

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha incrementado notablemente en estos últimos años, gracias a que son un medio de integración de información que ayuda a orientar y a entender algunos de los problemas con mayor impacto, a los que se enfrenta el mundo actual. Es decir, son herramientas que permiten resolver problemas prácticos que van desde la visualización de información geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) es una poderosa herramienta para la administración y análisis de información referenciada a una determinada ubicación geográfica. Este sistema es capaz de combinar bases de datos relacionales con mapas digitalizados. La potencia de los sistemas de información geográfica reside en su capacidad para capturar y analizar en forma visual la relación entre los distintos grupos que componen la red de infraestructura en una determinada región.

Un sistema de gestión de pavimentos (SGP) requiere de varias herramientas de apoyo. La información almacenada en una base de datos relacional en el SGP puede ser mostrada con mapas geográficos utilizando SIG, facilitando así la ubicación de los diversos componentes que integran la infraestructura en una región. Sin embargo la mayor ventaja de utilizar SIG reside en servir como herramienta de análisis para visualizar los efectos causados por la implementación de una determinada estrategia de mantenimiento y rehabilitación.

Esta visión integral en el proceso de planeamiento estratégico permite a las agencias ahorrar mucho tiempo, esfuerzo y dinero.

## **1.2 JUSTIFICACION**

El propósito del proyecto es experimentar la utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG), la utilización de imágenes digitalizadas para incorporar a la evaluación y gestión de pavimentos.

Un sistema de gestión de pavimentos (SGP) se basa en información sobre el estado del pavimento para la planificación, diseño, construcción y preservación de la red pavimentada. La tecnología SIG es una herramienta que puede beneficiar a un sistema de gestión a administrar en forma más eficiente la información almacenada en la base de datos.

La evaluación y gestión de pavimentos es muy importante en nuestro medio y por lo tanto se debe invertir en tiempo y dinero en el mantenimiento y rehabilitación de las vías a fin de asegurar el flujo continuo de personas y productos. En este proceso de gestión se debe conocer la condición de la red vial, definir las estrategias y prioridades para mantenimiento y rehabilitación y tomar decisiones sobre el monto y distribución de la inversión a efectuarse.

Los beneficios de utilizar tecnología SIG en sistemas de gestión de pavimentos son los siguientes:

- SIG posee una gran variedad de herramienta de soporte para administrar mejor la diversa información proporcionada por los sistemas de gestión de pavimento.
  
- Se obtendrá Información sobre la ubicación y condición del pavimento en las diversas secciones que componen la red.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- El objetivo del estudio es utilizar imágenes digitalizadas para incorporar en la evaluación de pavimentos y obtener la información básica para apoyar la planificación y el desarrollo de la infraestructura vial, integrando la gestión de pavimentos aplicada en un tramo de la red fundamental.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar los fundamentos del Sistema de Información Geográfica
- Analizar el proceso de evaluación de pavimentos
- Establecer los principios básicos en los que se basa la gestión de pavimentos
- Identificar un tramo de aplicación del estudio
- Identificar las fallas y determinar el estado del pavimento en el tramo de estudio
- Establecer las conclusiones y recomendaciones del estudio

## **1.4.- ALCANCE**

Con el presente trabajo se realizará la evaluación de pavimentos flexibles para planificar el mantenimiento de una carretera, utilizando imágenes digitalizadas como una herramienta de trabajo, para lo cual se estudiará técnicas, principios y conceptos básicos del Sistema de Información Geográfica (SIG), además de estudiar el marco teórico para la evaluación y gestión de pavimentos.

El apoyo de las imágenes digitalizadas servirán para conjuntamente con los datos de la evaluación de pavimentos incorporar en un sistema SIG

La aplicación práctica se realizara a un tramo de la red vial donde se evaluara el pavimento, se determinara la condición en que se encuentra el pavimento y con este proceso se obtendrá información necesaria sobre el estado del tramo evaluado y así

poder crear una base de datos que servirá para la gestión de pavimentos que consistirá en la planificación de los tipos de mantenimiento y rehabilitación que ese tramo requiere.

En el último capítulo se buscara responder a los objetivos tanto generales como específicos mencionados al inicio del trabajo, como por ejemplo, sus ventajas, desventajas, limitaciones y la importancia de usar los sistemas de información geográfica (SIG) como una herramienta de trabajo

## **1.5.- METODOLOGIA**

Para la evaluación superficial de pavimentos se evaluara con los métodos PCI (índice de condición del pavimento), PSI (índice de serviciabilidad presente), IRI (índice internacional de rugosidad) donde podremos conocer el estado en que se encuentra el pavimento.

El método PCI (índice de condición del pavimento) cuenta con 19 tipos de fallas que pueden presentar los pavimentos flexibles con los que se va a evaluar y a su vez cuenta con una identificación de los grados de severidad para cada falla, los ábacos de este método son fáciles de utilizar para su aplicación no se necesita del uso de equipos sofisticados y en nuestro medio si se lo puede utilizar de una manera más fácil y económico.

La evaluación del índice de serviciabilidad presente (PSI), es un método muy práctico, de fácil utilización y además solo está basado en una observación cuidadosa de la condición superficial del pavimento sabiendo el estado de la capa de rodadura de cada tramo para esto se recurre a una inspección visual de cada tramo y obtener los parámetros que se necesita como lo son la rugosidad longitudinal que se representa por el coeficiente C1, la intensidad de grietas y parches que se encuentran en cada tramo coeficiente C2, las deformaciones transversales coeficiente C3.

El método del índice internacional de rugosidad (IRI) se lo va a realizar con el método estático ya que este utiliza el nivel de ingeniero y la mira es muy sencillo ya

que solamente se desea conocer el estado de la superficie con relación a una superficie plana. Para el cálculo del (IRI) se recurrirá al programa “INPACO”.

Luego de obtener todos los datos e información de la evaluación superficial del pavimento estos se van a incorporar e las imágenes satelitales mediante el utilización del programa ArcGIS.

Al conocer el estado en que se encuentra el pavimento se planificara la gestión de pavimentos. Donde se van a proponer los tipos de mantenimiento necesarios que requiere la vía.

## **CAPITULO II**

### **LA UTILIZACION DEL SIG EN CARRETERAS**

#### **2.1.- INTRODUCCIÓN A LA GEODESIA**

##### **2.1.1.- DEFINICIÓN DE GEODESIA**

Hoy en día de acuerdo al avance tecnológico se determina a la geodesia como una de la principales áreas de las Geociencias, es por eso que en este capítulo retomaremos la fundamentación de la geodesia y sus demás características como ser el campo de acción del proyecto estudiado que será la Geodesia Satelitaria y su sub división de la Teledetección.

Etimológicamente la palabra geodesia deriva del griego “geo” que significa tierra y “daio” que significa dividir, por lo cual es la ciencia que estudia las divisiones de la tierra. En la actualidad la tierra se define como la ciencia que estudia las dimensiones y forma de la tierra, considerándola en su totalidad.

La geodesia se clasifica en 5 ramas que son : Geodesia Geométrica, Geodesia Satelitaria, Geodesia Física, Geodesia Dinámica.

##### **2.1.2.- DIVISION DE LA GEODESIA**

La geodesia siendo una ciencia básica, con fundamentos fisicomatemáticos tiene relaciones con otras ciencias y aplicaciones prácticas dentro de las mismas, como en topografía, cartografía, fotogrametría, e ingenierías de todo tipo sin dejar de lado su importancia para fines militares. Esta íntimamente relacionada con las astronomías y al geofísica, respaldándose unas ciencias en otras para su desarrollo, básicamente la geodesia se la divide en cinco ramas:

**Geodesia astronómica.-** ramas de la geodesia que mediante métodos y observaciones astronómicas obtiene fundamentalmente la dirección de la vertical de un punto sobre la superficie terrestre, determinando coordenadas astronómicas, latitud, longitud y acimuts astronómicos. Con los datos obtenidos trata de determinar el geoide como figura de la Tierra empleando la nivelación astro geodésica, efectuando la

reorientación de redes geodésicas. Las determinaciones astronómicas, tanto en teoría como en los procedimientos son empleados dentro de la astronomía de posición.

**Geodesia Geométrica.-** Es una rama de la Geodesia, en la cual los datos de las observaciones están compuestos por las medidas de ángulos y distancias en la superficie terrestre, los mismos que son referidos a un elipsoide de referencia y un punto de origen fundamental, para determinar la posición de puntos sobre la superficie terrestre, en el caso de la geodesia clásica bidimensional; o bien en coordenadas cartesianas en el caso de la Geodesia tridimensional. También son necesarias las determinaciones de altitudes de puntos sobre una superficie de referencia cero. El conocimiento de la geometría del elipsoide de revolución es fundamental en esta rama.

**Geodesia Dinámica.-** Esta rama de la geodesia, se basa en la teoría del potencial terrestre, en medidas gravimétricas del campo exterior y de la obtención de la forma de la tierra; la información fundamental que emplea, es la medida de la gravedad existente generalmente en superficie, además de las perturbaciones observadas en el movimiento de un satélite artificial. Esta ligada con la geodesia geométrica, con geofísica, con la astronomía. De acuerdo a algunos autores esta rama se subdivide en gravimetría y teoría del campo y consecuencias.

**Geodesia Física.-** Constituida por teorías y métodos enfocados a la determinación del geoide, con ayuda de información gravimétrica, mediante el análisis de la teoría del potencial Terrestre. Establece los modelos terrestres de comparación para el establecimiento de la forma de la tierra, mediante el cálculo de las anomalías gravimétricas

**Geodesia Satelitaria.-** trata el problema de la forma y dimensiones de la tierra en un sistema de referencia tridimensional geocéntrica, el elipsoide de referencia es una superficie auxiliar de la cual se puede prescindir. Su evolución actual se dirige al estudio y determinación de posiciones sobre la superficie terrestre y básicamente la

ubicación de objetos móviles en el espacio, con ser los satélites artificiales cuya observación resulta mucho mas rápida y precisa que la tradicional.

No obstante esta división, en la actualidad los métodos globales de la geodesia se interrelacionan, para trabajar en conjunto con datos geométricos y dinámicos a fin de alcanzar sus objetivos de forma conjunta en la llamada geodesia integrada.

Desde el punto de vista temático, la geodesia puede dividirse en diversas secciones o capítulos que, relacionados entre si, adquiriendo alguna entidad propia. Por ejemplo:

1.- Teoría de la figura de la tierra.- Constituida por los principios de la teoría del potencial y teoría de figuras de equilibrio aplicados al campo de gravedad terrestre.

2.- Teoría de redes geodésicas.- estudio de las triangulaciones y trilateraciones, el cálculo y compensación de redes geodésicas y el cálculo de coordenadas, con el análisis estadístico de los resultados.

3.- Nivelación geodésica.- Trata todo lo referente a la medida de altitudes y establecimiento de redes altimétricas.

4.- Teoría de la rotación de la tierra.- Estudia el movimiento de rotación de la tierra, en un sistema de referencia fijo espacial (precesión y nutación) y en un sistema de referencia fijo al cuerpo (velocidad de rotación y movimiento de polo); ligada a la astronomía en lo concerniente a los sistemas de tiempo y nutación y la geodesia debido a los modelos determinados del interior de la Tierra. Mediante las determinaciones astronómicas clásicas, los resultados de la geodesia Doppler, GPS, laser y VLBI.

5.- gravimetría.- determinaciones de la gravedad, sus reducciones, calculo de anomalías y establecimiento de redes gravimétricas; base para aplicaciones geodésicas y geofísicas.

**Fundamentación de la Geodesia Satelitaria.-** La Geodesia Satelitaria Su evolución actual se dirige al estudio y determinación de posiciones sobre la superficie terrestre y básicamente la ubicación de objetos móviles en el espacio, con ser los satélites artificiales cuya observación resulta mucho más rápida y precisa que la

tradicional. A ese sistema de determina formas y dimensiones geométricas mediante sensores remotos se llama TELEDETECCION

## **2.2.- INTRODUCCION DE LA TELEDETECCION**

El término teledetección es una traducción del inglés 'remote sensing', y se refiere no sólo a la captación de datos desde el aire o desde el espacio sino también a su posterior tratamiento. Una definición más formal la describe como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación bien proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor (teledetección activa).

Nuestros sentidos perciben un objeto sólo cuando pueden descifrar la información que éste les envía y la propia visión es, en sí, un proceso de teledetección. Los tres elementos principales en un sistema de teledetección son:

1. **Sensor**, el ojo.
2. **La película fotográfica**, objeto observado
3. **Flujo energético**, que permite poner a los dos anteriores en relación. Este flujo procede del objeto por reflexión de la luz solar (color de los objetos), por emisión propia o también podría tratarse de energía emitida por el propio sensor y reflejada por el objeto, en cuyo caso la teledetección recibe el nombre de **ACTIVA**, por oposición a teledetección **PASIVA**, cuando la fuente energética es el sol.

La posibilidad de adquirir información a distancia se basa en lo específico de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Todos los objetos tienen una respuesta espectral propia y además esta combinación espectral es similar a la que presentan otros objetos o superficies de las mismas características u homogeneidad.

### **2.3.- FUNDAMENTOS DE LA TELEDETECCION**

En la actualidad existen muchos satélites en órbita dedicados cada uno a captar imágenes de tipo muy específico. Una variedad mayor de imágenes es benéfica para el usuario final porque aumenta la probabilidad de que pueda obtener la información concreta que necesita para llevar a término su proyecto. Pero, al mismo tiempo, una gama más amplia de posibilidades complica la elección del tipo de imágenes que ha de comprar.

Esta sección le presentará la terminología y conceptos fundamentales de la teledetección, para ayudarle a elegir las imágenes más adecuadas a sus necesidades.

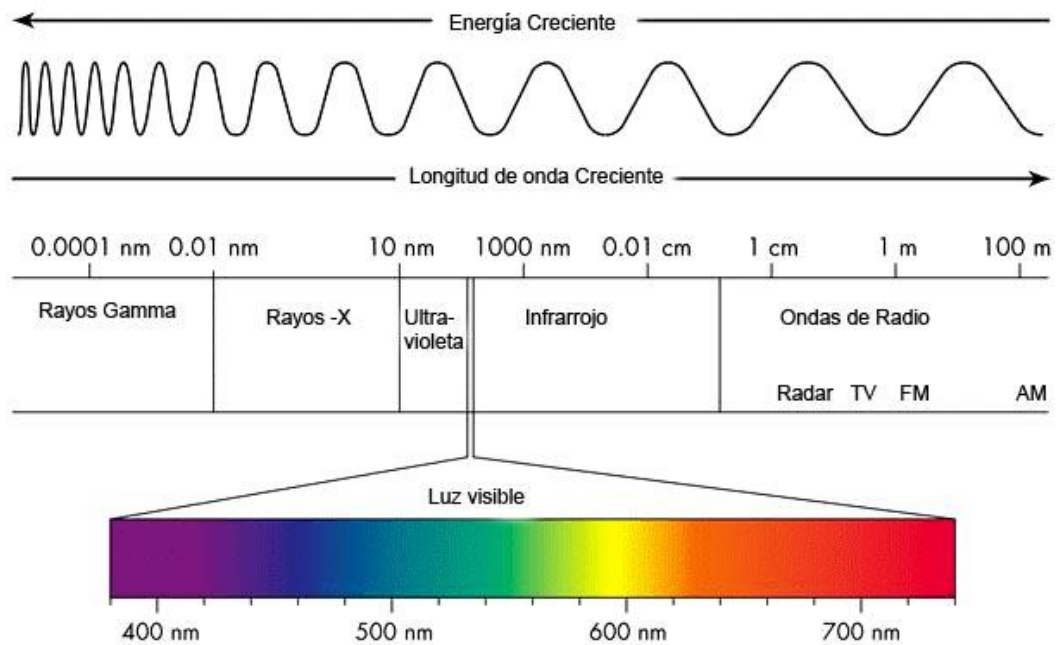
Los conceptos más importantes de teledetección que debe comprender son qué es realmente una imagen de satélite y cómo se capta. Una imagen no es una fotografía tomada por una cámara que contiene una película. Casi todos los satélites comerciales de teledetección captan imágenes utilizando sensores digitales que funcionan según los mismos principios que las cámaras digitales que han invadido últimamente el mercado de gran consumo. Al igual que una cámara digital, un sensor de satélite no posee película. En su lugar, cuenta con miles de detectores diminutos que miden la cantidad de radiación electromagnética (es decir, energía) que refleja la superficie de la Tierra y los objetos que hay en ella. Estas mediciones se denominan espectrales. Cada valor de reflectancia espectral se registra como un número digital. Estos números se transmiten de nuevo a la Tierra donde un ordenador los convierte en colores o matices de gris para crear una imagen que se parece a una fotografía.

Dependiendo de la sensibilidad para la que han sido concebidos, los sensores miden la reflectancia de la energía en las partes visible del espectro electromagnético del infrarrojo cercano, medio y térmico, y de microondas radáricas. La mayoría de los satélites de teledetección miden la energía en longitudes de onda del espectro muy específicas y bien definidas.

Es en este punto es donde la comprensión del concepto de imagen espectral es decisivo para poder apreciar todo el valor de las imágenes digitales de satélite y

entender cómo se diferencian entre sí los diferentes tipos de imágenes. Las mediciones de reflectancia y las imágenes que se obtienen a partir de ellas ofrecen una representación muy exacta de como aparecerían a la observación directa los detalles y objetos del terreno, en cuanto a la forma, tamaño, color y la apariencia visual de conjunto. Es lo que se conoce como contenido espacial de la imagen.

**FIGURA 2.1. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO**

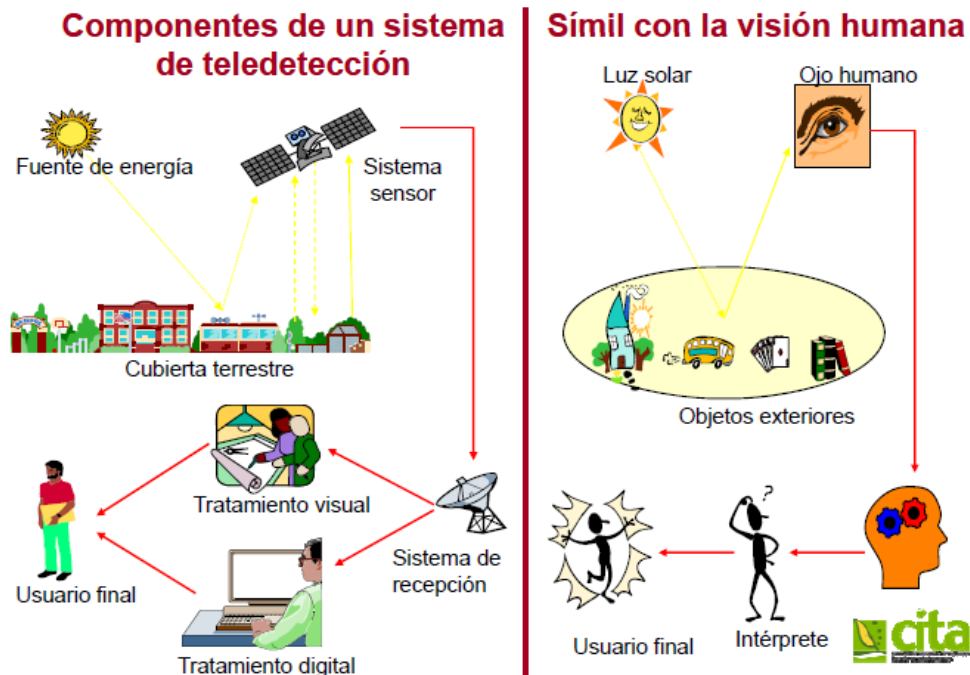


Fuente: Wikipedia.org

Pero aún más importante quizás es que las imágenes digitales muestran algo más que simples informaciones espaciales. Las medidas de reflectancia revelan el contenido mineral de las rocas, la humedad del suelo, la salud de la vegetación, la composición física de los edificios y miles de otros detalles invisibles al ojo humano. Es lo que se denomina contenido espectral de la imagen de satélite. Tal información espectral es visible para el sensor digital debido a la reflectancia de energía que éste mide. La densidad, el contenido de agua, la composición química y otros factores y características no visibles de un objeto específico de la superficie, influyen globalmente en cómo interactúa la energía con dicho objeto en diversas longitudes de onda del espectro y en cómo se refleja en él. El sensor digital mide esta interacción

espectral, que a su vez proporciona la comprensión de tales estados y características invisibles.

FIGURA 2.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TELEDETECCION



## 2.4.- ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Se denomina **espectro electromagnético** a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina *espectro electromagnético* o simplemente *espectro* a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda con ejemplos, frecuencia y temperatura de emisión de cuerpo negro.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo (véase Cosmología física) aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

## **2.5.- QUE ES UN SATELITE Y QUE TIPOS DE SATELITES EXISTE**

Un **satélite artificial** es una nave espacial fabricada en la Tierra o en otro lugar del espacio y enviada en un vehículo de lanzamiento, un tipo de cohete que envía una carga útil al espacio exterior. Los satélites artificiales pueden orbitar alrededor de lunas u objetos naturales del espacio, cometas, asteroides, planetas, estrellas o incluso galaxias. Tras su vida útil, los satélites artificiales pueden quedar orbitando como basura espacial.

- **Tipos de satélites artificiales**

Se pueden clasificar los satélites artificiales utilizando dos de sus características: su misión y su órbita.

- **Tipos de satélite (por tipo de misión)**

- Armas antisatélite, también denominados como satélites asesinos, son satélites diseñados para destruir satélites enemigos, otras armas orbitales y objetivos. Algunos están armados con proyectiles cinéticos, mientras que otros usan armas de energía o partículas para destruir satélites, misiles balísticos o MIRV.
- Satélites astronómicos, son satélites utilizados para la observación de planetas, galaxias y otros objetos astronómicos.
- Biosatélites, diseñados para llevar organismos vivos, generalmente con propósitos de experimentos científicos.

- Satélites de comunicaciones, son los empleados para realizar telecomunicación. Suelen utilizar órbitas geosíncronas, órbitas de Molniya u órbitas bajas terrestres.
- Satélites miniaturizados, también denominados como minisatélites, microsátélites, nanosatélites o picosatélites, son característicos por sus dimensiones y pesos reducidos.
- Satélites de navegación, utilizan señales para conocer la posición exacta del receptor en la tierra.
- Satélites de reconocimiento, denominados popularmente como satélites espías, son satélites de observación o comunicaciones utilizados por militares u organizaciones de inteligencia. La mayoría de los gobiernos mantienen la información de sus satélites como secreta.
- Satélites de observación terrestre, son utilizados para la observación del medio ambiente, meteorología, cartografía sin fines militares.
- Satélite espía Confeccionado con la misión de registrar movimiento de personas
- Satélites de energía solar, son una propuesta para satélites en órbita excéntrica que envíen la energía solar recogida hasta antenas en la Tierra como una fuente de alimentación.
- Estaciones espaciales, son estructuras diseñadas para que los seres humanos puedan vivir en el espacio exterior. Una estación espacial se distingue de otras naves espaciales tripuladas en que no dispone de propulsión o capacidad de aterrizar, utilizando otros vehículos como transporte hacia y desde la estación.
- Satélites meteorológicos, son satélites utilizados principalmente para registrar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra.

Es posible clasificarlos por tipos de órbitas satelitales GEO Orbits Geostacionaria, esto significa que rota igual que la tierra a una altura de 36,000 km sobre el ecuador,

por lo tanto tiene un periodo orbital de 24 horas y muestra un retardo entre 700 y 800 milisegundo, este tipo de satélites son utilizados para brindar servicios de voz, datos e Internet a empresas privadas y de gobiernos, esta enfocada a localidades donde no llegan otro tipo de tecnologías y con el objetivo de cubrir necesidades de comunicación, es empleado en escuelas publicas y negocios rurales. MEO Es de órbita mediana rota de 10.000 a 20.000 km y tiene un periodo orbital de 10 a 14 horas, este es utilizado por empresas celulares con la llamada tecnología GPS. LEO Son satélites de órbita baja están a una altura de 700 a 1400 km y tienen un periodo orbital de 80 a 150 minutos.

- **Tipos de satélite (por tipo de órbita)**

Clasificación por altitud

- Órbita baja terrestre (LEO): una órbita geocéntrica a una altitud de 0 a 2000 km
- Órbita media terrestre (MEO): una órbita geocéntrica con una altitud entre 2000 km y hasta el límite de la órbita geosíncrona de 35 786 km. También se la conoce como órbita circular intermedia.
- Órbita alta terrestre (HEO): una órbita geocéntrica por encima de la órbita geosíncrona de 35 786 km; también conocida como órbita muy excéntrica u órbita muy elíptica.

## **2.6.- CLASIFICACION DE IMÁGENES DE SATELITE**

### **Los sensores de los satélites**

Entender la diferencia entre información espacial y espectral es muy importante porque se trata del primer paso para elegir entre los dos tipos fundamentales de imágenes de satélite: pancromáticas y multiespectrales. En la mayoría de las ocasiones ésta será su primera decisión al evaluar los diversos tipos de imágenes y productos.

**Las imágenes pancromáticas** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (con frecuencia, tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas). Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar lo parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro.

**Las imágenes multispectrales** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multispectrales de hoy en día miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de tres a catorce.

## **2.7.- CLASIFICACION POR LA RESOLUCION DE PIXEL**

- **LANDSAT**

Las imágenes Landsat se caracterizan por la variedad de bandas que las componen. Estas imágenes se separan en 2 tipos: Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat 5 (sensor TM); ambas poseen 7 bandas multispectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. Sin embargo, la diferencia entre ellas radica en que las Landsat 7 poseen una banda pancromática de 15 metros y en el caso de la banda termal, aumenta la resolución de 120 a 60 metros. Cada escena cubre 180\*175 Km<sup>2</sup>. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. Existen imágenes de archivo desde 1982.

- **ASTER**

Las imágenes ASTER, son captadas desde 1999 por el satélite Terra. Estas imágenes poseen 14 bandas separadas en 3 grupos, el primero con una resolución de 15 metros, en donde están las bandas del visible y del infrarrojo cercano; el segundo con una resolución de 30 metros compuesto por 6 bandas del infrarrojo y un tercer grupo termal, con una resolución de 90 metros. Sus principales aplicaciones están en el análisis de suelos, cuerpos de agua, geología, medio ambiente, usos de suelo, entre otros. Además, cuenta con 2 bandas estereoscópicas, a partir de las cuales se puede generar modelos digitales de elevación. Cada escena ASTER, tiene una extensión de 60 \* 60 Km<sup>2</sup>.

- **IKONOS**

El satélite Ikonos, lanzado en septiembre de 1999, adquiere imágenes blanco y negro con 1 m de resolución e imágenes a color (4 bandas) con 4 m de re-solución. Las imágenes cubren una superficie de 11 km x 11 km. Ikonos es programable y el instrumento de toma de imágenes orientable, lo que permite la revisita de un mismo sitio en menos de 3 días. Las imágenes Ikonos se comercializan por km<sup>2</sup>, así el usuario define una zona de interés, de cualquier forma pero de una superficie mínima, que puede estar compuesta de una o de varias porciones de escena. Es el primer satélite comercial del mundo que toma imágenes en blanco y negro con una resolución de 1 metro e imágenes multiespectrales con resolución de 4 metros. De este satélite se pueden también obtener imágenes color de 1 metro de resolución.

- **QUICKBIRD**

Estas imágenes son denominadas de alta resolución, se componen de una imagen multiespectral, que posee las bandas visibles y la infrarroja cercana, con una resolución espacial de 2.4 metros; y una imagen pancromática, con una resolución de 0.6 metros. Cada escena QuickBird tiene una extensión de 16.5\*16.5 Km<sup>2</sup>. Las aplicaciones que se pueden realizar con estas imágenes son variadas, como por

ejemplo: generación de cartografía urbana, aplicaciones agrícolas, forestales, de recursos hídricos, medioambiente, seguridad, entre otros.

- **Elegir la resolución espacial adecuada**

**Un metro**

- Identifica y cartografía rasgos a l escala humana superiores a un metro cuadrado, tales como tapas de alcantarilla, bancos, automóviles, cocheras de autobuses, carriles de autopista, aceras, equipamiento de servicios públicos, cercas, árboles y arbustos.
- Identifica características de muchos de los objetos mencionados.
- Detecta pequeñas zonas de estrés en parcelas agrícolas o arboledas.
- Localiza y cartografía ampliaciones de casas, carreteras, edificios, patios y pequeñas explotaciones agrícolas y ganaderas.
- Diferencia distintos tipos de edificios y cosas.

**10 metros**

- Ubica y cartografía edificios, predios, carreteras, limites de propiedad, campos de deporte, granjas y calles laterales.
- Diferencia entre parcelas cultivadas y. sin cultivar en (unción de la salud vegetativa relativa.
- Facilita tipificaciones de la cubierta del suelo en pequeñas áreas.

**20-30 metros**

- Ubica aeropuertos, cascos urbanos, barriadas periféricas, centros comerciales, complejos deportivos, grandes fábricas, extensos bosques y explotaciones agrícolas de gran amplitud.
- Realiza clasificaciones generalizadas de la superficie del terreno,

**80 metros**

- Cartografía estructuras geológicas regionales.

- Evalúa la salud vegetativa en una región relativamente extensa.

### **1 kilómetro**

- Valora la salud vegetativa en estados
- visualiza países enteros.
- Sigue eventos regionales como plagas de insectos, sequía y desertificación.

## **2.8.- GEORREFERENCIACION DE IMÁGENES**

La utilización de sensores remotos colocados en satélites es una herramienta muy poderosa para la evaluación, estudio y monitoreo de los recursos naturales en la tierra.

Para muchas aplicaciones con datos de sensores remotos se requiere de una gran precisión geométrica, por ejemplo para la superposición con mapas, para esto las imágenes deben ser corregidas geométricamente, mediante el proceso conocido como Georreferenciación.

Si el producto satelital requerido no está georreferenciado, ni corregido geográficamente es necesario adicionar algunos puntos geográficos de control. Este procedimiento se llama georeferenciación y básicamente consiste en introducir las coordenadas de puntos fácilmente reconocibles en la imagen como son cruces de carreteras, desembocaduras de ríos, construcciones o rasgos fisiográficos que no sean demasiado dinámicos. Los puntos adicionales de esta forma deben estar distribuidos en la escena, tratando al máximo de evitar la linealidad en su colocación. El nivel de precisión alcanzado en la georeferenciación depende en gran medida de la fuente de información geográfica utilizada (mapas temáticos, cartografía oficial, puntos de GPS, etc) y de la escala a la cual se vaya a realizar el trabajo. Como regla general de precisión se puede decir que el error medio cuadrático de los puntos debe ser inferior a tres.

Es fundamental para cualquier tipo de corrección identificar claramente sobre la imagen puntos de control, tales como cruces de caminos o vías férreas, puentes o accidentes geográficos claros y que no cambien sus formas muy rápidamente. La

característica a tener en cuenta en la elección a priori de un punto de control terrestre (GCP) es la capacidad de “localización inequívoca” con la mayor precisión tanto en la imagen como en el terreno. Los puntos de control de tierra se adquieren de las formas o bien a través de digitalización de mapas o bien con mediciones en campo con GPS, que son muy precisos. La cantidad de puntos necesarios para una buena rectificación depende del orden del polinomio a usar, del relieve del área y del grado de precisión requerido. Es importante tener en cuenta tres aspectos para la elección de los puntos de control, el número, la localización y distribución. El número depende de la complejidad del terreno y mientras más se usen es mejor, buscando que los puntos no tengan dinamismo temporal y es importante que la distribución sea uniforme en toda la imagen y no que estén concentradas todos en un sector solamente, por ejemplo alrededor de una ciudad.

## **2.9.- CORRECCION GEOMETRICA**

Este concepto incluye cualquier cambio en la posición que ocupan los píxeles de la imagen. Por contraposición con las correcciones radiométricas, (ecualización, filtrados, etc), aquí no se pretende modificar los píxeles de la imagen, sino solo su posición, sus coordenadas. Gracias a tratarse de un formato digital, esta transformación puede basarse en funciones numéricas, que permiten modificar muy flexiblemente la geometría de la imagen.

Esta transformación puede emplearse para:

- Corregir cartográficamente una imagen
- Superponer dos o más imágenes entre sí

En el primer caso, se pretende transformar las coordenadas de la imagen en coordenadas cartográficas, con objeto de que la imagen resultante pueda superponerse sobre mapas convencionales.

En el segundo, se busca ajustar dos o más imágenes entre sí, normalmente con objeto de realizar estudios multi-temporales.

Sea una u otra finalidad, las modificaciones geométricas de la imagen pueden abordarse con dos orientaciones. La primera de ellas parte de la información sobre las características orbitales del sensor. Esto permite corregir los errores sistemáticos, como son los derivados de la rotación terrestre o de la inclinación de la órbita, a partir de modelar teóricamente su influencia en la imagen final.

La segunda alternativa de corrección es más empírica. Parte, bien de una cartografía básica a la que se pretende ajustar la imagen, bien de otra imagen que se considera como referencia. En ambos casos, la corrección se realiza en tres fases.

1. Localización de puntos comunes a la imagen y el mapa (o a otra imagen de referencia).
2. Cálculo de las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen y las del mapa.
3. Transferencia de los ND originales a la nueva posición, definida por la transformación previa.

## **2.10.- CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA**

Debido a que el satélite con el sensor se encuentra situado a una altura de unos 705 Km, la respuesta radiométrica que le llega desde la superficie se modifica a consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en las radiaciones visibles e infrarrojas próximas es debido a la dispersión producida por las moléculas de los gases (dispersión de Rayleigh). Ésta es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, por lo que afecta mucho más a las longitudes cortas (azul) que a las longitudes más largas (infrarrojo medio). Otros efectos de dispersión atmosférica pueden ser debidos a la presencia de partículas de aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda (aerosoles), pero son más esporádicos y suelen presentarse únicamente en días de atmósferas poco nítidas.

Para aproximar la respuesta recibida por el sensor a la real del objeto observado en la superficie terrestre, se suelen aplicar métodos que tiendan a eliminar la dispersión por

sustracción, ya que ésta produce un efecto puramente aditivo a la radiación que procede directamente del objeto observado. Uno de estos métodos es el conocido como *Histogram Minimum Method* (Campbell, 1987). Este método se limita a sustraer en cada banda el valor mínimo observado, ya que se supone que en una escena siempre pueden existir algunos pixeles en sombra total, que en ausencia de atmósfera no recibirían ni deberían reflejar ninguna energía de procedencia solar.

Chavez en 1989 propuso una mejora de este método basado en la suposición que el agua debe absorber totalmente las radiaciones infrarrojas medias y por lo tanto la energía reflejada por las superficies de agua es en su mayor parte debida a la dispersión atmosférica. A partir del valor de dispersión encontrado para el infrarrojo medio puede calcularse el valor teórico de dispersión para el resto de las longitudes de onda, sobre todo para el efecto Rayleigh.

- **Dispersión de Rayleigh**

Si profundizamos un poco más en los fenómenos subyacentes a la naturaleza del color azul del cielo, hay que estudiar la interacción entre la luz y las partículas de pequeño tamaño, denominada dispersión de Rayleigh.

En general, cuando una onda electromagnética (como es la luz del sol) incide sobre un átomo aislado o una molécula pequeña, interacciona con una nube de electrones enlazados, comunicando energía al átomo. Esto hace que el nivel más bajo de energía del átomo (su estado base o natural) se ponga en vibración.

Estos electrones oscilantes no permanecen en este estado mucho tiempo, sino que regresan a su estado base re irradiando una cierta parte de la energía que absorbieron inicialmente.

Lord Rayleigh estudió la dependencia de la cantidad de luz remitida con la longitud de onda de la luz incidente, determinando que la cantidad de luz remitida es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda de la luz incidente.

Esto significa que si la luz incidente es blanca, compuesta por ondas de diferente

longitud de onda (diferente color), la luz remitida contendrá mayor cantidad de colores con longitud de onda pequeña (azules y violetas) que con longitud de onda grande (amarillos y rojos). Llegamos por tanto a la misma conclusión.

- **Dispersión de Mie:**

La dispersión de Mie se aplica a la interacción entre la luz y las partículas de gran tamaño. Para ser llamadas partículas "grandes", deben tener tamaño mayor que la longitud de onda de la luz. El comportamiento de las partículas grandes de la atmósfera en este caso es como si fuera un espejo, sin preferencia por ninguna componente de color de la luz blanca incidente.

Este tipo de interacción ocurre con las nubes del cielo, que están compuestas por gotas de agua incoloras de gran tamaño. Estas gotas reflejan como un espejo la luz blanca policromática que incide sobre ellas sin alterar su color. Por eso las nubes aparecen tan blancas en el cielo.

Cuando las partículas en suspensión de la atmósfera son aproximadamente del tamaño de la longitud de onda de algún color, entonces esparcen la luz de forma muy distintiva, dando lugar a un gran rango de colores transmitidos. Este es el origen del resto de colores que aparecen en el cielo.

- **Corrección por el método sombra**

Los procesos de identificación, clasificación y comparación multitemporal de imágenes de satélite se ven dificultados por los efectos de iluminación y sombreado debidos a orientación de las laderas frente al vector solar, especialmente importantes en zonas montañosas. Se presenta un método simple que, a partir de un modelo digital de elevaciones, de los valores de iluminación directa y difusa, y de las coordenadas solares en el momento de la toma de la imagen, construye un modelo de reflectancia en el que los valores son función de la exposición de cada punto frente a las fuentes de iluminación. El modelo supone superficies perfectamente difusoras y tiene en cuenta el posible ocultamiento topográfico. Los valores calculados para cada punto son utilizados para una corrección de las imágenes Landsat TM (bandas 4 y 5),

previamente rectificadas geométricamente al sistema de proyección UTM. La corrección, realizada pixel a pixel, es proporcional a la desviación del valor calculado frente al de una superficie horizontal.

## **2.11.- TÉCNICAS, PRINCIPIOS Y CONCEPTOS BÁSICOS DEL SIG**

### **2.11.1.- LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

El término SIG procede del acrónimo de Sistema de Información Geográfica (en inglés GIS, Geographic Information System).

Técnicamente se puede definir un SIG como una colección organizada de equipos electrónicos (hardware) programados adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica), es decir que están diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada, que permite realizar una serie de análisis complejos siguiendo los criterios impuestos por un equipo científico (personal)(ESRI).

**FIGURA 2.3. COMPONENTES DEL SIG**



Fuente: Wikipedia.org

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El Sistema de Información Geográfica separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las bases de datos espaciales de un SIG pueden ser raster o vectoriales:

- **SIG Raster**, se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Compartimenta el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.
- **SIG Vectorial**, se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

### **2.11.2.- DEFINICIÓN**

Se empieza por definir lo que es un sistema de información geográfica. Aunque se pueden encontrar infinidad de definiciones, se exponen dos, la primera por su sencillez y claridad (Cebrian y Mark, 1986) “Base de datos computerizada que contiene información espacial” y la segunda por ser una de las mas amplias que se pueden encontrar (J.R. Carter 1988) “Un sistema integrado para capturar, almacenar, manejar, analizar y mostrar información de naturaleza geográfica”.

En cuanto a la naturaleza geográfica, se puede discutir, que prácticamente cualquier cosa tiene una naturaleza geográfica a la escala adecuada, pero aplicado a las

carreteras, es indiscutible, que la componente geográfica de todos los elementos que podamos almacenar, tienen una importancia vital. Es fundamental en cuanto a la utilidad de las “cosas” mismas, puesto que cada cosa debe estar en su sitio, ya sea la señalización que avisa, informa y aconseja al conductor, como todos los elementos constructivos que forman la carretera. La localización de éstos no es indiferente, deben estar en su sitio para cumplir correctamente su función.

Esta definición tan amplia, nos permite integrar en el sistema algunas partes que con frecuencia quedan fuera, y que hacen que el SIG pase de ser un programa informático para guardar y mostrar información geográfica, a un sistema integrado de gestión de la información, que tiene como partes integrantes, los sistemas de análisis y de ayuda a la decisión, el personal necesario para que dicho sistema funcione y el apoyo económico para mantener en funcionamiento el sistema completo.

De esta manera un SIG no es un programa que viene en un CD y que se elige en las estanterías de una tienda, se compra, se introduce en un ordenador y funciona.

Un SIG, especialmente un SIG -T o un SIG de carreteras, es un sistema que comienza por definir sus objetivos, recopilar la información, desarrollar los análisis y las ayudas a la decisión, introducirlo todo en ese programa que se compra en la tienda y disponer del personal necesario para operar el sistema y mantener al día la información y el sistema mismo. Puesto que un sistema de gestión de carreteras, tiene una vida indefinida, tan larga como la propia carretera.

### **2.11.3.- COMPONENTES DE UN SIG**

Los componentes de un SIG son tradicionalmente cuatro: la base de datos espacial o gráfica, la base de datos de atributos, el sistema de análisis, y el sistema de representación.

**La base de datos espacial**, es el plano digital sobre el que se basa el sistema, en el se sitúan espacialmente todos los elementos. Contiene las relaciones topológicas entre

elementos que permitirán analizar espacialmente los datos y sirve de soporte para el sistema de representación.

En el caso de SIG raster es muy sencillo, puesto que simplemente consta de una matriz de puntos que queda definida por el tamaño del punto y la función de transformación entre las coordenadas de la matriz y las coordenadas espaciales.

En el caso del SIG vectorial, recoge los elementos que forman parte del SIG, sus posiciones y sus relaciones topológicas.

**La base de datos de atributos**, almacena todos aquellos datos numéricos y textuales que se atribuyen a entidades gráficas. Pueden ser desde nombres de poblaciones, número de habitantes de cada núcleo de población, nombres de las carreteras que unen éstos, sus tráfico, su regularidad, su capacidad estructural, su coeficiente de rozamiento, año de construcción, empresa constructora, método constructivo, capas, espesores y materiales, obras realizadas con posterioridad, tales como refuerzos o capas de regularización. Señales, año de fabricación, fabricante, fecha de colocación, fecha de revisión, lectura de retroreflexión. Obras de fábrica, obras de drenaje, actuaciones de vialidad invernal, accidentes y un largo etcétera.

En general, se trata de una base de datos relacional que almacena ordena y permite la realización de consultas y búsqueda de la información. Puede formar parte del SIG o ser una base de datos externa al sistema.

**El sistema de análisis**, es el corazón que contiene toda la lógica del sistema. Aquí es donde se recogen todas las operaciones espaciales que nos permitirán preguntar:

- ¿qué señales hay en torno a un hito kilométrico de una carretera?
- ¿cuál es el camino más corto entre dos puntos de la red de carreteras, o el más rápido?
- obtener la información actualizada del estado del tráfico en una zona congestionada
- la regularidad o el rozamiento medio de cada tramo o si le dotamos de las funciones adecuadas

- la vida remanente de cada tramo de carretera,
- la prioridad de actuación, o las distintas alternativas de conservación del firme en función del presupuesto disponible.

**El sistema de representación**, es el producto palpable del SIG, los resultados que se obtienen de él, ya sea en pantalla o en papel. Componen el sistema de representación: la generación de listados, gráficos y mapas del sistema.

#### **2.11.4.- CLASIFICACIÓN DE LOS SIG**

La clasificación fundamental de los SIG se establece por el formato de los datos espaciales, en definitiva de como se transforma el formato analógico que son los datos reales a un formato digital que puedan almacenar los ordenadores. Existen dos tendencias fundamentales, los SIG raster, y los SIG vectoriales.

En un SIG raster la realidad se digitaliza en forma de mapas de bits, o fotografías digitales, en las que cada bit o pixel representa una porción del territorio. En la actualidad su utilización fundamental es para la explotación de imágenes de satélites, bien sea para búsqueda de recursos naturales, evaluación de cosechas, sequías, etc.

Casos en los que se abarca una gran área de la superficie terrestre en la que se quiere analizar algo y donde en general la fuente de información más apropiada son las propias imágenes de satélites. También se usan para el tratamiento de modelos digitales de terreno, modelos de pendientes, escorrentías, etc.

En un SIG vectorial la realidad se digitaliza como si fuera un plano digital, mediante entidades asimilables a un dibujo, puntos, líneas y áreas o polígonos cerrados. De esta manera cada elemento adquiere una personalidad propia e independiente. Requieren de un proceso de carga de datos o digitalización importante, pero son muy apropiados, para el tratamiento espacial de las entidades, permitiendo operaciones lógicas de superposición de puntos sobre líneas y áreas o de líneas sobre polígonos y

para las operaciones topológicas entre entidades, como son la continuidad de unas líneas con otras, la división de un territorio en áreas, etc.

Podría decirse que son los más extendidos hoy en día para la mayor parte de los casos. Registros, catastros, inventarios, cálculo y optimización de rutas.

Por último cabe mencionar los SIG mixtos, en los que se encuentran ambas funciones, raster y vectorial, ya que todos los programas comerciales tienden a abarcar todos los campos.

En general predomina una de las facetas y según su origen son SIG raster con funciones vectoriales, o SIG vectoriales con funciones raster.

En el primer caso, permiten por ejemplo, la obtención de los contornos de áreas con iguales características, como son mapas de cultivos, de isolíneas en los que se obtiene una línea vectorial como resultado de operaciones sobre modelos raster.

En el segundo caso, son SIG vectoriales que permiten georreferenciar imágenes para añadir como fondo a los mapas temáticos o para digitalizar líneas a partir de imágenes en vez de a partir de planos de papel.

En cualquier caso, los programas cada vez son más completos y permiten una convergencia de ambos SIG, poniendo a disposición de los usuarios todas las funciones de ambos, para que se aproveche en cada momento lo mejor de cada uno de los sistemas.

Un uso típico de estos SIG híbridos son el seguimiento de incendios en zonas remotas, o la inspección de cultivos sometidos a ayudas públicas, en los que mediante fotografías aéreas o de satélite, se puede determinar la zona de un incendio y cuantificarla, o determinar que parcelas han sido sometidas a que cultivos, cuantificarlas, compararlas con las ayudas solicitadas para su aprobación, denegación o modificación.

#### 2.11.4.1. LOS SIG VECTORIALES

Vamos a centrarnos en los SIG vectoriales al ser estos los más usados para carreteras. Ya se ha dicho que en estos sistemas cada elemento a incluir tiene entidad propia.

- **Las entidades**

Generalmente se consideran tres tipos de entidades básicas: puntos, líneas y áreas. Las entidades suelen agruparse por niveles o capas de elementos del mismo tipo, así existirá una capa de carreteras, otra de señales horizontales, otra de señales verticales, otra de sistemas de contención, otra de servicios, otra de núcleos de población, otra de división administrativa del territorio, en comunidades autonómicas, en provincias y en municipios.

Cada entidad, tendrá un identificador único que permitirá al sistema asociarle su posición y sus atributos.

La entidad punto, es la más sencilla y se define por su posición, su capa y su identificador. La única relación topológica entre puntos es la coincidencia.

La entidad línea, se define por su posición, como la posición de cada uno de sus puntos, su capa y su identificador. Su topología, consta de un punto o nodo inicial y otro final. De esta manera dos líneas que coincidan en un nodo tendrán una continuidad, pudiendo formar parte de una entidad superior que se denomina itinerario o ruta.

La entidad área, en algunos sistemas se denominan polígonos, se define por la posición de las líneas que forman su contorno, su capa y su identificador. Su topología consta de las líneas de contorno y la referencia a áreas adyacentes. En algunos sistemas una capa de áreas, lleva asociada una capa de contornos auxiliares que son las líneas que separan unas áreas de las vecinas, y que a su vez tienen como topología, su nodo de comienzo y final y las áreas a izquierda y derecha. De esta manera dos polígonos o áreas son contiguos cuando tienen una línea de contorno

común. A su vez las líneas de contorno de áreas tienen como particularidad que siempre tienen que conectar con otras para formar recintos cerrados o áreas.

Llamamos topología a la descripción de la posición de cada elemento y al estudio de las relaciones espaciales entre ellos. Así, para los puntos se estudiara, la coincidencia de puntos entre sí, la pertenencia de un punto a una línea, o la inclusión de un punto dentro o fuera de un área. Para las líneas, se estudiara la conectividad de unas líneas con otras, la terminación de líneas sin conexión o el cruce de varias líneas. Para las áreas, se estudiara la superposición de unas con otras, las relaciones de vecindad y el grado de cobertura de un espacio por un conjunto de polígonos.

- **Distancia**

La distancia entre dos puntos es la base de gran número de operaciones topológicas, ya que en general muchos de ellos consisten en determinar si la distancia entre dos puntos es mayor o no que una tolerancia, o en obtener el mínimo de la distancia entre dos entidades.

En general se usa la distancia geométrica en dos dimensiones, aunque en algunos casos se usa la distancia en tres dimensiones, o alguna otra medida.

Con frecuencia se usa el tiempo que se tarda en llegar de un punto a otro. Por ejemplo en modelos de accesibilidad o de tráfico, o en modelos hidráulicos el tiempo que tarda el agua de una cuenca en llegar desde un punto al punto de concentración.

Para estos cálculos de distancia será necesario disponer de algunas informaciones adicionales, como son la tercera dimensión o cota, la pendiente, el coeficiente de escorrentía, o la velocidad de recorrido de cada carretera.

- **Geocodificación**

El proceso de geocodificación consiste en determinar la localización espacial de cada objeto geográfico, de cada elemento del SIG. Es posible llevarlo a cabo de dos

maneras diferentes, de forma directa asignando coordenadas a cada punto, o de forma indirecta haciendo referencia a otros elementos ya geocodificados.

En cualquier caso se debe definir el sistema de coordenadas en el que vamos a trabajar y representar nuestros elementos. Aunque no hay motivo para no usar coordenadas tridimensionales, por sencillez y economía se suelen usar coordenadas bidimensionales, ya sean esféricas, como la longitud/latitud, o planas como las coordenadas UTM, Lambert, etc. Siempre se debe especificar el sistema de coordenadas y la precisión del sistema de representación adecuándonos al área de estudio y la precisión que requiramos al sistema.

La geocodificación directa, puede realizarse de diversas maneras, siendo las más comunes, la adquisición de datos directamente en campo, mediante GPS o técnicas topográficas clásicas, o en gabinete, mediante la digitalización de mapas o fotogramas.

La geocodificación indirecta, es muy potente y económica, pues permite situar geográficamente cualquier elemento siempre que sepamos referirlo a otros elementos ya geocodificados. Son ejemplos de geocodificación indirecta, el sistema de direcciones postales de las calles, de los códigos postales, o de los distritos censales, todos ellos de gran utilidad en el análisis de mercados y en el marketing.

Pero en el caso de carreteras se pueden encontrar ejemplos de similar utilidad, como la simple referencia de hitos kilométricos en una carretera, conociendo en qué punto kilométrico se encuentra cualquier elemento puntual o entre qué dos puntos kilométricos se encuentra cualquier elemento lineal, esté se puede situar ya sea una gasolinera o área de servicio, una señal, una barrera, un firme, etc. Este sistema de referencia es de gran utilidad e importancia, y se trata con más detalle en un apartado posterior.

Este proceso de digitalización y geocodificación es muy importante, por el coste que puede suponer, respecto al total de cualquier proyecto SIG, y por que de su precisión

depende en gran medida la precisión final de los resultados. Hoy en día existe una tendencia a la creación de organismos públicos que creen y publiquen datos ya digitalizados, así como a que entidades privadas comercialicen paquetes de datos que por su elevado coste, harían inviable muchos proyectos por falta de fuentes de datos o por el coste de elaborarlos, pero que mediante su difusión o venta a múltiples usuarios, permite justificar los elevados costes de creación, depuración y mantenimiento de estos paquetes de datos.

Dicha tendencia comenzó en USA con los ficheros DIME (1970) elaborados por la oficina del censo y el USGS y sus ficheros DLG y TIGER y han terminado en una iniciativa federal llamada NSDI (1991), National Spatial Data Infrastructure, que consciente del elevado coste de creación de datos espaciales, promulga la responsabilidad de cada organismo de crear, mantener y compartir sus datos espaciales, para evitar el despilfarro que supone la repetición de dichos trabajos por otros organismos públicos y privados.

En Europa y en España han seguido actuaciones encaminadas en el mismo sentido, con la creación del CNIG Centro Nacional de Información Geográfica dependiente del IGN, y la publicación de las BCN 1000 BCN 200 y BCN 25, Bases cartográficas numéricas a escalas 1:1.000.000, 1:200.000 y 1:25.000 respectivamente que están siendo elaboradas y su mantenimiento sistematizado por el IGN y que pueden ser adquiridas, aunque todavía con algunas limitaciones de uso y difusión y a precios elevados.

#### ▪ **Operaciones topológicas entre entidades**

Creación de topología. La primera operación topológica de los sistemas SIG, es la comparación de todas las entidades entre sí y la asignación de las propiedades topológicas a cada entidad. Es importante señalar que algunos SIG no disponen de esta creación de topología, pudiendo representar formatos de datos de otros SIG que si disponen de ella o en otros casos carecen de todo tratamiento de la topología, por lo que son meras representaciones de entidades de dibujo.

Por ejemplo Arcview puede trabajar con datos topológicos creados con Arcinfo, permitiendo funciones avanzadas como el análisis de redes, pero no puede dar topología a los datos creados por si mismo.

Otro ejemplo son algunas hojas de cálculo, que pueden crear mapas temáticos, pero son incapaces de hacer ninguna operación topológica.

Otro punto de gran importancia relativo a la creación de topología, son las ayudas del programa para la depuración de los errores topológicos más comunes: polígonos no cerrados, líneas que se cruzan, nodos libres, cuasi intersecciones o intersecciones sobrepasadas.

Las operaciones topológicas más comunes, son:

Análisis punto línea, se estudia si un punto pertenece a una línea o no y a qué distancia del origen está dicho punto. Se lleva a cabo calculando la distancia del punto a la línea, si dicha distancia es menor que una cierta tolerancia se considera que pertenece a la línea, o que no pertenece en caso contrario.

Análisis punto polígono, se estudia si un punto es interior o exterior a un polígono cerrado. Aunque existen varios algoritmos, el más simple y rápido consiste en trazar una semirrecta con origen en el punto y evaluar el número de veces que la recta corta al polígono. Si es un número es impar, el punto es interior, si es par el punto es exterior.

Intersección entre líneas, consiste en determinar si cada segmento de una línea intercepta con los de la segunda, reduciéndose a realizar múltiples veces la intersección entre dos segmentos rectilíneos.

Análisis línea polígono, consiste en obtener la intersección de una línea con el contorno del polígono, y determinar si existe la intersección y en caso afirmativo dividir la línea en tres, dos externas y una interna.

Superposición de polígonos, consiste en obtener la intersección de las dos líneas de contorno de cada polígono, determinando en caso de exista la intersección, la parte común a ambos polígonos y la parte no común de cada uno de ellos.

Áreas de influencia, los análisis de área de influencia son varios, ya sean áreas de influencia de puntos, líneas o áreas. Todos se reducen a estudiar los elementos que quedan dentro de un área de influencia, es decir a puntos, líneas, o polígonos que quedan dentro de un polígono. El área de influencia se define como el área que comprende todos los puntos del espacio cuya distancia al elemento de estudio es menor que una dada. Aunque pueden estudiarse distancias no geométricas, estas son las más comunes. Así el área de influencia de un punto es un círculo a su alrededor, el de una línea es el polígono formado al hacer dos paralelas a izquierda y derecha terminado en dos semicírculos, y el área de influencia de un polígono es el formado por una paralela de su contorno.

Análisis de vecindad, vienen dados por la topología de los elementos, se definen como líneas vecinas las que confluyen en un mismo punto o nodo, y polígonos vecinos, los que comparten al menos parcialmente un contorno.

Intersección de objetos geográficos, son el resultado de las operaciones de líneas con polígonos o de dos polígonos entre si, y determinan la porción de una línea que es interior a un polígono o la parte común de dos polígonos.

Unión de objetos geográficos, solo caben dos uniones, la de dos líneas vecinas o la de dos polígonos.

- **Análisis de redes**

Determinación de distancias y recorridos de una red, como ya se ha comentado al hablar de distancias, en estos análisis se calcula el tiempo que se tarda en recorrer una línea en función de los valores de curvatura y pendiente, del grado de congestión o de algún parámetro meteorológico como pueda ser la lluvia, nieve o niebla. Todos ellos

se modelizan como coeficientes que van disminuyendo la velocidad de recorrido en cada punto. Es evidente que en estos estudios es imprescindible contar con el máximo grado de detalle en la información relativa a todos los factores de retardo.

Optimización de redes. Se tratan de optimizar el recorrido de una red, ya sea en tiempo o en distancia entre dos o mas puntos. Se usa para la organización de transportes públicos, recogidas de basuras, o en el caso más simple para hallar el camino mas rápido o mas corto entre dos puntos, para la planificación de viajes o para el acceso rápido de servicios de urgencia, como ambulancias o bomberos.

Análisis de proximidad y de accesibilidad, se usan en los procesos de planificación de redes, para dar servicio a una región o también en los estudios de ubicación de urbanizaciones, centros comerciales o industrias. Modelos de localización asignación

- **Presentación de resultados**

Todas las capacidades de los sistemas de información geográfica se resumen en los resultados que pueden producir. Se deben considerar como resultados todas las salidas del sistema, ya sean listados, gráficos, o mapas.

Aunque suelen entregarse en papel, todas las presentaciones suelen presentarse en pantallas interactivas, con gran facilidad de modificar los parámetros y rangos de los valores a representar, en forma de mapas temáticos o gráficos.

## **2.11.5.- EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN DE UN SIG**

### **2.11.5.1. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

En esta etapa se administra la información geográfica y descriptiva contenida en las bases de datos y los elementos en que físicamente son almacenados.

La información en un SIG es almacenada en cuatro grandes conjuntos de bases de datos:

- **Bases de datos de imágenes:** Estas imágenes representan fotográficamente el terreno.
- **Bases de datos complementarios de imágenes:** Esta base de datos contiene símbolos gráficos y caracteres alfanuméricos georeferenciados al mismo sistema de coordenadas de la imagen real a la que complementan.
- **Bases de datos cartográficos:** Almacena la información de los mapas que representan diferentes clases de información de una área específica. Corresponden a las coberturas o categorías.
- **Bases de datos de información descriptiva:** Esta base facilita el almacenamiento de datos descriptivos en las formas mas comunes de tal forma que puedan ser utilizados por otros sistemas.

#### 2.11.5.2. EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las formas de extraer o recuperar información de los SIG son muy variadas y pueden llegar a ser muy complejas. Las formas básicas para extraer la información son:

- **Extracción Mediante Especificación Geométrica.**

Consiste en extraer información del SIG mediante la especificación de un dominio espacial definido por un punto, una línea o un área deseada. Por ejemplo: seleccionar por medio del apuntador gráfico un río en un mapa, una tubería en un plano.

- **Extracción Mediante Condición Geométrica**

Extraer por medio de un dominio espacial y una condición geográfica entidades gráficas. Por ejemplo: las poblaciones que se encuentren en un radio de 5 Km al rededor de una bocatoma.

- **Extracción Mediante Especificación Descriptiva.**

Extracción de las entidades espaciales que satisfagan una condición descriptiva determinada. Por ejemplo todos los predios que tengan el mismo dueño.

- **Extracción Mediante Condición Descriptiva o Lógica.**

Extracción de entidades espaciales que cumplan la condición descriptiva y una expresión lógica cualquiera relacionada con uno algunos de sus atributos espaciales asociados. Por ejemplo, todos los predios que pertenezcan al mismo dueño, con áreas superiores a 500 hectáreas y perímetro superior a 10.000 metros.

### **2.11.5.3. EDICIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Permite la modificación y actualización de la información. Las funciones de edición son particulares de cada programa SIG. Las funciones deben incluir:

- Mecanismos para la edición de entidades gráficas (cambio de color, posición, escala, dibujo de nuevas entidades gráficas, entre otros.)
- Mecanismos para la edición de datos descriptivos (modificación de atributos, cambios en la estructura de archivos, actualización de datos, generación de nuevos datos, entre otros.)

### **2.11.5.4. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Permite realizar las operaciones analíticas necesarias para producir nueva información con base en la existente, con el fin de dar solución a un problema específico.

Las operaciones de análisis y modelamiento se pueden clasificar en:

- **Generalización Cartográfica.**

Capacidad de generalizar características de un mapa o presentación cartográfica, con el fin de hacer el modelo final menos complejo.

- **Análisis Espaciales**

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes,

hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno.

Los diferentes tipos de análisis que un SIG debe realizar son:

- **Contigüidad:** Encontrar áreas en una región determinada.
- **Coincidencia:** Análisis de superposición de puntos, líneas, polígonos y áreas.
- **Conectividad.** Análisis sobre entidades gráficas que representen redes de conducción, tales como:
  - **Enrutamiento:** Como se mueve el elemento conducido a lo largo de la red.
  - **Radio de acción:** Alcance del movimiento del elemento dentro de la red.
  - **Apareamiento de direcciones:** Acople de información de direcciones a las entidades gráficas.
- **Análisis digital del terreno:** Análisis de la información de superficie para el modelamiento de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.
- **Operación sobre mapas:** Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelamiento de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial)
- **Geometría de coordenadas:** Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas, transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas, corrección de errores.

#### **2.11.5.5. SALIDA Y REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La salida de información de un SIG puede ser de tipo textual o de tipo gráfico. Ambos tipos de información pueden ser presentados en forma digital o analógica.

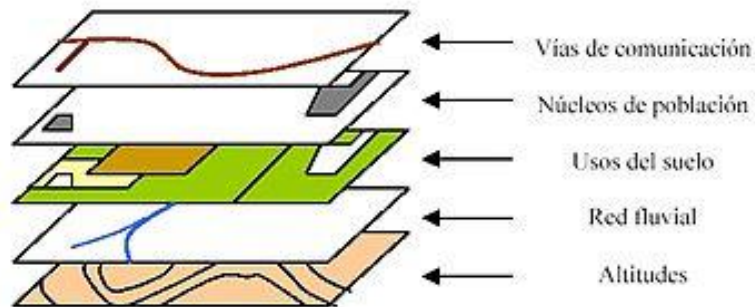
La representación digital se utiliza cuando dicha información, o en general, a otro medio sistematizado. El medio analógico es el que se presenta al usuario como

respuesta a un interrogante del mismo. La información textual analógica consiste normalmente en un conjunto de tablas que representan la información almacenada en la base de datos o representan el resultado de algún tipo de análisis efectuado sobre ésta. La información analógica gráfica consiste en mapas, gráficos o diagramas. Ambos tipos de información pueden ser presentados en una pantalla o impresos en el papel.

El sistema debe proveer la capacidad de complementar la información gráfica, antes de su presentación definitiva, por medio de una simbología adecuada y manejar la posibilidad de adicionar elementos geométricos que permitan una calidad y una visualización fáciles de entender por el usuario.

#### 2.11.6.- FUNCIONAMIENTO DE UN SIG

**FIGURA 2.4. FUNCIONAMIENTO DEL SIG**



Fuente: Wikipedia.org

Un Sistema de Información Geográfica puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis multicriterio complejos

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena

independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas:** detección de pautas espaciales.
6. **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

## **2.12.- EL SIG EN LA GESTIÓN DE CARRETERAS**

El desarrollo de la informática ha revolucionado la técnica en los últimos años. En la ingeniería de carreteras, hoy lo abarca todo, desde el diseño de carreteras, la generación de cartografía, los modelos de terreno, hasta la elaboración de mediciones y presupuestos y de un tiempo a esta parte, la gestión y conservación de carreteras, o la presentación multimedia de proyectos.

A la hora de abordar la gestión de carreteras, se buscan herramientas que permitan almacenar todo tipo de datos, que la introducción de dichos datos se haga de forma fácil y se puedan mantener y actualizar con esa misma facilidad. Asimismo se buscan herramientas que permitan el análisis de esa inmensidad de datos, sintetizarlos y

presentarlos de forma atractiva y fácilmente comprensible. En definitiva, de explotar esos datos sacándoles todo el partido posible.

Para conseguir un sistema racional que nos permita la gestión de carreteras se deben buscar soluciones completas que integren todos los procesos: adquisición, almacenamiento y mantenimiento de la información, así como su análisis y presentación gráfica

A continuación se expondrán los sistemas de información geográfica como herramientas fundamentales en un sistema de gestión de carreteras, de las particularidades que deben contemplar los SIG para carreteras, o SIG -T, de los sistemas SIG que existen en el mercado y por último, de qué mas hay que pedirles a dichos sistemas, y que cosas nuevas tienen que ofrecernos.

### **2.13.- PARTICULARIDADES DE LOS SISTEMAS SIG PARA CARRETERAS**

Aunque los sistemas SIG son bastante genéricos, han tenido que tener en cuenta algunas particularidades y necesidades específicas de los sistemas de gestión de carreteras.

De hecho existen algunas funciones comunes para la gestión de lo que en inglés se conocen como “utilities”, y que corresponden a líneas de transporte de energía eléctrica, gas, petróleo, agua, alcantarillado, carreteras y ferrocarriles.

Estos sistemas tienen la particularidad de estar formados por entidades lineales conectadas unas con otras mediante nudos. La topología es necesaria para poder evaluar las posibilidades de recorrido de la red.

Por ejemplo, puede haber autopistas que cruzándose con carreteras de segundo orden no tengan conexión, y por tanto no se puede acceder de una a otra, o puede ser que dicha conexión no permita todos los movimientos como puedan ser los giros a la izquierda.

### **2.13.1.- ANÁLISIS DE REDES**

Además para el análisis de redes, hay que añadir a cada carretera, una longitud real, que puede no coincidir con la longitud de la línea que lo representa en el SIG, y una velocidad de recorrido o tiempo de recorrido, que puede ser variable en función del tipo de vehículo que lo recorre (ligero o pesado), del tipo de conducción (pausada o deportiva) o de condiciones meteorológicas o particulares (nieve, niebla, retenciones, atascos) o incluso puede estar la circulación cortada (obras, accidentes u otros motivos).

### **2.13.2.- SEGMENTACIÓN DINÁMICA**

Otra característica muy útil para carreteras es la llamada segmentación dinámica. Esta consiste en que la segmentación o tramificación en que se ha dividido la red puede subdividirse para representar algunos elementos sin necesidad de modificar la tramificación de la red.

Para representar una red de carreteras, esta se subdivide en una serie de tramos atendiendo a criterios variables, como pueden ser entre intersecciones o entre poblaciones. Pero qué ocurre si quisiéramos representar un subtramo, tendríamos que romper el tramo principal en varios para que el subtramo a representar coincida con un tramo en el SIG. Esto requiere tiempo y trabajo.

Pero qué pasa si no se sabe que tramos se quieren representar. Por ejemplo si se quieren representar la accidentabilidad por tramos de carreteras, pero también los TCA por kilómetros, o la regularidad por tramos de 100 m o las deflexiones que se tomaron cada 250 m. Esto representaría una seria complicación puesto que sería necesario tener tramificada la red de varias maneras y saber cuál es la más adecuada en cada caso.

La segmentación dinámica viene a resolver este problema. Para ello se tramifica la red con el criterio que se elija, pero a cada tramo se le asignan el punto kilométrico

inicial y final y para ajustar mejor las distancias intermedias se sitúan algunos puntos intermedios de control, como puedan ser los hitos kilométricos. De esta manera el sistema es capaz de medir a lo largo de la carretera, y usando los mismos algoritmos que se comentaron al hablar de geocodificación indirecta, se sitúan tramos o elementos puntuales, por referencia a su carretera y punto kilométrico inicial y final.

Mediante segmentación dinámica se pueden representar cualquier elemento o subtramificación sin modificar las líneas que representan la carretera ni tener varias representaciones de la misma carretera con distintas tramificaciones. Lo cual evita hacer un trabajo extra para cada representación, o la complicación de tener que elegir la tramificación adecuada más los trabajos de mantenimiento que exigirían tener varias tramificaciones.

Mediante la segmentación dinámica, se pueden simplificar la geocodificación y la representación de elementos o tramos. De esta manera mediante la simple anotación de los hitos kilométricos en cada elemento o tramo se pueden situar correctamente en su posición al apoyarse en una carretera de la que se tiene su trazado geográfico. Dado que la mayoría de las carreteras están kilometradas, estas referencias son sencillas y válidas para cualquier trabajo en la carretera, localización de accidentes, señales, obras, desperfectos, etc.

También son válidas y se utilizan en otros países otro tipo de referencias no basadas en hitos. En Suecia por ejemplo, se utilizan las distancias a las intersecciones o poblaciones cercanas. Este sistema, presenta algunos inconvenientes, ya que exige localizar en la carretera la intersección más próxima, es necesario un trabajo de traducción de las descripciones que se hacen de las intersecciones a los códigos internos de los programas.

## **2.14.- TENDENCIAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS**

En la actualidad se está extendiendo el uso de las tecnologías SIG de tal manera que como ya se ha comentado incluso algunas hojas de cálculo incluyen funciones de

creación de mapas. Además la extensión de su uso está haciendo que muchos de los SIG puedan programarse para personalizarse e incluso existen SIG empaquetados en librerías de programación de forma que cualquiera pueda incluir funciones SIG en sus aplicaciones.

También se observa que los SIG han entrado en internet, con cada vez más fabricantes de SIG incluyendo servidores de funciones SIG que cualquier navegador puede ver, o de plug-ins para los navegadores más populares de forma que cualquier pagina web puede convertirse en un puesto de trabajo SIG. Por ejemplo se pueden obtener mapas del estado del tráfico en los alrededores de algunas ciudades.

Para terminar, se puede observar una convergencia de las aplicaciones SIG con otras tecnologías multimedia, con la inclusión de fotografías, vídeos, o sonidos en los mismos, y de nuevas formas de representación como son la realidad virtual, que viene a ser un SIG en tres dimensiones.

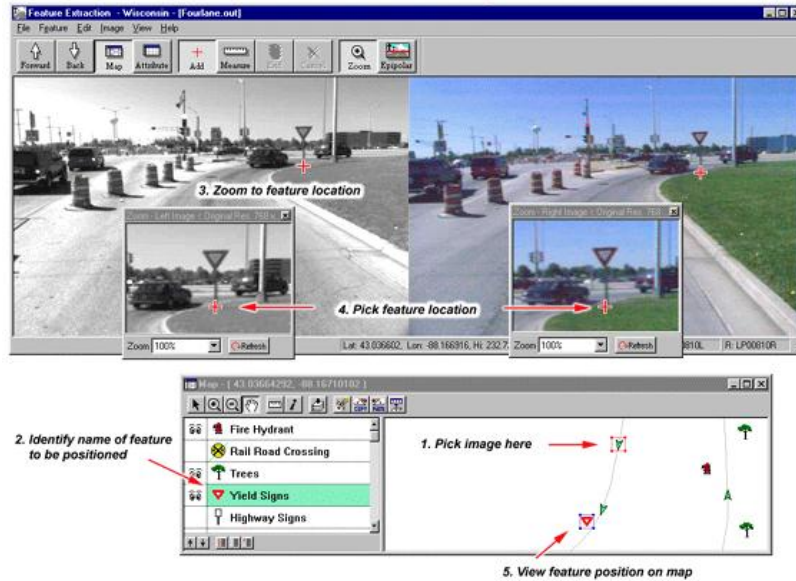
**FIGURA 2.5. CAPTURA DEL PROGRAMA ArgGIS**



Fuente: Wikipedia.org

Se pueden considerar que los nuevos vídeos inventarios son sistemas de información geográfica, puesto que todos los elementos están referidos a una posición geográfica que es el punto kilométrico de una carretera. Aunque son SIG de un sola dimensión.

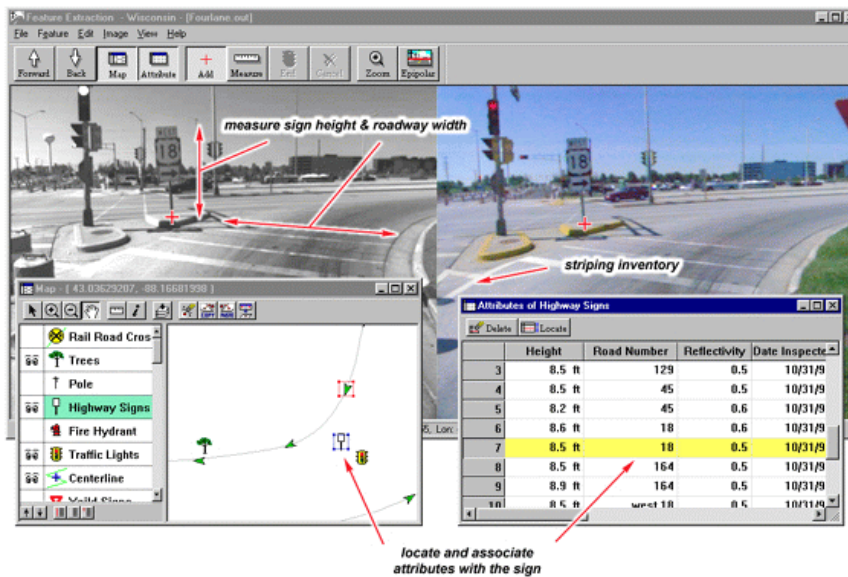
**FIGURA 2.6. CAPTURA DEL PROGRAMA ArgGIS**



Fuente: Wikipedia.org

Algunos tipos de vídeo inventarios, permiten obtener coordenadas geográficas de los elementos utilizando técnicas de triangulación fotogramétrica, medir tamaños y distancias, hacer representaciones tridimensionales y simulaciones con VRML o realidad virtual, superponiendo los elementos inventariados a fotografías reales de la carretera.

**FIGURA 2.7. CAPTURA DEL PROGRAMA ArgView**



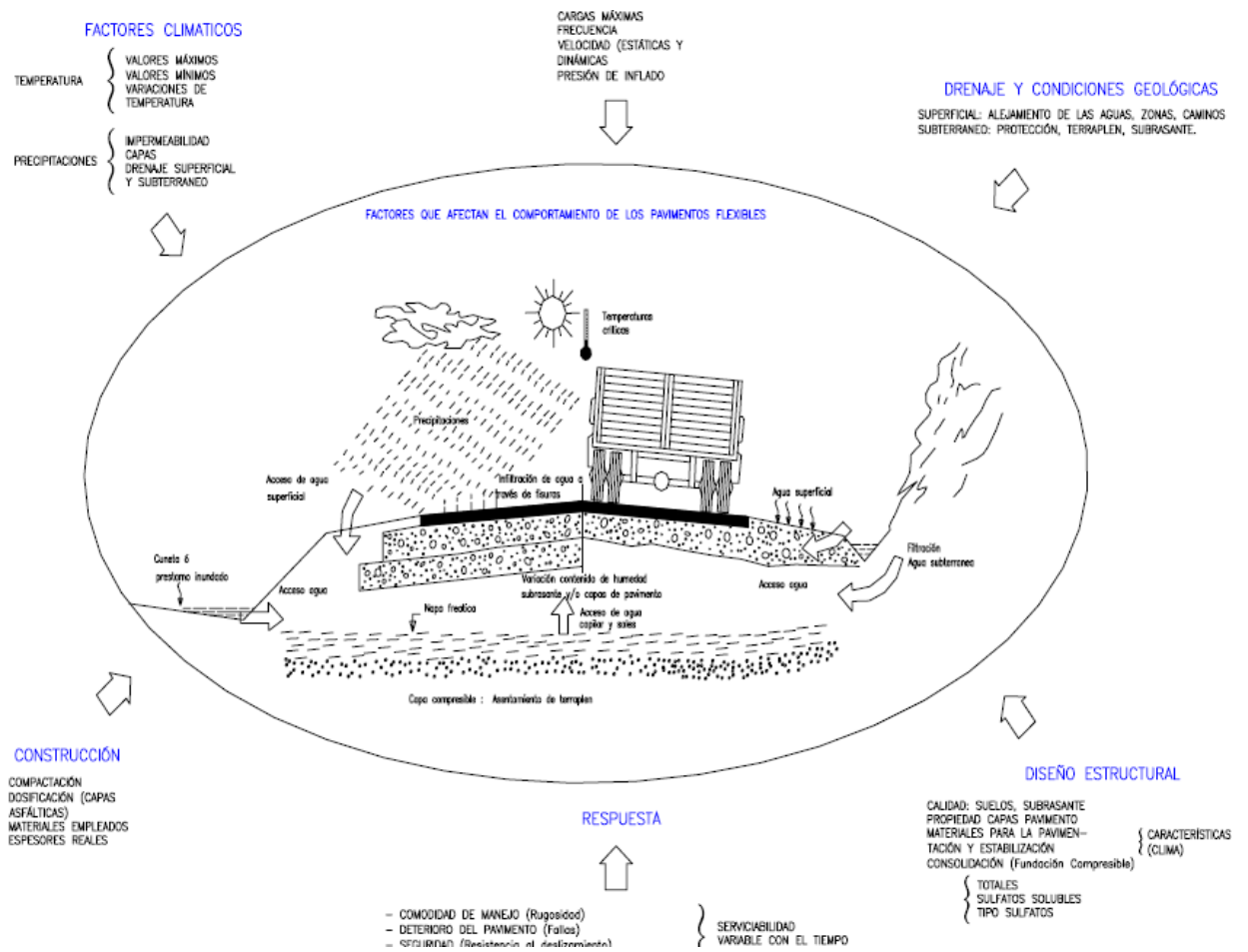
Fuente: Wikipedia.org

# CAPITULO III

## EVALUACION Y GESTION DE PAVIMENTOS APLICANDO SIG

### 3.1.- EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

**FIGURA 3.1. FACTORES QUE AFECTAN AL PAVIMENTO**



Fuente: Wikipedia.org

#### 3.1.1.- EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS.

Con la evaluación superficial se busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.

### 3.1.1.1.- ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI).

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “*valores deducidos*” como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene solo la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

**CUADRO 3.1. RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI**

<b>RANGO</b>	<b>CALIFICACION</b>
100-85	EXCELENTE
85-70	MUY BUENO
70-55	BUENO
55-40	REGULAR
40-25	MALO
25 - 10	MUY MALO
10-0	FALLADO

Fuente: MANUAL DEL PCI

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presenta. El PCI se desarrollo para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

### 3.1.1.2.- PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.

Se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formato adecuado para tal fin.

- **Unidades de Muestreo:**

a). Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ . En el Cuadro 2 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

**CUADRO 3.2. LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS**

<b>ANCHO DE CALZADA (m)</b>	<b>UNIDADES DE LONGITUD DE MUESTREO (m)</b>
5	46
5,5	42
6	38
6,5	35
7,3	32
8	29
8,5	27
9	26
9,5	24
10	23
10,5	22
11	21
11,5	20
12	19

Fuente: MANUAL DEL PCI

▪ **Determinación De Las Unidades De Muestreo Para Evaluación.-**

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

En la evaluación de un proyecto se deben inspeccionar todas las unidades sin embargo, de no ser posible el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5\%$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%

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

Donde:

N=Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N= Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

E= error admisible en el estimativo de la sección (e=5%)

S=desviación estándar del PCI entre unidades

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10

Para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango de 35). En inspecciones subsecuentes se usara la desviación estándar real o el rango (PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

▪ **Selección De Las Unidades De Muestreo Para Inspección.-**

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

a) el intervalo de muestreo i)se expresa mediante la ecuación

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

Donde:

- N=número mínimo de unidades para evaluar.
- N= número total de unidades de muestreo disponible
- i= intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

b) El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i, así si  $i=3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1-3 las unidades de muestreo para evaluación se identifican  $s+1$   $s+2$   $s+3$  ....

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

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación rehabilitación, todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

#### ▪ Selección De Unidades De Muestreo Adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en un muy mal estado.

También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que solo se presenta un vez quedan incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionado como una unidad adicional en lugar de una unidad representativa o aleatoria.

Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

### 3.1.1.3.- CALCULO DEL (PCI).

#### ▪ **Calculo Del PCI De Las Unidades De Muestreo**

Al complementar la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los valores deducidos de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

#### **Calculo para carreteras con capa de rodadura asfáltica**

##### **Etapa 1 cálculo de los valores deducidos**

**1. a.-** Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato elegido de acuerdo al manual del PCI. El daño puede medirse en área, longitud o por numero según su tipo.

**1b.-** Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje, esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

**1c.-** Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas valor deducido del daño

##### **Etapa2 cálculo del número máximo admisible de valores Deducidos (m)**

**2 a.-** Si ningún o tan solo uno de los (valores deducidos) es mayor que 2, se usa el (valor deducido total) en lugar del mayor (valor deducido corregido), (VDC) obtenido en la etapa 4 de lo contrario deben seguirse los pasos 2b y 2c

**2 b.-** liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor

**2 c.-** Determine el “Numero máximo admisible de valores Deducidos” Utilizando la ecuación

$$mi = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - HDV)$$

Donde:

- $m_i$ : número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción , para la unidad de muestreo
- $HDV_i$ =El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo

**2 d.-** El número de valores individuales deducidos  $m$  am inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que  $(m)$  se utilizan todos los que se tengan.

### **Etapa 3 cálculo del (Máximo valor deducido Corregido) (VDC)**

El máximo VDC se determina mediante el siguiente proceso iterativo;

**3 a.-** Determine el numero de valores deducidos  $(q)$  mayores que 2.

**3 b.-** Determine el valor deducido total sumando todos los valores deducidos individuales.

**3 c.-** determine el VDC con  $q$  y el valor deducido total en la curva de corrección pertinente al tip de pavimento.

**3 d.-** reduzca a 2 el menor de los valores deducidos que sea mayor que 2 y repita las etapas 3a. a 3c. hasta  $(q)$  sea igual a 1.

**3e.-** El máximo VDC es el mayor de los VDC obtenidos en este proceso.

### **Etapa 4.**

Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo VDC obtenido en la etapa 3.

El valor final del índice de condición del pavimento (PCI) es:

$$PCI_F = \frac{\sum PCI_i}{n}$$

Donde:

- $PCI_F$  = Índice de condición del pavimento final del tramo en estudio
- $PCI_i$  = PCI de cada unidad evaluada
- $n$  = Numero de unidades que existen en la sección

▪ **Calculo del PCI de una sección de pavimento.**

Se utiliza la técnica del muestreo, se emplean otro procedimiento. Si la elección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será

$$PCI = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + [A \times PCI_A]}{N}$$

Donde:

- PCI: PCI de la sección del pavimento
- PCI<sub>R</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas
- PCI<sub>A</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.
- N: Numero total de unidades de muestreo en la sección
- A: Numero adicional de unidades de muestreo inspeccionadas

Finalmente el valor del PCI parcial = 100-VDC

**3.1.1.4.- ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI).**

Consiste en el relevamiento de las fallas más significativas que afectan al mismo

- Deformación longitudinal
- Deformación transversal
- Fisuración
- Desprendimiento

Representa una orientación del estado del pavimento desde el punto de vista del usuario por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se adopta una escala que esta en un rango de 0 a 5 el método representa a la siguiente ecuación:

$$PSI = 6,2 - 0,8 \times C1 - 0,3 \times C2 - 0,1 \times C3$$

Donde:

- C1,C2,C3:Son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a escala siguiente cuadro 10.

**CUADRO 3.3. VALORES DE LOS COEFICIENTES C1, C2, C3**

COEFICIENTES C1.C2,C3	
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 agrietamiento y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
DEFORMACION TRANSVERSAL	VALOR C3
Sin deformacion ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: MANUAL DEL PCI

**CUADRO 3.4. RANGOS DE CLASIFICACION DEL PSI**

RANGOS DE CALIFICACION (PSI)	
5-4.25	excelente
4,25-3,5	muy bueno
3,5-2,75	bueno
2,75-2	regular
2-1,25	malo
1,25-0,5	muy malo

Fuente: MANUAL DEL PCI

### 3.1.1.5. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) ha sido un parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales que presentan los pavimentos.

- **Introducción**

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones. Permite también realizar inventarios del estado y la condición de la red vial, así como evaluar los costos adicionales en los cuales pueden incurrir los usuarios por el uso de la carretera.

Se reconocen dos tipos de evaluaciones, la evaluación estructural (relacionada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos) y la evaluación funcional (relacionada directamente con la percepción del usuario al utilizar una determinada vía).

En el caso de la evaluación funcional, la rugosidad de la superficie de ruedo para la circulación de los vehículos permite ofrecer condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las carreteras. Tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, puesto que, dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en las llantas y el consumo de combustible.

Adicionalmente, los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por estas razones, conocer la rugosidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente.

Debido a esto, muchos países han utilizado el Índice de rugosidad Internacional (IRI), como parámetro para evaluar la rugosidad y reflejar el confort y seguridad de los usuarios.

Es posible encontrar diversas investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de valores iniciales de IRI con el comportamiento del pavimento a largo plazo, en ellas se ha encontrado que valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento.

Profundizar en los detalles, cuidados, procedimiento de cálculo del Índice de rugosidad Internacional (IRI), así como las especificaciones internacionales, permitirá contar con una metodología homogénea y objetiva que permita evaluar la condición superficial, representada por el IRI.

- **Conceptos generales en la Evaluación de la rugosidad superficial**

#### **Definición de rugosidad superficial**

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems, se define el concepto de Roughness como: “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.”

A la luz de esta definición, algunos autores prefieren utilizar el término rugosidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad;

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de rugosidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser

comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la rugosidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la rugosidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la rugosidad superficial denominado Índice de rugosidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

- **Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

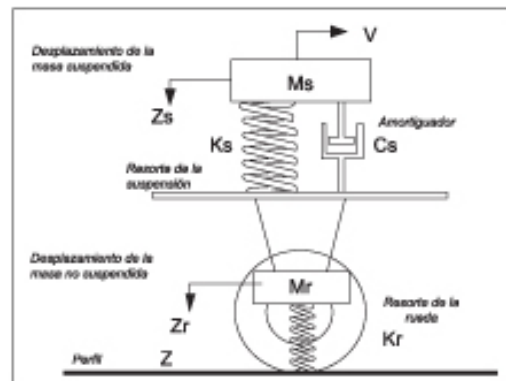
El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de rugosidad asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal. Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas, para poder generar un nuevo perfil que permite ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro son las siguientes: a) para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y b) para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

Al nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a una velocidad de 80 km/h.

A través de éste, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino. (Ver Figura)

**FIGURA 3.2. MODELO DE CUARTO DE CARRO**



El modelo de simulación consta de una masa “amortiguada o suspendida” (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa “no amortiguada” (eje y neumático), a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), y por último el neumático es representado por otro resorte lineal.

El modelo de cuarto de carro emplea los parámetros de lo que se ha denominado como el Carro de Oro, los cuales se muestran a continuación:

$$k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3 \quad k_1 = \frac{k_r}{M_s} = 653$$

$$c = \frac{c_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15$$

Donde:

- ks: constante del resorte de la suspensión
- kr: constante del resorte de la rueda
- Ms: masa suspendida
- Mr: masa no suspendida
- cs: amortiguador

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del “resorte del neumático”). El movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida, se calcula y acumula. El valor en m/km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la rugosidad del camino.

Un aspecto importante que debe considerarse en el método de cálculo de IRI, es que se deben estimar valores iniciales entre la respuesta de transición y la respuesta inducida por el perfil. Los efectos de esta inicialización disminuyen conforme la simulación del cuarto de carro cubre una mayor distancia del perfil. Esta inicialización influye en el modelo del cuarto de carro en aproximadamente 20 m. Por lo tanto, la manera más precisa de tratar con la inicialización, es medir el perfil al

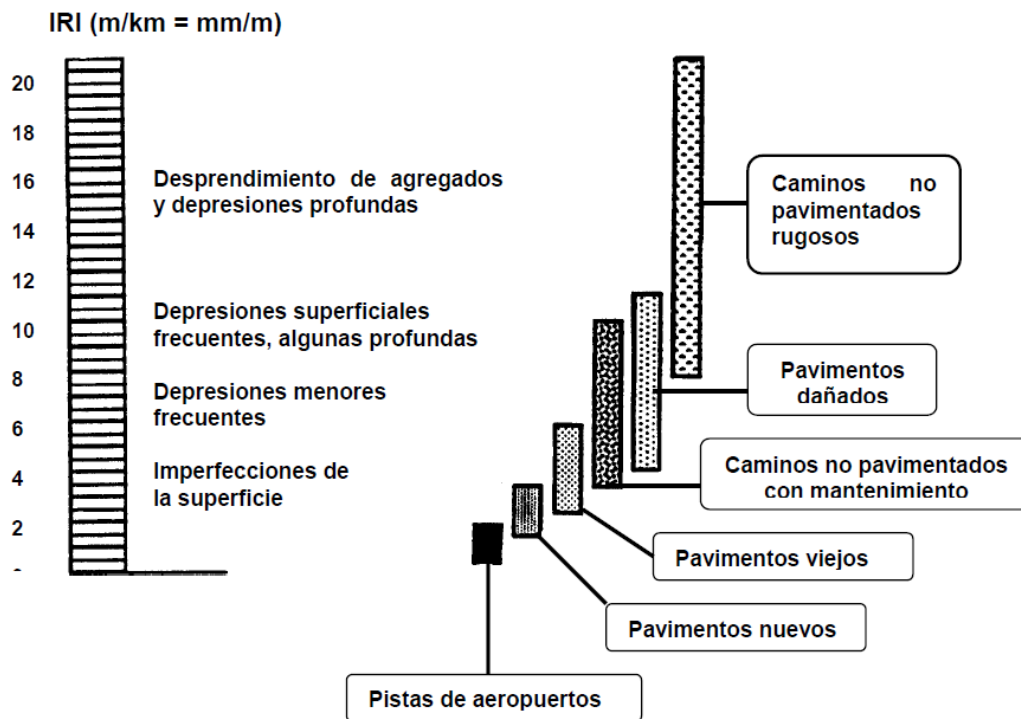
menos 20 m antes del punto de inicio del tramo, e iniciar a partir de allí el cálculo del IRI.

▪ **Escala y características del IRI**

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la Figura 4 se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.
- Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.

**FIGURA 3.3. ESCALA Y CARACTERÍSTICAS DEL IRI**



- **Equipos existentes para la medición de la rugosidad superficial de los pavimentos**

Existen diferentes equipos para medir el perfil longitudinal del camino y así determinar la rugosidad superficial, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados.

**Nivel y mira topográfica** (ver Figura)

**FIGURA 3.4. NIVEL Y MIRA TOPOGRÁFICA**



Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal.

### **El Dipstick (ver figura)**

Consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm ó 250 mm (dependiendo de las unidades de análisis, los apoyos pueden separarse 12 pulgadas), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.

**FIGURA 3.5. EQUIPO DIPSTICK**



### **Perfilógrafos (ver Figura)**

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

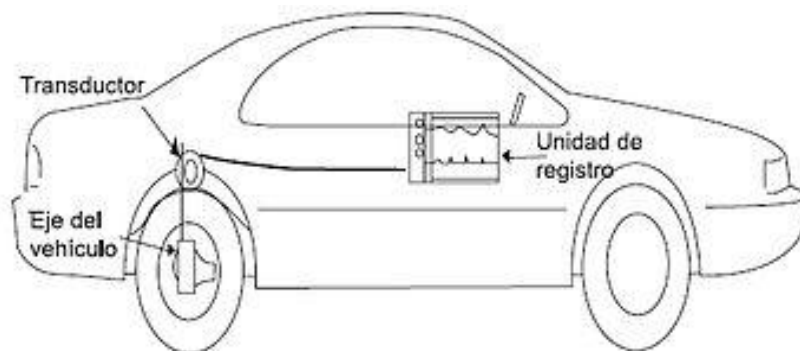
**FIGURA 3.6. PERFILÓGRAFO CALIFORNIA**



**Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS) (ver Figura)**

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la rugosidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

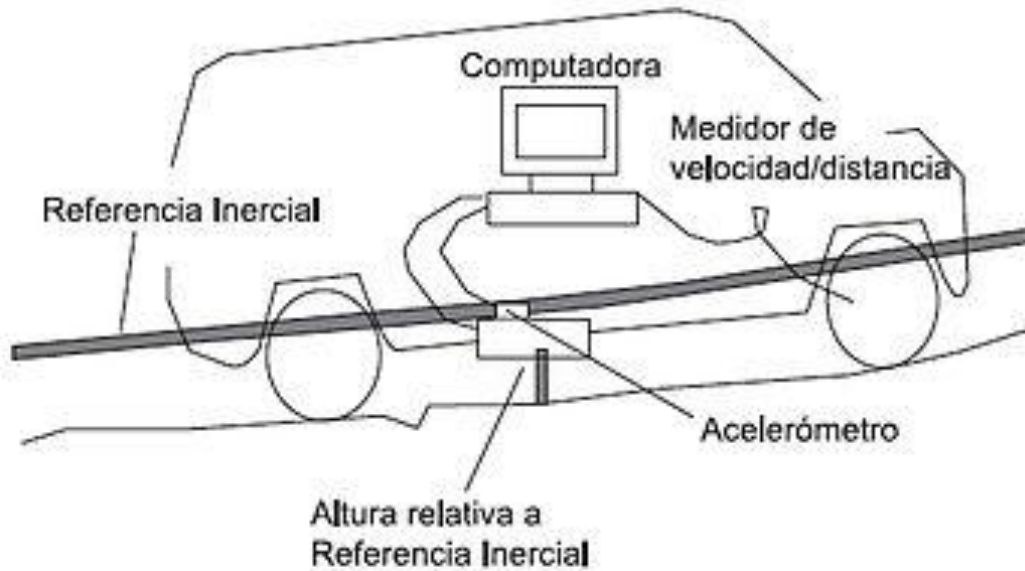
**FIGURA 3.7. COMPONENTES DE EQUIPOS DE RESPUESTA**



### Perfilómetro Inercial (ver Figura)

Son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

**FIGURA 3.8. COMPONENTES DE EQUIPOS DE REFERENCIA INERCIAL**



En la cuadro 3.5 se resumen las principales características de los equipos utilizados para la medición de la rugosidad superficial.

**CUADRO 3.5 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS**

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de redes viales grandes

Fuente: Adaptado de Ventura, J. Determinación del Índice de rugosidad Internacional (IRI)

Como se mencionó anteriormente el paso más importante para el cálculo del IRI, consiste en la medición de las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal. Sin embargo, es importante destacar que, graficar las elevaciones versus la distancia longitudinal para un mismo tramo de carretera, empleando diferentes equipos de medición, no necesariamente implica que los perfiles longitudinales medidos coincidan entre sí.

- **Efecto de singularidades en la medición y cálculo del IRI**

El correcto acabado de los pavimentos es de gran importancia para la comodidad, seguridad y costos de operación de los usuarios de los caminos, factor que, además de tener una gran influencia en la duración de éstos, repercute en los costos del mantenimiento vial

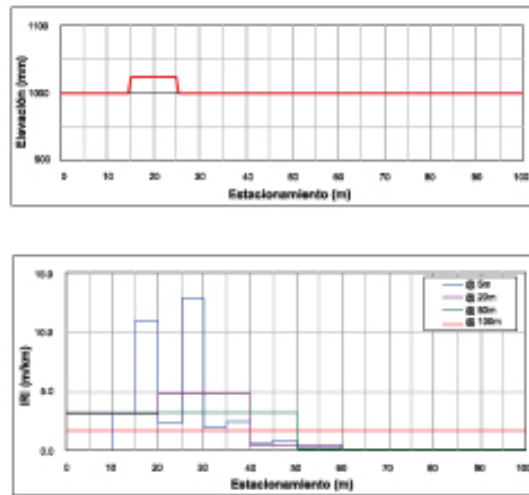
Debido a que, el IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, es un hecho que se pueden presentar ciertas singularidades que podrían afectar la medición del IRI. Se entiende como singularidad: “Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino” (LNV 107-2000). Debe tenerse en cuenta que, el valor de la medición del IRI se verá afectado a todo lo largo de la singularidad más su área de influencia que son 40 m hacia delante en el sentido de la medición, lo cual corresponde a una característica propia del método de cálculo del IRI.

Aunque la definición anterior está relacionada con alteraciones en el perfil longitudinal que no provienen de fallas constructivas, en la Figura se muestra un ejemplo particular de lo que ocurre cuando se calcula el IRI para un bache con un mal acabado superficial debido a fallas constructivas.

Se puede notar que esta falla constructiva genera un incremento en el valor del IRI (incluso valores superiores a 12 m/km para un intervalo de evaluación de 5 m),

especialmente si se utilizan intervalos o longitudes de evaluación más cortos. En el caso de que aumente la longitud de evaluación, los resultados de los valores de IRI se reducen, e imposibilitan determinar el sitio donde se presentan las particularidades. Pueden notarse también los 40 metros del área de influencia después del sitio donde se presentó la particularidad, especialmente cuando se emplean intervalos o longitud de evaluación pequeños.

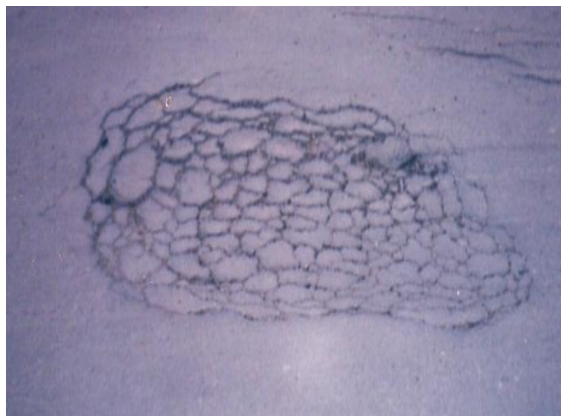
**FIGURA 3.9. EFECTO DE SINGULARIDADES EN LA MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL IRI**



### 3.1.2.- TIPOS DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS ASFALTICOS

#### 1. GRIETA PIEL DE COCODRILO

**FIGURA 3.10. GRIETA PIEL DE COCODRILO**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

El agrietamiento de *piel de cocodrilo* ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que este sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “*grietas en bloque*”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

#### **Niveles de Severidad:**

**BAJA (L):** Fisuras y grietas son muy finas, longitudinales y paralelas con poca o ninguna interconexión entre ellas.

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

**ALTA (H):** Las grietas han progresado de tal manera que forman bloques o partículas bien definidos con fuertes desintegraciones de los bordes y algunos pedazos se pueden soltar fácilmente.

#### **Forma de medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada, 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 se debe considerar el área total por afectada de la mayor severidad.

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

## **2. EXUDACIÓN DEL ASFALTO**

**FIGURA 3.11. EXUDACION DEL ASFALTO**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento flexible creando una superficie brillante y reflectaba, comúnmente pegajosa, la exudación es la causa de exceso asfalto en la mezcla en aplicación de sellos o bajos contenidos de vacíos, esto suele ocurrir cuando se producen altas temperaturas o en climas cálidos.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** La exudación ha ocurrido en un menor grado y apenas se puede notar, el asfalto todavía no se pega a los neumáticos.

**MEDIA (M):** La exudación se ha incrementado, el asfalto ya se pega a los neumáticos de los vehículos pero esto sucede en los días más calurosos.

**ALTA (H):** La exudación es severa y extensa, una considerable cantidad de asfalto se pega a los neumáticos de los vehículos al aumentar las temperaturas considerablemente.

### **Forma de medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

### **3. GRIETAS DE CONTRACCIÓN O BLOQUES**

**FIGURA 3.12. GRIETAS DE CONTRACCION**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares con lados entre 0.30m y 3m respectivamente, estas grietas son principalmente producidas por la contracción del asfalto por efecto de las variaciones climáticas de la temperatura, no están asociadas con cargas ni fatiga, indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente, estas ocurren generalmente en áreas grandes de pavimento y algunas veces donde no hay tráfico vehicular.

En general difieren de los baches o piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y que estas últimas son causadas por carga por (fatiga) y existen en áreas que hay mucho tráfico.

**Nivel de Severidad:****BAJA (L):**

- Grietas sin sellar hasta un ancho menor a 10mm.
- Grietas selladas de cualquier ancho de abertura.

**MEDIA (M):**

- Grietas sin sellar entre un ancho de 10 a 51mm.
- Grietas sin sellar hasta un ancho de 51mm pero con grietas finas adyacentes.
- Grietas finas de cualquier ancho pero con grietas finas adyacentes.

**ALTA (H):**

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de de 51mm. De ancho.
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

**Forma de medición:**

Grietas de contracción son medidas en m<sup>2</sup> de área afectada, normalmente ocurren con una sola severidad en la misma área del pavimento, si ocurren diferentes casos de severidad esto deben reportarse separadamente.

**Opciones de reparación**

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.

M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

#### 4. ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS

FIGURA 3.13. ELEVACIONES Y HUNDIMIENTOS



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

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

- Movimiento y levantamiento de trozos de losas debajo de la carpeta asfáltica.
- Hinchamiento por localización
- Infiltración de material en las juntas.

Los hundimientos son pequeñas deformaciones de la superficie del pavimento, no debe confundirse esta falla con las deformaciones mas pronunciadas y largas, producidas por el hinchamiento.

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

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

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

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

**Forma de medición:**

Las elevaciones y hundimientos se miden en metros lineales (ml), si estas fallas se presentan perpendicularmente al tráfico y separadas menos de 3 metros se denominan corrugaciones, si estas se presentan conjuntamente con grietas ambas deben ser contadas.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

**5. CORRUGACIONES**

**FIGURA 3.14. CORRUGACIONES**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Éstas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas menos de 3m en sentido transversal al tráfico vehicular, estas son causadas normalmente por tráfico en pavimento de base o de una superficie inestable.

**Nivel de Severidad:**

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

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

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

**Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

**6. DEPRESIONES**

**FIGURA 3.15. DEPRESIONES**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Son áreas del pavimento con elevaciones inferiores a las adyacentes, las pequeñas depreciaciones son difíciles de observar en pavimentos secos a simple vista. Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua que generalmente dejan una marca de contorno al secar. Generalmente son productos del asentamiento de la fundación o fallas constructivas, pueden producir rugosidades y ser muy peligrosas al llenarse con agua, se diferencian de los hundimientos porque no son abruptos.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** 13 a 25mm.

**MEDIA (M):** 25 a 51mm.

**ALTA (H):** Más de 51mm.

**Forma de medición:**

Se miden en m<sup>2</sup> de área afectada.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

**7. GRIETAS DE BORDE**

**FIGURA 3.16. GRIETAS DE BORDE**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Son grietas longitudinales y paralelas contenidas en una franja de 30 a 60 cm. En el borde extremo del pavimento, esta falla es acelerada por las cargas y puede ser causa por el congelamiento de la base o subrasante, materiales expansivos y falla del

soporte lateral, en algunos casos se puede llegar a producir la 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.

**Forma de medición:**

Este tipo de fallas se mide en metros lineales (ml)

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.

**8. GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS**

**FIGURA 3.17. REFLEXION DE JUNTAS**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Sólo ocurren en capas asfálticas de 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 expansión y contracción o movimiento de las losas por infiltración del agua, como también por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Este tipo de falla no está asociada con el tráfico vehicular, sin embargo éste puede producir disgregación en los bordes, el conocer las dimensiones de la losa de concreto nos ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

Se localizan generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zonas de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico.

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

##### **BAJA (L):**

- Grietas sin sellar con un ancho inferior a 10 mm.
- Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

##### **MEDIA (M):**

- Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm.
- Grietas sin sellar hasta 51mm. Con grietas finas adyacentes.
- Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

##### **ALTA (H):**

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de 51mm. De ancho.
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

**Forma de medición:**

Se miden en metros lineales (ml), 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.

**Opciones de Reparación.**

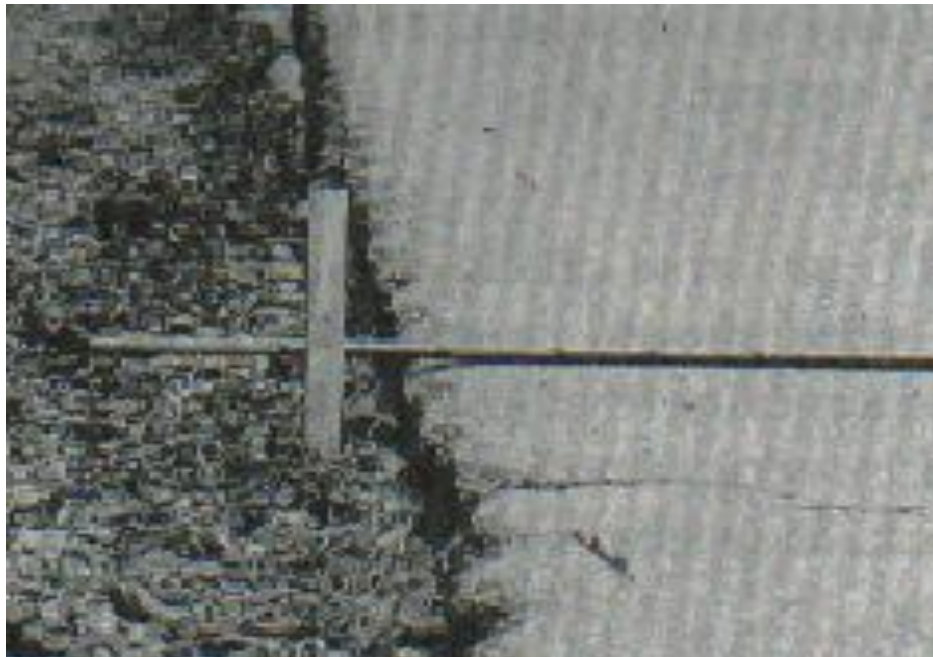
L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

**9. DESNIVEL CALZADA – HOMBRILLO**

**FIGURA 3.18. DESNIVEL DE CALZADA - HOMBRILLO**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo, normalmente causado por la 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 51mm.

**MEDIA (M):**

- La diferencia de elevación es de 51 a 102mm.

**ALTA (H):**

- La diferencia de elevación es mayor a 102mm.

**Forma de medición:**

Este tipo de fallas se mide en metros lineales (ml).

**Opciones de reparación**

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

**10. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES**

**FIGURA 3.19. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o el eje de construcción causadas por:

- Por mala construcción de junta de franjas del asfalto.
- Contracción del asfalto debido a cambios de temperatura y el envejecimiento.
- 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, este tipo de grietas no están asociadas con el tráfico o tipo de carga.

### **Nivel de Severidad:**

#### **BAJA (L):**

- Grietas sin sellar con un ancho inferior a 10mm.
- Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

#### **MEDIA (M):**

- Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51mm.
- Grietas sin sellar hasta 51mm. Con grietas finas adyacentes.
- Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

#### **ALTA (H):**

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de 51mm. De ancho.
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

### **Forma de medición:**

Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales (ml), la longitud y severidad de cada grieta debe ser identificada. Si una grieta muestra varias

severidades, estas deben de diferenciarse. Si su elevación o hundimiento ocurre simultáneamente, también estas deben anotarse.

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

## **11. BACHEO Y ZANJAS REPARADAS**

**FIGURA 3.20. BACHEO Y ZANJAS REPARADAS**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Un bacheo es un área de un 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, pero este produce algo de rugosidades.

### **Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):** Bache bien curado y en condiciones satisfactorias, tiene un bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

**MEDIA (M):** El bache presenta un poco de deterioro, tiene un efecto medio sobre la calidad de la rodadura.

**ALTA (H):** Bache severamente deteriorado que debe ser reemplazado, tiene un alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

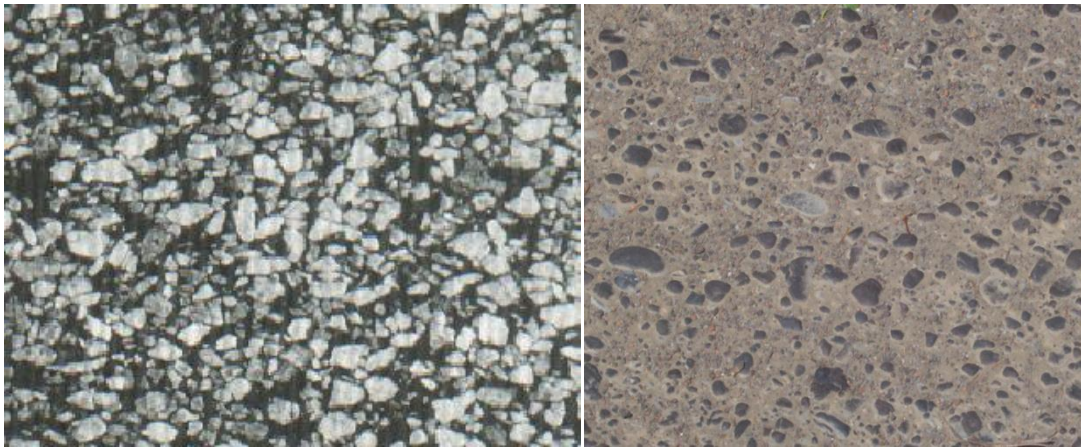
**Forma de medición:**

Este tipo de fallas se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada, 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 deformaciones por empuje es anotada dentro de un bache, solo se cuenta el área del bache en función de su severidad, si una excesiva área de un pavimento ha sido reemplazada ésta debe considerarse como un pavimento nuevo no como un bache.

**12. AGREGADOS PULIDOS**

**FIGURA 3.21. AGREGADOS PULIDOS**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Esta falla es producida por pasos continuos del tráfico vehicular, 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 las superficies de las partículas del agregado son suaves al tacto, este tipo de falla está asociada con la baja resistencia a la fricción.

**Nivel de Severidad:**

No se define el nivel de severidad, sin embargo el grado de pulidora debe ser significativo antes que se lo incluya como defecto.

**Forma de medición:**

Este tipo de fallas se mide en m<sup>2</sup> de área afectada. Si hay exudación debe contarse y el agregado pulido no se considera.

**Opciones de reparación**

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

**13. HUECOS**

**FIGURA 3.22. HUECOS**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros inferiores a 90cm. Usualmente tienen bordes angulosos y verticales en las cercanías de la superficie, crecen rápidamente por el agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por pequeñas áreas del pavimento, este se desintegra debido a los defectos de la mezcla, puntos débiles de la base o la subrazante o grietas piel de cocodrilo de alta severidad, los huecos son causados generalmente por la falla estructural y no debe confundirse con disgregación o desintegración. Cuando los huecos son causa del deterioro

progresivo de fallas el tipo piel de cocodrilo debe considerarse como huecos y no como disgregación o desintegración.

**Nivel de Severidad:**

El nivel de severidad para huecos de diámetro 76.2cm. Se basa en el diámetro y la profundidad.

**CUADRO 3.6. NIVEL DE SEVERIDAD DE LOS HUECOS**

PROFUNDIDAD MÁXIMA EN cm.	DIÁMETRO PROMEDIO EN cm.		
	10 a 20	20 a 45	45 a 76
1,2 a 2,5cm.	L	L	M
2,5 a 5cm.	L	M	H
>5cm.	M	M	H

Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Si el hueco tiene más de 76cm. De diámetro el área debe medirse en m<sup>2</sup> y dividirse entre 0.47m<sup>2</sup> para determinar el número equivalente de huecos. Si la profundidad es menor a 2.5cm. Se considera que la severidad es media (M), si la profundidad es mayor a 2.5cm. Se considera de severidad alta (H).

**Forma de medición:**

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

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

## **14. REJILLAS DE DRENAJE- ACCESO A PUENTES Y TAPAS DE ALCANTARILLADO**

**FIGURA 3.23. REJILLAS Y TAPAS DE ALCANTARILLAS**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Éstos producen depresiones y elevaciones a la rodadura.

### **Nivel de Severidad:**

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

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

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

### **Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Si la junta entre la estructura y el pavimento no afectó a la calidad de la rodadura se debe de ignorar.

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

## 15. AHUELLAMIENTO

FIGURA 3.24. AHUELLAMIENTO



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

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 subrazante o alguna capa del pavimento, normalmente causado por la consolidación o movimiento lateral de los materiales bajo el efecto del tráfico. El excesivo ahuellamiento puede producir una falla excesiva en el pavimento en su estructura.

### **Nivel de Severidad:**

Profundidades del ahuellamiento.

**BAJA (L):** 6 a 13mm.

**MEDIA (M):** 13 a 25mm.

**ALTA (H):** Mayor a 25mm.

### **Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Y la severidad se calcula por la profundidad media de ahuellamiento.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

## **16. DEFORMACIÓN POR EMPUJE**

**FIGURA 3.25. DEFORMACION POR EMPUJE**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

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

### **Nivel de Severidad:**

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

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

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

### **Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

## Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

## 17. GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

FIGURA 3.26. GRIETAS DE DESLIZAMIENTO



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Son grietas en forma de media luna, con sus puntas en el sentido de la dirección de tráfico. Son causadas por los deslizamientos de las capas asfálticas superficiales y ocurren por falta o exceso de riego de adherencia.

### Nivel de Severidad:

#### BAJA (L):

El ancho de grieta es menor a 10 mm.

#### MEDIA (M):

- El ancho de grietas entre 10 y 38 mm.
- El área adyacente a las grietas presenta grietas finas.

#### ALTA (H):

- Ancho de grietas mayor ha 38 mm.

- El área adyacente a las grietas presenta trozos sueltos.

**Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

**18. HINCHAMIENTOS**

**FIGURA 3.27. HINCHAMIENTO**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrazante o alguna porción de la estructura del pavimento. Generalmente causado por la humedad en los suelos expansivos o esponjamientos por congelación de las capas granulares.

**Nivel de Severidad:**

**BAJA (L):**

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

**MEDIA (M):**

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

**ALTA (H):**

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura

**Forma de medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

**19. DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN**

**FIGURA 3.28. DISGREGACION DEL PAVIMENTO**



Fuente: MANUAL DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

La disgregación es el desprendimiento o pérdida sucesiva de material superficial, por la abrasión del tráfico el clima es causado generalmente por el uso de métodos de construcción pobres, la utilización de agregados de baja calidad. En épocas de lluvia forman los charcos de agua.

**Nivel de Severidad:**

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

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

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

**Forma de medición:**

Se miden en m<sup>2</sup> de área afectada.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

**3.2.- GESTIÓN DE PAVIMENTOS**

En el más amplio sentido, los sistemas de gestión comprenden todas las fases de investigación, planeamiento, programación, análisis, diseño, construcción. En las agencias de transportes, los sistemas de gestión han sido orientados básicamente al mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción y en algunas ocasiones a la construcción de carreteras nuevas, los sistemas de gestión de pavimentos son usualmente utilizados para identificar las necesidades de mantenimiento y rehabilitación de la red vial existente, pero no consideran efectos por incremento en la capacidad vehicular son considerados normalmente en sistemas de gestión de tráfico en otras actividades de planeamiento. Otros sistemas de gestión se utilizan también para identificar la necesidad de construir pavimento nuevo o de programar actividades de conservación vial generadas por otros factores como por ejemplo la seguridad vial.

Los conceptos de gestión de pavimentos brindan un enfoque racional para encontrar la combinación de tratamientos costo-efectivos a ser aplicados a un determinado momento de la vida útil del pavimento para proveer el nivel de servicio establecido por la agencia de transportes. Los sistemas de gestión de pavimentos permiten evaluar diversas estrategias de mantenimiento y rehabilitación estimando el impacto en el comportamiento futuro de los pavimentos para identificar que sectores requieren mantenimiento y/o rehabilitación y determinar los tratamientos mas adecuados y el momento más oportuno para aplicarlas a fin de mantener la condición de servicio esperada con el mínimo de la inversión. Los sistemas de gestión de pavimentos también permiten organizar en forma ordenada toda la información referente a la red vial, facilitando el almacenamiento y recuperación de datos requeridos para identificar las alternativas costo-efectivas de mantenimiento. Los SGP brindan también la información requerida para el sustento y justificación de los presupuestos de conservación vial.

El mantenimiento en la gestión de pavimentos se refiere básicamente a tratamientos de mantenimiento, sellos asfálticos, tratamiento de fisuras, etc. Los sistemas de gestión de pavimentos normalmente no predicen donde aparecerá un bache, ni la frecuencia de las actividades de mantenimiento rutinario tales, como bacheo, reparaciones temporales, etc. Sin embargo la información proporcionada por los sistemas de gestión de pavimentos identificando en que tramos se requieren trabajos de rehabilitación permite determinar aquellos sectores que requieren de mayor inversión.

Para algunas actividades de mantenimiento programadas tales como sello superficial, el trabajo podría ser controlado y administrado a través de un sistema de gestión administrativa, pero la determinación de los tipos de tratamiento y el momento mas oportuno para aplicarlo deberían ser determinados con la asistencia de un sistema de gestión de pavimentos.

### **3.2.1.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.**

La idea de mantenimiento vial, data de los años 60 y 70, cuando los países europeos luego de reconstruir su infraestructura vial destruida por la guerra, se ven en la necesidad de conservar y mantener su infraestructura vial, generándose modelos que permitan mejorar su rentabilidad y eficiencia.

El concepto, que la construcción de una carretera es para toda la vida, ha ido evolucionando, dado que la infraestructura vial requiere de mantenimiento, uno conocido como mantenimiento rutinario, lo cual evita que los múltiples elementos de la infraestructura vial que la conforman (pavimento, obras de arte y drenaje, estructuras especiales, señalización y seguridad) se conserven en un estado funcional similar al cuando se termino la obra y otro de mayor inversión conocido como mantenimiento periódico el cual se realiza de acuerdo a la evolución de los daños del pavimento, por lo general en promedio cada tres años.

El Factor climático, afecta al pavimento, los fuertes cambios de temperatura, generan contracciones y dilataciones en los distintos elementos que conforman la infraestructura vial. En el pavimento, el incremento del tránsito que circula por la vía, contribuye a su desgaste y aceleración del fisuramiento, por lo cual tenemos que efectuar periódicamente mantenimientos periódicos, evaluando con mayor detalle los daños, rugosidad y deflexión, con la finalidad de diseñar y colocar una solución que restituya la vida útil del pavimento.

Como es común, en los países de pocos recursos, no se puede intervenir la carretera cuando esta lo exige, debido a factores económicos y por desconocimiento. El desconocimiento, deriva en ya no tener que realizar un mantenimiento periódico, sino reconstrucciones o rehabilitaciones que en costo representan 5 veces o más que una inversión en mantenimiento periódico.

El Sistema de Gestión de Pavimentos, prevee esto y se define como una herramienta analítica para la evaluación técnica y económica de proyectos de construcción, mantenimiento y operación. Su objetivo, es seleccionar de manera racional y

programada los tramos de la red vial, que requieren obras de mantenimiento, optimizando el uso de los recursos humanos, tecnológicos y financieros disponibles, teniendo como finalidad, realizar el mantenimiento y conservación de la red vial, para preservar el valor patrimonial y ofrecer a los usuarios una infraestructura que permita un transporte con seguridad, economía y confort.

Para llegar a ello, se debe realizar cada año un inventario vial calificado, para conocer los diferentes elementos de la infraestructura vial, como son: geometría, clima, Transito, pavimento, evaluación de daños, obras de arte y drenaje, seguridad, señalización, evaluación de rugosidad, evaluación de deflexión, evaluación de macrotextura y microtextura, estructuras especiales y puntos negros.

Con este conocimiento, podremos adoptar un conjunto de políticas y estrategias, para determinar los estándares que queremos darle a la infraestructura vial. Adicionalmente, establecer escenarios que permitan determinar como quiere que se mantenga la vía, para lo cual tendremos presente una evaluación financiera, con la finalidad de conocer si el mantenimiento adoptado permitirá obtener beneficios que permitan dar un autosostenimiento de la carretera

### **3.2.2.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA GESTIÓN DE PAVIMENTOS.**

El mantenimiento de la infraestructura vial demanda gran inversión de tiempo y dinero. Grandes sumas de dinero son invertidas anualmente en el mantenimiento y rehabilitación de vías a fin de asegurar el flujo continuo de personas y productos. Sin embargo, el deterioro progresivo de la condición del pavimento, incremento de cargas de tráfico y la reducción de fondos para programas de mantenimiento y rehabilitación representan un complejo reto para una gestión de pavimentos eficiente. En este proceso de gestión debe conocerse la condición de la red vial, definir las estrategias y prioridades para mantenimiento y rehabilitación y tomar decisiones sobre el monto y distribución de la inversión a efectuarse.

Los sistemas de información geográfica son una poderosa herramienta para la administración y análisis de datos referenciada a coordenadas geográficas. La potencia de los sistemas de información geográfica reside en su capacidad de capturar y mostrar en mapas la interrelación los distintos grupos que componen la infraestructura en una determinada región, incluyendo carreteras, red de drenaje, edificios, red de agua, entre otros.

Esta tecnología combina bases de datos relacionales con mapas geográficos digitalizados permitiendo mostrar gran cantidad de información en forma visual. Debido a que la información proporcionada por los sistemas de gestión de pavimentos esta referenciada a coordenadas geográficas. La tecnología SIG está siendo utilizada con mayor frecuencia por las agencias de transporte en el desarrollo sistemas integrales de gestión.

### **3.2.2.1.- PROPÓSITO DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.**

Se define a un sistema de gestión de pavimentos con una serie de herramientas o métodos para asistir a quien toman decisiones a encontrar estrategias eficientes rentables para proveer, evaluar y preservar pavimentos en buenas condiciones de serviceabilidad.

Un sistema de gestión de pavimentos es diseñado para proveer información objetiva, los administradores de agencias de transporte asistiéndolos en la programación de actividades de mantenimiento y rehabilitación de vías. El propósito de implementar un sistema de gestión de pavimentos puede ser resumido como sigue:

- Mantener una base de datos confiable con el inventario actualizado de la red vial. Información sobre la ubicación y condición del pavimento en las diversas secciones que componen la red, datos de construcción, tipos de tratamiento de mantenimiento y rehabilitación aplicados anteriormente, tipos de tratamiento de mantenimiento y rehabilitación disponibles con costos actualizados es parte de la información almacenada en la base de datos.

- Identificar los tratamientos de mantenimiento y rehabilitación requeridos para cada sección de la red.
- Estimar el presupuesto requerido para efectuar los tratamientos de mantenimiento y rehabilitación necesarios.
- Asistir en la selección de tratamientos de mantenimiento y rehabilitación efectivos para las diversas secciones de pavimento que requieren tratamiento vial.
- Distribuir los fondos de inversión en forma eficiente.
- Analizar el impacto de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación en la condición del pavimento y en el requerimiento de fondos a futuro para mantener la red vial a un nivel de serviceabilidad aceptable.
- Proveer sustento técnico económico a los presupuestos de mantenimiento y rehabilitación.

### **3.2.2.2.- BENEFICIOS DE INTEGRAR LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS CON TECNOLOGÍA SIG.**

Un sistema de gestión de pavimentos se basa en la información sobre el estado del pavimento para la planificación, diseño, construcción y preservación de la red pavimentada. La tecnología SIG es una nueva herramienta que puede beneficiar a un sistema de gestión a administrar en forma más eficiente la información almacenada en la base de datos. Algunos de los beneficios de utilizar tecnología SIG en sistemas de gestión de pavimentos son:

- SIG posee una gran variedad de herramientas de soporte para administrar mejor la diversa información proporcionada por los sistemas de gestión de pavimentos.
- El inventario de secciones que componen la red vial y toda información referente al a red puede ser almacenada en la base de datos SIG por coordenadas geográficas.
- SIG puede recuperar rápidamente la información almacenada en la base de datos y generar a solicitud del usuario mapas respuesta con la información

requerida. Por ejemplo, puede solicitarse un mapa respuesta para identificar que secciones requieren tratamientos de mantenimiento preventivo y que secciones requieren tratamientos de rehabilitación.

- SIG puede ser empleado para una mejor sustentación de los presupuestos de mantenimiento y rehabilitación.
- Los sistemas de gestión de pavimentos pueden ser integrados con otros sistemas de gestión utilizando SIG como plataforma de enlace con el objeto de analizar en forma global diversos escenarios de inversión a nivel de planeamiento estratégico.
- SIG puede ser utilizado para un mejor intercambio de información entre las diversas dependencias que intervienen durante el proceso de gestión y a diferentes niveles de decisión.

### **3.3.- MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS**

#### **▪ Definición de mantenimiento**

El mantenimiento de pavimentos podría definirse como: la función de preservar, reparar y restaurar una vía y conservarla en condiciones de uso seguro, conveniente y económico.

El mantenimiento es la preservación y cuidado de los derechos de vía y de cualquier tipo de pavimento, estructura, dispositivo de seguridad, de ornato, de iluminación y de cualquier otra facilidad vial, de tal forma que ésta conserve las características geométricas y estructurales especificadas en el diseño y construcción original.

También las labores especiales o de emergencia requeridas por accidentes, tormentas, derrumbes u otras condiciones no usuales o imprevistas, se consideran como trabajos de mantenimiento.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como al deterioro debido a los efectos de envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño.

El mantenimiento no solo protege la superficie del pavimento, sino que previene el desgaste acelerado. No debe de tomarse como un costo, sino como una inversión en la estructura del pavimento y un seguro contra los costos de reconstrucción totales.

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

La clasificación del mantenimiento puede hacerse de acuerdo a:

- Tipo
- Frecuencia
- Grado de deterioro

De acuerdo al tipo se clasifican en:

1. **Mantenimiento Correctivo:** corrige las deficiencias que se presentan en la estructura del pavimento después que ha ocurrido un deterioro.
2. **Mantenimiento Preventivo:** se anticipa al deterioro de las características estructurales del camino. Se inicia en la etapa del diseño y establece normas de construcción adaptadas a la topografía y geología natural, resolviendo los problemas de drenaje y especificando materiales con sistemas de trabajo que aseguren la calidad de la obra.

De acuerdo a la frecuencia con la que cada operación o actividad debe realizarse en un período de tiempo dado, el mantenimiento se clasifica en:

**a) Mantenimiento Normal:** este permite realizar trabajos para preservar los propósitos de construcción de la carretera. Dentro de este se encuentran:

**b) Mantenimiento Rutinario:** actividades realizadas con intervalos de un año o menos. Estas operaciones son esencialmente correctivas y se dividen en:

Operaciones Constantes de Mantenimiento: Varían muy poco con los volúmenes de tránsito que sirve la carretera.

Operaciones Variables de Mantenimiento: Estas operaciones están determinadas por los volúmenes de tránsito, que la carretera sirve y generalmente consisten en reparación de pavimentos y superficie de rodadura de hombros.

Entre las técnicas de mantenimiento rutinario se encuentran:

**Bacheos:** Son reparaciones a mano de pequeñas áreas dañadas que tienen el propósito de reponer una superficie de rodadura lisa, impermeable y con su debido soporte estructural.

**Sellos de grietas:** Con esta técnica se evita la entrada de agua superficial y otro material extraño que pueda contaminar o dañar la estructura del pavimento.

**Limpiezas:** Mantiene el drenaje de las carreteras funcionando eficientemente, con el propósito que el agua fluya libremente en canales, cunetas, alcantarillas, bordillos, bóvedas, cajas, etc.

**Reparaciones de diferente índole:** Conserva en buenas condiciones los diferentes elementos que constituyen el pavimento como: cunetas, cabezales, hombros.

**c) Mantenimiento Periódico:** Consiste en actividades normales de mantenimiento, realizadas a intervalos mayores de un año; estas operaciones son tanto correctivas como preventivas.

Las técnicas que se aplican periódicamente son:

**Sellos de pavimento:** Evitan la entrada de agua y otros materiales ajenos en las grietas superficiales.

**Recarpeteos:** Es una técnica que consiste en la colocación de una nueva capa de rodadura sobre la estructura del pavimento, a fin de devolverle condiciones similares al diseño original de la carretera; es decir, propiedades que permitan resistir las cargas de tráfico, de impermeabilidad, resistencia al intemperismo y otras que se necesitan para que una vía, funcione apropiadamente.

Esta técnica busca reforzar la estructura de la carpeta de rodadura, prolongar su vida útil y brindar una superficie lisa y cómoda al tránsito por la misma.

Esta Técnica es aplicable a mezclas en frío y en caliente (siendo nuestro interés el estudio de estas últimas).

**Reposiciones:** buscan mejorar la superficie y el valor de soporte de la capa de rodadura además de recuperar la rasante y sección original de la carretera.

**Reconstrucciones:** permite a los distintos elementos de la carretera que se conserven en buenas condiciones y evita daños posteriores.

**Aplicación de Pintura:** Provee a la carretera de una mejor señalización y brinda a sus elementos estructurales una adecuada protección.

**d) Mantenimiento de Emergencia:** Es esencialmente de tipo correctivo, el cual efectúa todo tipo de reparaciones en la carretera, debido a fuerzas mayores, a un mal diseño o a construcciones deficientes. Comprende operaciones de remoción de derrumbes, reparación por daños causados por socavación de la carretera o por sismos, reparación de rellenos asentados, puentes destruidos por crecidas y demás actividades que sean urgentes para mantener la seguridad y servicio en la vía.

### **3.3.1. IMPORTANCIA DE LA INSPECCIÓN FRECUENTE**

En el pavimento constantemente se presenta esfuerzos que producen defectos menores. Estos pueden ser causados por un cambio en la temperatura, en el contenido de humedad, el tránsito, o por acomodamientos pequeños de las capas inferiores del suelo. Las grietas, baches, depresiones y otros tipos de fallas son muestra evidente del desgaste del pavimento.

La detección oportuna y la reparación de los defectos menores, es sin duda, el trabajo más importante que debe realizar la brigada de mantenimiento. Las grietas y otros deterioros superficiales, que en su primera etapa no son notables, pueden ser la causa de serios defectos si no son reparados. Es por esto que debe realizarse la inspección de una manera frecuente y por personal capacitado.

Una vez que se detecta la falla, la reparación debe realizarse tan pronto como sea posible.

Es esencial que se determine la causa o causas de las fallas detectadas, antes de iniciar las acciones para remediarlas. En muchos casos, si la causa de la falla no es determinada y corregida antes de la reparación, el pavimento volverá a tener los mismos problemas en un corto periodo de tiempo. Es muy importante establecer la causa y el efecto de fallas.

### **3.3.2. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO**

Los procedimientos de mantenimiento para corrección de las fallas en pavimentos asfálticos, incluyen: bacheo, sello de superficie, relleno de grietas y renivelaciones. El bacheo puede ser considerado como una reparación temporal o permanente. Para el relleno de grietas se utilizan emulsiones o asfaltos rebajados, asfaltos modificados, selladores de juntas o grietas especiales o el sellado de toda el área donde se presentan las grietas. Pueden ser parte del mantenimiento los tratamientos superficiales, con o sin agregados y las carpetas con espesores pequeños.

Con el concreto asfáltico elaborado en caliente se logra el bacheo de larga duración y este alcanza rápidamente la estabilidad. Puede utilizarse siempre que resulte práctico y económico. Otros materiales utilizados en el mantenimiento son las mezclas asfálticas elaboradas en frío en planta, o mezclas elaboradas en el lugar utilizando asfaltos de fraguado medio, o emulsiones asfálticas para mezclas de uso inmediato o para almacenar por cortos periodos de tiempo. Los asfaltos rebajados de fraguado lento o las emulsiones asfálticas que contienen solventes pueden ser utilizadas en mezclas para bacheo que se vayan a almacenar.

Para el sellado de grietas pequeñas pueden utilizarse emulsiones asfálticas de rompimiento rápido y medio. Para grietas más grandes, se pueden utilizar las mismas emulsiones combinadas con agregados finos. Se pueden utilizar también asfaltos modificados y sellos preparados especialmente.

- **Bacheo**

El bacheo es probablemente el método mas variado de reparación en el mantenimiento de pavimentos. Todos los pavimentos requieren de bacheo en un

tiempo o en otro. Si los baches no ocurren por causa natural, estos se presentaran en los lugares donde se hayan efectuado excavaciones para instalaciones o zanjas. Los defectos varían desde áreas agrietadas, desgastes poco profundos hasta baches profundos.

El bacheo requiere supervisión especializada y cercana. La reparación de pequeñas grietas ayudara a reducir los gastos debido a que una vez que se presentan las grietas y el agua penetra a la subrasante, es muy seguro que se presentara una falla mayor.

- **Bacheo profundo**

Este es utilizado para realizar reparaciones permanentes y son aquellos que se realizan desde 10 cm de profundidad en adelante. El material en el área a repararse deberá ser removido hasta la profundidad necesaria para encontrar un soporte firme.

La excavación deberá también extenderse al menos 30 cm. Dentro del área del pavimento considerada como en buenas condiciones y que rodea el área a ser bacheada. Primeramente deberá definirse y marcarse el área por reparar, cuidando que tenga forma rectangular y que dos de sus lados sean perpendiculares al eje del camino. Un cortador de pavimento realiza un corte rápido y limpio.

Las caras verticales del bache deberán ser cubiertas con un riego de liga.

Si el fondo del bache es una base granular que forma parte de la estructura del pavimento, deberá ser impregnado antes de colocar la mezcla asfáltica. Si la profundidad del bache se extiende hasta la subrasante y se decide realizar un bacheo con mezcla asfáltica en todo el espesor, entonces no hay necesidad de impregnar. Para mejores resultados, el bache deberá ser rellenado con una mezcla de concreto asfáltico de granulometría densa elaborada en planta en caliente y esparcida cuidadosamente para prevenir la segregación.

Si no se dispone de esta mezcla, el relleno del bache podrá ser de un material de base de buena calidad. Parte del material excavado de la parte superior del pavimento podrá ser disgregado y reutilizado en la parte inferior del bache. Si el bache tiene mas de 15 cm de profundidad, el relleno deberá realizarse en capas y cada capa debe

compactarse individualmente. Para que el bacheo sea permanente, deberá prestársele especial cuidado a la compactación.

Un compactador de placa vibratoria es excelente para el bacheo en áreas pequeñas. Un compactador de rodillo lo será en áreas mayores. La reparación es concluida con la colocación de una capa superficial de mezcla asfáltica en caliente y compactándola al ras de la superficie existente.

El bache no deberá ser sobrellenado en espera de que el tráfico lo compacte. Se deberá utilizar una regla o hilo para asegurar la uniformidad de la superficie.

- **Bacheo superficial**

Si el área a ser reparada consiste en pequeñas estrías o pequeñas grietas, deformaciones menores de la superficie o desprendimientos, se podrá realizar un bacheo superficial que resultara ser la técnica mas económica a emplear. Las reparaciones superficiales normalmente no requieren la remoción del pavimento existente. Generalmente, solo se requiere una capa de mezcla asfáltica en caliente o un riego de sello para cubrir el área fallada.

Cuando sea utilizada mezcla asfáltica en caliente para este propósito es preferible que sea una mezcla con arena, debido a que estas reparaciones tienden a tener espesores muy pequeños, tendiendo a cero en los extremos, y los espesores máximos no exceden de 1.2 a 1.8 cm. De este modo, la utilización de mezclas con agregado grueso, deberá ser evitada para este propósito. El área a ser reparada deberá limpiarse y barrerse primero o sopetearse con aire a presión. Se aplicara un riego de liga sobre el total del área fallada. Rápidamente se esparcirá la mezcla asfáltica sobre la liga e inmediatamente se procederá a la compactación con un rodillo o con un compactador de placa vibratoria.

Un procedimiento alternativo es el de aplicar una membrana de emulsión asfáltica seguida de la aplicación de agregado tamaño uniforme o arena. El agregado es esparcido inmediatamente después de la aplicación de la emulsión asfáltica. El material esparcido deberá ser incrustado con un equipo de compactación apropiado.

### 3.3.3. CAUSAS Y REPARACIÓN DE GRIETAS

Las grietas son una manifestación muy frecuente de falla y su causa puede tener su origen en cualquiera de los elementos de la estructura del pavimento o de los materiales adyacentes.

Las grietas deben ser selladas por dos razones principales:

- 1) Para prevenir la intrusión de materiales incomprensibles
- 2) Para prevenir la intrusión de agua en las capas inferiores del pavimento.

En la actualidad se encuentran muchos tipos de productos selladores de grietas que se comportan de una manera satisfactoria. De cualquier modo, existen ciertas, propiedades generales que los materiales a utilizar deben cumplir: buena liga de adhesión, flexibilidad, fácil de aplicar, compatibilidad con el asfalto, resistencia al reblandecimiento, al ahuellamiento y al intemperismo.

Los selladores de grietas pueden ser divididos en dos clasificaciones generales:

**Sellador de grietas temporal** es el elaborado con materiales diferentes a los asfaltos modificados o selladores especialmente preparados para grietas y juntas. La mayoría de estos son emulsiones asfálticas y asfalto rebajados. Mantienen una grieta sellada firmemente normalmente únicamente cuando el pavimento permanece estacionario en ambos planos, es decir vertical y horizontalmente. Una vez que se expande o se contrae, o que ocurra algún movimiento vertical excesivo, la efectividad del sellador puede perderse y las grietas requerían de sellarse nuevamente.

En zonas de climas con cambios severos de temperaturas, el resello será necesario cada año. En zonas de climas moderados este sería necesario menos frecuentemente.

Aunque el costo unitario de estos selladores es relativamente bajo, la frecuencia con que es necesario realizarlos nos obliga a una solución más duradera.

**Sellador de grietas con asfaltos modificados** es el elaborado con asfaltos modificados, como por ejemplo el sellador de hule-asfalto o selladores especiales para grietas y juntas. Estos materiales son generalmente más costosos, requieren de técnicas más sofisticadas de manejo y control y mucha más preparación de la grieta.

Sin embargo mantiene un sello efectivo por un periodo de tiempo mucho mayor en casi cualquier tipo de climas. La vida esperada varía en general de 3 a 8 años, dependiendo del material utilizado, las condiciones del pavimento y las técnicas de aplicación usadas al realizar el sellado de grietas.

Aunque inicialmente los selladores con asfaltos modificados son mas costosos, el ahorro en fuerza-hombre y tiempo podría a largo plazo, convertirlo en mas económico.

Antes del sellado de grietas es absolutamente necesario que todo el material incompresible sea removido con aire a presión.

Si se detecta pasto creciendo a través de la grieta, deberá inyectarse un líquido herbicida aprobado para prevenir que vuelva a crecer en el futuro.

No es usualmente práctico el sellado individual de grietas menores de 6 mm. De ancho. Para grietas más pequeñas, una mezcla de slurry seal puede ser aplicada sobre la superficie. Esta mezcla deberá ser lo suficientemente fluida para permitir la mayor penetración posible en las pequeñas grietas.

#### ▪ **Tipos de grietas**

Las grietas aparecen en muchas formas. El simple llenado de grietas podría ser el tratamiento adecuado en algunas ocasiones. En otras, podría ser necesario la remoción completa de la sección del pavimento y la colocación de alguna obra de drenaje. Las causas del agrietamiento deben ser determinadas, para realizar las reparaciones adecuadas.

La forma o patrón de agrietamiento es frecuente el mismo para varias causas y en etapas diferentes de la falla. Los tipos de grietas que generalmente encuentran las brigadas de mantenimiento son las siguientes:

- Piel de cocodrilo
- Grietas de bordes u hombros
- Grietas de juntas

- Grietas de reflexión
- Grietas de contracción
- Grietas de deslizamiento

**Piel de cocodrilo.-** las grietas en forma de piel de cocodrilo forman una serie de pequeños bloques semejantes a una piel de cocodrilo. Son generalmente asociados con bases granulares sin tratar que han fallado o con subrasantes débiles. Las áreas afectadas generalmente no son muy grandes. Algunas veces se presentan en secciones enteras del pavimento. Cuando esto pasa, es probablemente debido a la repetición de cargas que exceden la capacidad de carga del pavimento a la que fue diseñado y construido.

Ya las grietas de piel de cocodrilo son causadas por una base o subrasante saturadas, la corrección deberá incluir la remoción del material húmedo y posiblemente la instalación de drenaje. El bacheo con mezcla asfáltica en caliente colocada en todo el espesor, podría ser la solución. Si no se puede disponer de mezcla asfáltica en caliente, puede utilizarse material de base de buena calidad compactada en capas, impregnada y cubierta con un espesor suficiente de mezcla asfáltica.

El bacheo superficial puede utilizarse como una reparación temporal. En cualquier caso, las reparaciones deberán realizarse oportunamente para evitar un daño mayor en el pavimento.

**Grietas de bordes u hombros.-** estas grietas son grietas longitudinales cercanas al borde. Generalmente son causadas por la falta de hombro o soporte lateral de la sección del camino. Pueden ser causadas por asentamientos o pérdida de capacidad de soporte del material de base que se encuentra bajo el área agrietada. A su vez, esto puede ser el resultado de un drenaje pobre, esfuerzos de congelamiento, o la contracción del terreno adyacente por pérdida de humedad.

Para repararse, las grietas deben ser llenadas con slurry seal o asfaltos rebajados mezclados con arena. Si el extremo del pavimento se encuentra asentado, se podría renivelar con una mezcla asfáltica elaborada en caliente de granulometría correspondiente a una de bacheo.

**Grietas de juntas.-** hay dos tipos de grietas de juntas. Una es la grieta de junta-extremo, que aparece entre el pavimento y el hombro o acotamiento. La otra es la grieta de línea-junta, que aparece entre dos líneas o carriles de pavimento adyacentes.

La pérdida de humedad alternada con saturaciones, o e congelamiento y descongelamiento debajo de la superficie del hombro es una causa común de la aparición de las grietas junta- extremo. Esto generalmente sucede por el drenaje escaso donde el agua es atrapada o encharcada en depresiones sobre la junta del pavimento y el hombro.

Por otro lado las grietas de línea-junta, son generalmente causadas por una débil unión o escasez de liga entre tendidos adyacentes de pavimento.

El drenaje debe ser corregido primero e aquellos casos en que el agua sea un factor de aparición de grietas. Las grietas serán llenadas con slurry elaborado con emulsión asfáltica. Para el llenado de grietas mayores deberán utilizarse asfaltos compuestos o asfaltos cargados o pesados.

**Grietas de reflexión.-** estas ocurren en sobrecarpetas asfálticas. Son el reflejo de la forma de las grietas en la estructura del pavimento que se ha cubierto con la sobrecarpeta. Se localizan más frecuentemente en sobrecarpetas asfálticas aplicadas sobre pavimentos de concretos hidráulicos y bases tratadas o estabilizadas con cemento.

Las grietas de reflexión son causadas por el movimiento horizontal o vertical que se presenta debajo de la sobrecarpeta y que resulta de las cargas del tránsito, cambios de temperatura y movimientos del terreno.

Si las grietas son menores de 3mm de ancho, pudieran ignorarse, a menos que existiera la posibilidad de que el agua penetrara y causara daños mayores futuros. En este caso podrían ser llenados con emulsiones o asfaltos rebajados y cubiertas con arena. Las grietas mayores de 6mm. Son llenadas con slurry seal o asfaltos rebajados de grado ligero mezclados con arena.

**Grietas de contracción.-** las grietas de contracción son grietas de contracción son grietas interconectadas que forman un aserie de bloques, generalmente con esquinas punteadas o angulares. A menudo es muy difícil determinar si estas grietas son causadas por los cambios volumétricos de las mezclas asfálticas o de las bases o subrasantes. Frecuentemente son causadas por los cambios volumétricos de las mezclas asfálticas finas que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración.

El envejecimiento del pavimento origina otra forma de grietas de contracción. Después de años de exposición a los elementos, los asfaltos pudieran perder algo de elasticidad o resistencia. Al mismo tiempo, los materiales e el pavimento son sujetos a constantes esfuerzos de contracción y expansión causados por los cambios de temperatura. Este tipo de grietas no son un indicativo de una deficiencia estructural.

Las grietas de contracción deben ser selladas con un slurry seguido de un tratamiento superficial, slurry seal o una sobrecarpeta en toda el área.

**Grietas de deslizamiento.-** son grietas en forma de semicírculo resultantes de las fuerzas horizontales inducidas por el tránsito. Son causadas por el tránsito. Son causadas por falta o escasez de liga entre la capa de rodamiento y la capa subyacente. La falta de liga puede deberse al polvo, suciedad, aceite o la ausencia del riego de liga.

La única forma efectiva de reparar una zona que presente grietas de deslizamiento es removiendo la capa superficial alrededor de la zona fallada hasta el lugar donde se encuentre una buena liga entre las dos capas. El área podrá ser bacheada con mezcla asfáltica en caliente una vez que se haya aplicado un riego de liga adecuadamente.

- **Causas y reparación de deformaciones**

La deformación del pavimento es el resultado del debilitamiento de la subrasante por un reacomodo o consolidación del suelo o por la consolidación o compactación adicional de la base. Podrían o no aparecer grietas, pero en ambos casos se crea un conflicto o peligro para el tránsito, permite la acumulación del agua y eventualmente hace que se empeore. Las deformaciones pueden ser de diferentes formas:

- Acanalamientos
- Corrugaciones
- Desplazamientos
- Depresiones
- Levantamientos

Así como cualquier otra falla, cada tipo de deformaciones tiene su causa y debe ser determinado antes de un remedio correctivo pueda ser aplicado. Las distorsiones del pavimento generalmente ocurren en intersecciones y otras áreas de parada donde el tráfico, especialmente los camiones pesados, imponen severos esfuerzos horizontales a la superficie del pavimento. Las técnicas de reparación varían desde la nivelación de la superficie rellenando con material nuevo, hasta remover el área afectada y reemplazar con nuevo material.

**Acanalamientos.-** acanalamientos, surcos o roderas son depresiones en forma de canal que se desarrollan en la zona de rodado de los neumáticos del tránsito. El acanalamiento podría resultar de la consolidación o movimiento lateral bajo las cargas de los vehículos en una o mas capas inferiores del pavimento o en la capa asfáltica superior misma. Esto puede ocurrir e pavimentos asfálticos nuevos que se encuentren en operación y que hayan tenido una compactación pobre durante la construcción, o por movimientos plásticos en mezclas que no tengan suficiente estabilidad para soportar las cargas.

Las causas del acanalamiento debe ser determinada. En algunos casos podría ser necesario remover la capa de pavimento para identificar la causa. En las situaciones menos severas, las roderas o acanalamientos podrían ser perfiladas con equipo de pulverización o molido hasta un nivel que garantice la uniformidad en toda la superficie o simplemente rellenadas con mezcla asfáltica en caliente seguida de una sobrecarpeta en toda la sección del pavimento.

**Corrugaciones y desplazamientos.-** las corrugaciones o efecto de lavadero, es una forma de movimiento plástico tipificado por ondulaciones transversales sobre la superficie del pavimento asfáltico. Los desplazamientos son movimientos plásticos

que se resultan en determinados lugares en forma de abultamientos. Las corrugaciones y los desplazamientos generalmente ocurren en puntos donde el tráfico arranca o se detiene, o en las colinas, donde los vehículos frenan al ir cuesta abajo.

Las corrugaciones y desplazamientos también ocurren generalmente en mezclas asfálticas con falta de estabilidad. Esto podría ser resultado de un contenido asfáltico elevado, demasiado agregado fino, granulometría fuera de especificación, o que el agregado grueso fuera demasiado redondeado o de textura muy suave. En el caso de mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas, esto podría suceder por falta de eliminación de humedad o solventes.

Si el pavimento donde se presentan las corrugaciones, consiste de una base granular con un tratamiento superficial, la capa superior debe ser escarificada y mezclada con la base para posteriormente recompactarla antes de colocar la capa superficial nuevamente. Si la capa superficial o carpeta es mayor de 5 cm, las corrugaciones leves deberán ser cortadas con una máquina perfiladora (pulverizadora o moledora) en frío. El área puede ser cubierta con un riego de taponamiento o con una capa de mezcla asfáltica en caliente.

Para que una reparación sea efectiva, el material en el área desplazada debe ser removido y bacheado.

**Depresiones.-** las depresiones son áreas localizadas de tamaño limitado que pueden o no estar acompañadas de grietas. El agua se almacena en las depresiones, la cual se convierte no solo en una falla estructural potencial, sino en un peligro latente para el usuario. Las depresiones son causadas por un tráfico más pesado que aquel para el que el pavimento fue diseñado y por una consolidación o movimiento en la subrasante o terreno natural.

Las depresiones deben ser llamadas con mezcla asfáltica en caliente para lograr la misma pendiente en el área fallada que en el resto de la sección del pavimento.

**Levantamientos.-** estos son localizados desplazamientos del pavimento hacia arriba, debido a la expansión de la subrasante o de alguna porción de la estructura del

pavimento. Es muy comúnmente producida por la expansión por congelamiento de las bases granulares o de la subrasante. Los levantamientos pueden ser causados también por el efecto de expansión por la humedad en suelos expansivos.

La corrección de las áreas falladas por congelamiento requieren del aislamiento contra el congelamiento del flujo de agua o que este sea drenado por debajo del pavimento. El flujo de agua puede ser aislado de las temperaturas de congelamiento colocando capas de aislamiento debajo de la estructura del pavimento o sustituyendo la subrasante original o natural por material drenante a una profundidad más abajo de la línea de congelamiento. Si se localiza el flujo de agua, un sistema de drenaje podría funcionar correctamente. En ambos casos es necesario remover el pavimento para permitir la reparación.

Los levantamientos causados por suelos expansivos pueden ser eliminados por medio de la instalación de un sistema de drenaje adecuado, que evite los flujos de agua hacia la subrasante.

- **Causas y reparación de desintegraciones**

La desintegración es el rompimiento del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos. Esto incluye el desalojo o pérdida de las partículas de agregado. Si no es detenida en su etapa inicial, la desintegración puede regresar hasta que el pavimento requiera de una reconstrucción completa. Las “calaveras” y el desprendimiento son dos de las formas más comunes que se presentan en las primeras etapas del desprendimiento. Las reparaciones varían de simples sellos en los inicios de la falla o bacheo profundo si es permitido que el desprendimiento progrese hacia otros niveles de la estructura.

**Calaveras.-** las calaveras son cavidades de tamaño variado que resulta de la desintegración localizada en un pavimento en operación. Estas son causadas generalmente por el debilitamiento del pavimento como resultado de capas de subrasante o base débiles, carpetas asfálticas pobres en espesor o asfalto, pocos o muchos finos en la mezcla o drenaje escaso.

Las calaveras frecuentemente cuando el mantenimiento no es aplicado oportunamente, una vez que la falla ha sido detectada.

La reparación temporal incluye la limpieza de la cavidad y el relleno con una mezcla asfáltica premezclada para bacheo. Un bacheo profundo con mezcla en caliente, proporcionaría una reparación permanente.

**Desprendimiento.-** el desprendimiento es la pérdida progresiva de material superficial por el interperismo y/o la abrasión del tráfico. Generalmente son los agregados finos los que se desprenden primero, dejando pequeñas marcas en la superficie del pavimento. A medida que la erosión continúa las partículas mayores se sueltan y el pavimento adquiere una apariencia rugosa típica de la erosión superficial. El desprendimiento es causado por un pobre procedimiento de construcción, agregados de mala calidad o mezclas de diseño pobres. Una aplicación de un riego de taponamiento inmediatamente después que el desprendimiento es detectado, por lo regular retarda el proceso de deterioro.

Las superficies “secas” o intemperizadas generalmente requieren de un tratamiento superficial. Los programas emergentes deben incluir riegos de taponamiento aplicados sobre la superficie de rodamiento. Los tratamientos superficiales incluyen slury seals, sellos con arena, o tratamientos de mezclas agregados-asfaltos, dependiendo del estado de la superficie y el tránsito.

**Agregados pulidos.-** las partículas de agregado en la superficie del pavimento podrían ser exhaustivamente pulidas bajo la acción abrasiva del tráfico.

Esto incluye aquellos materiales utilizados sin haber sido sometidos a trituración y aquellos que aunque fueron triturados, se desgastaron relativamente rápido bajo la acción del tráfico. Algunos agregados, particularmente del tipo calizo, se pulen más rápidamente. Otros, como algunos tipos de gravas, son pulidos naturalmente y si se utilizan en superficies de pavimento sin trituración, hacen que el pavimento se vuelva deslizante y por lo tanto peligroso. Los agregados pulidos son particularmente resbalosos cuando están mojados.

La única forma efectiva de corregir un pavimento con agregados pulidos, es cubrir la superficie con un tratamiento que garantice una resistencia al deslizamiento, es decir una superficie con cierta rugosidad. Una sobrecarpeta de espesor pequeño de mezcla en caliente elaborada en planta, un sello de arena, o un riego de sello o la aplicación de microsurfacing pudieran ser utilizados. El agregado debe tener dureza y ser angular, tal como escoria, arena sílica o algunos materiales probados.

### **3.3.4. PROBLEMAS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Debido a los procedimientos de construcción, los tratamientos superficiales podrían desarrollar algunos defectos que no ocurren en otros tipos de superficies asfálticas. Esto incluye la pérdida del agregado protector y rayado.

**Perdida de agregado protector.-** la pérdida del agregado protector es el desprendimiento del agregado de un tratamiento superficial de un pavimento, bajo la acción del tráfico, dejando expuesta la película de asfalto. La pérdida del agregado protector puede ser causada por diferentes factores:

Agregados esparcidos después que el asfalto se enfrió demasiado

Agregados con demasiado polvo o húmedos al aplicarse

Agregados no rodados o fijados inmediatamente después de esparcidos

Rodados con equipo metálico sobre depresiones

La apertura al tráfico demasiado pronto

Superficies absorbentes

Sobre-rodado, especialmente con rodillo metálico

Arena gruesa y caliente, esparcida sobre el área afectada, pudiera ayudar a reponer el agregado perdido. Esta deberá ser rodada inmediatamente con un compactador neumático de manera que pueda fijarse en el asfalto.

### **3.4.- METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN SIG EN CARRETERAS EN NUESTRO MEDIO**

#### **3.4.1.- GENERALIDADES SOBRE EL SIG EN BOLIVIA**

- **Aplicación de un sistema de información geográfica (SIG) en la red vial fundamental de Bolivia**

Contempla la construcción y aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que está formado por una base de datos alfanumérica georeferenciada que cubre la totalidad de la Red Vial Fundamental de Bolivia (16029 km), permitiendo la generación de cartografía temática especializada, el acceso y consulta a información actualizada de la red, selección y análisis de rutas, cálculos de proyecciones de datos estadísticos y cálculo de costos de operación vehicular, constituyéndose a la fecha en la base de datos georeferenciada más completa y actualizada de la Red Vial Fundamental de nuestro país.

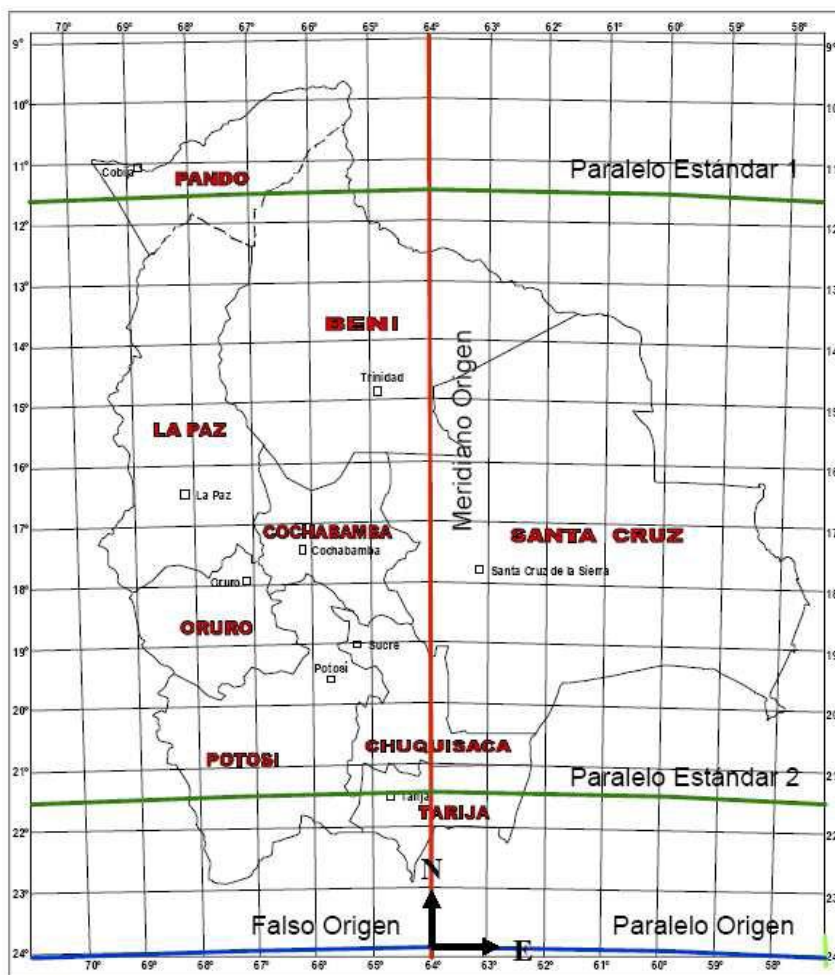
- **Proyección Cónica Conforme De Lambert**

Los SIG son sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación, pero para ello es necesario que estos datos estén referenciados a una posición en la superficie terrestre, a esta ubicación de objetos en el espacio se denomina georeferenciación.

En el presente proyecto para representar en su totalidad la superficie de Bolivia y su red vial fundamental, para la georeferenciación se optó por acudir a la proyección Cónica Conforme de Lambert con la corrección para Bolivia, cuyos parámetros se detallan a continuación:

Meridiano Central	=	-64
Paralelo Central	=	-24
Paralelo Estándar 1	=	-11.30
Paralelo Estándar 2	=	-21,30
Falso Este	=	0
Falso Norte	=	1000000

**FIGURA 3.29. BOLIVIA PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT**



Fuente: I.G.M.

### 3.4.1.1.- RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

#### ▪ fuentes de información

Uno de los aspectos más importantes en el desarrollo del presente proyecto fue el de identificar con claridad cuáles son las principales fuentes de información que ayuden a la obtención de datos necesarios para cumplir con los objetivos planteados, es por tanto que se identificaron cuatro principales fuentes de información, las cuales se enumeran a continuación:

- Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- Instituto Geográfico Militar (IGM).

- Comando de Ingeniería del Ejército (COMANING)
- Instituto Nacional de Estadística (INE).

De estas instituciones se obtuvo la siguiente información:

- Rutas y Longitudes de la Red Vial Fundamental (resumen por rutas).
- Rutas y Longitudes de la Red Vial Fundamental (por tramos).
- Longitudes por Tipo de Superficie en la Red Vial Fundamental (resumen por rutas).
- Datos históricos referidos al Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).
- Informes de accidentalidad.
- Mapas y Cartas Geográficas de Bolivia tanto digitales como análogas a escalas

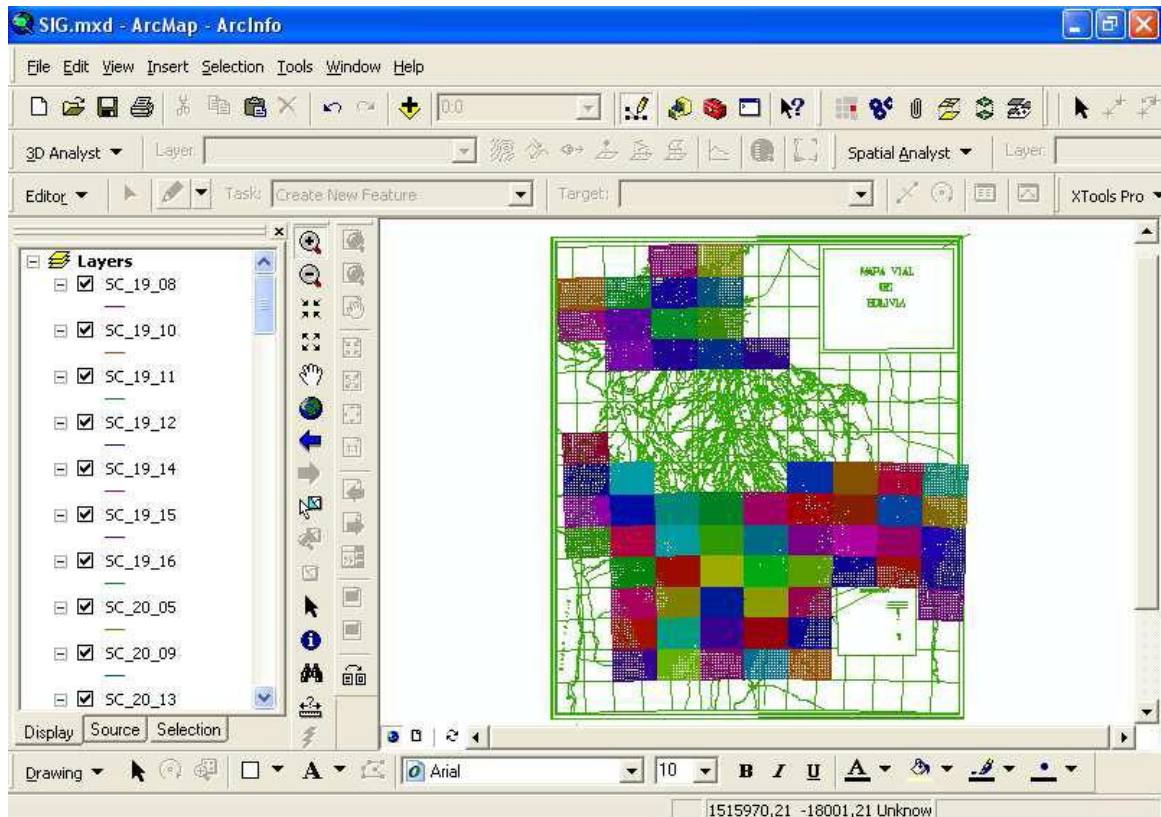
Diferentes que varían desde 1:15000 hasta 1:5000000.

- Producto Interno Bruto (PIB) según departamento y actividad económica.
- Estadísticas Demográficas.
- **Adecuación de datos digitales existentes (datos cad).**

Como se mostró en el acápite anterior se obtuvieron datos digitales del IGM (mapas y cartas geográficas), pero el formato original de digitalización de esta información era un formato CAD más específicamente la extensión “*dgn*” que es un formato propio del software MicroStation, para utilizar esta información en la construcción del SIG fue necesario realizar una adecuación que consistió en lo siguiente:

- Conversión a Formatos Compatibles (Importación a shapefile).
- Estructuración Topológica (Detección y corrección de errores de topológicos o de dibujo).
- Realizar Ajustes Espaciales (Georeferenciar).
- Construcción de Mosaicos (De las cartas geográficas de diferentes escalas).

**FIGURA 3.30. MOSAICO DE CARTAS GEOGRÁFICAS GEOREFERENCIADAS**



- **Digitalización de información análoga existente.**

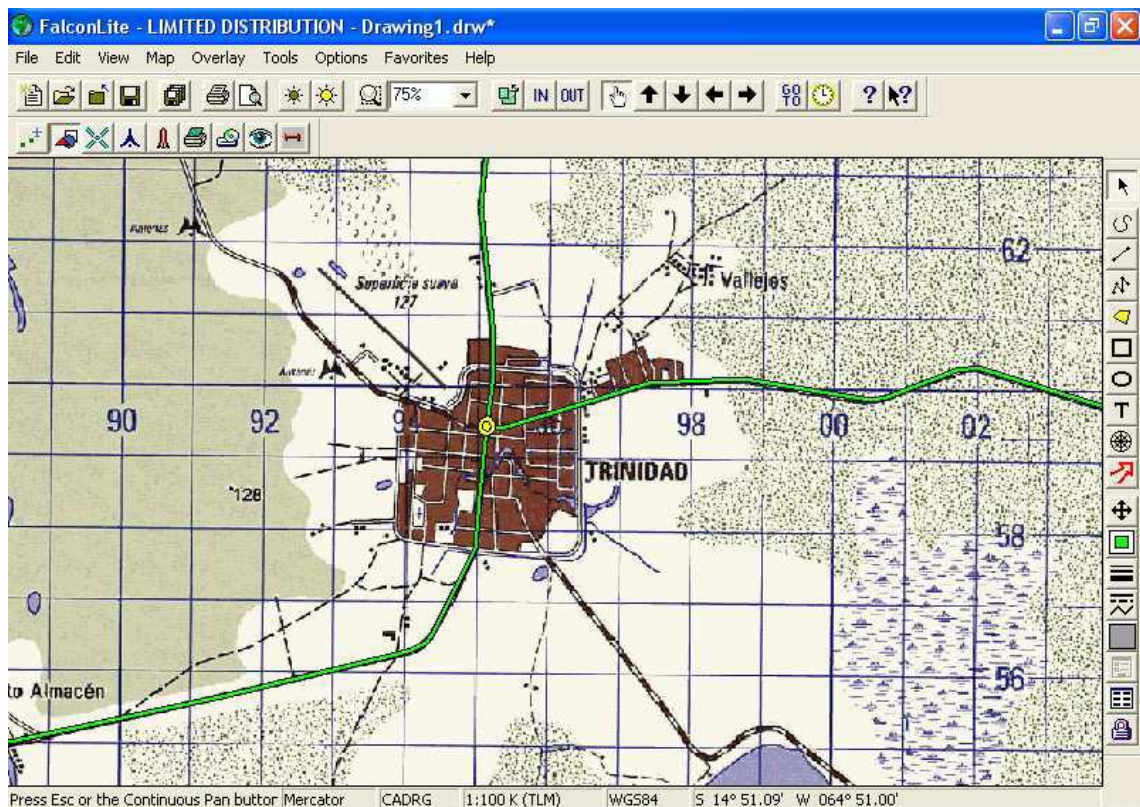
Una vez concluida la adecuación de la información digital obtenida del IGM, se vio la necesidad de digitalizar las vías componentes de la Red Vial Fundamental desde la cartografía digital de FalconLite en todos aquellos lugares donde no se contaba con cobertura de información digital del IGM. Estos lugares básicamente se encontraban en la zona norte del departamento de Cochabamba, el norte del departamento de Santa Cruz, la parte central y sur del departamento del Beni y la parte norte del departamento de La Paz.

FalconLite es un programa de cartografía digital, compuesto únicamente por mapas en formato raster a diferentes escalas además de fotografías aéreas e imágenes satelitales que cubren en su totalidad la superficie de Bolivia, por esta razón fue indispensable digitalizar algunos elementos de forma que se cuente con datos

vectoriales que ayudarían en la construcción del SIG. La digitalización de esta información consistió en lo siguiente:

- Identificación de Datos (Carreteras, poblaciones y curvas de nivel).
- Digitalización.
- Conversión a Formatos Compatibles (Importación a shapefile).

**FIGURA 3.31. ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS DIGITALIZADOS**



▪ **Procesamiento digital de imágenes satelitales.**

Una vez realizadas todas las operaciones de obtención y adecuación de los datos vectoriales para el presente proyecto, se procedió al procesamiento digital de las imágenes satelitales que se utilizaron como base referencial del mismo.

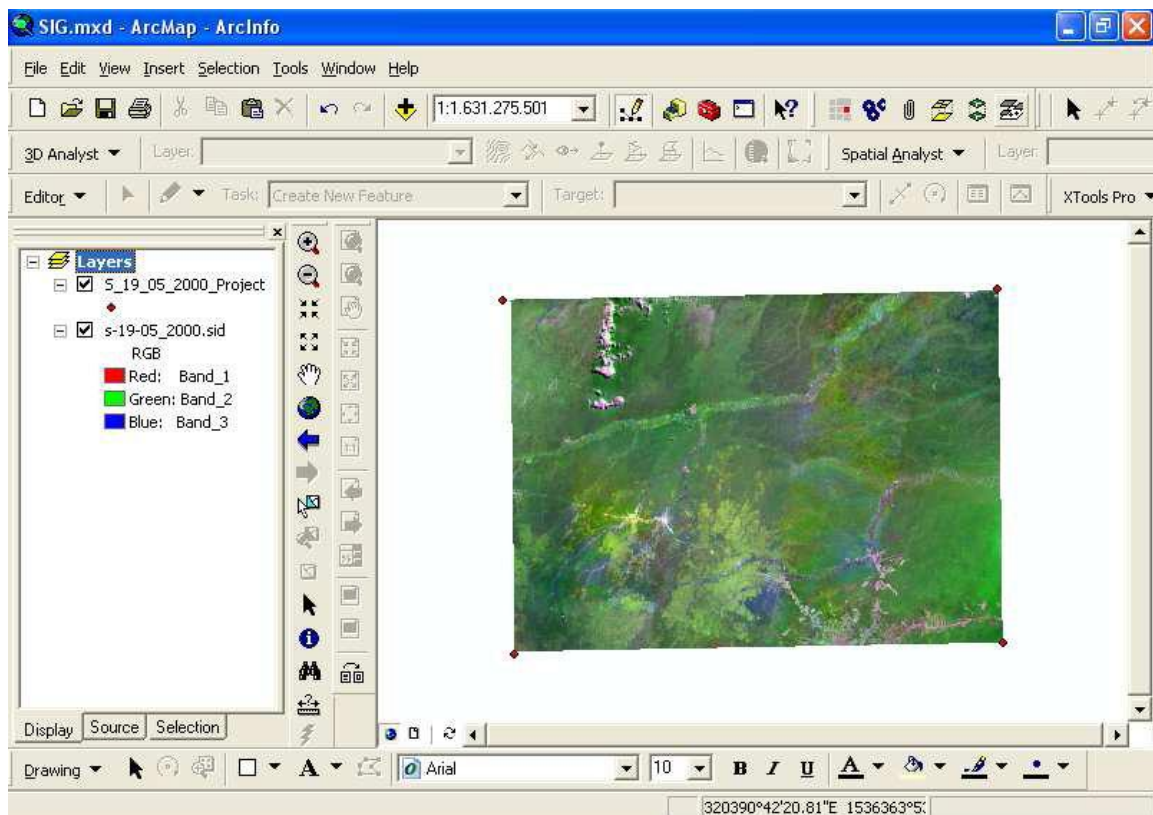
Se optó por utilizar imágenes satelitales provenientes de la plataforma Landsat, debido a que sus características se adecuan perfectamente al objetivo que se persigue en su incorporación al SIG, puesto que al tratar de representar en su totalidad la

extensión de nuestro país, la cobertura que tienen es ideal ya que cada una cubre un área de 32400 km<sup>2</sup>, además que su resolución es de 30 m x 30 m, la cual es suficiente para una base referencial.

El procesamiento digital de las imágenes satelitales Landsat consistió en lo siguiente:

- Obtención de Puntos de Referencia (acudiendo a los archivos con extensiones “.aux”, “.met” que contienen la información referida a la imagen satelital).
- Realizar Ajustes Espaciales (Georeferenciar).

**FIGURA 3.32. IMAGEN SATELITAL GEOREFERENCIADA**



### **3.4.2.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

Para la construcción del sistema de información geográfica (SIG), se ha elegido como plataforma base el software ArcMap – ArcGis 9.34, por ser el más difundido y por lo tanto de fácil acceso en nuestro medio.

A continuación se resumen algunas de las características más generales del ArcGis:

Cartografía y esquemas:

- Genera presentaciones visuales coloridas.
- Utiliza varias presentaciones de datos (igual-área, igual-intervalo, desviación estándar, normalización de datos y otros).
- Muestra los símbolos en formatos diferentes (densidad de puntos, tamaño graduado, color graduado, color único, etc.).
- Muestra los mapas en una de las muchas proyecciones soportadas,
- Genera esquemas que contienen mapas, datos tabulares, cuadros y otros gráficos.
- Importa y exporta formatos tales como IMG, TIFF, BMP, PICT y JPEG.

Análisis de Datos:

- Realiza consultas espaciales.
- Utiliza el asistente de geoprocésamiento para desempeñar operaciones espaciales avanzadas tales como disolver, combinar, intersección y unión.
- Selecciona aspectos sobre un mapa basándose en las características de otro mapa.
- Asocia datos tabulares basados en la ubicación de aspectos en un mapa.
- Agrega a sus datos nueva información.

Edición:

- Edita los datos tabulares y los aspectos geográficos.
- Utiliza un digitalizador para ingresar y editar sus datos.

- Desempeña ediciones de vértices (agregar, mover, borrar, etc.).
- Actualiza automáticamente los atributos editados.

Propiamente para la construcción del SIG se desarrollaron las siguientes tareas principales:

- **Generación de la representación cartográfica.**

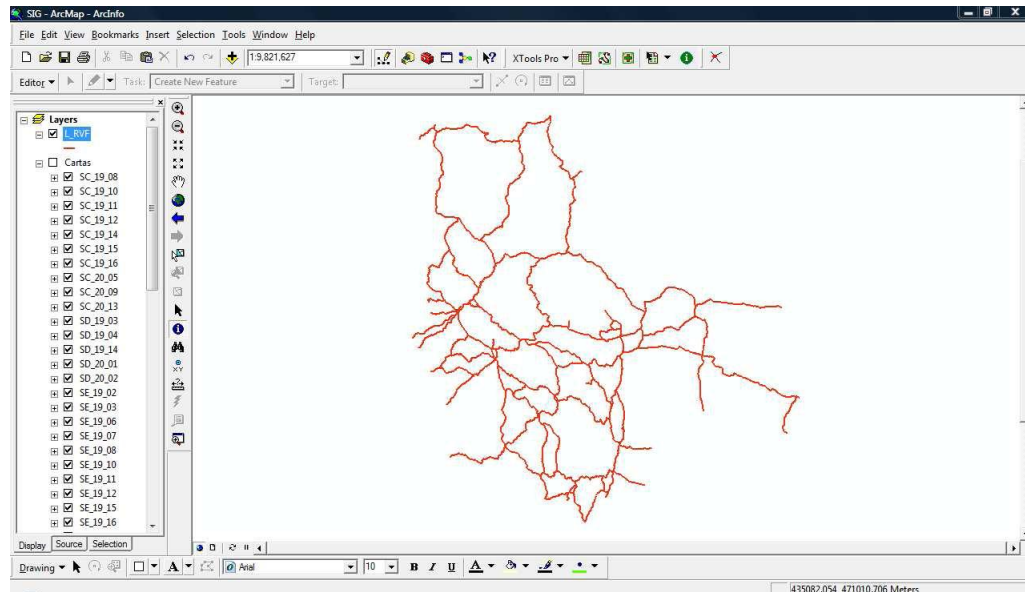
La representación cartográfica se define como el conjunto formado por todos aquellos elementos visuales provenientes de las cartas geográficas, mapas, planos, imágenes satelitales y fotografías aéreas obtenidas de las fuentes de información.

La representación cartográfica es uno de los componentes más importantes del SIG pues sirve como base visual georeferenciada, la cual se asociará posteriormente a los datos tabulares formando de esta manera el Sistema de Información Geográfica de la Red Vial Fundamental de Bolivia.

Para la generación de esta representación cartográfica se siguió la siguiente metodología:

**Creación de Temas.** Con la incorporación en un documento *SIG.mdx* de ArcMap de todos los archivos shape o temas referidos a toda la información cartográfica recolectada de las diferentes fuentes se procedió a la creación de los dos elementos componentes más importantes de una red vial, estos son los arcos (vías que conforman la RVF) y los nodos (poblaciones, puntos de cambio de características físicas y geométricas de las vías, puntos de inicio, final o intersecciones de arcos). También se crearon temas auxiliares referidos a la división política Nacional (departamentos, provincias y municipios) e Internacional (fronteras de países limítrofes).

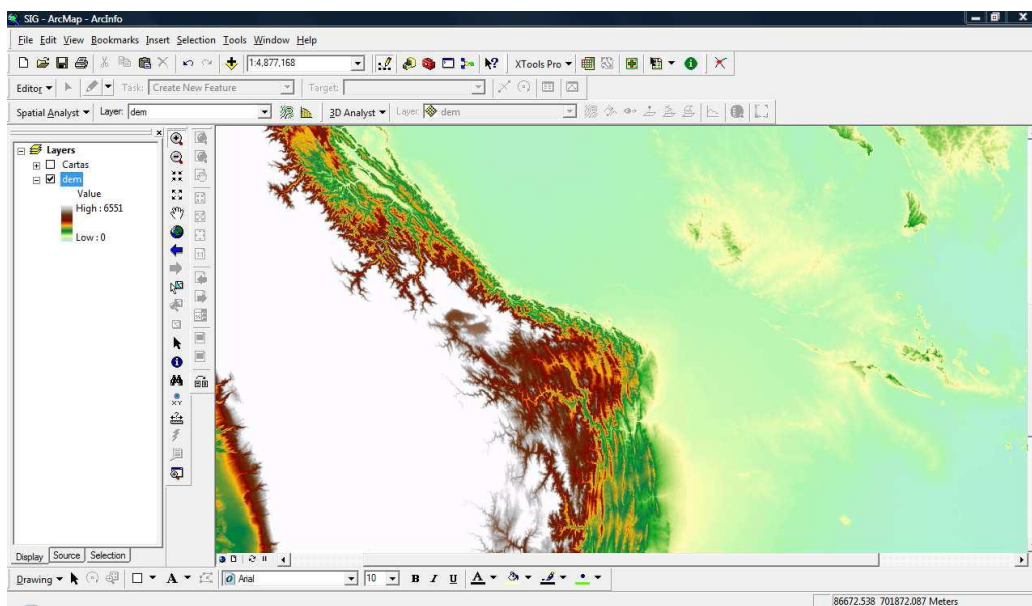
**FIGURA 3.33. CREACIÓN DE TEMAS**



- **Generación de datos gráficos.**

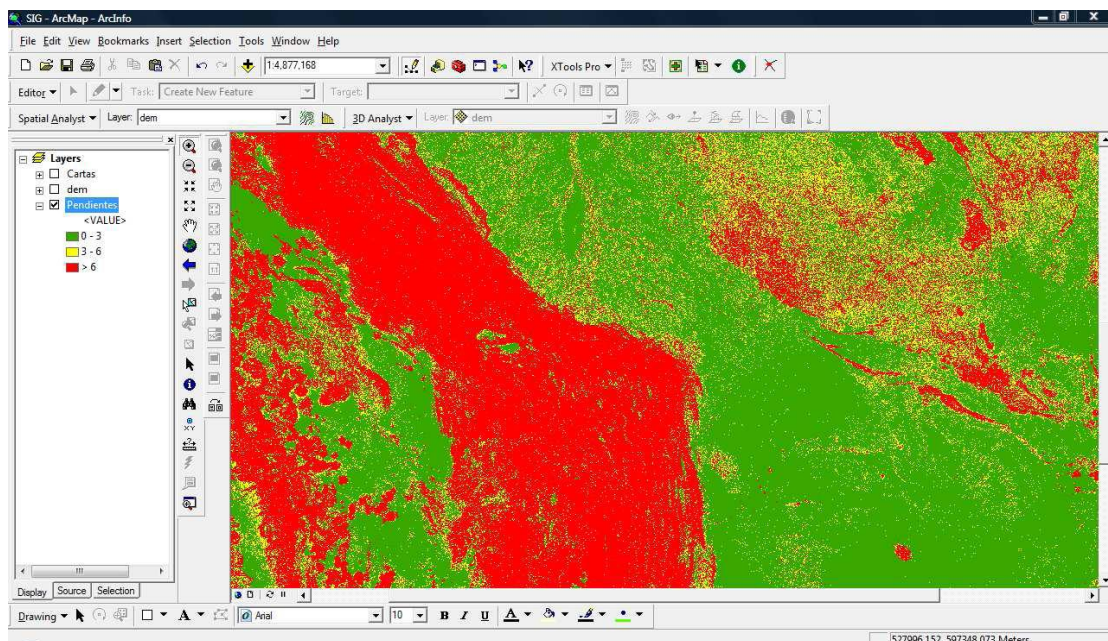
**Creación del Modelo Digital de Elevaciones (DEM).** En base a las curvas de nivel digitalizadas de las cartas geográficas del IGM, se procedió a la creación de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) abreviación que proviene de su acrónimo en inglés.

**FIGURA 3.34. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (DEM)**



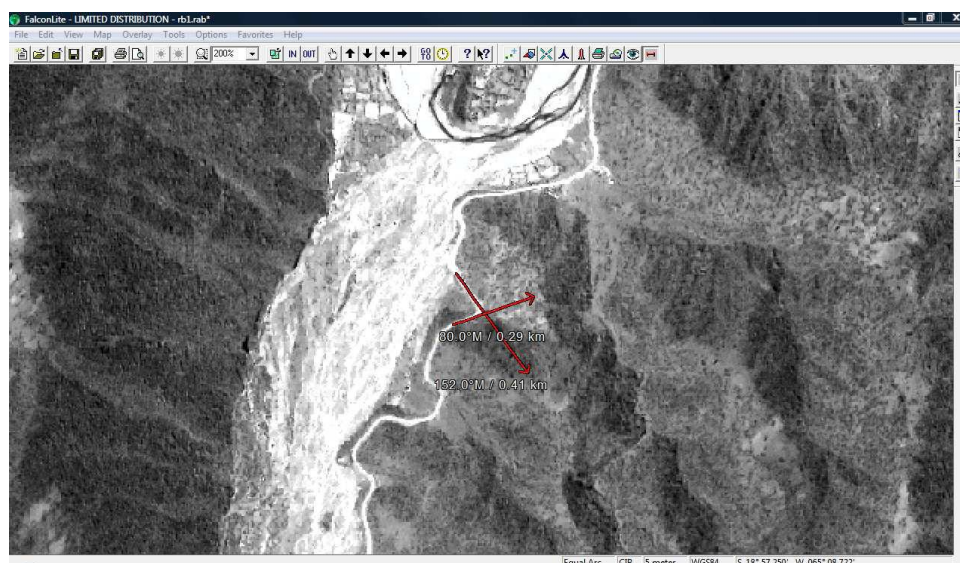
**Creación del Mapa de Pendientes.** Un mapa de pendientes es una representación de la diferencia de elevaciones que existe entre los distintos valores generados en la interpolación de los puntos en un DEM, es decir que representa directamente las diferentes pendientes que existen en la superficie del DEM. En el presente proyecto se generó un mapa de pendientes con la ayuda del DEM para toda la extensión de nuestro país, clasificando estas pendientes en tres (plano de 0 a 3%, pendiente media de 3 a 6% y pendiente alta mayores a 6%).

**FIGURA 3.35. MAPA DE PENDIENTES**



**Obtención de Curvatura Horizontal.** La curvatura horizontal se refiere a las características del alineamiento horizontal que presenta cada uno de los tramos de las rutas componentes de la RVF, es decir que es cantidad de grados de curvatura por kilómetro presentes en los diferentes tramos. Para representar la curvatura horizontal se dividió ésta en tres grupos (recto de 0 a 50 [°/Km], ondulado de 50 a 150 [°/Km] y sinuoso mayores a 150 [°/Km]).

**FIGURA 3.36. OBTENCIÓN DE CURVATURA HORIZONTAL EN FOTOGRAFÍAS AÉREAS**



▪ **Construcción de la base de datos geográfica.**

Inicialmente se creó un archivo de Base de Datos Geográfica (Geodatabase) con el nombre de SIG\_RVF.mdb, la propiedad más destacable de este tipo de archivos es que puede almacenar todos aquellos elementos que constituyen un SIG, sean estos archivos raster, archivos shape y tablas en formatos compatibles con bases de datos, ordenando todos estos elementos a su vez en carpetas denominadas Feature Dataset y estableciendo relaciones de correspondencia entre los que fuese necesario.

Una vez creado el archivo SIG\_RVF.mdb se procedió a incorporar todos los temas creados y constituyentes del SIG ordenándolos en dos Feature Dataset, los cuales se detallan a continuación:

- **Division\_Politica.** Donde se incorporaron todos aquellos temas que contienen la división política internacional, departamental, provincial y municipal.
- **Red\_Vial.** Donde se incorporaron los temas correspondientes a los arcos y nodos formando de esta manera la red vial para el presente proyecto.

También se incorporaron todas aquellas tablas extraídas de la información obtenida de las fuentes de información que forman parte importante del SIG. Estos datos

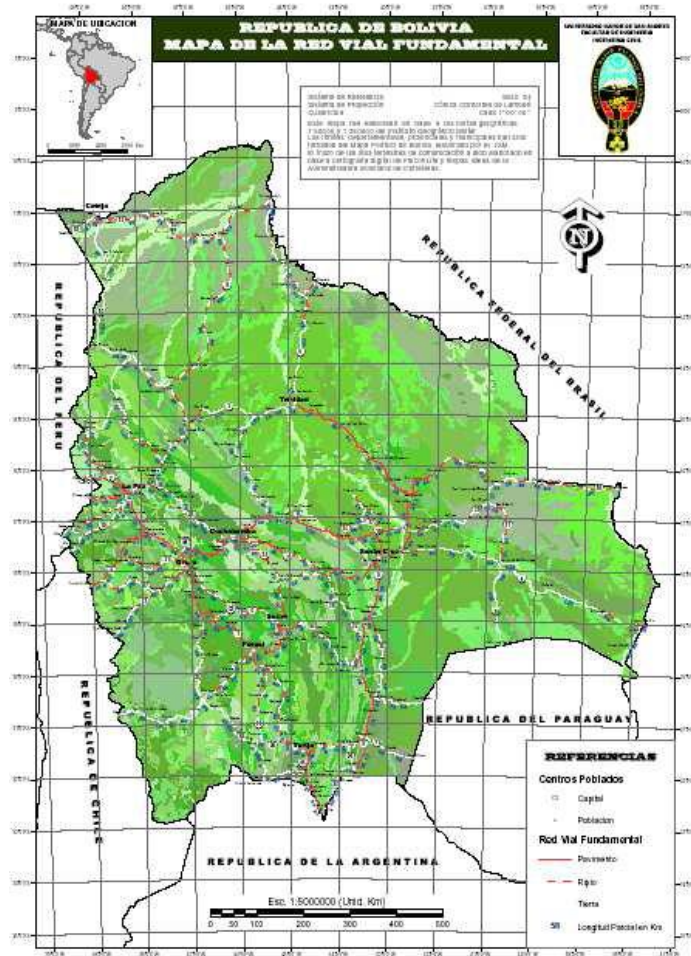
contenidos en las diferentes tablas son necesarios para realizar las distintas operaciones encomendadas al SIG.

A continuación se enumeran y explican cada una de estas tablas de datos:

- **PIB.** Tabla numérica que contiene datos históricos desde año 2000 al 2005 referidos al Producto Interno Bruto (PIB) por departamento.
- **Pob\_Dep.** Tabla que contiene los datos históricos de población por departamentos de los censos de 1950, 1976, 1992 y 2001, además de la tasa de crecimiento calculada por el INE que corresponde al último periodo.
- **Pob\_Pro.** Tabla que contiene los datos históricos de población por provincias de los censos del año 1992 y 2001, además de la tasa de crecimiento calculada por el INE para cada una de las provincias.
- **Pob\_Sec.** Tabla que contiene los datos históricos de población por secciones municipales de los censos del año 1992 y 2001, además de la tasa de crecimiento calculada por el INE para cada una de las secciones municipales, también contiene los datos proyectos por el INE del año 2002 al año 2007.
- **Accidentes.** Tabla que contiene los accidentes de tránsito por tramo carretero registrados por la policía de tránsito desde el año 2003.
- **TPDA.** Tabla que contiene los datos históricos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) por tramos carreteros desde el año 1991 al año 2007.
- **CV\_2003.** Tabla que contiene los datos de composición vehicular clasificados en 12 clases por cada uno de los tramos carreteros para el año 2003.
- **CV\_2004.** Tabla que contiene los datos de composición vehicular clasificados en 12 clases por cada uno de los tramos carreteros para el año 2004.
- **CV\_2005.** Tabla que contiene los datos de composición vehicular clasificados en 12 clases por cada uno de los tramos carreteros para el año 2005.
- **CV\_2006.** Tabla que contiene los datos de composición vehicular clasificados en 12 clases por cada uno de los tramos carreteros para el año 2006.
- **CV\_2007.** Tabla que contiene los datos de composición vehicular clasificados en 12 clases por cada uno de los tramos carreteros para el año 2007.



**FIGURA 3.38. ESQUEMA DE LA REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA**



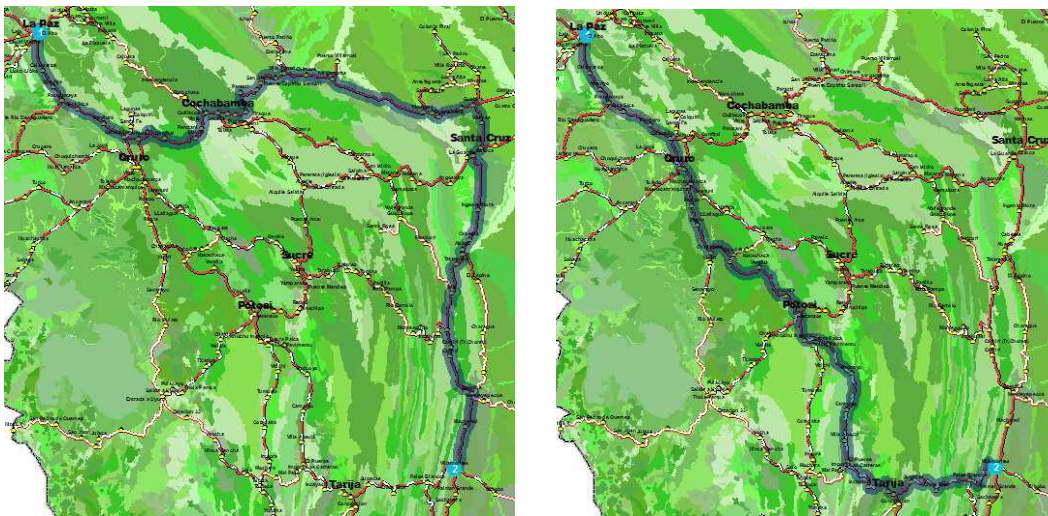
- **Análisis espacial de datos.**

Es el componente más importante dentro de un Sistema de Información Geográfica. Principalmente se trata de usar la información disponible para producir nueva información.

- **Selección Geográfica.** El SIG desarrollado en el presente trabajo nos permite realizar dos tipos de selección: la primera se basa en los atributos contenidos en los campos de las tablas de la base de datos y la segunda se refiere a una selección espacial que se refiere básicamente a la localización geográfica de los objetos con respecto a otros.

- **Proximidad.** Es determinar qué cosas están cerca de cuáles otras basándonos en las distancias. Un ejemplo de aplicación es el de establecer el derecho de vía de una carretera mediante el uso buffer, identificando de esta forma elementos que se encuentren dentro de estos límites como ser poblaciones o diferentes usos de suelo.
- **Análisis de Ruta.** Para realizar el análisis de rutas, se utiliza la herramienta de ArcGis Network Analyst que es capaz de encontrar la mejor ruta entre dos puntos previamente definidos o la ruta más adecuada al visitar diferentes localidades. Cada locación puede ser posicionada de manera interactiva al colocar puntos en la pantalla, al ingresar una dirección o cargando puntos desde un archivo shape. En el presente trabajo los impedimentos son el tiempo y la distancia. Los cuales son usados para encontrar las alternativas más rápidas o las más cortas respectivamente.

**FIGURA 3.39. RUTAS POR TIEMPO Y DISTANCIA**



- **Manejo de la base de datos.**

La Base de Datos contenida en el Sistema de Información Geográfica (SIG) permite realizar diferentes consultas, debido a la forma relacional que fue incorporada en su creación.

De esta forma se pueden realizar diferentes operaciones con los datos contenidos en las diferentes tablas que forman parte de la Base de Datos. Entre las más importantes están: la realización de diferentes consultas, la generación de gráficas como ser diagramas de barras o tortas y la exportación de los datos en diferentes formatos para utilizarlos en otros programas.

- **Recorridos virtuales.**

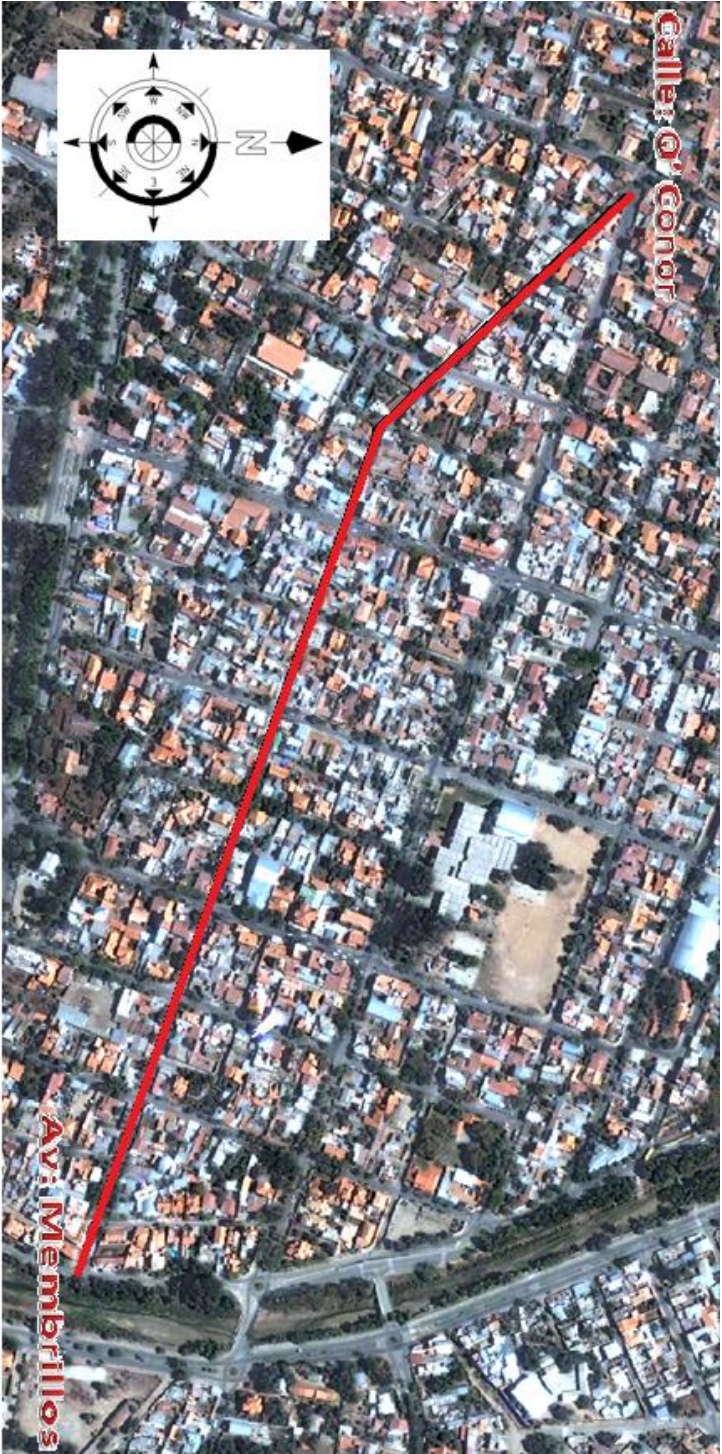
Entre los datos gráficos, se obtuvo un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) que tiene la capacidad de transmitir datos de elevaciones a los diferentes archivos con que cuenta un SIG, sean estos vectoriales o raster, por lo cual se pueden sobreponer imágenes satelitales y que estas muestren la topografía existente en la zona. Se incorporaron imágenes satelitales y fotografías aéreas dándoles los atributos de elevación del DEM con la finalidad de representar a cabalidad la topografía del terreno y de esta manera poder realizar viajes virtuales con sobrevuelos del terreno o realizar recorridos virtuales por las diferentes rutas de la Red Vial Fundamental.

# CAPITULO V

## APLICACIÓN PRÁCTICA

### 4.1.- UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO.

FIGURA 4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



El proyecto de evaluación superficial de la calle Delfín Pino se encuentra ubicado en el departamento de Tarija provincia Cercado.

El área de estudio corresponde a la calle Delfín Pino, el tramo comprende desde la calle O'Conor hasta la avenida Los Membrillos. (Ver figura 4.1).

#### 4.2.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRAMO DE ESTUDIO.

Esta calle se la habilito al tráfico en el año 1990 fue construida por el departamento de obras publicas de la honorable alcaldía municipal de la provincia cercado de la ciudad de Tarija.

Esta calle esta construida con pavimento flexible con un espesor de 5cm, tiene un solo sentido de circulación que va desde la avenida Membrillos hacia la calle O'Conor con una longitud total de 1080 metros.

El acho de calzada y longitud de cada tramo es de:

**CUADRO 4.1 ANCHO DE CALZADA LONGITUD**

<b>TRAMO</b>	<b>CALLES</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>ANCHO DE CALZADA (m)</b>
1	Los Membrillos - Pasaje J.M. Suarez	93	9
2	Pasaje J.M. Suarez - Gral. Sosa	63	9
3	Gral Sosa - Carlos Lazcano	95	8
4	Carlos Lazcano - España	83	8
5	España - María Claret	98	6
6	María Claret - Federico Ávila	86	6
7	Federico Ávila - Eulogio Ruiz	85	6
8	Eulogio Ruiz - La Paz	84	6
9	La Paz - Raquel D'Arlach	93	6
10	Raquel D'Arlach - Padilla	71	6
11	Padilla - Ejercito	110	7
12	Ejercito - O'conor	106	7

Fuente: elaboración propia

### **4.3.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA.**

En este estudio fue necesario reunir la información de los distintos aspectos que se detallan a continuación con el fin de incorporar a la base de datos.

Se adquirió imágenes satelitales georreferenciadas del tramo en estudio con una escala de 1:2406.

Se tomaron fotografías de todas las fallas existentes de cada tramo y se utilizó un área de estudio representativa de 20 m.

### **4.4.- EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO DE ESTUDIO.**

#### **4.4.1.- IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO.**

Para la evaluación superficial de pavimentos se evaluará con los métodos PCI (índice de condición del pavimento), PSI (índice de serviciabilidad presente), IRI (índice internacional de rugosidad) donde podremos conocer el estado en que se encuentra el pavimento mediante una inspección visual.

##### **4.4.1.1.- METODOLOGÍA.**

El método **PCI** (índice de condición del pavimento) cuenta con 19 tipos de fallas que pueden presentar los pavimentos flexibles con los que se va a evaluar y a su vez cuenta con una identificación de los grados de severidad para cada falla mediante una inspección visual y sacando las medidas de cada falla. Los ábacos de este método son fáciles de utilizar para su aplicación no se necesita del uso de equipos sofisticados y en nuestro medio si se lo puede utilizar de una manera más fácil y económico.

La evaluación del índice de serviciabilidad presente (**PSI**), es un método muy práctico, de fácil utilización y además solo está basado en una observación cuidadosa de la condición superficial del pavimento sabiendo el estado de la capa de rodadura de cada tramo para esto se recurre a una inspección visual de cada tramo y obtener los parámetros que se necesita como lo son la rugosidad longitudinal que se representa

por el coeficiente C1, la intensidad de grietas y parches que se encuentran en cada tramo coeficiente C2, las deformaciones transversales coeficiente C3.

El método del índice internacional de rugosidad (**IRI**) se lo va a realizar con el método estático ya que este utiliza el nivel de ingeniero y la mira es muy sencillo ya que solamente se desea conocer el estado de la superficie con relación a una superficie plana. Para el cálculo del (IRI) se recurrirá al programa “INPACO”

#### **4.4.1.2.- PROCESO.**

- **Método de evaluación PCI (índice de condición del pavimento)**

Primeramente se hizo una inspección visual de toda la calle para poder hacer una identificación general de las fallas. Al pavimento se lo dividió en secciones que fueron fragmentadas en aéreas de estudio.

A cada sección se le asigno una sigla para poder identificar las aéreas de estudio. Las fallas se las enumeraron para una mejor clasificación en campo.

El procedimiento en la medición realizada para la obtención del índice de condición del pavimento permite abarcar mayor parte de la zona en estudio, facilita en el detallamiento de identificación de fallas.

#### **Identificación de fallas en el pavimento.**

Para la identificación de fallas se uso el manual de pavimento flexible. Se pudo observar una variedad de ellas con su respectivo nivel de severidad que se selecciono a criterio. Las imperfecciones del pavimento fueron clasificadas, registradas he identificadas.

#### **Calculo del PCI (índice de condición del pavimento)**

Para el calculo del PCI se utilizo el procedimiento que se detalla a continuación este es un ejemplo completo de la manera correcta y completa de cómo se debería realizar el cálculo en una evaluación superficial por el método PCI.

### **Etapa 1 cálculo de los valores deducidos**

**1. a.-** Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato elegido de acuerdo al manual del PCI. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

**1b.-** Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje, esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

**1c.-** Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas valor deducido del daño

### **Etapa2 cálculo del número máximo admisible de valores Deducidos (m)**

**2 a.-** Si ningún o tan solo uno de los (valores deducidos) es mayor que 2, se usa el (valor deducido total) en lugar del mayor (valor deducido corregido), (VDC) obtenido en la etapa 4 de lo contrario deben seguirse los pasos 2b y 2c

**2 b.-** liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor

**2 c.-** Determine el “Número máximo admisible de valores Deducidos” Utilizando la ecuación

$$mi = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - HDV)$$

Donde:

mi: número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción , para la unidad de muestreo

HDVi=El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo

**2 d.-** El número de valores individuales deducidos a (m) inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que (m) se utilizan todos los que se tengan.

### **Etapa 3 cálculo del (Máximo valor deducido Corregido) (VDC)**

El máximo VDC se determina mediante el siguiente proceso iterativo;

**3 a.-** Determine el numero de valores deducidos (q) mayores que 2.

**3 b.-** Determine el valor deducido total sumando todos los valores deducidos individuales.

**3 c.-** determine el VDC con qu y el valor deducido total en la curva de corrección pertinente al tip de pavimento.

**3 d.-** reduzca a 2 el menor de los valores deducidos que sea mayor que 2 y repita las etapas 3a. a 3c. hasta (q) sea igual a 1.

**3e.-** El máximo VDC es el mayor de los VDC obtenidos en este proceso.

### **Etapa 4.**

Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo VDC obtenido en la etapa 3.

El valor final del índice de condición del pavimento (PCI) es:

$$PCI_F = \frac{\sum PCI_i}{n}$$

$PCI_F$  = Índice de condición del pavimento final del tramo en estudio

$PCI_i$  = PCI de cada unidad evaluada

n = Numero de unidades que existen en la sección

- **Método De Evaluación IRI (índice de rugosidad internacional)**

El método de evaluación IRI (índice de rugosidad internacional), requiere primeramente de una nivelación, elegimos unidades de estudio de 20 metros de longitud, delta “x” para realizar la nivelación de 50 cm.

Se realizó la nivelación en todas las unidades de estudio con un nivel de ingeniero en huellas de los vehículos lado derecho e izquierdo a cada 50 cm. De longitud, luego de realizar la nivelación realizamos el trabajo de gabinete. Con la ayuda del software INPACO se pudo calcular el IRI de cada unidad de estudio y de cada huella en m/km. Y también calculamos el (IRI) total del tramo en estudio.

A continuación explicaremos los pasos para el cálculo de una unidad de estudio

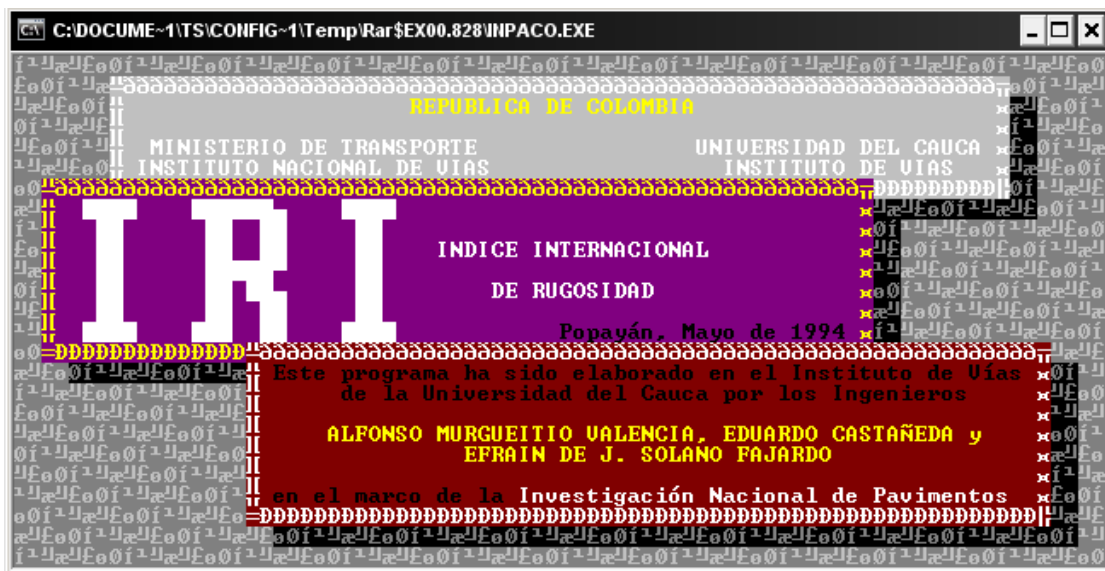
**Paso 1:** realizamos la nivelación de la sección de estudio en las huellas de los vehículos parte izquierda y derecha cada 50 cm obteniendo las cotas

**Paso 2:** aplicación del método mira nivel.

Para llevar adelante este método de evaluación, se utiliza el software denominado INPACO del instituto de vías de la universidad de Colombia.

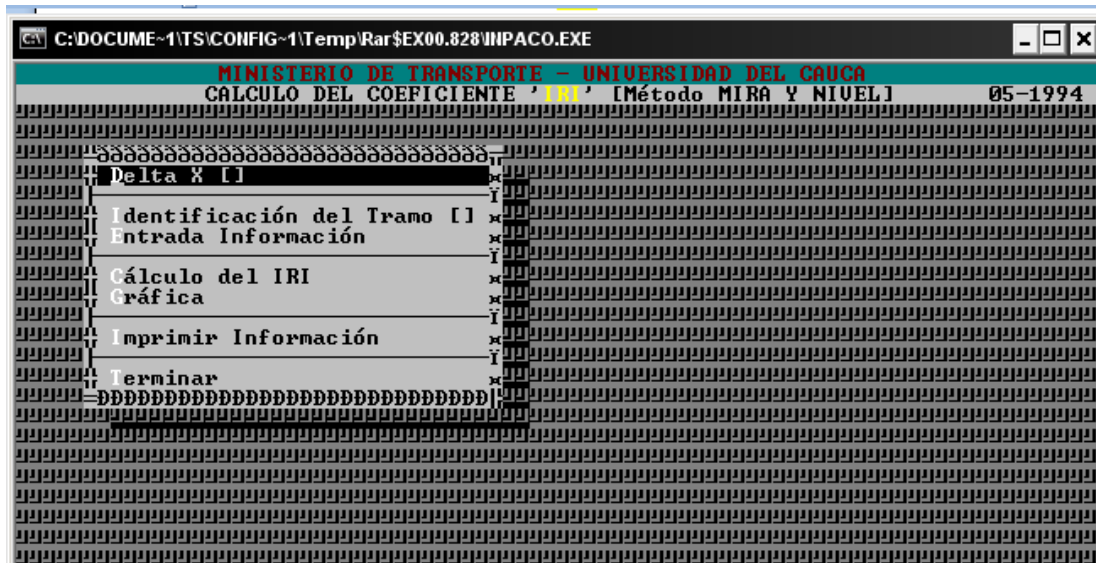
Introducción de datos en el software INPACO:

FIGURA 4.2 PROGRAMA INPACO



Fuente: elaboración propia

FIGURA 4.3 PROGRAMA INPACO DATOS DE ENTRADA



Fuente: elaboración propia

**Delta “X”:** elegimos 50 cm

**Identificación del tramo:** se identifica el tramo con una sigla

**Entrada a la información:** se introducir las cotas

**Calculo del IRI:** obtención de su valor

**Terminar:** finalización del método

- **Método de evaluación PSI (índice de servisiabilidad presente).**

El método PSI (índice de servisiabilidad presente) esta basado en una observación cuidadosa del estado superficial del pavimento. Primeramente se debe tener el adecuado conocimiento de los tipos de falla y deterioros superficiales que presentan en los pavimentos, con mayor frecuencia en los pavimentos flexibles, con los respectivos niveles de severidad, densidad y tipos de daños que se presentan, de tener este conocimiento será fácil definir los siguientes coeficientes:

- C1 (Rugosidad longitudinal)
- C2 (Intensidad de grietas y parches)
- C3 (deformación transversal)

Estos coeficientes son determinados de acuerdo a la calificación que se les de según el cuadro 3.3, para luego poder aplicar la siguiente formula

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C1 - 0.3 * C2 - 0.1 * C3$$

Se calculo el PSI de todas las unidades de estudio y del tramo total, que es la sumatoria de los PSI de todas las unidades de muestreo dividido entre el numero total de las unidades del tramo en estudio

#### 4.4.1.3.- RESULTADOS.

##### Resultados del método de evaluación PCI (índice de condición del pavimento)

Con la aplicación de este método en el tramo de estudio nos dieron los siguientes resultados:

<b>RESULTADOS (PCI)</b>		
<b>TRAMO</b>	<b>PCI</b>	<b>ESTADO</b>
1	93	Excelente
2	75	Muy bueno
3	63	Bueno
4	30	Malo
5	46	Regular
6	54	Regular
7	36	Malo
8	44	Regular
9	28	Malo
10	42	Regular
11	50	Regular
12	45	Regular

La calle Delfín Pino se encontró un PCI = 50.5 lo que nos indica que el pavimento esta condiciones regulares y se debe de dar un mantenimiento correctivo

### Resultados del método de evaluación PSI (índice de serviabilidad presente)

Los valores obtenidos por este método para los tramos de estudio son:

<b>CALCULO DEL (PSI) FINAL DE CADA TRAMO</b>		
<b>TRAMO</b>	<b>PSI</b>	<b>ESTADO</b>
1	3,90	Muy bueno
2	2,60	Regular
3	2,90	Bueno
4	2,23	Regular
5	2,80	Bueno
6	3,33	Bueno
7	2,40	Regular
8	3,03	Bueno
9	2,43	Regular
10	3,47	Bueno
11	2,67	Regular
12	2,70	Regular

La calle Delfín Pino se encontró un PSI = 2,87 lo que nos indica que el pavimento está en buenas condiciones de serviabilidad y que solamente el pavimento requiere de un mantenimiento correctivo.

### Resultados del método de evaluación IRI (Índice de Rugosidad internacional)

Los valores encontrados con la aplicación de este método en los tramos de estudio son los siguientes:

<b>RESULTADOS (IRI)</b>	
<b>TRAMO</b>	<b>m/km</b>
1	4,2457
2	5,0322
3	5,01175
4	5,30845
5	6,092
6	5,1504

7	6,2178
8	5,6885
9	6,4784
10	6,6542
11	4,8467
12	4,8658

En la calle Delfín Pino se obtuvo un IRI = 5.465 m/km, que nos indica que la superficie está en condiciones regulares, existen algunas corrugaciones y baches, mantenimiento a realizar un mantenimiento correctivo.

#### **4.5.- APLICACIÓN DEL SIG EN LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO.**

El sistema de información geográfica con aplicación en la gestión vial surge como una necesidad ante difícil tarea de optimizar y racionalizar los recursos escasos que en materia de mantenimiento necesitan las redes viales.

Sin duda alguna, el sistema de información geográfica se ha convertido en una herramienta para la planificación de los trabajos que garanticen una transitabilidad adecuada durante todo el año en la red vial pavimentada.

El SIG se aplicó para referenciar y ubicar las distintas fallas presentes en el pavimento del tramo en estudio

#### **4.6.-PLANEAMIENTO DE LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS.**

##### **4.6.1.- ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN.**

Para el almacenamiento de la toda la información se utilizo el programa ArgGIS donde se almaceno la siguiente información:

- **PCI (índice de condición del pavimento).**
- **PSI (índice de serviabilidad presente)**
- **IRI (índice internacional de rugosidad).**

Estos datos fueron obtenidos del punto 4.4.1.3. Resultados.

- **Identificación del tramo Tramo**
- **Inicio del tramo**
- **Fin del tramo**
- **Longitud del tramo**
- **Ancho de calzada.**

Estos datos fueron obtenidos del punto 4.2. Características generales del tramo de estudio.

- **Superficie de fallas.**

<b>CUANTIFICACION DE LAS FALLAS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO</b>		
<b>TRAMO 1</b>		
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Grietas longitudinales y transversales	m	36,95
Bacheo y zanjas reparadas	m2	0,85
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	3,94
<b>TRAMO 2</b>		
Grietas longitudinales y transversales	m	55,25
Bacheo y zanjas reparadas	m2	1,64
Agregados pulidos	m2	100,45
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	1,21
<b>TRAMO 3</b>		
Grietas longitudinales y transversales	m	20,5
Bacheo y zanjas reparadas	m2	10,79
Agregados pulidos	m2	150
<b>TRAMO 4</b>		
Grietas de contracción o bloques	m2	30,27
Depresiones	m2	6,82
Grietas longitudinales y transversales	m	35,85
Huecos	n°	2
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	3,13
disgregación y desintegración	m2	6,12
<b>TRAMO 5</b>		
Grietas de contracción o bloques	m2	27,68
Grietas longitudinales y transversales	m	24,8

Bacheo y zanjias reparadas	m2	79,11
Agregados pulidos	m2	29,58
<b>TRAMO 6</b>		
Depresiones	m2	3,57
Grietas longitudinales y transversales	m	11,8
Bacheo y zanjias reparadas	m2	28,21
Agregados pulidos	m2	89,79
disgregación y desintegración	m2	3,6
<b>TRAMO 7</b>		
Grietas de contracción o bloques	m2	16,26
Grietas longitudinales y transversales	m	16,9
Bacheo y zanjias reparadas	m2	26,42
Agregados pulidos	m2	98
Huecos	n°	1
disgregación y desintegración	m2	6,03
<b>TRAMO 8</b>		
Grietas de contracción o bloques	m2	10,6
Elevaciones - hundimientos	m	4,5
Grietas longitudinales y transversales	m	16,6
Agregados pulidos	m2	120
disgregación y desintegración	m2	4,9
<b>TRAMO 9</b>		
Grietas de contracción o bloques	m2	29,95
Grietas longitudinales y transversales	m	27,3
Agregados pulidos	m2	120
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	2,89
disgregación y desintegración	m2	4,5
<b>TRAMO 10</b>		
Elevaciones - hundimientos	m	6
Grietas longitudinales y transversales	m	23,8
Agregados pulidos	m2	120
<b>TRAMO 11</b>		
Grieta piel de cocodrilo	m2	8,25
Grietas de contracción o bloques	m2	5,2
Grietas longitudinales y transversales	m	15,7
Bacheo y zanjias reparadas	m2	3,92
Agregados pulidos	m2	140
<b>TRAMO 12</b>		

Grieta piel de cocodrilo	m2	10,8
Grietas de contracción o bloques	m2	20,1
Grietas longitudinales y transversales	m	22,4
Agregados pulidos	m2	140

- densidad de fallas.

<b>DENSIDAD DEFALLAS</b>		
<b>TRAMO 1</b>		
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	20,5
Bacheo y zanjas reparadas	m2	0,5
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	2,2
<b>TRAMO 2</b>		
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	30,7
Bacheo y zanjas reparadas	m2	0,9
Agregados pulidos	m2	55,8
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	0,7
<b>TRAMO 3</b>		
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	12,8
Bacheo y zanjas reparadas	m2	6,7
Agregados pulidos	m2	93,8
<b>TRAMO 4</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	18,9
Depresiones	m2	4,3
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	10,2
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	12,2
Huecos	n°	1,3
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	2,0
disgregacion y desintegracion	m2	3,8
<b>TRAMO 5</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	23,1
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	8,9
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	11,8

Bacheo y zanjas reparadas	m2	65,9
Agregados pulidos	m2	24,7
<b>TRAMO 6</b>		
Depresiones	m2	3,0
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	9,8
Bacheo y zanjas reparadas	m2	23,5
Agregados pulidos	m2	74,8
disgregacion y desintegracion	m2	3,0
<b>TRAMO 7</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	13,6
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	2,5
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	11,6
Bacheo y zanjas reparadas	m2	22,0
Agregados pulidos	m2	81,7
Huecos	n°	0,8
disgregacion y desintegracion	m2	5,0
<b>TRAMO 8</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: M)	m2	8,8
Elevaciones - hundimientos	m	3,8
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	6,0
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	7,8
Agregados pulidos	m2	100,0
disgregacion y desintegracion	m2	4,1
<b>TRAMO 9</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: M)	m2	25,0
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	3,3
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	19,4
Agregados pulidos	m2	100,0
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	2,4
disgregacion y desintegracion	m2	3,8
<b>TRAMO 10</b>		
Elevaciones - hundimientos	m	5,0
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	5,6
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	14,3
Agregados pulidos	m2	100,0
<b>TRAMO 11</b>		
Grieta piel de cocodrilo	m2	5,9

Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	3,7
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	2,2
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	9,0
Bacheo y zanjas reparadas	m2	100,0
Agregados pulidos	m2	2,8
<b>TRAMO 12</b>		
Grieta piel de cocodrilo	m2	7,7
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	11,8
Grietas de contraccion o bloques (severidad: M)	m2	2,6
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	16,0
Agregados pulidos	m2	100,0

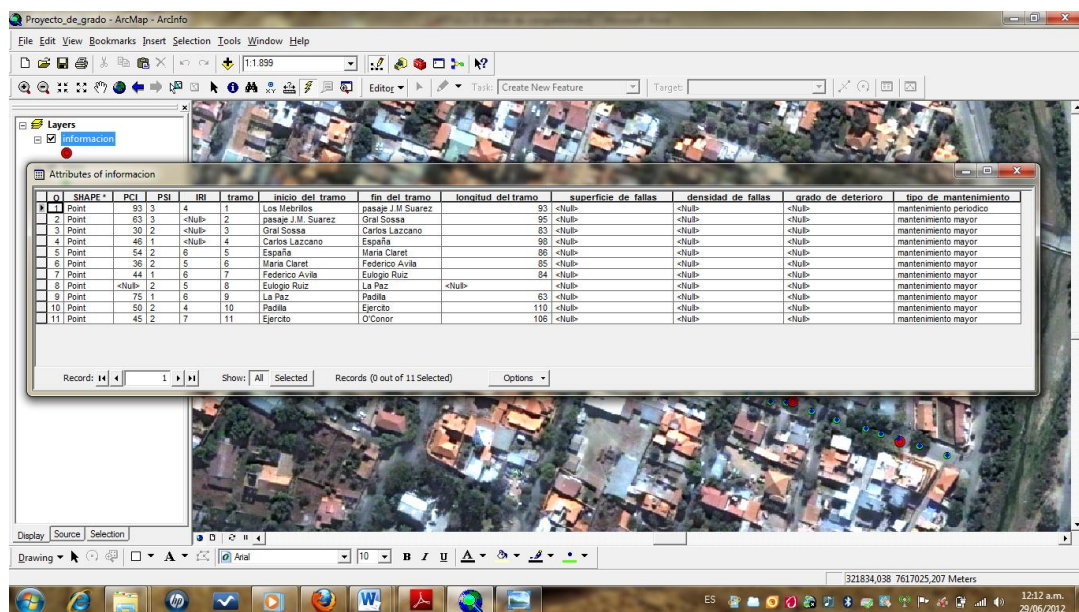
- **tipo de mantenimiento.**

Estos datos se encuentran desglosados en el punto 4.6.3 tipos de mantenimiento

- **fotografías de cada falla del tramo en estudio.**

Almacenamiento de los datos de cada tramo mediante una tabla de atributos

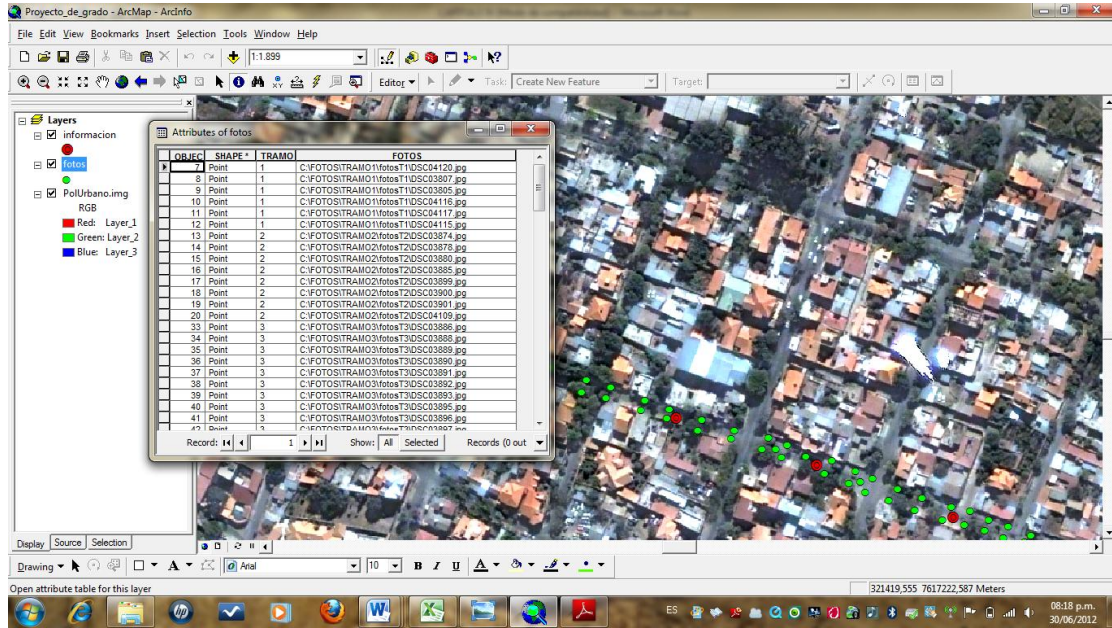
**FIGURA 4.4 PROGRAMA ARCGIS INTRODUCCION DE DATOS**



Fuente: elaboración propia

Almacenamiento de fotografías de las fallas de cada tramo

**FIGURA 4.5 PROGRAMA ARCGIS INTRODUCCION DE FOTOGRAFIAS**

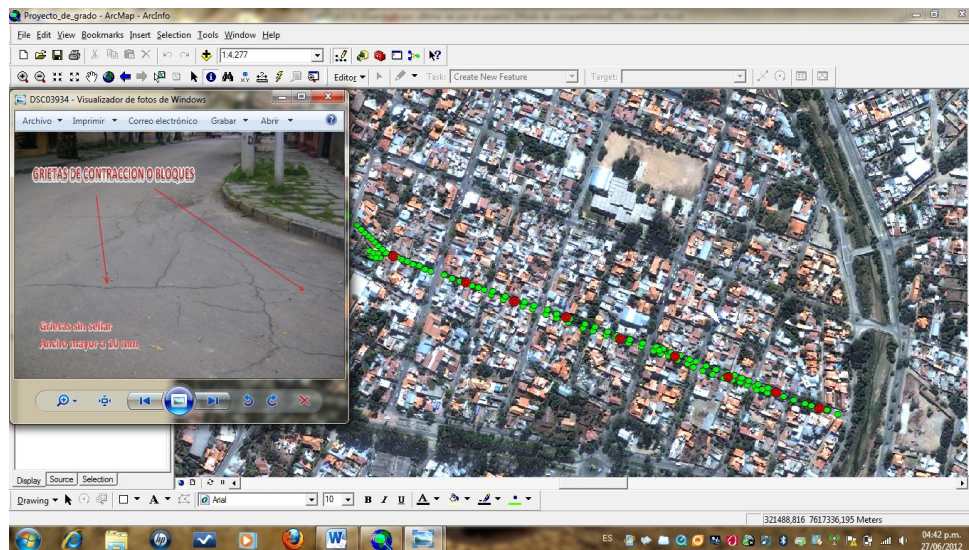


Fuente: elaboración propia

#### 4.6.2.- INVENTARIO DE LA RED VIAL.

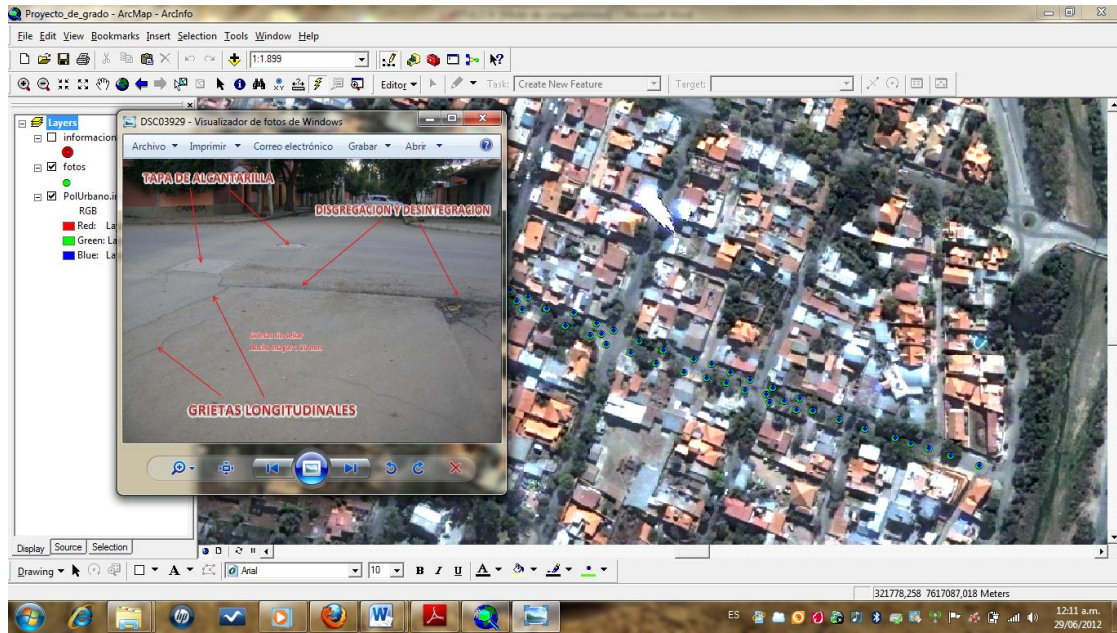
Esta Pantalla nos muestra el almacenamiento de la base de datos del tramo en estudio, la cual se activa con solo hacer un “clic” sobre un punto específico.

**FIGURA 4.6 PROGRAMA ARCGIS FOTOGRAFIAS DE LAS FALLAS DEL PAVIMENTO**



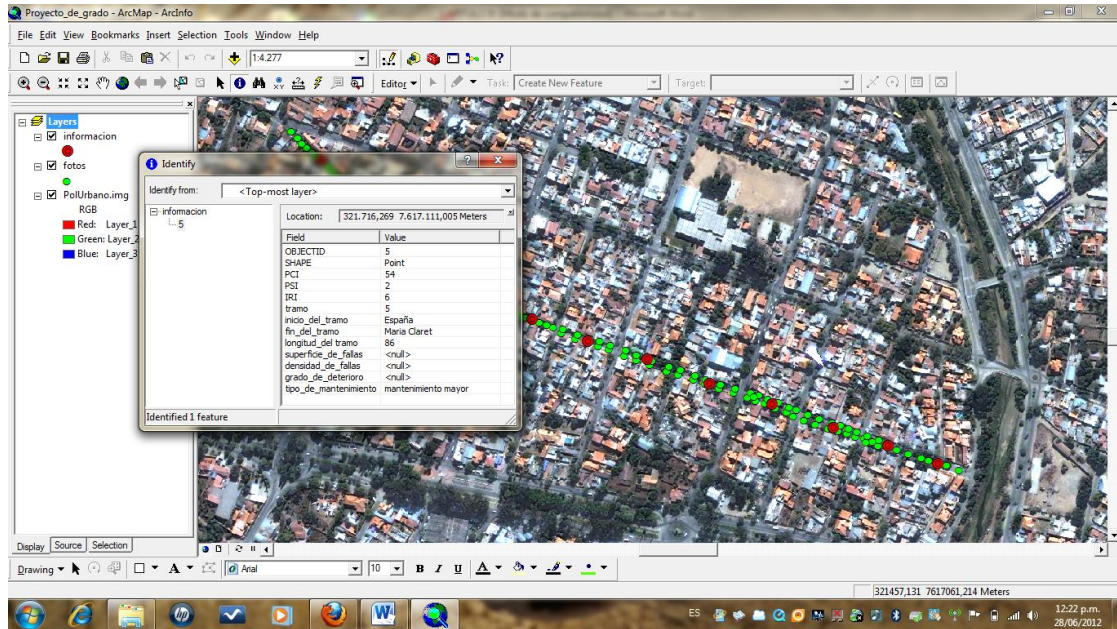
Fuente: elaboración propia

**FIGURA 4.7 PROGRAMA ARCGIS FOTOGRAFIAS DE LAS FALLAS DEL PAVIMENTO**



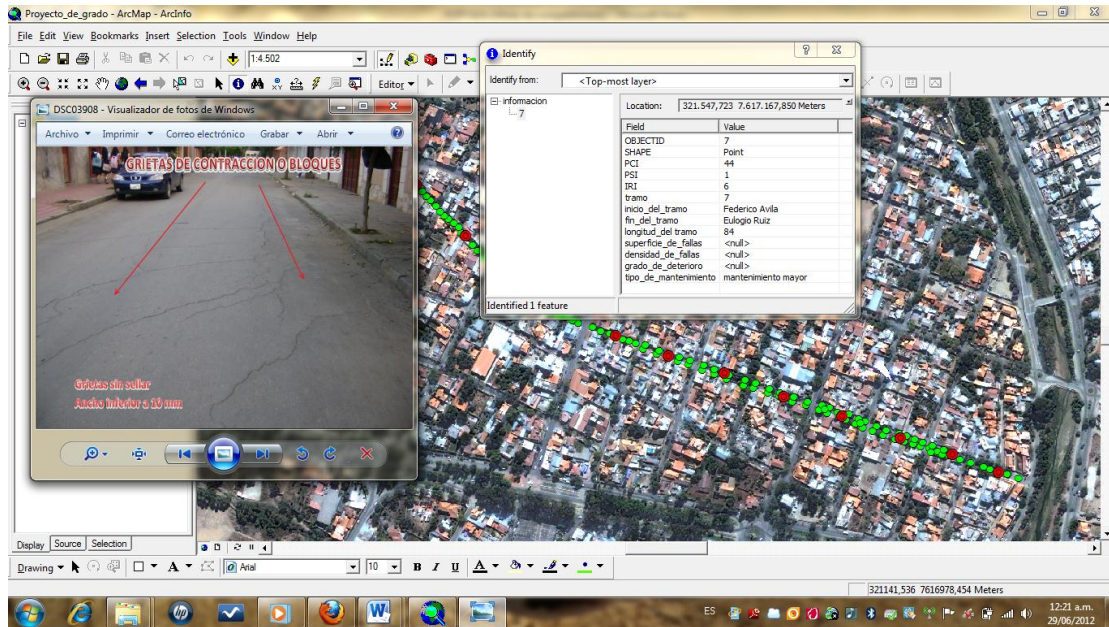
Fuente: elaboración propia

**FIGURA 4.8 PROGRAMA ARCGIS INFORMACION DEL TRAMO**



Fuente: elaboración propia

**FIGURA 4.9 PROGRAMA ARCGIS INFORMACION DEL TRAMO**



Fuente: elaboración propia

### 4.6.3.- TIPOS DE MANTENIMIENTO.

Se realizara un mantenimiento correctivo ya que el tramo presenta diferentes tipos de fallas donde se realizaran las siguientes actividades de refacción como ser:

- bacheo superficial
- parche profundo
- sellado de fisuras moderadas
- sellado de fisuras severas

## MODULO 1: BACHEO SUPERFICIAL

*Cuadro4.2 Precio unitario del bacheo superficial*

<b>BACHEO SUPERFICIAL</b>					
<b>Rendimiento : 150.00 M2/DIA</b>			<b>Costo Unitario Directo por: M2</b>		<b>150.32</b>
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Bs</b>	<b>Parcial</b>
<b>Insumos Partida</b>					
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					<b>150.32</b>

*Fuente: Oficialía Mayor Técnica*

## MODULO 2: PARCHADO PROFUNDO

*Cuadro4.3 Precio unitario del parchado profundo*

<b>PARCHADO PROFUNDO</b>					
<b>Rendimiento : 80.00 M2/DIA</b>			<b>Costo Unitario Directo por: M2</b>		<b>218.77</b>
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Bs</b>	<b>Parcial</b>
<b>Insumos Partida</b>					
Trans. Agregado obra	M3		0.3600	62.049	22.34
Material chancado de cantera (dmax=2")	M3		0.3000	81.168	24.35
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Excavación en zona de parches	M3		0.3000	21.453	6.44
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Conformación de base gran. (zona de parches)	M3		0.3000	51.096	15.33
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					<b>218.77</b>

*Fuente: Oficialía Mayor Técnica*

### MODULO 3: SELLADO DE FISURAS MODERADAS

*Cuadro 4.4 Precio unitario del sellado de fisuras moderadas*

<b>SELLADO DE FISURAS MODERADAS</b>					
<b>Rendimiento : 1600.00 M/DIA</b>		<b>Costo Unitario Directo por: M</b>			<b>16.63</b>
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Bs</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
Operario	HH	5.00	0.0250	63.926	1.60
Oficial	HH	4.00	0.0200	57.200	1.14
Peón	HH	10.00	0.0500	51.658	2.58
Capataz "A"	HH	1.00	0.0050	83.083	0.42
					<b>5.74</b>
<b>Materiales</b>					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62
					<b>6.62</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	2.548	0.13
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0050	179.504	0.90
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0050	365.245	1.83
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0050	150.170	0.75
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0050	133.622	0.67
					<b>4.27</b>

*Fuente: Oficialía Mayor Técnica*

### MODULO 4: SELLADO DE FISURAS SEVERAS

*Cuadro 4.5 Precio unitario del sellado de fisuras severas*

<b>SELLADO DE FISURAS SEVERAS</b>					
<b>Rendimiento : 1000.00 M/DIA</b>		<b>Costo Unitario Directo por: M</b>			<b>24.32</b>
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Bs</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
Operario	HH	5.00	0.0400	63.926	2.56
Oficial	HH	4.00	0.0320	57.200	1.83
Peón	HH	10.00	0.0800	51.658	4.13
Capataz "A"	HH	1.00	0.0080	83.083	0.66
					<b>9.18</b>
<b>Materiales</b>					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62

					<b>6.62</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	4.072	0.20
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0080	179.504	1.44
Ruteador	HM	1.00	0.0080	210.719	1.69
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0080	365.245	2.92
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0080	150.170	1.20
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0080	133.622	1.07
					<b>8.52</b>

*Fuente: Oficialía Mayor Técnica*

#### 4.6.3.1 COMPUTOS METRICOS DE LAS FALLAS

<b>COMPUTOS METRICOS</b>		
<b>TRAMO 1</b>		
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	171,8
Bacheo y zanjas reparadas	m2	3,9
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	18,3
<b>TRAMO 2</b>		
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	174,0
Bacheo y zanjas reparadas	m2	5,2
Agregados pulidos	m2	316,4
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	3,8
<b>TRAMO 3</b>		
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	97,4
Bacheo y zanjas reparadas	m2	51,2
Agregados pulidos	m2	712,5
<b>TRAMO 4</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	125,6
Depresiones	m2	28,3
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	67,9
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	80,9
Huecos	n°	8,3
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	13,0
disgregacion y desintegracion	m2	25,4
<b>TRAMO 5</b>		
Grietas de contraccion o bloques (severidad: L)	m2	135,6

Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	52,4
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	69,1
Bacheo y zanjas reparadas	m2	387,6
Agregados pulidos	m2	144,9
<b>TRAMO 6</b>		
Depresiones	m2	15,4
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	50,7
Bacheo y zanjas reparadas	m2	121,3
Agregados pulidos	m2	386,1
disgregación y desintegración	m2	15,5
<b>TRAMO 7</b>		
Grietas de contracción o bloques (severidad: L)	m2	69,1
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	12,8
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	59,1
Bacheo y zanjas reparadas	m2	112,3
Agregados pulidos	m2	416,5
Huecos	n°	4,3
disgregación y desintegración	m2	25,6
<b>TRAMO 8</b>		
Grietas de contracción o bloques (severidad: M)	m2	44,5
Elevaciones - hundimientos	m	18,9
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	30,2
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	39,5
Agregados pulidos	m2	504,0
disgregación y desintegración	m2	20,6
<b>TRAMO 9</b>		
Grietas de contracción o bloques (severidad: M)	m2	139,3
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	18,6
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	108,4
Agregados pulidos	m2	558,0
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	13,4
disgregación y desintegración	m2	20,9
<b>TRAMO 10</b>		
Elevaciones - hundimientos	m	21,3
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	23,8
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	60,7
Agregados pulidos	m2	426,0
<b>TRAMO 11</b>		

Grieta piel de cocodrilo	m2	45,4
Grietas de contracción o bloques (severidad: L)	m2	28,6
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	17,1
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	69,3
Bacheo y zanjas reparadas	m2	770,0
Agregados pulidos	m2	21,6
<b>TRAMO 12</b>		
Grieta piel de cocodrilo	m2	57,2
Grietas de contracción o bloques (severidad: L)	m2	87,5
Grietas de contracción o bloques (severidad: M)	m2	19,1
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	118,7
Agregados pulidos	m2	742,0

- **Cóputos métricos por falla**

<b>COMPUTOS METRICOS POR FALLA</b>			
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>REPARACIONES</b>
Grieta piel de cocodrilo	m2	102,6	bacheo superficial
Grietas de contracción o bloques (severidad: L)	m2	446,4	sellado de fisuras moderadas
Grietas de contracción o bloques (severidad: M)	m2	183,8	sellado de fisuras severas
Grietas longitudinales y transversales (severidad: L)	m	738,0	sellado de fisuras moderadas
Grietas longitudinales y transversales (severidad: M)	m	584,3	sellado de fisuras severas
Agregados pulidos	m2	4228,0	ninguno
Bacheo y zanjas reparadas	m2	1451,5	ninguno
Elevaciones - hundimientos	m	40,2	parchado profundo
Rejillas de drenaje-acceso a puentes y tapas de alcantarilla	m2	48,6	ninguno
disgregación y desintegración	m2	108,0	bacheo superficial
Huecos	n°	2,0	parchado profundo
Depresiones	m2	43,7	parchado profundo

#### 4.6.3.2. PRESUPUESTO GENERAL

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>				
<b>REPARACIONES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>COSTO (Bs)</b>
Bacheo superficial	m2	210,63	150,32	31661,23
Parchado profundo	m2	85,85	218,77	18782,28
Sellado de fisuras moderadas	m	1184,41	16,63	19696,76
Sellado de fisuras severas	m	768,08	24,32	18679,76
<b>costo total</b>				<b>88820,02</b>

#### 4.6.4.- MAPA VIAL.

El resultado del proceso detallado anteriormente se ve reflejado en un mapa donde se pueden visualizar distintos objetos gráficos con su información.

Al estar organizado en distintas capas temáticas se puede seleccionar la información de acuerdo a requerimientos específicos, mediante la activación y desactivación de las mismas, lo que le permite a cada usuario elaborar su propio mapa y elegir la forma de representación.

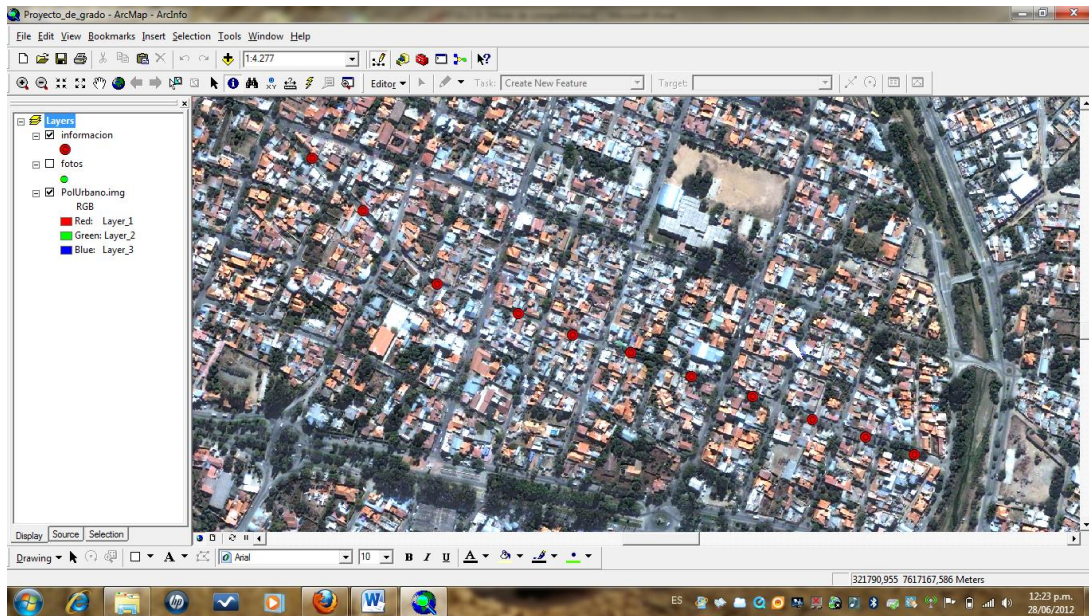
A continuación se muestra la captura de imágenes de los mapas, según las consultas realizadas.

- **Información de cada tramo**

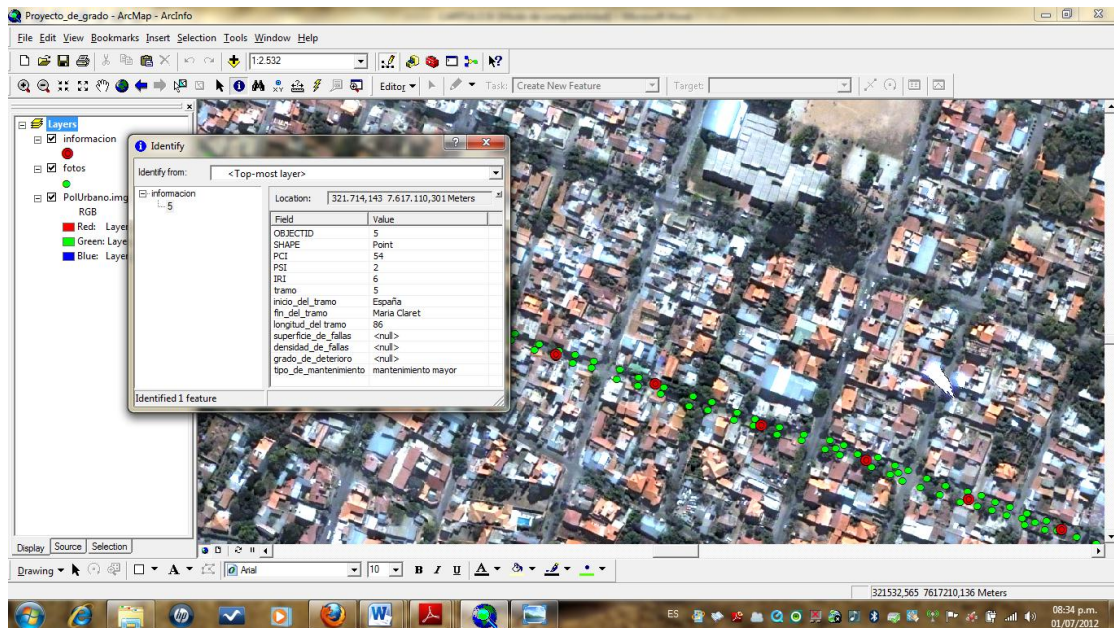
Dentro de las imágenes satelitales se crean puntos donde se incorpora la información como ser: PCI (índice de condición del pavimento), PSI (índice de servisiabilidad presente), IRI (índice internacional de rugosidad), Tramo, Inicio del tramo, Fin del tramo, Longitud del tramo, Superficie de fallas, densidad de fallas, grado de deterioro, tipo de mantenimiento.

Todos estos datos posibilitan la realización de distintas formas de consultas. Estas pueden realizarse a partir de tablas de datos (consulta por atributos) y a través de la posición en el espacio (consulta por localización).

**FIGURA 4.10 PROGRAMA ARCGIS PUNTOS DONDE SE ENCUENTRA ALMACENADA LA INFORMACIÓN DE CADA TRAMO**



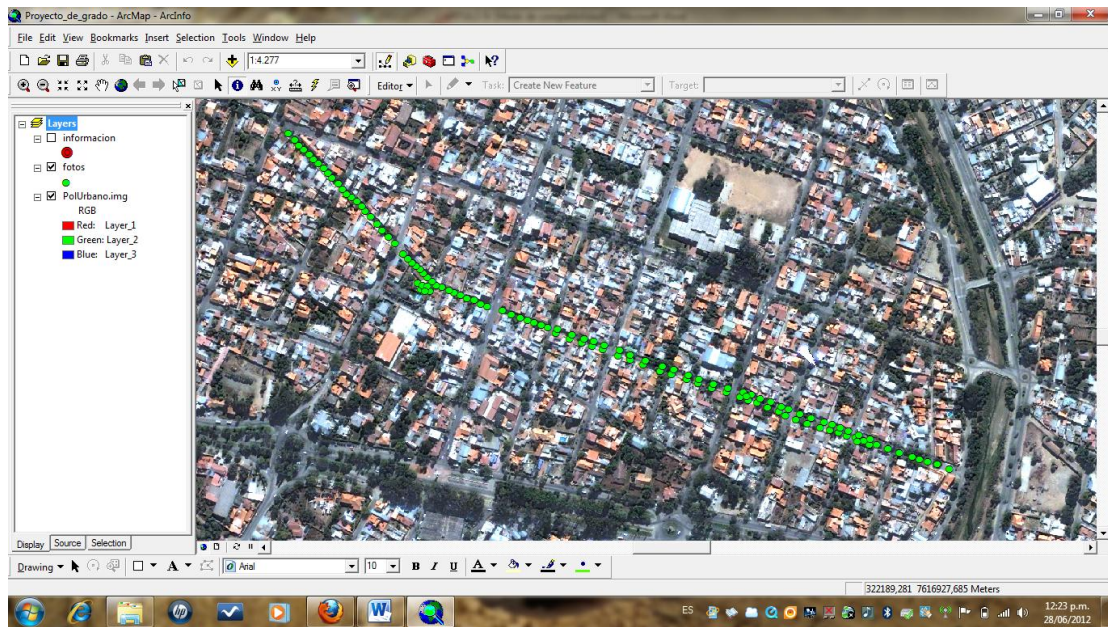
**FIGURA 4.11 PROGRAMA ARCGIS TABLA DE DATOS CONSULTA POR LOCALIZACIÓN**



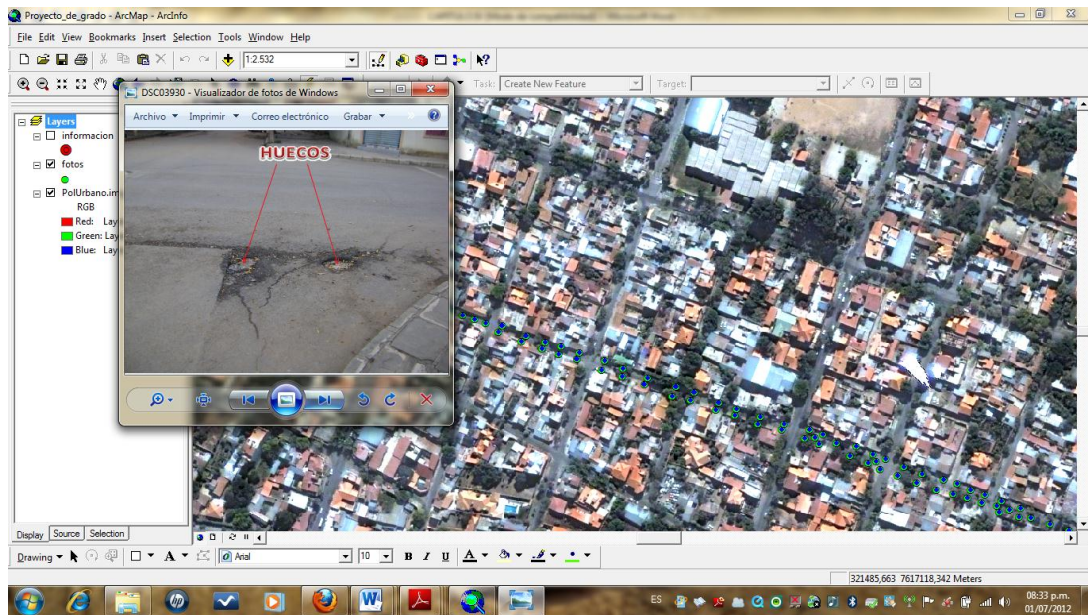
- **Fotografías de las fallas del tramo en estudio**

Esta información esta acompañada de fotografías tomadas en campo de las fallas que presenta el pavimento en cada tramo, posibilitando realizar evaluaciones visuales.

**FIGURA 4.12 PROGRAMA ARCGIS PUNTOS DONDE SE ENCUENTRAN LAS FOTOGRAFÍAS**



**FIGURA 4.13 PROGRAMA ARCGIS FOTOGRAFÍAS DE FALLAS QUE PRESENTA EL PAVIMENTO DEL TRAMO EN ESTUDIO**



## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.- CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado nos permite concluir que la utilización de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica no permite determinar el estado en que se encuentra el pavimento en una primera instancia, por lo que habrá que desarrollar otro método de evaluación mediante una inspección visual en campo, el mismo servirá para tomar una decisión adecuada de ejecución de un sistema de mantenimiento de los pavimentos existentes y poder así alargar su vida útil, principalmente en el momento oportuno.

El método **PCI** índice de condición del pavimento cuenta con 19 tipos de fallas que pueden presentar los pavimentos flexibles con los que se va a evaluar y a su vez cuenta con una identificación de los grados de severidad para cada falla, los ábacos de este método son fáciles de utilizar para su aplicación no se necesita del uso de equipos sofisticados y en nuestro medio si se lo puede utilizar de una manera más fácil y económico.

Con la aplicación de este método en el tramo de estudio nos dieron los siguientes resultados:

<b>RESULTADOS (PCI)</b>		
<b>TRAMO</b>	<b>PCI</b>	<b>ESTADO</b>
1	93	Excelente
2	75	Muy bueno
3	63	Bueno
4	30	Malo
5	46	Regular
6	54	Regular
7	36	Malo
8	44	Regular
9	28	Malo

10	42	Regular
11	50	Regular
12	45	Regular

Según los resultados anteriores el valor promedio del PCI es de 50.5 lo que nos indica que el pavimento esta en condiciones regulares y se debe de dar un mantenimiento correctivo, porque el pavimento presenta varias fallas que necesitan ser reparadas.

La evaluación del índice de serviciabilidad presente (PSI), es un método muy práctico, de fácil utilización y además solo está basado en una observación cuidadosa de la condición superficial del pavimento, para ello se recurre a una inspección visual de cada tramo y así obtener los parámetros que se necesita como son la rugosidad longitudinal, la intensidad de grietas y parches que se encuentran en cada tramo y las deformaciones transversales. Con este método el evaluador obtiene los valores de los coeficientes de cada parámetro, luego de haber realizado una inspección visual del pavimento. Este método es muy práctico y simple, pero sin embargo no cuantifica la totalidad de las fallas que pudiera tener el pavimento.

Los valores obtenidos por este método para los tramos de estudio son:

<b>CALCULO DEL (PSI) FINAL DE CADA TRAMO</b>		
<b>TRAMO</b>	<b>PSI</b>	<b>ESTADO</b>
1	3,90	Muy bueno
2	2,60	Regular
3	2,90	Bueno
4	2,23	Regular
5	2,80	Bueno
6	3,33	Bueno
7	2,40	Regular
8	3,03	Bueno
9	2,43	Regular
10	3,47	Bueno
11	2,67	Regular
12	2,70	Regular

Según los resultados anteriores el valor promedio del PSI es de 2,87 lo que nos indica que el pavimento está en buenas condiciones de servisiabilidad y que solamente el pavimento requiere de un mantenimiento correctivo, porque el pavimento presenta varias fallas que necesitan ser reparadas.

El método del índice internacional de rugosidad (IRI) se lo realizo con el método estático ya que este utiliza el nivel de ingeniero y la mira es muy sencillo ya que solamente se desea conocer el estado de la superficie con relación a una superficie plana. Para el cálculo del (IRI) se recurrió al programa “INPACO”

La presencia de la irregularidad en la superficie del pavimento es consecuencia de su uso o de algunos defectos en la construcción del pavimento.

Los valores encontrados con la aplicación de este método en los tramos de estudio son los siguientes:

<b>RESULTADOS (IRI)</b>	
<b>TRAMO</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1	4,2457
2	5,0322
3	5,01175
4	5,30845
5	6,092
6	5,1504
7	6,2178
8	5,6885
9	6,4784
10	6,6542
11	4,8467
12	4,8658

Con un valor final promedio de 5.8733 m/km, que nos indica que la superficie está en condiciones regulares, existen algunas corrugaciones y baches, el mantenimiento a realizar seria también un mantenimiento correctivo.

Se realizaron los cálculos de las fallas que presenta el pavimento obteniendo un costo total de reparaciones de 88820,02 Bs.

Con las imágenes de baja resolución no es posible realizar una evaluación superficial del pavimento ya que no se pueden identificar con claridad los tipos de fallas que puede presentar el pavimento.

Luego de haber obtenido los resultados de la evaluación superficial del pavimento se incorporó esta información en las imágenes satelitales que es parte del SIG (sistema de información geográfica) y de esta manera se creó una base de datos con imágenes e información específica de los tramos evaluados de la calle Delfín Pino donde se podrá consultar y modificar de acuerdo a las necesidades requeridas.

El Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado en el presente trabajo cuenta con la suficiente información (longitud, ancho de calzada, inicio y fin de tramo, tipo de mantenimiento, tipo de fallas, PCI, PSI, IRI, y fotografías) para consolidarse como una herramienta que sirva en la visualización de los problemas del tramo evaluado, ofreciendo la oportunidad de resolverlos, o bien de dar alternativas o planteamientos de solución.

La aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se constituye en una herramienta eficiente y eficaz para el manejo y análisis de bases de datos de la evaluación superficial de un pavimento en los diferentes tramos de una vía.

El resultado del proceso de la utilización de imágenes satelitales para la evaluación y gestión de pavimentos detallado anteriormente se ve reflejado en un mapa y distintas capas de información donde se pueden visualizar los objetos gráficos con su información.

Al estar organizado en distintas capas temáticas se puede seleccionar la información de acuerdo a requerimientos específicos, mediante la activación y desactivación de las mismas, lo que permite a cada usuario elaborar su propio mapa o capa y elegir la forma de representación.

Al utilizar la tecnología SIG nos beneficia a un sistema de gestión a administrar en forma más eficiente la información almacenada en la base de datos, donde se puede realizar una consulta inmediata.

## 5.2.- RECOMENDACIONES

- Antes de realizar la aplicación de cualquier método de evaluación es recomendable de realizar previamente una inspección visual para poder conocer las diferentes falencias que se pueden presentar en cada tramo de estudio para poder contar con parámetros confiables.
- El mantenimiento debe planificarse y ejecutarse en forma inmediata ya que al no ser atendido a tiempo esto influirá en el deterioro de los diferentes daños que presenta el pavimento.
- También, para no tener defectos prematuros en la carretera se debe realizar una buena construcción, ya sea en la compactación de sus respectivas capas, la utilización de materiales adecuados para las respectivas capas y hacer cumplir las especificaciones.
- Considerando la dinámica de los cambios que se producen en las vías, se recomienda mantener la vigencia, utilidad e importancia, de la base de datos (información y fotografías de las características del tramo en estudio) generado en el presente trabajo, mediante la actualización continua de sus datos.
- Si se desea obtener un Sistema de Información Geográfica (SIG) y una base de datos cuya información sea mayor, lo más recomendable sería realizar un Levantamiento total de todas las calles de la ciudad. Cabe mencionar que para realizar dicho levantamiento se requeriría de equipo de alta precisión y considerables recursos económicos, humanos y de tiempo.
- Se recomienda utilizar imágenes satelitales de mayor precisión y que la fecha de captura sea lo más reciente posible para poder realizar un mejor estudio.