas finas adyacentes.
- (3) Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

**ALTA (H):** (1) Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media y/o alta severidad.

(2) Grietas sin sellar de más de 51 mm. (2") de ancho.

(3) Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacente está severamente dañado.

### **Forma de medición:**

Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada grieta debe ser identificada.

Si una grieta muestra varias severidades, estas deben diferenciarse. Si una elevación o hundimiento ocurre simultáneamente, también esta debe anotarse.

## **11) BACHEO Y ZANJAS REPARADAS**



Fig. 2.20. Bacheo y Zanjas Reparadas

Un bache es un área del pavimento que ha sido reparada mediante el empleo de material nuevo. Un bache es considerado un defecto, independiente de lo bien que haya sido ejecutado. Generalmente produce algo de rugosidad.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Bache bien ejecutado y en condición satisfactoria. Tiene bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** El bache muestra moderado deterioro, tiene efecto medio sobre calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Bache severamente deteriorado que debe ser reemplazado. Tiene alto efecto sobre la calidad de rodaje.

### **Forma de medición:**

Esta Falla se mide en  $M^2$  de área. Si un mismo bache presenta diferentes niveles de severidad, estos deben anotarse por separado en base al área que ocupen. Ninguna otra falla (como grietas o deformación por empuje) es anotada dentro de un bache, sólo se cuenta el área del bache en función de su severidad.

Si una extensa área del pavimento ha sido reemplazada, esta debe considerarse como pavimento nuevo y no como un bache.

## **12) AGREGADOS PULIDOS**

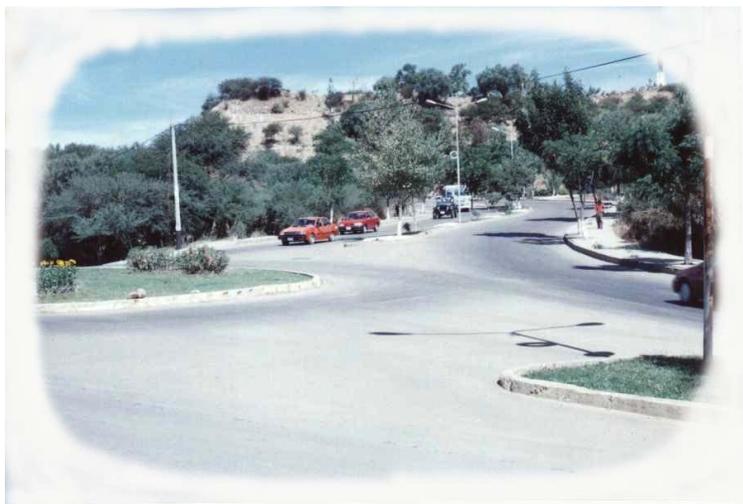


Fig. 2.21. Agregados Pulidos

Esta falla es causada por los pases del tráfico. Cuando el agregado superficial se pule la adherencia con los neumáticos se reduce considerablemente. El agregado pulido se cuenta cuando un examen detallado revela que la textura del pavimento es inadecuada y la

superficie de las partículas de agregado es suave al tacto. Este tipo de falla está asociada con baja resistencia a la fricción.

**Nivel de Severidad:**

No se define el nivel de severidad. Sin embargo, el grado de polidura debe ser significativo antes de que sea incluido como defecto.

**Forma de medición:**

Se mide en M<sup>2</sup> de área. Si hay exudación, debe contarse y el agregado pulido no se considera.

**13) HUECOS**



Fig. 2.22. Huecos

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros generalmente inferiores a 0.9 mts. Usualmente tienen bordes angulosos y verticales en las cercanías de la superficie. Crecen rápidamente por efecto del agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por disgregación de pequeñas áreas del pavimento. Este se desintegra debido a defectos de mezcla, puntos débiles en la base o subrasante o grietas piel de cocodrilo de alta severidad. Los huecos son generalmente causados por una falla estructural y no debe confundirse con disgregación y desintegración. Cuando los huecos son consecuencia del deterioro progresivo de fallas del tipo piel de cocodrilo deben considerarse como huecos y no como disgregación y desintegración.

**Nivel de severidad:**

El nivel de severidad para huecos de diámetro a 76.2 cm. (30") se basa tanto en el diámetro como en la profundidad.

Tabla N°2.3. Nivel de Severidad para Huecos

PROFUNDIDAD MÁXIMA (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)		
	10 a 20 (4" a 8")	20 a 45 (8" a 18")	45 a 76 (18" a 30")
1.2 a 2.5 cm ( 1/2" a 1" )	L	L	M
> 2.5 a 5 cm ( 1" a 2" )	L	M	H
> 5 cm ( > 2" )	M	M	H

Si el hueco tiene más de 76 cm. de diámetro (30") el área debe medirse en  $M^2$  y dividirse entre  $0.47 M^2$  para determinar el número equivalente de huecos. Si la profundidad es menor a 2.5 cm. (1") se considera de severidad media (M). Si la profundidad es mayor de 2.5 cm. se considera de alta severidad (H).

**Forma de medición:**

Se cuenta el número de huecos, clasificándolos en cada nivel de severidad por separado (L, M, H).

#### 14) REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTE



Fig. 2.23. Rejillas de drenaje – Acceso a puente

Ellos producen depresiones o elevaciones que afectan la calidad del rodaje.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

**Forma de medición:**

Se mide el área en  $M^2$ . Si la junta entre la estructura y el pavimento no afecta la calidad de rodaje debe ignorarse.

## 15) AHUELLAMIENTO



Fig. 2.24. Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión longitudinal, bajo las huellas de los neumáticos. El pavimento puede levantarse a lo largo de los bordes de la depresión. Generalmente el ahuellamiento se observa después de la lluvia, al llenarse de agua las depresiones.

El ahuellamiento es originado por la deformación permanente de la subrasante o alguna capa del pavimento, normalmente causado por consolidación o movimiento lateral de los materiales bajo efecto del tráfico. El excesivo ahuellamiento puede producir una falla estructural del pavimento.

### **Nivel de Severidad:**

Profundidad del ahuellamiento.

**BAJA (L):** 6 a 13 mm (1/4 a 1/2" ).

**MEDIA (M):** > 13 a 25 mm (> 1/2" a 1").

**ALTA (H):** > 25 mm (> 1").

### **Forma de medición:**

El ahuellamiento se mide en M<sup>2</sup> de área, y su severidad se determina por la profundidad media del ahuellamiento.

## 16) DEFORMACIÓN POR EMPUJE



Fig. 2.25. Deformación por Empuje

Es un desplazamiento o deformación permanente producida por el tráfico en un área localizada del pavimento. Cuando el tráfico “empuja” sobre el pavimento produce, una corta y abrupta cresta o deformación. Este tipo de falla se produce mayormente en mezclas con asfaltos líquidos o emulsiones, así como en mezclas de baja estabilidad.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

### **Forma de medición:**

Esta falla es medida en  $M^2$  de área.

## 17) GRIETAS DE DESLIZAMIENTO



Fig. 2.26. Grietas de deslizamiento

Son grietas en forma de media luna, con sus puntas en el sentido de la dirección del tráfico. Son causadas por el deslizamiento de la capa asfáltica superficial y ocurren por falta o exceso del riego de adherencia.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** (1) El ancho de grietas es menor de 10 mm. (3/8")

**MEDIA (M):** (1) Ancho de grietas entre 10 y 38 mm. (3/8" a 1.5").

(2) El área adyacente a las grietas muestra grietas finas.

**ALTA (H):** (1) Ancho de grietas mayor de 38 mm. (1.5").

(2) El área adyacente a las grietas muestra trozos sueltos.

### **Forma de medición:**

Se mide en  $M^2$  de área.

## 18) HINCHAMIENTOS



Fig. 2.27. Hinchamiento

Es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido a un hinchamiento de la sub rasante o alguna porción de la estructura del pavimento. Generalmente causados por humedad en suelos expansivos, o expansión por congelamiento en capas granulares.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

### **Forma de medición:**

Esta falla es medida en  $M^2$  de área.

## 19) DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN



Fig. 2.28. Disgregación y Desintegración

La disgregación es el desprendimiento o pérdida sucesiva de material superficial, por la abrasión del tráfico o el clima. Es causado generalmente por el uso de métodos de construcción pobres, la utilización de agregados de baja calidad, y diseño pobre de la mezcla asfáltica.

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos, es el resultado de la evolución de la desintegración de las partículas superficiales. En época de lluvia, forman los charcos de agua.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

**MEDIA (M):** Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

**ALTA (H):** Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

### **Forma de medición:**

Esta falla es medida en  $M^2$  de área.

## 2.4.4. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL

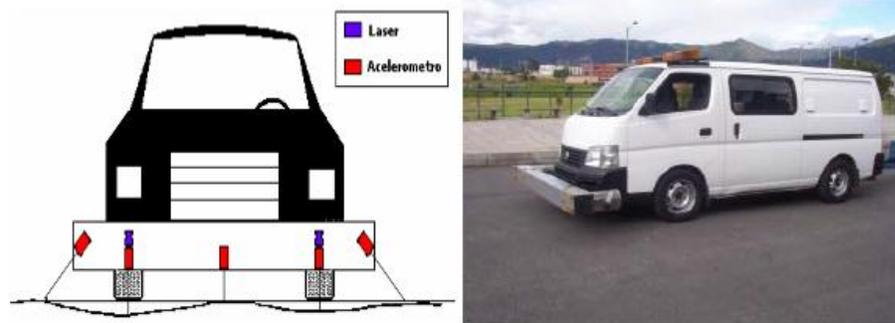
### 2.4.4.1. PERFILÓGRAFO LASER

El equipo utilizado para la toma de la rugosidad es el perfilógrafo láser RSPL5 (Road Surfacer Profiler) de la Cía Dynatest, el cual permite revelar en forma continua el IRI en el carril de circulación del tramo seleccionado.

Existen 7 sensores ubicados en el Bumper delantero del vehículo como se observa en la Figura, los cuales son:

Dos (2) sensores acelerómetros, que miden el desplazamiento vertical del vehículo (aceleraciones verticales).

Cinco (5) sensores láser, que miden el desplazamiento entre el vehículo y el pavimento.



Referencia: U.T. VIAL 0. 5 Informe Instituto Nacional de Vías, 2006

Fig. 2.29. Perfil Laser RSP-L5

Por otra parte la medición de distancias se lleva a cabo por un Odómetro colocado en la rueda del vehículo, al girar da la lectura de la distancia recorrida por el vehículo y obviamente por la viga que sostiene los sensores anteriormente mencionados.

El perfil del pavimento se obtiene por la suma integrada de los 7 sensores, los resultados son grabados y archivados en medio magnéticos por un computador ubicado dentro del vehículo.

Las mediciones de la rugosidad se efectúan de manera continua y se presentan cada 50 m por medio del uso del Perfilógrafo Láser, con el fin de obtener los valores en términos de IRI cuya unidad de medida es el m/Km.

Tabla 2.4. Rango de Calificación del IRI

<b>VARIABLE</b>	<b>BUENO</b>	<b>REGULAR</b>	<b>MALO</b>
IRI	< 3	3 - 5	≥ 5

#### 2.4.4.2. DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

Se aplica una carga dinámica en el pavimento de 40 KN causada por la caída de una masa sobre un plato circular cuya superficie de contacto se asemeja a la de la rueda de un camión.

Las deflexiones producidas son medidas por un grupo de geófonos (sensores) en micrones, en siete puntos ubicados a distancias de 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20, 1.50 y 1.80 m del centro del disco de carga de diámetro 0.30 m, y registradas automáticamente en un computador portátil ubicado en el vehículo que arrastra y controla el trailer de medición.

De esta manera se asegura la determinación de la curva completa del cuenco de deflexiones.



Referencia: U.T. VIAL 0. 5 Informe Instituto Nacional de Vías, 2006

Fig. 2.30. Deflectómetro de Impacto FWD

#### **2.4.4.3.RUEDA DE MERLÍN**

Hoy en día existen numerosos equipos de alta tecnología y rendimiento para la adquisición de la información necesaria para definir el perfil longitudinal o rugosidad de una vía, no obstante sus elevados costos representan una limitación para muchas agencias viales de países en desarrollo. Es por ello que aún se mantiene en uso el equipo -de bajo rendimiento en el caso de evaluaciones de redes viales- diseñado en 1990 por el TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL) de Inglaterra para la medición de la rugosidad en pavimentos asfálticos, de hormigón y de tierra conocido como Equipo MERLÍN (MACHINE FOR EVALUATING ROUGHNESS USING LOW COST INSTRUMENTATION).

Dicho equipo guarda alta precisión y repetibilidad en los datos que suministra, lo cual se ha evidenciado luego de la comparación de valores IRI determinados en base a su uso y los obtenidos por la metodología estandarizada (ASTM: E 1364-90) basada en procedimientos de nivelación topográfica para la determinación del IRI. Esta circunstancia ha servido para que el Equipo MERLÍN sea utilizado como referencia en la calibración del resto de los equipos empleados para la medición de la rugosidad o regularidad superficial.

El MERLÍN es un equipo de aplicación manual cuyo principio se basa en usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto a una cuerda promedio. Según el procedimiento se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto a la cuerda promedio en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que a mayor rugosidad de la superficie, mayor es la variabilidad de los desplazamientos.



Fig. 2.31. Rueda de Merlín



Fig. 2.32. Planilla de la Rueda de Merlín

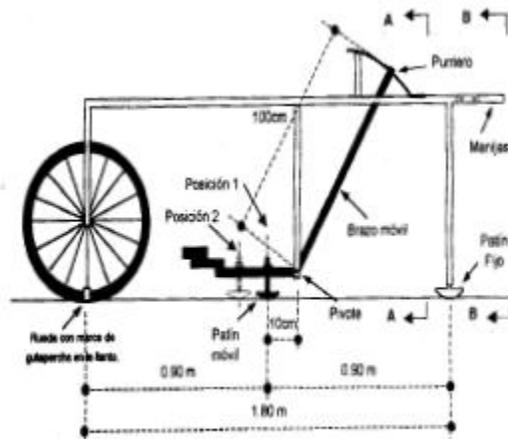


Fig. 2.33. Esquema de la Rueda de Merlín

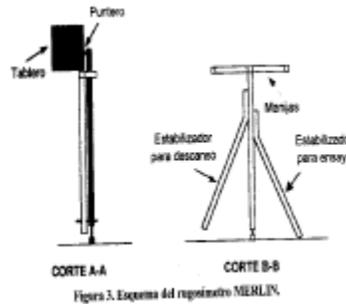


Figura 3. Esquema del rugosímetro MERLÍN.

Fig. 2.34. Esquema del Rugosímetro de Merlín

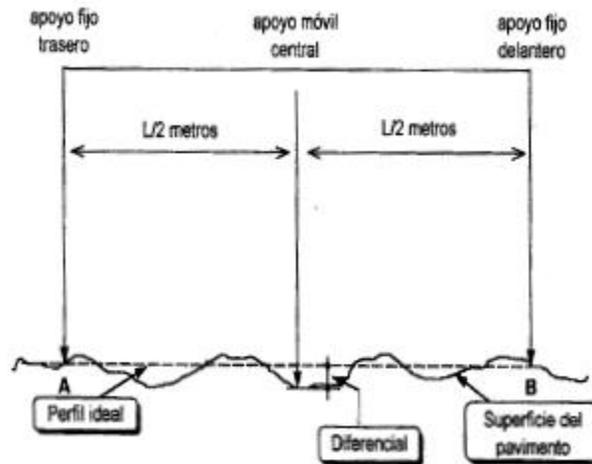


Figura 1. Principio de operación del rugosímetro MERLÍN.

Fig. 2.35. Principio de operación del Rugosímetro Merlín

## 2.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El trabajo de la evaluación superficial de un pavimento flexible, implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento, vale decir la capa asfáltica, desde el momento que este pavimento se pone en servicio.

Este tipo de evaluación debe basarse en:

- a. Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.
- b. Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- c. Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

Por otro lado se debe tener en cuenta una inspección visual continua, porque un pavimento flexible no falla instantáneamente, sino que su deterioro va aumentando en forma continua.

### **2.5.1. ESTADO DE UNA CARRETERA**

En la Ingeniería carretera, la calidad del pavimento se analiza determinando la regularidad superficial, que son las irregularidades verticales acumuladas con respecto a un plano horizontal. Estas irregularidades se deben en mayor medida a dos causas, la primera es un proceso constructivo deficiente y la segunda al tránsito vehicular y, en algunas ocasiones es la combinación de ambas, es decir, que por una mala construcción y por el peso de los vehículos provoca un asentamiento o reacomodo del material que lo constituye y es por eso que las irregularidades se presentan.

Con relación al estado físico de la superficie de rodamiento de un pavimento a través del antiguo sistema y que aún hoy en día es vigente el sistema AASHO (American Association of State Highway Officials) es una medida conservadora pero no deja de ser subjetiva.

En la actualidad para maximizar la rentabilidad de los recursos se han elaborado estrategias de conservación y lograr preservar la vida útil de las carreteras, por lo cual se han hecho estudios relativos a la medición de la rugosidad en la superficie de rodamiento en éstas, el Índice de Rugosidad Internacional y la obtención de la profundidad de roderas.

Para medir la rugosidad de los pavimentos se ha establecido y aceptado el indicador conocido como “Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que mide la rugosidad del pavimento y así saber la uniformidad de la superficie de rodamiento.

La periodicidad de las evaluaciones detalladas dependerá del desgaste de la superficie de rodamiento de la autopista pero nunca deben de pasar más de 2 años entre una y otra evaluación. El IRI se deberá de medir con equipo y personal capacitado, que deberá recorrer toda la longitud de las carreteras año con año y así llevar un seguimiento de los desgastes de la carretera.

- El IRI, profundidad de roderas y los deterioros son los parámetros con los que se permite saber la calidad de la superficie de rodamiento.
- El IRI es una medida de las irregularidades verticales del pavimento lo largo de la zona de rodadura, con respecto a una superficie plana y es equivalente a la relación entre dichas irregularidades acumuladas y la longitud del tramo medido.

Actualmente se utilizan equipos como el perfilógrafo que mediante un sistema gráfico o computarizado que determina las irregularidades en el punto medio, éste puede ser de 3 o 7 [m] de magnitud, éste equipo tiene una velocidad de operación de 20 a 80 [km/h] y no interfiere con el flujo vehicular.

El propósito del sistema es analizar la carretera por segmentos de 1[km] y establecer las características de regularidad superficial. Se realiza la medición del IRI para cada segmento y saber las condiciones de la carretera.

Los valores de IRI normativos de aceptación y rechazo son:

- ✓ Intervalo de aceptación  $0 < \text{IRI} < 2.81$  km/m
- ✓ Intervalo de rechazo  $\text{IRI} > 2.81$  km/m

### **2.5.2. IRREGULARIDAD SUPERFICIAL**

Las diversas metodologías desarrolladas para registrar la irregularidad longitudinal en pavimentos generaron a nivel internacional la necesidad de homologar y armonizar las medidas obtenidas con los distintos equipos. El objetivo fue entonces desarrollar un índice unificado para representar la irregularidad longitudinal, independiente de la técnica de obtención del perfil, y que se correspondiese con la percepción del usuario medio en un vehículo tipo circulando a velocidades normales de operación.

Uno de los principales esfuerzos orientados a obtener este tipo de indicador fue el estudio internacional IRRE (International Road Roughness Experiment) del Banco Mundial (Sayers et al., 1986), que permitió finalmente generar el concepto de IRI (International Roughness Index). El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del

pavimento, que representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola perfecta, para las cuales  $IRI = 0$ ), y el perfil longitudinal real de un pavimento.

Este perfil real tiene, al finalizar la construcción del pavimento, un valor inicial IRI diferente a 0, ya que el mismo proceso constructivo no está exento de irregularidades y defectos menores, dependiendo de la calidad del trabajo y del tipo de pavimento ejecutado. A partir de que el camino se abre al tránsito, el perfil se va modificando lenta y progresivamente a causa del efecto combinado de sollicitaciones de tránsito y factores climáticos, incrementando su irregularidad y aumentando su IRI.

### **2.5.3. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL**

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se está imponiendo el empleo del IRI (Índice Internacional de Regularidad), establecidos a partir de estudios auspiciados por el Banco Mundial (1986). Para definir el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y masas de un vehículo circulando por un tramo de carretera a una velocidad de 80 km/h. Este modelo se denomina QCS (Quarter Car Simulation), o simplemente QI (Quarter Index), dado que representa la cuarta parte de un vehículo de cuatro ruedas o un remolque de una sola rueda.

El IRI en un punto de una carretera se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetros por metro o metros por kilómetro. Valores inferiores a 2 mm/m representan una magnífica regularidad superficial para todo tipo de carreteras; para carreteras secundarias, de velocidad específica en torno a los 80 km/h, basta que el IRI sea inferior a 5 mm/m.

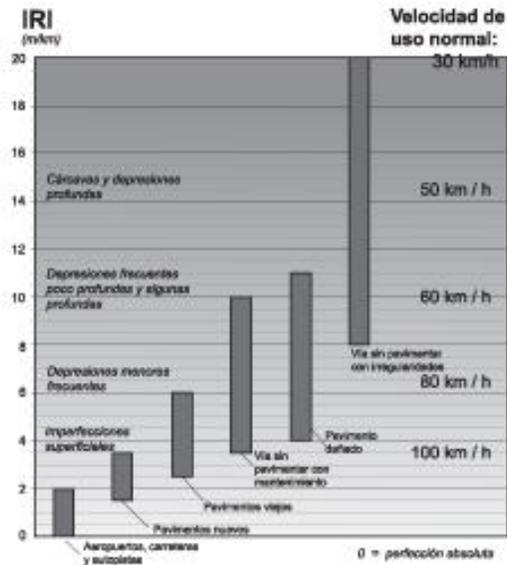


Fig. 2.36. Rango para evaluar el IRI

#### 2.5.4. CARACTERÍSTICAS DEL IRI

- El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento.
- Se determina a partir de las cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas con cualquier técnica de medición.
- Se calcula mediante una integración matemática de los efectos dinámicos del perfil analizado sobre un modelo mecánico estandarizado que representa un cuarto de auto circulando por un tramo de una vía a una velocidad determinada (Reference Quarter Car Simulation)

Se asume que la velocidad de desplazamiento de este modelo es de 80 Km/h.

#### 2.5.5. VENTAJAS DEL USO DEL IRI

Este indicador presenta las siguientes ventajas respecto a otros métodos de medición:

- Es un indicador objetivo de la irregularidad superficial de un camino circulando a una velocidad típica de operación (80 km/h);
- Se obtiene a partir de un perfil longitudinal cuya técnica de obtención no influye sobre el resultado;
- Presenta buena correlación con otras unidades de rugosidad, obtenidas usando aparatos de medición por respuesta;

- El IRI es actualmente el indicador de irregularidad longitudinal más ampliamente aceptado en el ámbito vial internacional, y todo el resto de mediciones trata de correlacionarse con él.

La objetividad del IRI es una de sus ventajas más importantes, ya que no depende de valoraciones subjetivas como ocurre con la serviciabilidad.

Además, no necesita calibración ya que conociendo el perfil, la metodología de cálculo arroja necesariamente un valor único para este indicador. Deben calibrarse los métodos de registro del perfil, en todo caso, para lo cual pueden usarse pistas de prueba con perfil previamente conocido por métodos de alta precisión.

Cabe mencionar que desde el punto de vista de la gestión vial, es muy importante conocer los valores de IRI luego de construcción, recapado o reconstrucción de un pavimento, ya que nunca valen cero, y por lo general estos valores no son adecuadamente controlados en su momento por las organizaciones a cargo de la administración (salvo en caminos concesionados), y después tienen gran incidencia sobre la evolución posterior del IRI, cuando es modelado dentro del SGP.

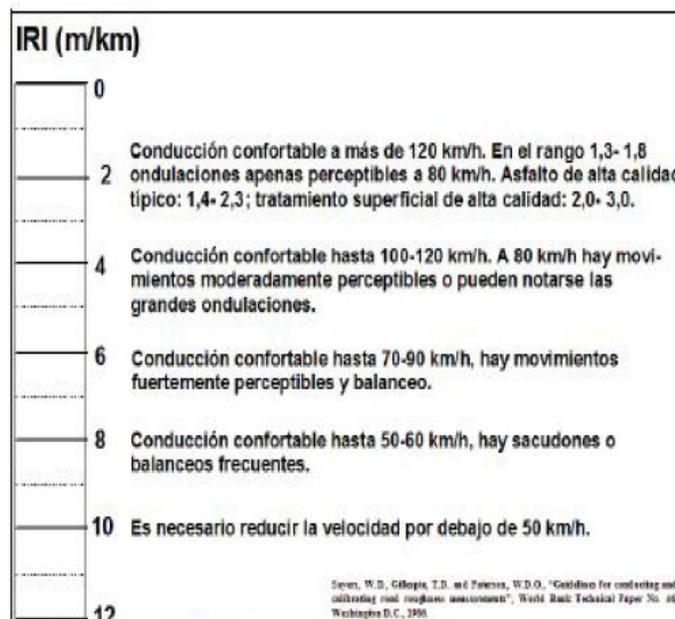


Fig. 2.37. Calificación del IRI

Se debe tener cuidado al seleccionar la tecnología para medición de rugosidad. En algunos casos, más simples, tales como algunas tecnologías de rugosidad pueden obtener mejores

resultados que los más sistemas sofisticados, ya que reflejan los efectos de toda la zona de contacto del neumático con el pavimento de superficie.

La textura del pavimento se presenta a menudo como un problema con las mediciones.

## **2.6. MÉTODO POPUESTO PARA LA DETERMINACIÓN DE IRI (ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)**

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un parámetro que se utiliza en estructuras de pavimentos para cuantificar su regularidad superficial y determinar el confort experimentado por los usuarios al transitar las vías. En algunos países se estipula el uso de parámetros como el IRI, ahuellamiento, fisuras y grietas, deformaciones, resistencia al deslizamiento, entre otros, para determinar el Índice de Estado de la Infraestructura Vial. El Índice de Estado constituye un modelo integral que implementa parámetros estructurales y funcionales en la evaluación de estructuras de pavimentos.

Dentro del modelo del Índice de Estado, el IRI sobresale como el parámetro de mayor importancia. Por otro lado, se evalúa el estado de la infraestructura vial por medio del criterio técnico, el cual tiene en cuenta parámetros como baches, fisuras, deformaciones y ahuellamiento. En la presente investigación, se va desarrollar un modelo matemático para determinar el Índice de Rugosidad Internacional a partir de diferentes deterioros presentes en estructuras de pavimentos. El modelo propuesto permitirá la estimación del IRI utilizando métodos visuales de auscultación de la infraestructura vial.

## **2.7. PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN**

La metodología desarrollada consiste en un proceso de inspección visual destinado a caracterizar y calificar defectos superficiales. Los requisitos impuestos a la metodología dieron origen al siguiente marco de referencia para el diseño metodológico:

- Lograr una metodología de fácil aplicación y bajo costo, a fin de que sirva como herramienta de gestión a los municipios.

- Constituir un procedimiento sistemático de calificación de estado, a fin de reducir la variabilidad en los resultados.
- Conformar un proceso sistemático de medición de defectos superficiales
- Incorporar elementos básicos de inventario que permitan conformar una base de datos para el desarrollo de modelos de deterioro.

### **2.7.1. INSPECCIÓN VISUAL**

El proceso de inspección consta de dos etapas: Planificación y Calificación de Estado. La Planificación permite organizar las tareas de inspección de modo de que esta sea realizada con el mínimo de recursos, con la menor perturbación posible del tránsito vehicular y peatonal y al menor costo posible. La Calificación de Estado por su parte, consta de un proceso de tres pasos: Identificación de defectos superficiales, Medición y Estimación de Severidad.

#### **A. Planificación**

La planificación toma como base los antecedentes de Codificación. En esta etapa se define qué subred se va a inspeccionar, cuál es el tamaño y localización de las unidades de muestreo, la planificación horaria y diaria de la inspección, la duración total, rendimiento y cantidad de personal emplear.

#### **B. Calificación de Estado**

Como se mencionó anteriormente, la calificación de estado se realiza en tres pasos. El primer paso corresponde a la identificación de defectos. Se realiza con el apoyo de un Catálogo de Defectos Superficiales, en donde se encuentran registradas las características de los defectos típicos de los pavimentos en Concepción. Estos defectos han sido identificados y caracterizados mediante los trabajos de Lobo et al (1999) y Concha (2001) para pavimentos de hormigón y asfalto.

La severidad mide el grado de deterioro que presenta determinado defecto superficial. Se califica mediante una escala semántica en donde se relacionan los valores de la medición, con umbrales: Medio, Alto y Bajo. Esta escala no es directamente comparable entre defectos individuales.

Como una aproximación, se consideró que la escala semántica utilizada, es al menos comparable entre familias de defectos superficiales.

### **2.7.2. INVENTARIO**

El Inventario, obedece al concepto tradicional empleado en gestión de pavimentos. Se añaden elementos con un mayor nivel de detalle con una codificación independiente, la cual se vincula al resto de datos de codificación dentro del soporte computacional.

Las características del pavimento corresponden esencialmente al tipo de carpeta (Asfalto, Hormigón, Hormigón con recapado). En esta etapa se especifica si el pavimento es nuevo (menos de un año de construido) o antiguo.

Este aspecto del inventario está orientado a la planificación de la inspección, dado que permite especificar cada una de las fallas encontradas en el pavimento y realizar una priorización de inspección en cada una de ellas. Por otro lado, el conocimiento del tipo de tránsito que circula por las calles nos servirá para ponderar la importancia del mismo en el proceso de evaluación.

### **2.7.3. MEDICIÓN DE FALLAS SUPERFICIALES**

Las Mediciones de Fallas Superficiales abarcan una gama de deterioros, de la espeleología de grietas y deformaciones en la superficie. En el 2004 McGhee da un buen ejemplo de fallas de pavimentos con sistemas automatizados y técnicas de recolección de experiencias del usuario.

Existen tres grupos de tecnologías utilizadas para el registro de estas fallas.

El Manual de técnicas se basa en la observación de los inspectores y de la visualización de fallas. Se debe registrar los datos en papel o mediante algún tipo de técnica computarizada. Técnicas de imagen en tomar fotografías de la superficie, ya sea continua o discreta y, a continuación, analizar las imágenes sobre los defectos de la superficie. Así mismo se pueden utilizar técnicas de láser o acústicos para medir deformaciones.

#### **2.7.4. RECOLECCIÓN MANUAL DE FALLAS**

Las fallas de registro manual se basan en observaciones visuales y de registro de la magnitud de las fallas, gravedad y localización de la falla, ya sea en papel o el uso de formas de algún tipo de sistema de registro de datos. Existe una gama de métodos utilizados para describir la superficie de defectos. Estos pueden variar desde una serie de defectos, que registran información precisa sobre los defectos.

Esto tiene grandes ventajas desde el que permite la mejora de la garantía de la calidad de los datos. Mediante la integración de receptores de GPS, la ubicación de referencias de los datos es significativamente buena. Sistemas como Vizi ROMDAS de carretera se utilizan para registrar visualmente los datos de falla durante la conducción a lo largo de la carretera. Los observadores usan teclados de computadoras para el registro de datos. Las observaciones se integran con las posiciones de otras mediciones, tales como la rugosidad y la profundidad. En algunos casos, los datos también pueden ser superpuestos en el registro de imágenes de vídeo.

#### **2.7.5. DIAGNÓSTICO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO**

La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, a veces la única característica que percibe el usuario de la carretera, fundamentalmente, a través de la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto del teórico del proyecto.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador estadístico de la regularidad superficial del pavimento, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI igual a cero) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

La tecnología permite la utilización de los diferentes equipos que se consiguen para la medición de la rugosidad.

## CAPÍTULO III.- APLICACIÓN PRÁCTICA

### 3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La realización del proyecto se desarrolló en la ciudad de Tarija perteneciente a la Provincia Cercado, más concretamente las vías en estudio son la: Av. Los Callejones – Carretera a San Jacinto, Av. Los Sauces, Av. Julio Arce y el Tramo Carretero Puerta del Chaco – Puente Jarcas.

El tramo Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto (Fig. 3.1) conecta la ciudad con el barrio San Blas, San Jacinto, Tolomosa, etc.

Este tramo carretero fue seleccionado a partir de las características necesarias para la realización de nuestro estudio, las cuales son la presencia de fallas superficiales y deterioros del pavimento que debe tener ciertos años de servicio.

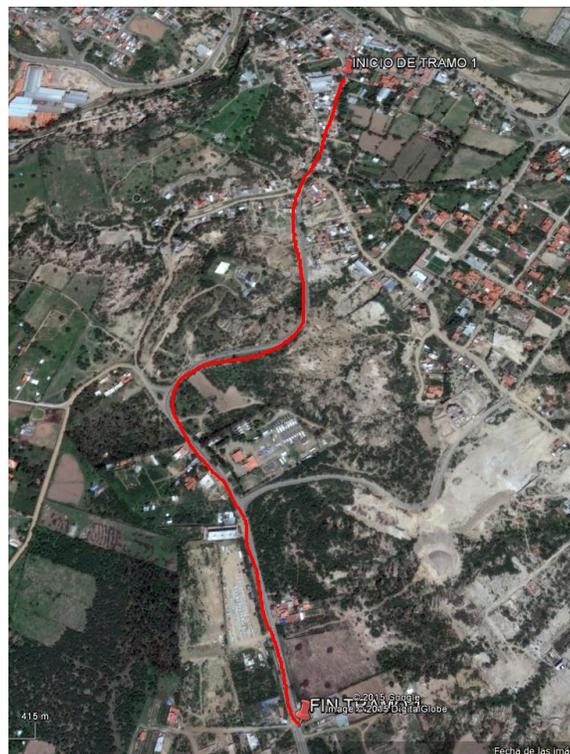


Fig. 3.1. Tramo Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto

Las avenidas Los Sauces (Fig. 3.2) y Julio Arce (Fig. 3.3) fueron elegidas por el tráfico vehicular, el cual se puede decir que es fluido, ya que por esta avenida circulan toda clase

de vehículos como: automóviles, camionetas, camiones, microbuses, vagonetas, y motos, además realizando el recorrido para elegir los tramos de estudio se pudo apreciar que en la zona existen varias fallas superficiales las cuales son necesarias para la realización de nuestro estudio.



Fig. 3.2 Tramo Av. Los Sauces



Fig. 3.3 Tramo Av. Julio Arce

El tramo carretero Puerta del Chaco – Puente Jarcas (Fig. 3.4), que conecta las poblaciones de Tarija con Entre Ríos y es parte de la carretera que conecta Tarija con Villa Montes y Yacuiba.

Este tramo carretero tiene más de 5 años de servicio y presenta gran cantidad de fallas superficiales por lo que se consideró este tramo para la realización de nuestro estudio.

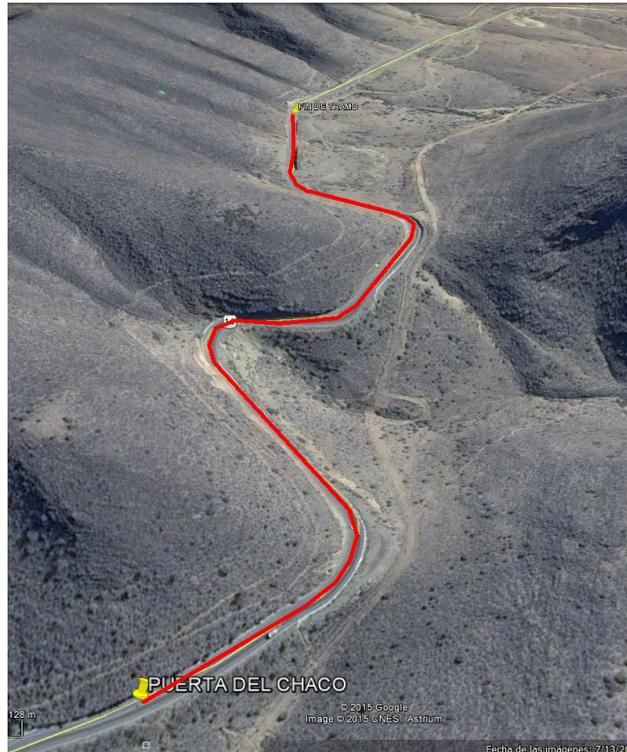


Fig. 3.4 Tramo Carretera Puerta del Chaco – Canaletas

### 3.2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

El tramo “Av. Los Callejones – Carretera a San Jacinto” (Fig. 3.5) es una vía de Categoría 3 según el Servicio Nacional de Caminos, el tramo tiene una longitud aproximada de 3500 m. fue construida en el periodo 1988-1990, fue construida por la empresa constructora “Erika”.

A continuación se detallan las características de la vía en estudio:

Ancho de carril: 3.65m.

Subbase: 25 cm.

Base: 15cm.

Carpeta asfáltica: 5cm.

Las características físicas del tramo en estudio son las siguientes:

Longitud: 1700m.

Nº de segmentos por tramo: 10

Longitud del segmento: 20 m.

Ancho de calzada: 7,30 m.

Área elegida: 146 m<sup>2</sup>.



Fig. 3.5 Tramo Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto

El tramo ubicado en la Av. Los Sauces (Fig. 3.6) tienen una longitud de aproximada de 1500 m. fue construida en el año 1993 – 1995 por la empresa Constructora “Erika”.

A continuación se detallan las características de la vía en estudio:

Ancho de carril: 3.5m.

Subbase: 25 cm.

Base: 15cm.

Carpeta asfáltica: 5cm.

Las características físicas del tramo son las siguientes:

Longitud: 500m.

Nº de segmentos por tramo: 5

Longitud del segmento: 20 m.

Ancho de calzada: 7,00 m.

Área elegida: 140 m<sup>2</sup>.



Fig. 3.6 Tramo Av. Los Sauces

La Av. Julio Arce (Fig. 3.7) tiene una longitud de aproximada de 1500 m. fue construida en el año 1999 - 2001 por la Alcaldía, el pavimento aplicado en este tramo es el pavimento flexible sobre base de empedrado, el cual está conformado por dos capas la base y la carpeta asfáltica como capa de rodadura, la base está compuesta por el empedrado, y la capa de rodadura es una carpeta asfáltica.

La base de empedrado esta sobre una pequeña capa de material seleccionado y descansa sobre la subrasante. Este tipo de pavimento se lo realizó en nuestro medio desde 1995.

Por otra parte después de transcurrir unos años el daño en la carpeta asfáltica era considerable principalmente en el carril derecho de esta avenida, por lo cual se tomó la decisión de remover el pavimento desde el empedrado y colocar el paquete estructural actual.

A continuación se detallan las características de la vía en estudio:

Ancho de carril: 4.0m.

Base: 30cm.

Carpeta asfáltica: 5cm.

Las características físicas del tramo en estudio son las siguientes:

Longitud: 500m.

Nº de segmentos por tramo: 5

Longitud del segmento: 20 m.

Ancho de calzada: 8,00 m.

Área elegida: 160 m<sup>2</sup>.



Fig. 3.7 Tramo Av. Julio Arce

El tramo “Puerta del Chaco – Puente Jarcas” (Fig. 3.8) forma parte de la red vial fundamental y es un tramo de la ruta nacional F - 011, el tramo tiene una longitud de 6200 m. y fue construido en el periodo 2007 – 2009. El Servicio departamental de caminos (SEDECA) ejecutó la construcción del tramo por administración directa hasta el nivel de capa base, la carpeta asfáltica fue ejecutada por la empresa constructora “Erika”.

A continuación se detallan las características de la vía en estudio:

Ancho de carril: 3.65 m.

Ancho de berma: 1.20 m.

Subbase: 20 cm.

Base: 18cm.

Carpeta asfáltica: 5cm.

Las características físicas del tramo en estudio son las siguientes:

Longitud: 1500 m.

Nº de segmentos por tramo: 10

Longitud del segmento: 20 m.

Ancho de calzada: 7,30 m.

Área elegida: 146 m<sup>2</sup>.



Fig. 3.8 Tramo Carretera Puerta de Chaco Canaletas

### **3.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA**

Para la realización del método de evaluación propuesto se desarrolla realizando la medición de cada una de las fallas superficiales encontradas en la capa de rodadura, las mediciones de las fallas se realizará con ayuda de cinta métrica y flexómetro para determinar la longitud de las fallas, también se determinará el espesor de las mismas con la ayuda de un vernier.

A continuación se describe el procedimiento realizado para el método a desarrollarse:

1. Limitación del área de estudio elegida. Se realizó la medición de tramos de una longitud de 20 m cada uno.



Fig.3.9 Área de estudio

2. Determinación de cada una de las fallas encontradas en la capa de rodadura del segmento de estudio.



Fig.3.10 Ubicación de fallas

3. Medición de los deterioros encontrados en la carpeta asfáltica del segmento elegido.



Fig. 3.11. Medición de longitud de Fallas Superficiales con Flexómetro



Fig. 3.12. Vernier para medir el ancho de las fisuras

4. Después de registrar los datos necesarios para el cálculo del IRI mediante el modelo matemático propuesto.
5. Posteriormente se realizará una evaluación de cada una de las fallas, se clasificara los tipos de cada deterioro y se registrara el nivel de severidad para cada falla en los tramos en estudio.

6. Con ayuda del Excel se realizará los cálculos estadísticos necesarios para la aplicación del modelo matemático.
7. Se determinará las fallas de mayor incidencia para poder realizar la aplicación de nuestro modelo matemático para la determinación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).
8. Con los datos necesarios para la aplicación de nuestro modelo se procederá a realizar el cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).
9. Finalmente para la validación de nuestro modelo se realizara la nivelación con nivel de ingeniero y mira, para posteriormente introducir los datos al software denominado INPACO del Instituto de Vías del Cauca de Colombia para la determinación del valor del IRI.

### **3.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS SEGMENTOS DE MEDICIÓN**

Los sectores de evaluación se determinaron después de una minuciosa inspección visual, en la que se recorrió a pie toda la superficie del pavimento, también se realizó un recorrido en vehículo a velocidad de circulación de 60 Km/h a lo largo de todos el tramos y en ambos sentidos, se eligieron los sectores más críticos, para ello se escogieron secciones de 20 metros por cada 100 metros basados en la cantidad de fallas y las deficiencias observadas en el recorrido.

En el tramo 1 correspondiente a la Avenida Los Callejones – Carretera San Jacinto que tiene una longitud aproximada de 1700m, pudimos ubicar 10 segmentos críticos, ubicando los segmentos de 20m de longitud por cada 100m de carretera, como se puede apreciar en la Fig. 3.13. y 3.14.



Fig.3.13 Ubicación de segmentos en tramo 1(Prog. 0+000-0+800)



Fig.3.14 Ubicación de segmentos en tramo 1(Prog. 0+800-1+700)

TABLA 3.1. Segmentos de estudio (TRAMOS 1)

<b>SEGMENTO DE EVALUACIÓN</b>	<b>PROGRESIVA INICIAL</b>	<b>PROGRESIVA FINAL</b>
1	0+020	0+040
2	0+120	0+140
3	0+240	0+260
4	0+480	0+500
5	0+760	0+780
6	1+020	1+040
7	1+160	1+180
8	1+340	1+360
9	1+520	1+540
10	1+660	1+680



FIG.3.15 Segmento 1 (TRAMO 1)



Fig.3.16 Segmento 2 (TRAMO 1)



Fig.3.17 Segmento 3 (TRAMO 1)



Fig.3.18 Segmento 4 (TRAMO 1)



Fig.3.19 Segmento 5 (TRAMO 1)



Fig.3.20 Segmento 6 (TRAMO 1)



Fig.3.21 Segmento 7 (TRAMO 1)



Fig.3.22 Segmento 8 (TRAMO 1)



Fig.3.23 Segmento 9 (TRAMO 1)



Fig.3.24 Segmento 10 (TRAMO 1)

En el tramo 2 al que corresponden la Avenida Los Sauces y la Avenida Julio Arce que tiene una longitud aproximada de 500m cada una, pudimos ubicar 5 segmentos críticos en cada avenida, ubicando los segmentos de 20m de longitud por cada 100m de avenida, como se puede apreciar en las Fig. 3.25 y Fig.3.26.



Fig.3.25 Ubicación de segmentos en tramo 2(Prog. 0+000-0+500)



Fig.3.26 Ubicación de segmentos en tramo 2(Prog. 0+000-0+500)

Tabla 3.2. Segmentos de estudio (TRAMOS 2)

<b>SEGMENTO DE EVALUACION</b>	<b>PROGRESIVA INICIAL</b>	<b>PROGRESIVA FINAL</b>
1	0+020	0+040
2	0+100	0+120
3	0+220	0+240
4	0+360	0+380
5	0+480	0+500
6	0+000	0+020
7	0+100	0+120
8	0+260	0+280
9	0+340	0+360
10	0+460	0+480



Fig.3.27 Segmento 11 (TRAMO 2)



Fig.3.28 Segmento 12 (TRAMO 2)



Fig.3.29 Segmento 13 (TRAMO 2)



Fig.3.30 Segmento 14 (TRAMO 2)



Fig.3.31 Segmento 15 (TRAMO 2)



Fig.3.32 Segmento 16 (TRAMO 2)



Fig.3.33 Segmento 17 (TRAMO 2)



Fig.3.34 Segmento 18 (TRAMO 2)



Fig.3.35 Segmento 19 (TRAMO 2)



Fig.3.36 Segmento 20 (TRAMO 2)

En el tramo 3 que corresponde la Carretera Puerta del Chaco – Puente Jarcas, la misma que para nuestro estudio se consideró el aproximadamente los primeros 1300m, en la misma pudimos ubicar 10 segmentos críticos por analizar, tratando de ubicar los segmentos de 20m de longitud por cada 100m de carretera, como podemos observar en la Fig. 3.37 y Fig. 3.38.



Fig.3.37 Ubicación de segmentos en tramo 3(Prog. 0+000-0+700)



Fig.3.38 Ubicación de segmentos en tramo 3(Prog. 0+700-1+500)

Tabla 3.3. Segmentos de estudio (TRAMOS 3)

<b>SEGMENTO DE EVALUACIÓN</b>	<b>PROGRESIVA INICIAL</b>	<b>PROGRESIVA FINAL</b>
1	0+100	0+120
2	0+240	0+260
3	0+340	0+360
4	0+440	0+460
5	0+540	0+560
6	0+680	0+700
7	0+820	0+840
8	0+960	0+980
9	1+040	1+060
10	1+180	1+200



Fig.3.39 Segmento 21 (TRAMO 3)



Fig.3.40 Segmento 22 (TRAMO 3)



Fig.3.41 Segmento 23 (TRAMO 3)



Fig.3.42 Segmento 24 (TRAMO 3)



Fig.3.43 Segmento 25 (TRAMO 3)



Fig.3.44 Segmento 26 (TRAMO 3)



Fig.3.45 Segmento 27 (TRAMO 3)



Fig.3.46 Segmento 28 (TRAMO 3)



Fig.3.47 Segmento 29 (TRAMO 3)



Fig.3.48 Segmento 30 (TRAMO 3)

### **3.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO**

#### **3.5.1. CUANTIFICACIÓN DE PORCENTAJES FALLAS Y DETERIOROS**

Las fallas visibles deben ser cuantificadas de acuerdo a los siguientes parámetros: tipo, severidad y extensión. El tipo se refiere a que si son fallas funcionales o estructurales, la severidad queda definida por la apariencia de la falla expresada en porcentaje, en unidades de longitud por una descripción comparativa, o por una combinación de ellas, puede ser alta, media o baja. La extensión se expresa en orden de magnitud o de la longitud de la vía afectada.

Para la clasificación de los deterioros encontrados en el área de estudio se hizo uso del manual del Método de Evaluación de Pavimentos PCI, del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos, en el cual existen 19 tipos de fallas encontrados en pavimentos, que son los siguientes:

1. Grieta piel de cocodrilo
2. Exudación de asfalto
3. Grietas de contracción (Bloque)
4. Elevaciones – hundimiento
5. Corrugaciones
6. Depresiones
7. Grietas de borde
8. Grietas de reflexión de juntas
9. Desnivel calzada – berma
10. Grietas longitudinales y transversales
11. Baches y zanjas reparadas
12. Agregados pulidos
13. Huecos

14. Cruce de rieles, por acceso a puentes, pontones y rejillas de drenaje
15. Ahuellamiento
16. Deformación por empuje
17. Grietas de deslizamiento
18. Hinchamiento
19. Disgregación y desintegración

A continuación se muestran los deterioros encontrados en cada segmento identificados en los tramo 1, 2 y 3 de nuestro estudio:

TABLA 3.4. Segmento 1 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.1</b>				
<b>1</b>			11.4	
<b>2</b>			7.93	
<b>3</b>	6.56			
<b>4</b>	5.23			
<b>5</b>				5.89
<b>6</b>		0.4		
<b>7</b>	9.35			
<b>8</b>			4.48	
<b>9</b>	6.54			
<b>10</b>				4.185
<b>11</b>				6.80

TABLA 3.5. Segmento 2 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACION Y DESINTEGRACION
Nº	m2	m2	m	m2	m2	m2
<b>SEG.2</b>						
<b>1</b>				5.67		
<b>2</b>		0.34				
<b>3</b>	6.76					
<b>4</b>						0.25
<b>5</b>						0.06
<b>6</b>						0.09
<b>7</b>						0.04
<b>8</b>						0.03
<b>9</b>						0.1
<b>10</b>			1.3			
<b>11</b>						0.1
<b>12</b>		2.61				
<b>13</b>	6.51					
<b>14</b>						0.05
<b>15</b>						0.22
<b>16</b>						0.05
<b>17</b>		2.72				
<b>18</b>		1.04				
<b>19</b>	3.23					
<b>20</b>				4.68		
<b>21</b>		6.75				
<b>22</b>		7.21				
<b>23</b>	3.9					
<b>24</b>	5.59					
<b>25</b>					8.2	
<b>26</b>					8.01	

TABLA 3.6. Segmento 3 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	m2
<b>SEG.3</b>					
<b>1</b>	6.81				
<b>2</b>	1.44				
<b>3</b>	1.14				
<b>4</b>	1.35				
<b>5</b>	3.00				
<b>6</b>	7.14				
<b>7</b>	2.29				
<b>8</b>				6.09	
<b>9</b>	5.61				
<b>10</b>	6.30				
<b>11</b>				4.13	
<b>12</b>				3.55	
<b>13</b>				2.93	
<b>14</b>		0.6			
<b>15</b>			1.4		
<b>16</b>	8.8				
<b>17</b>				1.83	
<b>18</b>		0.65			
<b>19</b>		0.67			
<b>20</b>					7.11
<b>21</b>					9.56

TABLA 3.7. Segmento 4 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIETAS DE BORDE	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	m2
<b>SEG.4</b>					
<b>1</b>				8.36	
<b>2</b>				5.29	
<b>3</b>	4.62				
<b>4</b>			2		
<b>5</b>	0.94				
<b>6</b>				2.22	
<b>7</b>	9.86				
<b>8</b>			2.55		
<b>9</b>		1.25			
<b>10</b>					
<b>11</b>					6.31
<b>12</b>					6.23

TABLA 3.8. Segmento 5 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m	m2	Nº	m2	m2
<b>SEG.5</b>						
<b>1</b>	22					
<b>2</b>						0.66
<b>3</b>						1.05
<b>4</b>	28					
<b>5</b>					5.85	
<b>6</b>				0.18		
<b>7</b>						0.39
<b>8</b>						0.42
<b>9</b>				0.36		
<b>10</b>						0.35
<b>11</b>					6.9	
<b>12</b>						0.17
<b>13</b>						0.06
<b>14</b>						0.16
<b>15</b>		0.7				
<b>16</b>						0.08
<b>17</b>						0.05
<b>18</b>					13	
<b>19</b>			3.19			

TABLA 3.9. Segmento 6 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	CORRUGACIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	Nº	m2
<b>SEG.6</b>						
1	0.28					
2	0.26					
3					0.09	
4		2.64				
5			0.01			
6		7.2				
7		14.9				
8		7.00				
9				2.07		
10				2		
11			0.03			
12			0.00			
13					0.10	
14				0.86		
15		0.72				
16				1.87		
17		5.72				
18						11.25
19					0.04	
20				1.14		
21				0.56		
22				0.45		
23					0.2	
24		4.64				
25			0.03			
26			0.01			
27			0.02			
28			0.02			
29			0.01			

TABLA 3.10. Segmento 7 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.7</b>				
<b>1</b>			12.00	
<b>2</b>				0.05
<b>3</b>				0.08
<b>4</b>				0.09
<b>5</b>				0.16
<b>6</b>				11.3
<b>7</b>				0.01
<b>8</b>				0.26
<b>9</b>				0.02
<b>10</b>				0.17
<b>11</b>				0.05
<b>12</b>				0.02
<b>13</b>				0.03
<b>14</b>				0.02
<b>15</b>				0.05
<b>16</b>				0.11
<b>17</b>				0.01
<b>18</b>				0.02
<b>19</b>			12.00	
<b>20</b>	1			
<b>21</b>			3.36	
<b>22</b>			4.14	
<b>23</b>			4.4	
<b>24</b>			4.44	
<b>25</b>				0.01
<b>26</b>				0.01
<b>27</b>				0.01
<b>28</b>			2.61	
<b>29</b>			3.65	
<b>29</b>		4.46		

TABLA 3.11. Segmento 8 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.8</b>				
<b>1</b>			11	
<b>2</b>				0.13
<b>3</b>				0.13
<b>4</b>	1.56			
<b>5</b>	1.52			
<b>6</b>				0.01
<b>7</b>				0.01
<b>8</b>				0.07
<b>9</b>				0.04
<b>10</b>				0.04
<b>11</b>				0.02
<b>12</b>				0.02
<b>13</b>				0.01
<b>14</b>				0.02
<b>15</b>		1.78		
<b>16</b>			11	
<b>17</b>			8.9	
<b>18</b>			4.15	
<b>19</b>				0.2
<b>20</b>				0.05
<b>21</b>				0.12
<b>22</b>				0.49
<b>23</b>				0.33
<b>24</b>				0.25
<b>25</b>				0.42
<b>26</b>				0.36
<b>27</b>				0.48

TABLA 3.12. Segmento 9 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCION	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACION Y DESINTEGRACION
Nº	m2	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.9</b>					
1		0.78			
2					0.03
3					0.07
4					0.08
5					0.08
6				5.63	
7				4.64	
8				6.21	
9				7.56	
10					1.12
11					2.08
12					1.16
13					0.76
14					1
15					0.1
16					0.39
17					0.04
18					0.25
19					0.16
20			4.24		
21					0.42
22					0.42
23					0.25
24			4.58		
25					0.32
26					0.08
27	1.75				
28	3.12				
29	0.48				

TABLA 3.13. Segmento 10 (TRAMO 1)

SECTOR O ZONA	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	Nº	m2	m2
<b>SEG.10</b>				
<b>1</b>				0.03
<b>2</b>				0.03
<b>3</b>				0.07
<b>4</b>				0.02
<b>5</b>		0.2		
<b>6</b>				0.13
<b>7</b>				0.03
<b>8</b>				0.08
<b>9</b>				0.12
<b>10</b>				0.05
<b>11</b>	6.13			
<b>12</b>				0.06
<b>13</b>	3.06			
<b>14</b>				0.13
<b>15</b>				0.02
<b>16</b>				0.16
<b>17</b>				0.2
<b>18</b>				0.05
<b>19</b>				0.34
<b>20</b>				0.05
<b>21</b>	2.63			
<b>22</b>	4.72			
<b>23</b>			8.1	
<b>24</b>			2.79	
<b>25</b>			3.285	
<b>26</b>			7.425	
<b>27</b>			15.2	
<b>28</b>			2.08	
<b>29</b>			2.52	
<b>30</b>			2.8	
<b>31</b>			3.375	
<b>32</b>				0.93

TABLA 3.14. Segmento 11 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m	m2	Nº	m2	m2
<b>SEG.11</b>							
<b>1</b>		4.62					
<b>2</b>		0.54					
<b>3</b>		2.45					
<b>4</b>	3.3						
<b>5</b>	2.3						
<b>6</b>	8.4						
<b>7</b>	3						
<b>8</b>			2.80				
<b>9</b>	2.9						
<b>10</b>							0.8
<b>11</b>	2.4						
<b>12</b>		2.09					
<b>13</b>	9.2						
<b>14</b>				6.5			
<b>15</b>				2.9			
<b>16</b>	3.5						
<b>17</b>	5.6						
<b>18</b>						4.8	
<b>19</b>					0.1		

TABLA 3.15. Segmento 12 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	GRIETAS DE DESLIZAMIENTO
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.12</b>				
<b>1</b>			3.6	
<b>2</b>	7.4			
<b>3</b>				0.20
<b>4</b>	2.5			
<b>5</b>	2.3			
<b>6</b>	3.6			
<b>7</b>		5.6		
<b>8</b>		2.6		
<b>9</b>			7.9	

TABLA 3.16. Segmento 13 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE	DISREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m	m	m2	Nº	m2	m2	m2
<b>SEG.13</b>									
1	2.9								
2	3.7								
3		6.84							
4	2	1.96							
5				1.10					
6				1.40					
7				0.4					
8				0.6					
9				0.5					
10				1.00					
11				1.70					
12						0			
13	0.8								
14									0.1
15		7.65							
16		17.98							
17									0
18			28						
19	1.50								
20	1.4								
21		3.28							
22	1.3								
23		10.08							
24	8.5								
25	3.6								
26					1.4				
27					3.6				
28							6.1		
29							5.9		

TABLA 3.17. Segmento 14 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	m2
<b>SEG.14</b>					
<b>1</b>			7.00		
<b>2</b>	0.6				
<b>3</b>			1.30		
<b>4</b>			0.8		
<b>5</b>			0.60		
<b>6</b>			0.30		
<b>7</b>			1.2		
<b>8</b>			0.4		
<b>9</b>	0.3				
<b>10</b>	0.3				
<b>11</b>			0.40		
<b>12</b>			0.30		
<b>13</b>		6.45			
<b>14</b>	2.5				
<b>15</b>			1.50		
<b>16</b>			0.70		
<b>17</b>			1.50		
<b>18</b>	8.3				
<b>19</b>				5.38	
<b>20</b>		11.6			
<b>21</b>	3				
<b>22</b>					6.6
<b>23</b>					6.2

TABLA 3.18. Segmento 15 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.15</b>				
<b>1</b>				5.20
<b>2</b>				6.5
<b>3</b>	0.7			
<b>4</b>	1.80			
<b>5</b>	8.4			
<b>6</b>	6.5			
<b>7</b>			5.10	
<b>8</b>				10.20
<b>9</b>			4.68	
<b>10</b>			6.9	
<b>11</b>		0.39		
<b>12</b>		2.85		
<b>13</b>	5.13			
<b>14</b>	1.6			

TABLA 3.19. Segmento 16 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
N°	m2	m2	m	m	m2	m2
<b>SEG.16</b>						
1		6.7				
2				1.08		
3				1.00		
4		0.5				
5				0.36		
6				0.54		
7				0.43		
8				0.78		
9		5.7			7.35	
10		6.9				
11	3.52					
12	1.69					
13				2.10		
14					10.4	
15		7.6				
16				1.70		
17	3.61					
18				0.86		
19				1.40		
20			1.3			
21				1.80		
22				2.20		
23				4.60		
24				1.25		
25				1.06		
26				1.70		
27					0.24	
28					0.2	
29					0.24	
30					3.15	
31						5.4

TABLA 3.20. Segmento 17 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m	m	m2	m2
<b>SEG.17</b>					
<b>1</b>	7.80				
<b>2</b>			6.70		
<b>3</b>			1.00		
<b>4</b>			0.54		
<b>5</b>			1.10		
<b>6</b>			5.20		
<b>7</b>		3.30			
<b>8</b>				5.27	
<b>9</b>			10.00		
<b>10</b>			6.65		
<b>11</b>			2.80		
<b>12</b>				7.22	
<b>13</b>					4.8
<b>14</b>			2.10		
<b>15</b>			0.85		

TABLA 3.21. Segmento 18 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m	m2	Nº	m2
<b>SEG.18</b>							
<b>1</b>						0.02	
<b>2</b>				2.80			
<b>3</b>					3.6		
<b>4</b>					4.09		
<b>5</b>		2.6					
<b>6</b>	2.34						
<b>7</b>				1.05			
<b>8</b>					3.68		
<b>9</b>					3.41		
<b>10</b>			7.3				
<b>11</b>				1.30			
<b>12</b>				1.20			
<b>13</b>							11
<b>14</b>			4.7				
<b>15</b>					0.21		
<b>16</b>				0.35			
<b>17</b>							4.4
<b>18</b>							8.1

TABLA 3.22. Segmento 19 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m	m	m2	m2	m2
<b>SEG.19</b>							
1	3.22						
2			8.2				
3	3.58						
4	4.20						
5					5.68		
6					15.1		
7				3.6			
8				3.6			
9	4.56						
10				0.24			
11				1.06			
12				0.47			
13				0.83			
14			1.3				
15							0.05
16							0.1
17		2.10					
18	2.04						
19					6.82		
20	2.34						
21	2.34						
22		8.3					
23						6	

TABLA 3.23. Segmento 20 (TRAMO 2)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m	m	m2	m2
<b>SEG.20</b>					
1				12.60	
2			3.00		
3				3.20	
4	2.975				
5			0.50		
6			1.30		
7			2.80		
8	6.40				
9		5.10		5.10	
10	1.35				
11	0.65				
12	10.98				
13				22.04	
14		2.6			
15	1.43				
16	4.55				
17	15.36				
18			5.20		
19			5.30		
20			2.30		
21				0.59	
22			1.30		
23			5.00		
24					6.9

TABLA 3.24. Segmento 21 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	CORRUGACIONES	DEPRESIONES	GRIETAS REFLEXION DE	GRIET.TRANSVERS ALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTOS	GRIETAS DE DESLIZAMIENTO
Nº	m2	m2	m2	m	m	m2	Nº	m2	m2
<b>SEG.21</b>									
1	1.80								
2	5.50								
3	2.16								
4	0.80								
5			0.20						
6			0.31						
7	1.50								
8	1.80								
9		6.50							
10		5.30							
11			0.12						
12			0.3						
13									
14						5.1			
15						7.5			
16			0.2						
17			0.25						
18			0.23						
19			0.26						
20			0.42						
21			0.25						
22						5.3			
23						9.2			
24						6.6			
25			0.48						
26				5.00					
27					6.20				
28					2.60				
29					2.50				
30							d=0,2		
31								4.68	
32								6.51	
33									3.35
34									2.50
35									2.20
36							d=0,6		
37							d=0,5		
38								4.59	
39								4.96	
40								4.99	

TABLA 3.25. Segmento 22 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	CORRUGACIONES	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTES	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE
Nº	m	m2	m2	m	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.22</b>								
1		1.50						
2				2.30				
3				2.00				
4		16.40						
5	0.1							
6	0.04							
7		5.20						
8								3.10
9								2.80
10						1.4		
11							6.80	
12							5.86	
13							6.25	
14			0.48					
15			0.36					
16			0.31					
17			0.33					
18			0.42					
19			0.45					
20			0.38					
21			0.35					
22			0.16					
23			0.2					
24					6.2			

TABLA 3.26. Segmento 23 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	CORRUGACIONES	DEPRESIONES	GRIET.LONG. Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	AHUELLAMIENTO	DEFORMACIONES POR EMPUJE	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN
Nº	m2	m2	m2	m	m2	Nº	m2	m2	m2
<b>SEG.23</b>									
1		1.30							
2		2.10							
3		1.20							
4		1.10							
5			0.20						
6			0.25						
7			0.28						
8			0.31						
9							2.50		
10							3.40		
11								2.10	
12								1.90	
13								2.30	
14								2.10	
15	1.10								
16	0.84								
17	0.62								
18					2.6				
19					5.80				
20	1.89								
21			0.34						
22			0.35						
23					2.36				
24			0.38						
25			0.33						
26			0.24						
27			0.30						
28			0.25						
29			0.28						
30				1.80					
31			1.38						
32			1.10						
33						d=0.3			
34							5.60		
35							6.40		
36							5.20		
37							4.60		
38							4.70		
39							3.40		
40							3.60		
41									4.50

TABLA 3.27. Segmento 24 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	m2
<b>SEG.24</b>					
2					7.30
3					5.80
4					6.10
5					4.60
6					5.23
7			3.00		
8			4.00		
9	3.60				
10	2.10				
11	0.40				
12		0.50			
13			2.50		
14			2.80		
15			1.50		
16			1.00		
17			0.70		
18			1.50		
19		0.48			
20		0.20			
21		0.30			
22		0.20			
23			5.00		
24			4.50		
25			2.00		
26			2.70		
27			6.80		
28			6.80		
29			4.40		
30					6.81
31				4.6	

TABLA 3.28. Segmento 25 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m	m2	m2
<b>SEG.25</b>				
<b>1</b>		2.70		
<b>2</b>		4.60		
<b>3</b>		2.20		
<b>4</b>		3.40		
<b>5</b>		2.30		
<b>6</b>		2.50		
<b>7</b>		1.80		
<b>8</b>		2.30		
<b>9</b>		2.10		
<b>10</b>		1.90		
<b>11</b>		2.10		
<b>12</b>		1.30		
<b>13</b>	0.32			
<b>14</b>	0.29			
<b>15</b>		1.40		
<b>16</b>		1.80		
<b>17</b>		1.30		
<b>18</b>		2.00		
<b>19</b>				5.63
<b>20</b>				5.87
<b>21</b>				6.96
<b>22</b>			5.9	
<b>23</b>			5.9	
<b>24</b>				6.89

TABLA 3.29. Segmento 26 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTES	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m	m2	m2	m2
<b>SEG.26</b>						
1			1.40			
2			1.10			
3			1.70			
4			1.30			
5			1.60			
6			1.80			
7			1.30			
8		0.30				
9		0.25				
10		0.36				
11		0.32				
12			1.80			
13			1.40			
14			0.90			
15			1.70			
16	2.53					
17		1.44				
18			1.90			
19			0.60			
20			3.00			
21			1.00			
22			1.60			
23					0.6	
24						6.38
25						5.64
26						5.90
27						4.55
28						5.62
29				5.7		
30						5.93

TABLA 3.30. Segmento 27 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	CORRUGACIONES	DEPRESIONES	GRIET.LONG. Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	HUECOS	REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTES	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE	GRIETAS DE DESLIZAMIENTO
Nº	m2	m2	m2	m2	m	m2	Nº	m2	m2	m2	m2
SEG.27											
1				1.30							
2					1.60						
3					2.90						
4	1.44										
5	5.10										
6						8.30					
7						9.50					
8				0.32							
9					1.20						
10					2.30						
11					2.40						
12					2.60						
13					2.70						
14			6.50								
15			4.70								
16			5.40								
17		28.00									
18					1.90						
19					1.60						
20					1.40						
21					1.50						
22					1.20						
23					1.20						
24					2.20						
25			8.40								
26			9.50								
27				0.48							
28				0.45							
29				0.38							
30				0.20							
31				0.35							
32							d=0,5				
33								1.60			
34									4.51		
35									6.90		
36										4.20	
37											6.10
38											6.50
39									4.23		
40									5.76		
41										3.50	
42										3.20	
43									4.68		

TABLA 3.31. Segmento 28 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTES	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE	GRIETAS DE DESLIZAMIENTO
Nº	m2	m2	m	m2	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.28</b>								
1		0.36						
2		0.32						
3		0.30						
4			2.00					
5			3.70					
6			1.00					
7			4.30					
8			3.30					
9			3.50					
10			3.50					
11			3.40					
12			3.00					
13			2.00					
14			2.10					
15	24.00							
16		0.36						
17		0.25						
18					1.50			
19						6.94		
20						6.86		
21			1.70					
22			1.90					
23			1.10					
24			4.90					
25			2.5					
26							0.48	
27							0.59	
28								52.5
29				6.28				

TABLA 3.32. Segmento 29 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AGREGADOS PULIDOS	REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTES	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE
Nº	m2	m2	m	m2	m2	m2	m2	m2
<b>SEG.29</b>								
1		1.10						
2			4.50					
3			6.00					
4			5.00					
5			5.00					
6			5.10					
7			2.40					
8			4.30					
9			1.00					
10			1.10					
11			1.20					
12			2.00					
13			2.00					
14	0.40							
15	1.80							
16		0.250						
17					24.00			
18		0.20						
19		0.42						
20			3.00					
21			3.80					
22			3.40					
23			6.20					
24						11.00		
25							6.88	
26				5.98				
27							6.95	
28								4.50

TABLA 3.33. Segmento 30 (TRAMO 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	CORRUGACIONES	DEPRESIONES	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS	DEFORMACIONES POR EMPUJE
Nº	m2	m2	m2	m2	m	m2	m2	m2
<b>SEG.30</b>								
1	1.36							
2							6.83	
3							5.80	
4						5.81		
5		8.70						
6		9.50						
7				0.30				
8			0.80					
9					3.00			
10					1.10			
11					1.10			
12				0.20				
13				0.20				
14								1.60
15								16.80
16								8.40
17					1.30			
18					2.30			
19					2.60			
20					2.50			
21					2.80			
22								9.60
23								2.10
24					1.80			
25					2.10			
26					2.80			
27					3.20			
28					2.70			
29					1.30			

### **3.5.2. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL IRI**

En las siguientes tablas se resumen los resultados estadísticos que obtuvimos de las fallas superficiales que son: grietas piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales, baches y zanjas reparadas y ahuellamiento, las cuales son las que mayor incidencia tiene para la determinación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).

Después del procesamiento de los datos, aplicamos el modelo matemático para la determinación del IRI a partir de la selección de las fallas que tienen mayor incidencia según estudios realizados.

TABLA 3.34. Segmento 1 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+020 PROGRESIVA FINAL 0+040	m2	m2	m2	m2
			11,39	
			7,93	
	6,56			
	5,23			
				5,89
	9,35			
			4,48	
	6,54			
				5,25
			6,80	
<b>SUMA</b>	21,12	0,00	23,80	17,94
<b>MEDIA</b>	5,28	0,00	7,93	5,98
<b>% FALLAS</b>	15,09	0,00	17,00	12,81

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,98) + 0,2062 *(7,93)$$

$$IRI = 3,7158 \text{ m/km}$$

TABLA 3.35. Segmento 2 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+120 PROGRESIVA FINAL 0+140	m2	m2	m2	m2
			5,67	
	6,76			
		0,03		
	6,51			
	3,23			
			4,68	
	3,90			
	5,59			
				8,2
			8,01	
<b>SUMA</b>	25,99	0,03	10,35	16,21
<b>MEDIA</b>	5,20	0,03	5,18	8,11
<b>% FALLAS</b>	18,56	0,02	7,39	11,58

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(8,11) + 0,2062 *(5,18)$$

$$IRI = 3,5308 \text{ m/km}$$

TABLA 3.36. Segmento 3 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+240 PROGRESIVA FINAL 0+260	m2	m2	m2	m2
	6,81			
	1,44			
	1,14			
	1,35			
	3,00			
	7,14			
	2,29			
			6,09	
	5,61			
	6,30			
			4,13	
			3,55	
			2,93	
		0,04		
	8,80			
			1,83	
				7,11
				9,56
<b>SUMA</b>	43,88	0,04	18,54	16,67
<b>MEDIA</b>	3,66	0,04	3,71	8,34
<b>% FALLAS</b>	31,34	0,03	13,24	11,91

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 *(8,34) + 0.2062 *(3,71)$$

$$IRI = 3,2697 \text{ m/km}$$

TABLA 3.37. Segmento 4 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+480 PROGRESIVA FINAL 0+500	m2	m2	m2	m2
			8,36	
			5,29	
	4,62			
	0,94			
			4,62	
	9,86			
				6,31
			6,23	
<b>SUMA</b>	15,42	0,00	18,27	12,54
<b>PROMEDIO</b>	5,14	0,00	6,09	6,27
<b>% FALLAS</b>	11,01	0,00	13,05	8,96

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,27) + 0,2062 *(6,09)$$

$$IRI = 3,3881m/km$$

TABLA 3.38. Segmento 5 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
<b>PROG. INICIAL 0+760 PROG. FINAL 0+780</b>	m2	m2	m2	m2
				5,85
				6,9
		0,01		
				13
<b>SUMA</b>	0,00	0,01	3,18	25,75
<b>MEDIA</b>	0,00	0,01	3,18	8,58
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,01	2,18	17,64

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(8,58) + 0,2062 *(3,18)$$

$$IRI = 3,2059 \text{ m/km}$$

TABLA 3.39. Segmento 6 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+020 PROGRESIVA FINAL 1+040	m2	m2	m2	m2
		0,01		
			2,07	
			2,00	
		0,03		
		0,00		
			0,86	
			1,87	
				11,25
			1,14	
			0,56	
			0,45	
		0,03		
		0,01		
		0,02		
	0,02			
	0,01			
<b>SUMA</b>	0,00	0,13	8,94	11,25
<b>MEDIA</b>	0,00	0,02	1,28	11,25
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,09	6,12	7,71

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(11,25) + 0,2062 *(1,28)$$

$$IRI = 3,2951 \text{ m/km}$$

TABLA 3.40. Segmento 7 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
				12,00
				12,00
	3,15			
				3,36
				4,14
				4,40
				4,44
				2,61
				3,65
		4,46		
<b>SUMA</b>	3,15	0,00	4,46	46,60
<b>MEDIA</b>	3,15	0,00	4,46	5,83
<b>% FALLAS</b>	2,16	0,00	3,05	31,92

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,83) + 0,2062 *(4,46)$$

$$IRI = 2,9716 \text{ m/km}$$

TABLA 3.41. Segmento 8 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGR. INICIAL 1+340 PROG. FINAL 1+360	m2	m2	m2	m2
				11,00
	1,56			
	1,52			
			1,78	
				11,00
				8,90
				4,15
<b>SUMA</b>	3,08	0,00	1,78	35,05
<b>MEDIA</b>	1,54	0,00	1,78	8,76
<b>% FALLAS</b>	2,11	0,00	1,22	24,01

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(8,76) + 0,2062 *(1,78)$$

$$IRI = 2,9495 \text{ m/km}$$

TABLA 3.42. Segmento 9 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+540 PROGRESIVA FINAL 1+520	m2	m2	m2	m2
				5,63
				4,64
				6,21
				7,56
			4,24	
			4,58	
	2,45			
	4,38			
	1,38			
<b>SUMA</b>	8,21	0,00	8,82	24,04
<b>MEDIA</b>	2,74	0,00	4,41	6,01
<b>% FALLAS</b>	5,62	0,00	6,04	16,47

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (6,01) + 0.2062 * (4,41)$$

$$IRI = 2,9947 \text{ m/km}$$

TABLA 3.43. Segmento 10 (Tramo 1)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+660 PROGRESIVA FINAL 1+680	m2	m2	m2	m2
			6,13	
			3,06	
			2,63	
			4,72	
				8,1
				2,79
				3,29
				7,43
				15,2
				2,08
				2,52
				2,8
			3,38	
<b>SUMA</b>	0,00	0,00	16,54	47,58
<b>MEDIA</b>	0,00	0,00	4,14	5,29
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,00	11,33	32,59

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (5,29) + 0.2062 * (4,14)$$

$$IRI = 2,8074 \text{ m/km}$$

TABLA 3.44. Segmento 11 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+020 PROGRESIVA FINAL 0+040	m2	m2	m2	m2
	3,26			
	2,26			
	8,42			
	2,98			
		0,14		
	2,88			
	2,42			
	9,24			
			6,52	
			2,94	
	3,51			
	5,62			
				4,76
<b>SUMA</b>	40,57	0,14	9,46	4,76
<b>MEDIA</b>	4,51	0,14	4,73	4,76
<b>% FALLAS</b>	28,98	0,10	6,76	3,40

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 *Ahu + 0.2062 *Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(4,76) + 0,2062 *(4,73)$$

$$IRI = 2,8349 \text{ m/km}$$

TABLA 3.45. Segmento 12 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+140 PROGRESIVA FINAL 0+160	m2	m2	m2	m2
				3,56
	7,36			
	2,53			
	2,28			
	3,62			
			5,60	
			2,59	
				7,86
	<b>SUMA</b>	15,79	0,00	8,19
<b>MEDIA</b>	3,16	0,00	4,10	5,71
<b>% FALLAS</b>	11,28	0,00	5,85	8,16

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (5,71) + 0.2062 * (4,10)$$

$$IRI = 2,8756 \text{ m/km}$$

TABLA 3.46. Segmento 13 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+220 PROGRESIVA FINAL 0+240	m2	m2	m2	m2
	2,85			
	3,74			
	1,96			
		0,06		
		0,04		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,03		
		0,09		
	0,83			
	1,50			
	1,42			
	1,26			
	8,50			
	3,60			
			1,44	
			3,64	
			6,06	
			5,94	
<b>SUMA</b>	25,66	0,24	5,08	12,00
<b>MEDIA</b>	2,85	0,03	5,08	6,00
<b>% FALLAS</b>	18,33	0,17	3,63	8,57

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,00) + 0,2062 *(5,08)$$

$$IRI = 3,1306 \text{ m/km}$$

TABLA 3.47. Segmento 14 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+320 PROGRESIVA FINAL 0+340	m2	m2	m2	m2
		0,42		
	0,56			
		0,07		
		0,02		
		0,02		
		0,01		
		0,06		
		1,08		
	0,32			
	0,33			
		0,01		
		0,01		
	2,47			
		0,08		
		0,02		
		0,08		
	8,32			
			5,88	
	3,01			
			6,63	
			6,18	
<b>SUMA</b>	15,01	1,85	5,88	12,81
<b>MEDIA</b>	2,50	0,17	5,88	6,41
<b>% FALLAS</b>	10,72	1,32	4,20	9,15

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 *Ahu + 0.2062 *Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,41) + 0,2062 *(5,88)$$

$$IRI = 3,3692 \text{ m/km}$$

TABLA 3.48. Segmento 15 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 0+440 PROGRESIVA FINAL 0+460	m2	m2	m2	m2
				5,20
				6,53
	0,65			
	1,80			
	8,39			
	6,52			
			5,10	
				10,20
			4,68	
			6,87	
	5,13			
	1,61			
<b>SUMA</b>	24,10	0,00	16,65	21,93
<b>MEDIA</b>	4,02	0,00	5,55	7,31
<b>% FALLAS</b>	17,22	0,00	11,89	15,66

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(7,31) + 0,2062 *(5,55)$$

$$IRI = 3,4646 \text{ m/km}$$

TABLA 3.49. Segmento 16 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
		0,01		
		0,01		
		0,001		
		0,002		
		0,001		
		0,002		
			7,35	
	3,52			
	1,69			
		0,02		
			10,41	
		0,01		
	3,61			
		0,00		
		0,01		
		0,01		
		0,02		
		0,05		
		0,00		
		0,00		
		0,01		
			0,24	
		0,20		
		0,24		
		3,15		
			5,36	
<b>SUMA</b>	8,82	0,14	21,59	5,36
<b>MEDIA</b>	2,94	0,01	3,60	5,36
<b>% FALLAS</b>	6,30	0,10	15,42	3,83

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,36) + 0,2062 *(3,60)$$

$$IRI = 2,7089 \text{ m/km}$$

TABLA 3.50. Segmento 17 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
		0,07		
		0,003		
		0,001		
		0,003		
		0,04		
			5,27	
		0,10		
		0,02		
		0,01		
		0,004		
		0,002		
			7,22	
			4,83	
<b>SUMA</b>	0,00	0,25	12,49	4,83
<b>MEDIA</b>	0,00	0,02	6,25	4,83
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,18	8,92	3,45

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 *(4,83) + 0.2062 *(6,25)$$

$$IRI = 3,1600 \text{ m/km}$$

TABLA 3.51. Segmento 18 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
		0,08		
			3,6	
			4,09	
	2,34			
		0,03		
			3,675	
			3,41	
		0,04		
		0,06		
				10,54
			0,21	
		0,01		
				4,41
			8,1	
<b>SUMA</b>	2,34	0,22	14,99	23,05
<b>MEDIA</b>	2,34	0,04	3,00	11,53
<b>% FALLAS</b>	1,67	0,16	10,70	16,46

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 *Ahu + 0.2062 *Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(11,53) + 0,2062 *(3,00)$$

$$IRI = 3,6994 \text{ m/km}$$

TABLA 3.52. Segmento 19 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
	3,22			
	3,58			
	4,20			
			5,68	
			15,12	
		0,01		
		0,01		
	4,56			
		0,0005		
		0,003		
		0,001		
		0,002		
	2,04			
			6,82	
	2,34			
2,34				
			5,96	
<b>SUMA</b>	22,28	0,03	27,62	5,96
<b>MEDIA</b>	3,18	0,005	9,21	5,96
<b>% FALLAS</b>	15,91	0,02	19,73	4,26

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,96) + 0,2062 *(9,21)$$

$$IRI = 3,9747 \text{ m/km}$$

TABLA 3.53. Segmento 20 (Tramo 2)

SECTOR O SEGMENTO	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+160	m2	m2	m2	m2
			12,60	
		0,02		
			3,20	
	2,98			
		0,002		
		0,004		
		0,01		
	6,40			
			5,10	
	1,35			
	0,65			
	10,98			
			22,04	
	1,43			
	4,55			
	15,36			
		0,01		
		0,03		
		0,01		
		0,59		
	0,004			
	0,02			
			6,85	
<b>SUMA</b>	43,70	0,10	43,53	6,85
<b>MEDIA</b>	4,86	0,01	8,71	6,85
<b>% FALLAS</b>	31,21	0,07	31,09	4,89

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,85) + 0,2062 *(8,71)$$

$$IRI = 4,0321 \text{ m/km}$$

TABLA 3.54. Segmento 21 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 0+100 PROGRESIVA FINAL 0+120	1,80			
	5,50			
	2,16			
	0,80			
	1,50			
	1,80			
			5,07	
			7,50	
			5,28	
			9,24	
			6,63	
		0,02		
		0,01		
		0,01		
				4,68
				6,51
				4,59
			4,96	
			4,99	
<b>SUMA</b>	13,56	0,04	33,72	25,73
<b>PROMEDIO</b>	2,26	0,01	6,74	5,15
<b>% FALLAS</b>	9,29	0,02	23,10	17,62

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (5,15) + 0.2062 * (6,74)$$

$$IRI = 3,3199 \text{ m/km}$$

TABLA 3.55. Segmento 22 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
<b>PROG. INICIAL 0+240 PROG. FINAL 0+260</b>		0,005		
		0,01		
				6,80
				5,86
				6,25
		6,23		
<b>SUMA</b>	0,00	0,01	6,23	18,91
<b>PROMEDIO</b>	0,00	0,01	6,23	6,30
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,01	4,27	12,95

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,30) + 0,2062 *(6,23)$$

$$IRI = 3,4230 \text{ m/km}$$

TABLA 3.56. Segmento 23 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROG. INICIAL 0+340 PROG. FINAL 0+360				6,35
	1,10			
	0,84			
	0,62			
			2,61	
			5,8	
	1,89			
			2,36	
		0,01		
				5,60
				6,40
				5,20
				4,60
				4,70
				3,40
			3,60	
<b>SUMA</b>	4,45	0,01	10,77	39,85
<b>PROMEDIO</b>	1,11	0,01	3,59	4,98
<b>% FALLAS</b>	3,05	0,00	7,38	27,29

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(4,98) + 0,2062 *(3,59)$$

$$IRI = 2,6398 \text{ m/km}$$

TABLA 3.57. Segmento 24 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROG. INICIAL 0+440 PROG. FINAL 0+460				7,30
				5,80
				6,10
				6,90
				5,23
		0,01		
		0,02		
	3,60			
	2,10			
	0,40			
		0,01		
		0,01		
		0,005		
		0,002		
		0,001		
		0,005		
		0,02		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,03		
		0,03		
	0,01			
			6,81	
		4,58		
<b>SUMA</b>	6,10	0,18	4,58	38,14
<b>PROMEDIO</b>	2,03	0,01	4,58	6,36
<b>% FALLAS</b>	4,18	0,12	3,14	26,12

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (6,36) + 0.2062 * (4,58)$$

$$IRI = 3,0924 \text{ m/km}$$

TABLA 3.58. Segmento 25 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 0+540 PROGRESIVA FINAL 0+560		0,01		
		0,01		
		0,004		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,004		
		0,004		
		0,003		
		0,004		
		0,003		
		0,01		
				5,63
				5,87
				6,96
		5,91		
		5,85		
			6,89	
<b>SUMA</b>	0,00	0,10	11,76	25,35
<b>PROMEDIO</b>	0,00	0,01	5,88	6,34
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,07	8,05	17,36

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,34) + 0,2062 *(5,88)$$

$$IRI = 3,3570 \text{ m/km}$$

TABLA 3.59. Segmento 26 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 0+680 PROGRESIVA FINAL 0+700		0,003		
		0,002		
		0,01		
		0,003		
		0,005		
		0,004		
		0,004		
		0,01		
		0,01		
		0,003		
		0,003		
	2,53			
		0,01		
		0,001		
		3,00		
		0,003		
		0,005		
				6,38
				5,64
				5,90
			4,55	
			5,62	
		5,66		
			5,93	
<b>SUMA</b>	2,53	3,07	5,66	34,02
<b>PROMEDIO</b>	2,53	0,19	5,66	5,67
<b>% FALLAS</b>	1,73	2,10	3,88	23,30

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,67) + 0,2062 *(5,66)$$

$$IRI = 3,1911 \text{ m/km}$$

TABLA 3.60. Segmento 27 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 0+820 PROGRESIVA FINAL 0+840		0,005		
		0,01		
	1,44			
	5,10			
			8,30	
			7,56	
		0,004		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,005		
		0,01		
		0,003		
		0,002		
		0,004		
		0,01		
				4,51
				6,90
			4,23	
			5,76	
			4,68	
<b>SUMA</b>	6,54	0,10	15,86	26,08
<b>PROMEDIO</b>	3,27	0,01	7,93	5,22
<b>% FALLAS</b>	4,48	0,07	10,86	17,86

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(5,22) + 0,2062 *(7,93)$$

$$IRI = 3,5771 \text{ m/km}$$

TABLA 3.61. Segmento 28 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 0+960 PROGRESIVA FINAL 0+980		0,10		
		0,02		
		0,002		
		0,02		
		0,01		
		0,02		
		0,01		
		0,02		
		0,02		
		0,01		
		0,01		
				6,94
				6,86
		0,003		
		0,01		
		0,00		
		0,02		
		0,01		
		6,28		
<b>SUMA</b>	0,00	0,27	6,28	13,80
<b>PROMEDIO</b>	0,00	0,02	6,28	6,90
<b>% FALLAS</b>	0,00	0,19	4,30	9,45

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0.1806 * (6,90) + 0.2062 * (6,28)$$

$$IRI = 3,5411 \text{ m/km}$$

TABLA 3.62. Segmento 29 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 1+040 PROGRESIVA FINAL 1+060		0,01		
		0,02		
		0,02		
		0,02		
		0,03		
		0,005		
		0,01		
		0,003		
		0,00		
		0,01		
		0,01		
		0,00		
	0,40			
	1,80			
		0,01		
		0,02		
		0,01		
		0,02		
			5,98	
				6,88
			6,95	
<b>SUMA</b>	2,20	0,19	5,98	13,83
<b>PROMEDIO</b>	1,10	0,01	5,98	6,92
<b>% FALLAS</b>	1,51	0,13	4,10	9,47

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1+0.1806 *Ahu+0.2062 *Bach$$

$$IRI = 1+0,1806 *(6,92)+0,2062 *(5,98)$$

$$IRI = 3,4819 \text{ m/km}$$

TABLA 3.63. Segmento 30 (Tramo 3)

SECTOR O ZONA	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	GRIET. LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	AHUELLAMIENTOS
Nº	m2	m2	m2	m2
PROGRESIVA INICIAL 1+180 PROGRESIVA FINAL 1+200	1,36			
				6,83
				5,80
			5,81	
		0,01		
		0,002		
		0,003		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,01		
		0,004		
	<b>SUMA</b>	1,36	0,11	5,81
<b>PROMEDIO</b>	1,36	0,01	5,81	6,32
<b>% FALLAS</b>	0,93	0,07	3,98	8,65

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$IRI = 1 + 0.1806 * Ahu + 0.2062 * Bach$$

$$IRI = 1 + 0,1806 *(6,32) + 0,2062 *(5,81)$$

$$IRI = 3,3385 \text{ m/km}$$

### **3.6. VALIDACIÓN**

La validación en el presente estudio tiene el propósito de comprobar los resultados del IRI obtenidos bajo el proceso de modelización con la ecuación obtenida con un procedimiento directo de manera que su comprobación nos permita garantizar la utilización del procedimiento y el modelo para cualquier tramo de estudio.

El proceso para la validación tiene las siguientes etapas:

- a) Determinación del IRI en forma directa
- b) Comparación con el IRI del modelo
- c) Determinación del grado de confiabilidad

#### **3.6.1. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL IRI**

Para llevar adelante este método de evaluación, se utilizara el software denominado INPACO del Instituto de Vías del Cauca de Colombia.

Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira y nivel de ingeniero de los segmentos elegidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estos son esenciales para la ejecución del programa y posterior determinación del valor del IRI en el tramo de estudio.

A continuación se describe cada uno de los pasos para la nivelación con nivel de ingeniero:

1. Primeramente se determina el área de estudio.



Fig. 3.49 Determinación área de estudio

2. Se procede a la demarcar los puntos cada 50 com. para poder obtener el perfil.

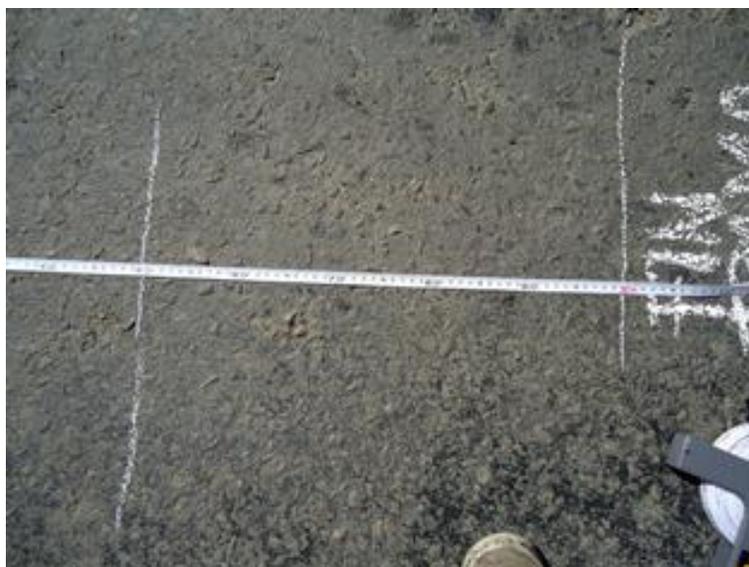


Fig. 3.50 Delimitación cada 50cm para obtener el perfil



Fig. 3.51 Demarcación para obtener las cotas

3. Una vez que tenemos marcada toda el área de estudio en los puntos por dónde va la huella del vehículo,

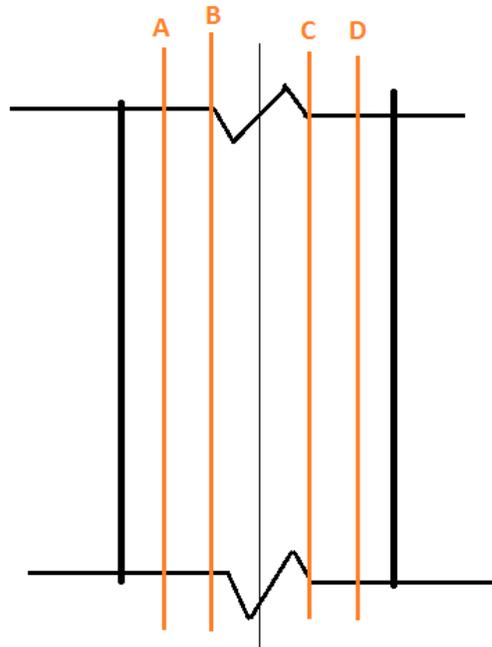


Fig. 3.52 Diagrama de puntos para la nivelación

4. Se procede a realizar el levantamiento con ayuda del nivel de ingeniero y de la mira para poder obtener las cotas.



Fig. 3.53 Mira para lectura de cotas



Fig. 3.54 Nivel de Ingeniero para lectura de cotas

5. Una vez obtenidas las cotas del perfil se procederá al trabajo de gabinete, en el cual cargamos en el programa INPACO las distancias  $\Delta x=50\text{cm}$ , y las cotas para obtener el perfil de la superficie levantada y el IRI.

### 3.6.2. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA INPACO

Para poder meter los datos al programa se debe tener los datos de las lecturas de las cotas como se muestra a continuación:

TABLA 3.64. Cotas para la determinación del IRI

PUNTO	DIST. PARCIAL (mm)	DIST. ACUM.(cm)	HILO MEDIO ATRÁS	HILO MEDIO ADELANTE
0	0	0	1511	
1	500	500	1509	1509
2	500	1000	1506	1506
3	500	1500	1505	1505
4	500	2000	1501	1501
5	500	2500	1499	1499
6	500	3000	1498	1498
7	500	3500	1495	1495
8	500	4000	1497	1497
9	500	4500	1495	1495
10	500	5000	1498	1498
11	500	5500	1495	1495
12	500	6000	1493	1493
13	500	6500	1490	1490
14	500	7000	1487	1487
15	500	7500	1485	1485
16	500	8000	1482	1482
17	500	8500	1484	1484
18	500	9000	1481	1481
19	500	9500	1485	1485
20	500	10000	1482	1482
21	500	10500	1479	1479
22	500	11000	1476	1476
23	500	11500	1478	1478
24	500	12000	1480	1480
25	500	12500	1478	1478
26	500	13000	1475	1475
27	500	13500	1473	1473
28	500	14000	1469	1469
29	500	14500	1468	1468
30	500	15000	1466	1466
31	500	15500	1463	1463
32	500	16000	1464	1464
33	500	16500	1462	1462
34	500	17000	1460	1460
35	500	17500	1461	1461
36	500	18000	1459	1459
37	500	18500	1458	1458
38	500	19000	1459	1459
39	500	19500	1457	1457
40	500	20000	1458	1458

Una vez introducidos los datos al programa el mismo nos determina el valor del IRI como se muestra en la pantalla:

Delta X (mm)	5.000.000
Número Total de Datos	41
Número de Datos Analizados	41
% de Análisis	100.0
Z1	-2.03
Z2	15.13
Z3	-0.76
Z4	137.15
Y	2.00
$\sigma$ RSi	113.770
IRI Calculado (m/km)	2.8442

Fig. 3.55 Detalle del resultado que obtenemos del programa

De los datos introducidos al programa INPACO tenemos los siguientes resultados:

TABLA 3.65. IRI calculado para segmento (TRAMO 1)

Nº SEGMENTO	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	IRI PROMEDIO PARA CADA SEGMENTO
1	2,8442	3,0609	3,1679	2,8242	2,9743
2	3,0991	2,9082	3,3318	3,2568	3,1490
3	2,9174	3,0867	3,1702	3,0979	3,0681
4	3,4088	3,0876	2,492	3,4256	3,1035
5	2,9246	3,0095	3,4171	4,2654	3,4042
6	3,2395	3,5426	3,3556	3,508	3,4114
7	3,9396	3,2098	3,437	3,5513	3,5344
8	3,0735	3,0206	3,7962	3,455	3,3363
9	3,4673	3,9821	3,5316	3,7017	3,6707
10	3,9864	3,5722	3,82	3,8379	3,8041

TABLA 3.66. IRI calculado para segmento (TRAMO 2)

Nº SEGMENTO	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	IRI PROMEDIO PARA CADA SEGMENTO
11	2,4121	3,1354	3,6003	2,5705	2,9296
12	3,0195	3,0215	2,7191	3,1508	2,9777
13	3,1762	3,3033	3,353	3,1808	3,2533
14	3,9589	3,2938	2,9002	3,7871	3,4850
15	3,6829	3,5964	3,7906	3,6346	3,6761
16	2,7646	2,6504	3,3745	2,8026	2,8980
17	3,1392	3,3842	3,3445	3,4061	3,3185
18	3,4125	3,8311	4,2026	4,0426	3,8722
19	3,9776	3,9123	4,1166	4,3385	4,0863
20	4,0877	4,62	4,2624	3,9105	4,2202

TABLA 3.67. IRI calculado para segmento (TRAMO 3)

Nº SEGMENTO	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	IRI PROMEDIO PARA CADA SEGMENTO
21	3,6045	3,6093	3,1418	3,5301	3,4714
22	3,5278	3,8242	3,7066	3,5850	3,6609
23	2,8383	2,813	3,0158	2,6263	2,8234
24	3,0100	3,5258	3,1689	3,2283	3,2333
25	3,5756	3,2416	3,5993	3,8158	3,5581
26	3,4512	3,5668	3,6821	3,6312	3,5828
27	3,8233	3,8354	3,6963	3,7358	3,7727
28	3,8562	3,7523	3,5532	3,4859	3,6619
29	3,4852	3,6953	3,7235	3,5628	3,6167
30	3,5681	3,6833	3,5843	3,7684	3,6510

### 3.6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En las siguientes tablas y graficas se puede observar la variación de los valores del IRI obtenidos por el método indirecto (Aplicación del modelo matemático) y la validación aplicando un método directo (Nivel y Mira):

TABLA 3.68. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 1)

SEGMENTO	IRI (m/km) MÉTODO PROPUESTO	IRI (m/km) MÉTODO ESTÁNDAR	VARIACIÓN PORCENTUAL
1	3,7158	3,8041	-8,8284
2	3,5308	3,6707	-13,9827
3	3,2697	3,3363	-6,6587
4	3,3881	3,5344	-14,6305
5	3,2059	3,4114	-20,5559
6	3,2951	3,4042	-10,9053
7	2,9716	3,1035	-13,1853
8	2,9495	3,0681	-11,8507
9	2,9947	3,1490	-15,4227
10	2,8074	2,9743	-16,6862

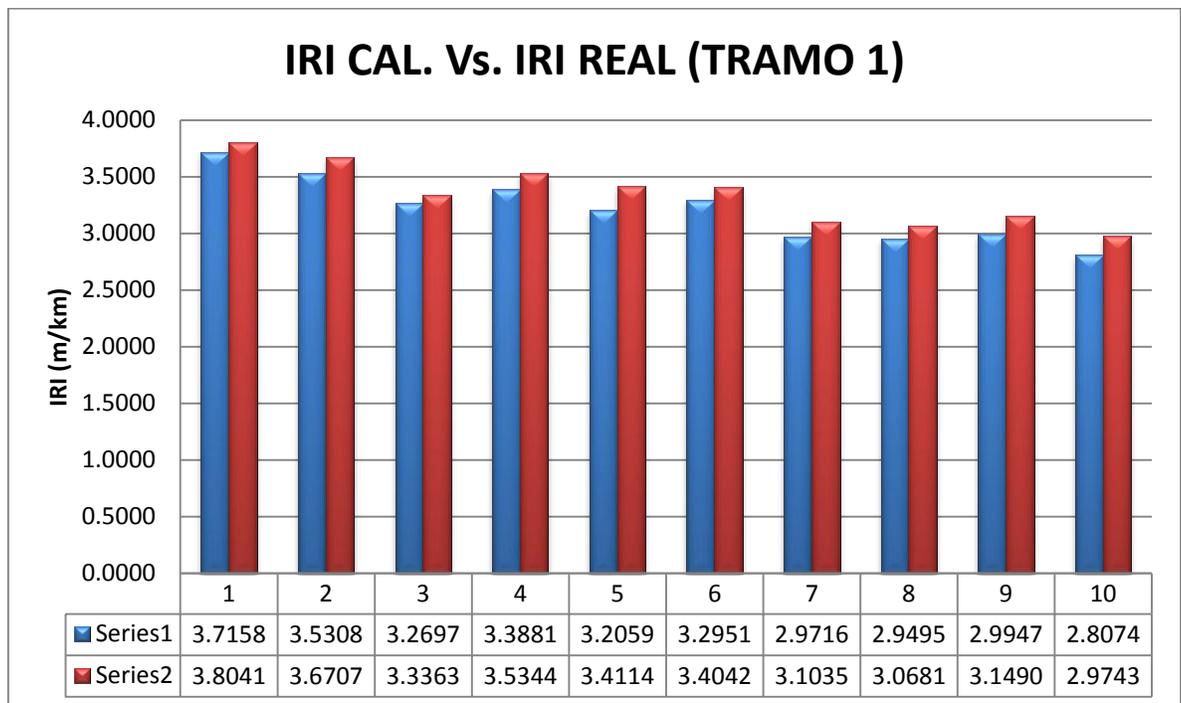


Fig. 3.61. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO(TRAMO1)

TABLA 3.69. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 2)

SEGMENTO	IRI (m/km) MÉTODO PROPUESTO	IRI (m/km) MÉTODO ESTÁNDAR	VARIACIÓN PORCENTUAL
11	2,8350	2,9296	-9,4593
12	2,8756	2,9777	-10,2110
13	3,1306	3,2533	-12,2681
14	3,3692	3,4850	-11,5801
15	3,4646	3,6761	-21,1529
16	2,7090	2,8980	-18,9039
17	3,1600	3,3185	-15,8483
18	3,6994	3,8722	-17,2804
19	3,9748	4,0863	-11,1459
20	4,0321	4,2202	-18,8069

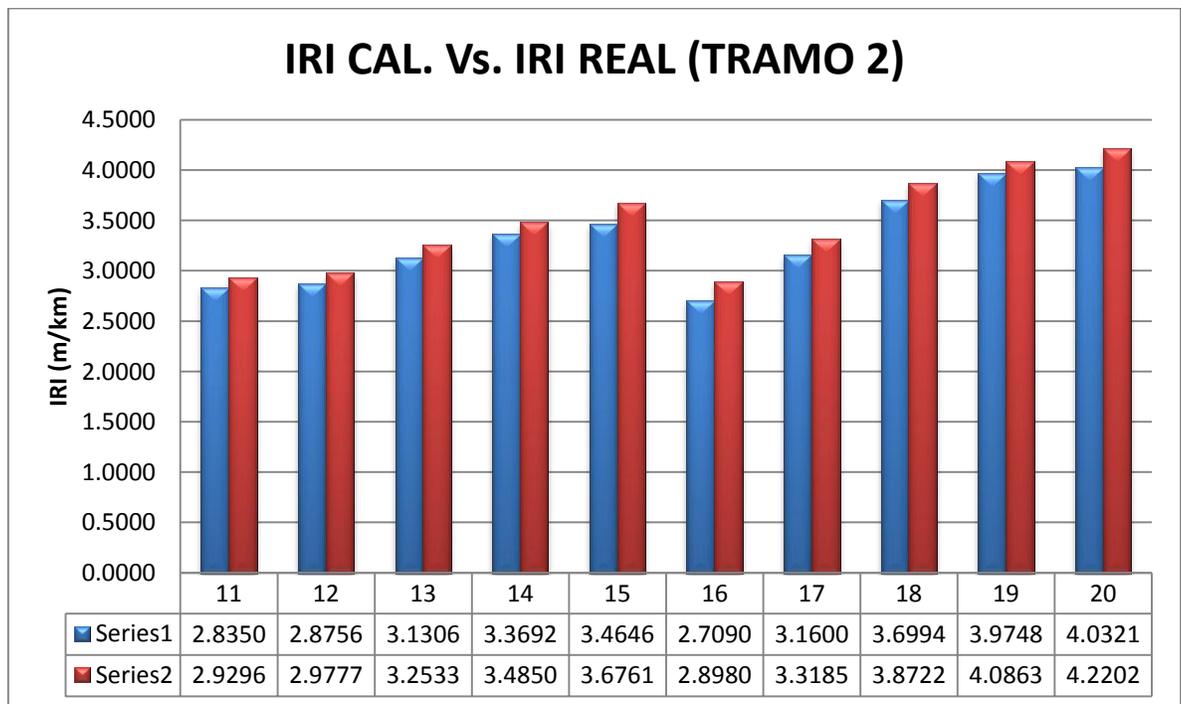


Fig. 3.61. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO (TRAMO2)

TABLA N°70. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 3)

SEGMENTO	IRI (m/km) METODO PROPUESTO	IRI (m/km) METODO ESTANDAR	VARIACION PORCENTUAL
21	3,3200	3,4714	-15,1445
22	3,4230	3,6609	-23,7892
23	2,6399	2,8234	-18,3478
24	3,0924	3,2333	-14,0840
25	3,3570	3,5581	-20,1067
26	3,1911	3,3955	-20,4356
27	3,5772	3,7727	-19,5524
28	3,5411	3,6619	-12,0824
29	3,4819	3,6167	-13,4775
30	3,3385	3,4983	-15,9764

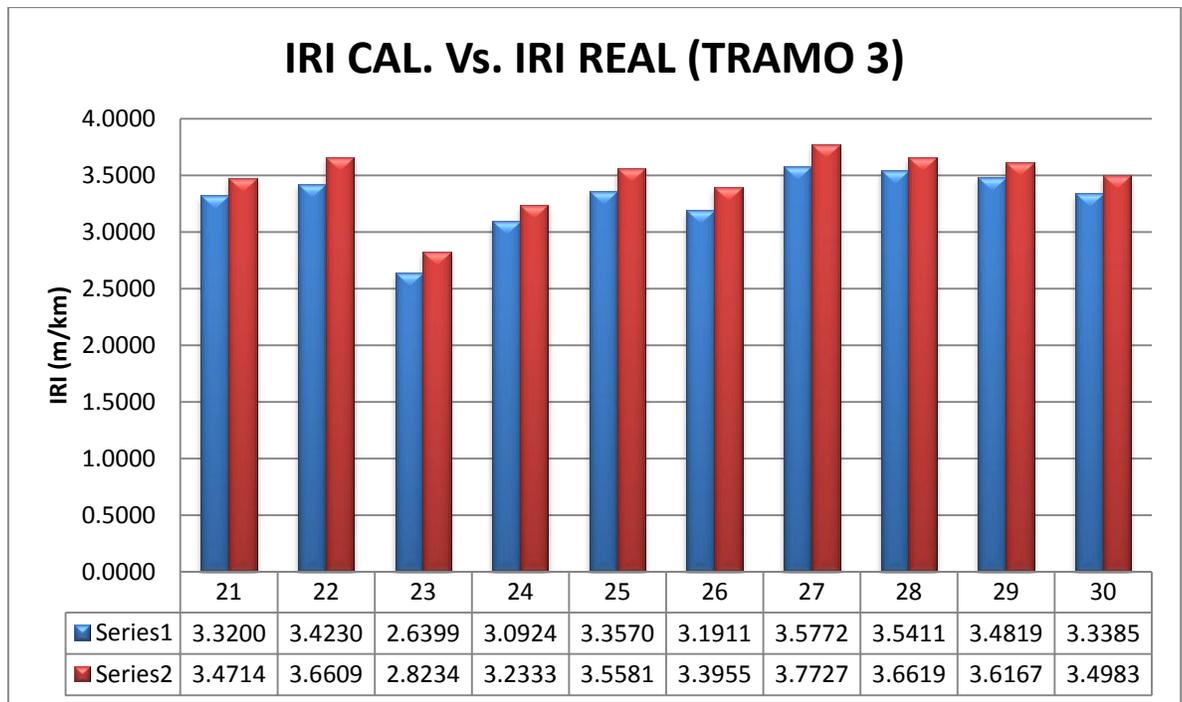


Fig. 3.62. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO (TRAMO3)

### 3.6.4. GRADO DE CONFIABILIDAD

Una vez obtenido los IRI con el método propuesto y para validar el modelo a través de la comparación de los resultados y la variación porcentual que se tienen en cada uno de los segmentos estudiados podemos sacar el grado de confiabilidad de nuestro modelo, el cual según las comparaciones realizadas salen en el caso de los tres tramos de estudio con un grado de confiabilidad mayor al 80%. Esto quiere decir que nuestro modelo es aplicable a las condiciones de nuestro medio, a continuación se muestran los resultados obtenidos:

$$GRADO\ CONFIABILIDAD = 100 - \Delta PORCENTUAL$$

TABLA 3.71. Grado de Confiabilidad (TRAMO 1)

SEGMENTO	VARIACIÓN PORCENTUAL	GRADO DE CONFIABILIDAD
1	-8,8284	91,17
2	-13,9827	86,02
3	-6,6587	93,34
4	-14,6305	85,37
5	-20,5559	79,44
6	-10,9053	89,09
7	-13,1853	86,81
8	-11,8507	88,15
9	-15,4227	84,58
10	-16,6862	83,31
IRI MEDIO	-13,2706	86,73

TABLA 3.72. Grado de Confiabilidad (TRAMO 2)

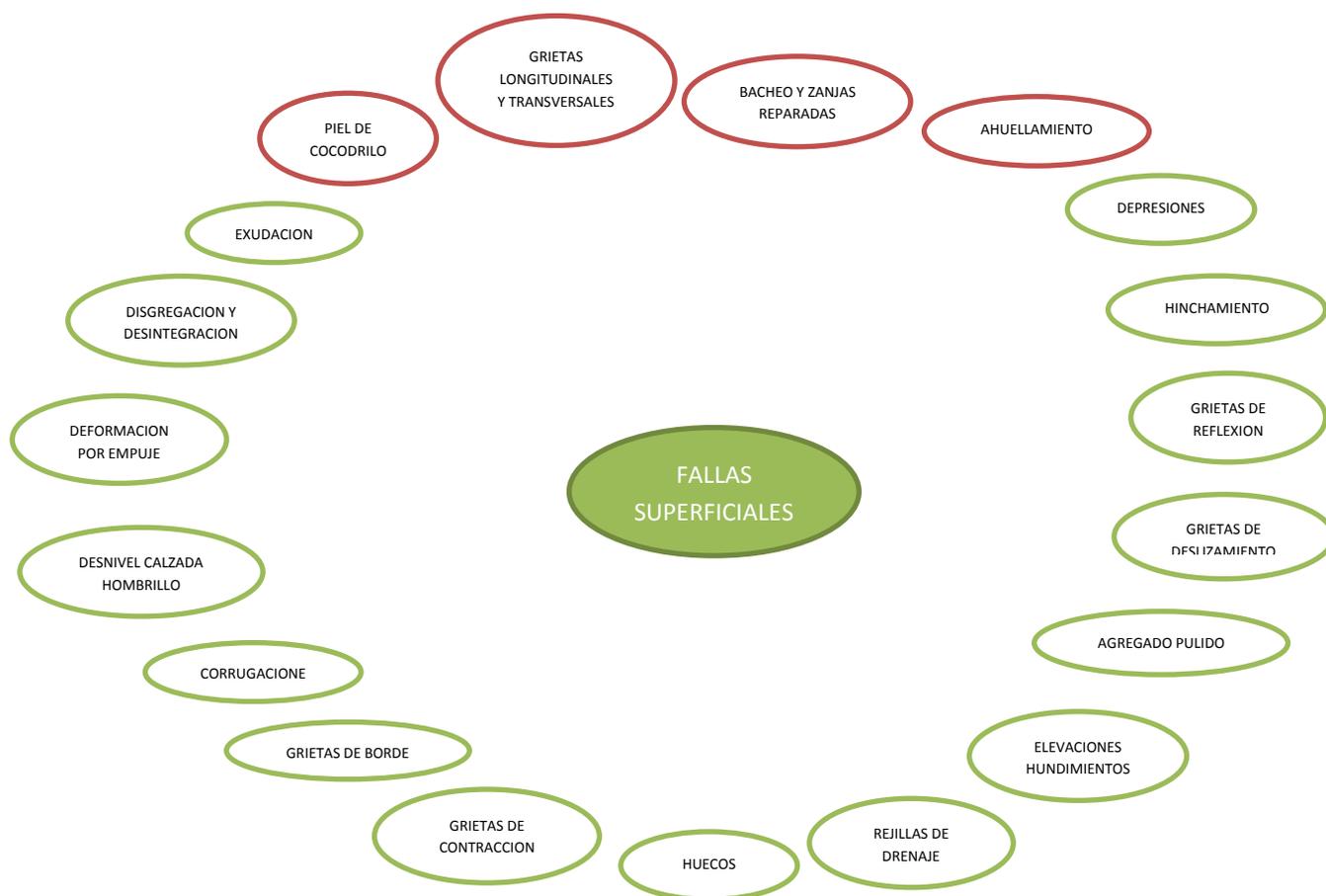
<b>SEGMENTO</b>	<b>VARIACIÓN PORCENTUAL</b>	<b>GRADO DE CONFIABILIDAD</b>
<b>11</b>	-9,4593	90,54
<b>12</b>	-10,2110	89,79
<b>13</b>	-12,2681	87,73
<b>14</b>	-11,5801	88,42
<b>15</b>	-21,1529	78,85
<b>16</b>	-18,9039	81,10
<b>17</b>	-15,8483	84,15
<b>18</b>	-17,2804	82,72
<b>19</b>	-11,1459	88,85
<b>20</b>	-18,8069	81,19
IRI MEDIO	-14,6657	85,33

TABLA N°73. Grado de Confiabilidad (TRAMO 3)

<b>SEGMENTO</b>	<b>VARIACIÓN PORCENTUAL</b>	<b>GRADO DE CONFIABILIDAD</b>
<b>21</b>	-15,1445	84,86
<b>22</b>	-23,7892	76,21
<b>23</b>	-18,3478	81,65
<b>24</b>	-14,0840	85,92
<b>25</b>	-20,1067	79,89
<b>26</b>	-20,4356	79,56
<b>27</b>	-19,5524	80,45
<b>28</b>	-12,0824	87,92
<b>29</b>	-13,4775	86,52
<b>30</b>	-15,9764	84,02
IRI MEDIO	-17,2996	82,70

### 3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ✓ Durante el recorrido realizado para la selección de los segmentos a ser estudiados se pudieron encontrar diversas fallas superficiales a lo largo de los tramos, pero las fallas que con mayor frecuencia se encontraron en el mismo fueron grietas de piel de cocodrilo, grietas longitudinales y trasversales, corrugaciones, baches y zanjas reparadas, ahuellamiento, disgregación y desintegración.



- ✓ El IRI determinado en cada uno de los segmentos estudiados son mayores a 2,5 m/km, los cuales según la siguiente el rango para la calificación del IRI adoptada en nuestro país, se encuentran en el rango de **“PAVIMENTOS VIEJOS”** con imperfecciones superficiales y también es calificado entre **“REGULAR Y BUENO”**.

- ✓ En los diferentes segmentos estudiados se puede apreciar que tenemos la calificación de “REGULAR” y “BUENO” según los parámetros adoptados por Chile.
- ✓ El valor del IRI del pavimento del tramo estudiado pertenece al rango de “PAVIMENTOS VIEJOS” con imperfecciones superficiales. Esta clasificación según la escala estándar del Banco Mundial.
- ✓ La calificación del IRI para cada segmento tomado como muestra en el Tramo 1 (Av. Los Callejones-Carretera San Jacinto) correspondientes a nuestro estudio son los siguientes:

<b>SEGMENTO</b>	<b>IRI (m/km) MÉTODO PROPUESTO</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN BANCO MUNDIAL</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN LÍMITES ADOPTADOS POR CHILE</b>
1	3.7158	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
2	3.5308	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
3	3.2697	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
4	3.3881	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
5	3.2059	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
6	3.2951	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
7	2.9716	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
8	2.9495	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
9	2.9947	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
10	2.8074	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO

- ✓ La calificación del IRI para cada segmento tomado como muestra en el Tramo 2 (Av. Los Sauces y Av. Julio Arce) correspondientes a nuestro estudio son los siguientes:

<b>SEGMENTO</b>	<b>IRI (m/km) MÉTODO PROPUESTO</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN BANCO MUNDIAL</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN LIMITES ADOPTADOS POR CHILE</b>
11	2.8350	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
12	2.8756	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
13	3.1306	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
14	3.3692	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
15	3.4646	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
16	2.7090	PAVIMENTOS VIEJOS	BUENO
17	3.1600	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
18	3.6994	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
19	3.9748	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
20	4.0321	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR

- ✓ La calificación del IRI para cada segmento tomado como muestra en el Tramo 3 (Carretera Puerta del Chaco – Puente Jarcas) correspondientes a nuestro estudio son los siguientes:

<b>SEGMENTO</b>	<b>IRI (m/km) MÉTODO PROPUESTO</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN BANCO MUNDIAL</b>	<b>CALIFICACIÓN SEGÚN LIMITES ADOPTADOS POR CHILE</b>
21	3.3200	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
22	3.4230	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
23	2.6399	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
24	3.0924	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
25	3.3570	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
26	3.1911	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
27	3.5772	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
28	3.5411	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
29	3.4819	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR
30	3.3385	PAVIMENTOS VIEJOS	REGULAR

- ✓ En el análisis realizado en el tramo 1 (Av. Los Callejones-Carretera San Jacinto) se pudo determinar que el valor máximo del IRI calculado mediante el método propuesto es de 3.7158 m/km que es el SEGMENTO N° 1 (Prog. 0+020 a 0+040) y el valor mínimo encontrado en el tramo 2.8074 m/km el cual corresponde al SEGMENTO N°10 (Prog. 1+660 a 1+680).
- ✓ En el análisis realizado en el tramo 2 (Av. Los Sauces y Av. Julio Arce) se pudo determinar que el valor máximo del IRI calculado mediante el método propuesto es de 4.0321 m/km que es el SEGMENTO N° 20 (Prog. 0+360 a 0+380 de la Av. Julio Arce) y el valor mínimo encontrado en el tramo 2.7090 m/km el cual corresponde al SEGMENTO N°16 (Prog. 0+020 a 0+040 de la Av. Julio Arce Prog. 1+660 a 1+680).
- ✓ Para el tramo 3 (Carretera Puerta del Chaco – Puente Jarcas) se realizó el mismo análisis y se pudo constatar que el valor máximo del IRI calculado mediante el método propuesto es de 3.5772 m/km que es el SEGMENTO N° 27 (Prog. 0+820 a 0+840) y el valor mínimo encontrado en el tramo 2.6399 m/km el cual corresponde al SEGMENTO N°23 (Prog. 0+340 a 0+320).
- ✓ Como se puede apreciar en la Fig. para el tramo 1 el IRI promedio para el tramo en general es de 3.2129 m/km el que obtuvimos con la aplicación del modelo matemático propuesto, y el IRI obtenido a través del Método Directo (Nivel y Mira) es de 3.3456 m/km, siendo la variación porcentual 13.27%, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en el rango de REGULAR, a partir de estos resultados se puede determinar las medidas a tomar en cuanto al mantenimiento de esta vía.
- ✓ Para el tramo 2 como se aprecia en la Fig. el IRI promedio para el tramo en general es de 3.3250 m/km el que obtuvimos con la aplicación del modelo matemático propuesto, y el IRI obtenido a través del Método Directo (Nivel y Mira) es de 3.4717 m/km, siendo la variación porcentual 14.67%, lo que nos indica que esta

pavimento se encuentra en el rango de REGULAR, a partir de estos resultados se puede determinar las medidas a tomar en cuanto al mantenimiento de esta vía.

- ✓ Para el tramo 3 como se aprecia en la Fig. el IRI promedio para el tramo en general es de 3.2962 m/km el que obtuvimos con la aplicación del modelo matemático propuesto, y el IRI obtenido a través del Método Directo (Nivel y Mira) es de 3.4692 m/km, siendo la variación porcentual 17.30%, lo que nos indica que esta pavimento se encuentra en el rango de REGULAR, a partir de estos resultados se puede determinar las medidas a tomar en cuanto al mantenimiento de esta vía.
- ✓ Con los resultados obtenidos podemos asegurar que la aplicación de nuestro modelo si bien no nos determina el valor preciso de este indicador nos permite tener una idea clara del estado de la carretera, y poder aplicar medidas ya sean de mantenimiento y conservación de la estructura vial, y a través del mismo abaratar los costos del evaluación de pavimentos.
- ✓ Este método utilizado aplicado en las condiciones de nuestro medio nos permite obtener el valor del IRI de una manera indirecta, sin necesidad de contar con equipos automatizados que generan un alto costo económico para las empresas y entidades encargadas del mantenimiento y conservación de las carreteras, siendo este método fácil de aplicarlo y sin la necesidad de contar con personal altamente calificado, y teniendo al alcance los instrumentos para la cuantificación de las fallas superficiales y haciendo una auscultación visual de la capa de rodadura.

#### **PLANEAMIENTO DE SOLUCIONES EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO.-**

A partir de los resultados obtenidos y las condiciones de cada tramo se plantean las siguientes acciones en los diferentes tramos de estudio:

### **TRAMO AV. LOS CALLEJONES – CARRETERA SAN JACINTO**

- ✓ De acuerdo a los resultados el tramo Av. Los Callejones-Carretera San Jacinto cuyo IRI está en un rango de 3.7158 a 2.8074 m/km se considera al tramo con un IRI permisible que no afecta sustancialmente al confort y seguridad del usuario, para mejorar estas condiciones las acciones posibles a mediano plazo son:
  - Recapado de la capa de rodadura con una carpeta asfáltica de espesor de 4 cm ya que por la cantidad de fallas y su severidad no tiene baja condición estructural por lo que corresponde una nueva carpeta para poner en condiciones de servicio iniciales una carpeta asfáltica más delgada.
  - Sello Asfáltico con un mortero de arena-asfalto de espesor de 1 a 2 cm con el fin de dar una nueva textura a la superficie de la capa, en este caso previamente se deben rellenar con mastiche asfáltico todas las fisuras existentes para evitar la reflexión de la fisura.

### **TRAMO AV. LOS SAUCES – AV. JULIO ARCE**

- ✓ De acuerdo a los resultado el tramo Av. Los Sauces y Av. Julio Arce cuyo IRI está en un rango de 4.0321 a 2.7090 m/km siendo este nivel inadecuado para el confort y la seguridad, por lo se plantean las siguientes acciones inmediatas por sectores:
  - En los sectores con IRI mayor a 4 m/km realizar de inmediato un bacheo profundo y reposición de carpeta asfáltica en el espesor original de 5 cm.
  - A mediano plazo un Recapado de la capa de rodadura con una carpeta asfáltica de espesor de 4 cm ya que por la cantidad de fallas y su severidad no tiene baja condición estructural por lo que corresponde una nueva carpeta para poner en condiciones de servicio iniciales una carpeta asfáltica más delgada.

- A mediano plazo Sello Asfáltico con un mortero de arena-asfalto de espesor de 1 a 2 cm con el fin de dar una nueva textura a la superficie de la capa, en este caso previamente se deben rellenar con masticado asfáltico todas las fisuras existentes para evitar la reflexión de la fisura.

#### **TRAMO PUERTA DEL CHACO – PUENTE JARCAS**

- ✓ Para el tramo Puerta del Chaco-Puente Jarcas los resultados muestran un IRI dentro del rango de 3.5772 y 2.6399 m/km que es un IRI regular, sin embargo el tramo muestra la mayor cantidad de deterioros superficiales, que probablemente no tienen en cantidad y severidad lo suficiente para afectar en mayor proporción al IRI, este tramo por la continuidad de fallas se recomienda las siguientes acciones inmediatas:
  - Recapado de la capa de rodadura con una carpeta asfáltica de espesor de 4 cm ya que por la cantidad de fallas y su severidad no tiene baja condición estructural por lo que corresponde una nueva carpeta para poner en condiciones de servicio iniciales una carpeta asfáltica más delgada.

## CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- ✓ El IRI es un indicador de estado muy importante dentro de la evaluación de pavimentos, puesto que indica condiciones de confort y seguridad para el usuario.
- ✓ La evaluación de pavimentos mediante el método indirecto tiene una fácil aplicación siempre y cuando se cuente con personal capacitado y a disposición, el personal debe conocer profundamente manual de fallas del método ya que la evaluación en caso de carecer de personal idóneo el trabajo puede tornarse tarea moroso y tedioso.
- ✓ Para la aplicación de nuestro modelo matemático propuesto se debe tener en cuenta la determinación de las fallas y el tipo de severidad presente en cada uno de los deterioros encontrados en la capa de rodadura, por lo cual se debe tener cuidado al estudiar cada una de las fallas existentes según la normativa elegida.
- ✓ Se realizó el trabajo de gabinete y se encontraron los resultados de cada uno de los segmentos para determinar el valor del IRI, en el cual podemos apreciar que las fallas que tienen mayor incidencia en la determinación de este indicador son el ahuellamiento y los baches y zanjas reparadas.

$$IRI = 1+0.1806 *Ahu+0.2062 *Bach$$

- ✓ Con los resultados se calificó cada tramo:
  - En los resultados del índice internacional de rugosidad para el tramo 1 que corresponde a la Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto tiene un valor de **3.2129 m/Km** con el método indirecto y con el método directo se tiene un valor de **3.3456 m/Km**, con lo cual se tiene una regularidad del perfil

longitudinal de la carretera con un rango de **“El pavimento tiene defectos superficiales y corresponde a pavimentos viejos”**, calificado como **“REGULAR”**.

- El tramo 2 que corresponde a la Av. Los Sauces y Av. Julio Arce tiene un valor de **3.3250 m/Km** con el método indirecto y con el método directo se tiene un valor de **3.717 m/Km** que se tiene una regularidad del perfil longitudinal de la carretera con un rango de **“El pavimento tiene defectos superficiales y corresponde a pavimentos viejos”**, calificado como **“REGULAR”**.
- En el tramo 3 que corresponde a la Carretera Puerta del Chaco – Puente Jarcas tiene un valor de **3.2962 m/Km** con el método indirecto y con el método directo se tiene un valor de **3.4692 m/Km** que se tiene una regularidad del perfil longitudinal de la carretera con un rango de **“El pavimento tiene defectos superficiales y corresponde a pavimentos viejos”**, calificado como **“REGULAR”**.
- De los resultados obtenidos con ambos métodos en los tres tramos de estudio la variación existente en todos los segmentos es menor al 20 % con respecto al método directo, en el cual muestra claramente que con la aplicación de nuestro modelo se obtiene valores del IRI con un 80% de confiabilidad.
- ✓ Tras evaluar los resultados de los indicadores de estado, podemos concluir que el estado superficial del tramo los tres tramos elegidos que son “Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto”, “Av. Los Sauces y Av. Julio Arce” y “Puerta del Chaco – Puente Jarcas” se encuentra en un intervalo de calificación de **“Regular”**.
- ✓ Este método propuesto permite la determinación del Índice de Rugosidad Internacional cuando no se cuenta con equipos automatizados que si bien se obtiene resultados más consistentes y eficientes, pero el costo de adquisición de los mismos es muy elevado, por lo cual es importante buscar alternativas que permitan la

calificación el estado de las carreteras abaratando los costos que implica la utilización de los equipos normados.

- ✓ La tecnología avanzada en la auscultación de pavimentos que recolecten los indicadores de estado con una alta precisión, con una alta densidad de datos y que minimicen de manera considerable los tiempos de relevamiento de datos tienen un elevado costo, por lo cual el método propuesto como se trata de la aplicación de un modelo matemático en el cual intervienen la cuantificación de las fallas superficiales observadas en el pavimento, el mismo no necesita de personal altamente calificado, más al contrario lo pueden realizar personas que tengan cierto conocimiento o previo estudio del tipo de fallas, forma de medición y grado de severidad de las mismas, con la utilización de cinta métrica y flexómetro para determinar la longitud de los deterioros y vernier para determinar el ancho de las fisuras.
- ✓ La metodología empleada para determinar el IRI a través de un modelo que tiene su base en otros países, muestra por los resultados que es factible su utilización en nuestro medio basados en los resultados que se tienen de la validación del IRI a través de una medida directa dando un grado de confiabilidad del 80% como mínimo.
- ✓ Los resultados obtenidos del IRI muestran que los tramos en estudio están en rangos aun permisibles menores a 6 km/m cuyas condiciones serian perjudiciales para la circulación de vehículos, los resultados dan en los tramos de estudio IRI menor por lo que su condición aun no es crítica.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para la aplicación del método indirecto propuesto es necesario que el personal que realice las mediciones de campo tenga cierto conocimiento acerca de las fallas superficiales, la forma adecuada para la cuantificación de cada tipo y la severidad de las mismas para poder clasificarlas, de lo contrario podrían producirse errores que podrían incidir en los resultados.
  
- ✓ Se recomienda que la utilización del modelo matemático para la obtención del IRI sea aplicada a pavimentos cuyas superficies tengan fallas superficiales cuantificables de manera que se cumpla la correlación entre fallas e IRI.
  
- ✓ Se recomienda que el modelo matemático cuya validación se realizó en este estudio se pueda hacer uso en otros tramos similares para que la validación sea corroborada y su utilización sea más frecuente.
  
- ✓ Pese a que en la actualidad se tienen equipos más sofisticados para la medición del IRI, su costo aún hace que no sea de uso común por lo que se recomienda hacer uso de métodos como el propuesto cuyo bajo costo hace viable al método.