

# **CAPÍTULO I**

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **GENERALIDADES.-**

Hoy en día se cuenta con la facilidad que la tecnología ha avanzado, al proporcionarnos imágenes satelitales la cual la podemos aprovechar para realizar el estudio de alternativas en carreteras mediante el uso de programas informáticos. En proyectos de grandes magnitudes es de mucha ayuda ya que ahorra tiempo de estudio previo así como también reducirá el costo de los estudios previos. Podemos mencionar que con la ayuda de las imágenes satelitales también podríamos tener una visión de la cubierta vegetal lo que nos sería de mucha ayuda y con el apoyo de programas informáticos generar modelos de terreno digitales además de reducir el costo en la mano de obra en los estudios preliminares del lugar en estudio.

Mediante las imágenes satelitales se podrá tener información sobre la cobertura total de la superficie terrestre así como también información de lugares inaccesibles con una visión más panorámica y de esta manera obtener una homogeneidad en la toma de datos.

Con el desarrollo de la tecnología computacional la ciencia está avanzando hacia un nivel con posibilidades ilimitadas de conocimiento, la obtención de información en algunos campos de investigación actualmente no requiere la presencia física del hombre, equipos como satélites demuestran la capacidad humana para desarrollar tecnológicas alternativas de solución a problemas en los que existían limitaciones técnicas, la aplicación en procesos de datos actualmente resulta ser una tarea sencilla en la que manejar múltiples variables no es un obstáculo en el momento de obtener resultados instantáneos y así de esta manera también tener un formato digital de las imágenes del lugar en estudio.

### **2 .PROBLEMÁTICA**

En el diseño de carreteras una de las primeras actividades es la de definir alternativas de trazo, para ello debemos disponer información, cartográfica, topográfica, fotogramétrica

o de imágenes satelitales, que permitan generar diferentes trazos y entre ellos buscar el más óptimo en función a ciertos parámetros de comparación fundamentales, por lo que la problemática resulta ser la complejidad de obtener esta información básica en el menor tiempo y al menor costo, de manera que tengamos múltiples opciones, sin duda los avances tecnológicos en los tiempos actuales nos permiten disponer de las imágenes satelitales que aún teniendo la limitación de la escala de resolución nos permite realizar trazos alternativos con mayor facilidad.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Necesitamos este tipo de estudio porque de esta manera reduciríamos el tiempo de estudio y también el costo para generar alternativas en carreteras a través de imágenes satelitales y con la ayuda de programas operativos. Lo que nos sería de gran ayuda para tener un panorama más claro al momento de elegir alternativas de trazo por donde se ubicara el futuro trazo definitivo del diseño final. Este proyecto nos permite utilizar las imágenes satelitales para que con la ayuda de programas operativos podamos generar planos topográficos del posible trazo de carretera para su estudio de alternativas, así como también obtener información extra del lugar de estudio como lugares donde pueden ser emplazadas posibles obras de drenajes mayores o menores, además lo que se pretende es reducir el tiempo a lo que estudios preliminares en el lugar se refiere como también evitar la presencia física del hombre en el lugar de estudio ya que muchas veces se encuentran con inconvenientes de encontrarse con lugares inaccesibles lo cual también genera peligros a la integridad humana. Con esta modalidad de estudios se pueden obtener resultados para que sean de ayuda y de gran orientación al momento de realizar el diseño final de un tramo dándonos un gran panorama e idea de crear la mejor alternativa posible y en muchos casos generar múltiples alternativas para tramos que así lo necesiten. Este tipo de metodología será de gran ayuda para los ingenieros que diseñan el trazo final de una carretera ya que les brindara alternativas para elegir el mejor trazo reduciendo su tiempo de elaboración además que tendrán las imágenes del lugar digitalizadas como respaldo para la toma de las mejores decisiones en lo que a diseño final se refiere. El beneficio que nos brinda este proyecto académicamente

hablando es que aplicando el uso de programas informáticos y con el uso de imágenes satelitales y dándole la importancia necesaria durante los años de estudio de la universidad el alumno podrá utilizar estas herramientas para ponerlas en práctica su vida profesional aprovechando el avance de la tecnología. Este tipo de proyectos es muy viable de usar ya que se puede conseguir imágenes para su estudio de una manera sencilla a través de programas como Google Earth y Global Mapper para hacer estudios preliminares de carreteras.

#### **4. OBJETIVOS.-**

##### **4.1 OBJETIVO GENERAL.-**

Aplicar el uso de imágenes satelitales en el trazado de alternativas de carreteras con el propósito de elegir una mejor alternativa en función a las condiciones técnicas más favorables a niveles de pre factibilidad.

##### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-**

- ✚ Analizar los aspectos básicos de las Imágenes Satelitales
- ✚ Analizar las normativas respecto a la determinación de alternativas de trazo en carreteras.
- ✚ Describir la metodología sobre el proceso de alternativas de trazo en carreteras.
- ✚ Analizar los programas informativos relacionados con la utilización de imágenes satelitales.
- ✚ Elegir un área de estudio para la aplicación práctica.
- ✚ Desarrollar el proceso de alternativas de trazo en base a imágenes satelitales en el área de estudio.
- ✚ Determinar la mejor alternativa en base a un análisis técnico en el área de estudio.
- ✚ Generar los resultados de las alternativas analizadas en el área de estudio.
- ✚ Establecer las conclusiones y recomendaciones del trabajo desarrollado.

## **5. ALCANCE.**

Con el siguiente proyecto lo que se pretende es dar a conocer las ventajas que podemos obtener cuando se trabaja con imágenes satelitales viendo sus ventajas ya también dando conocer las limitación ya que solo realizaremos estudios de pre factibilidad para dar una panorama más claro al momento de hacer un diseño final para un trazo de carretera. Para lo cual daremos conocimientos de las normas básicas que rigen el estudio de alternativas de una carretera haciendo un análisis en cada uno de sus puntos para generar las mejores alternativas posibles siguiendo las normas que la condicionan así como también haciendo un estudio en los factores que intervienen para la elaboración del mismo. La magnitud de los problemas cuya solución enfrentan los profesionales de las áreas ambientales y de infraestructura es enorme si se toma en cuenta la complejidad de la interrelación que existe entre las variables de los procesos naturales y socioeconómicos. Estas variables deben de ser forzosamente consideradas en las etapas de planeación y operación del Ciclo de Ingeniería. Cada problema, recurso natural e infraestructura tiene una dimensión geográfica crítica que debe de ser considerada. Solo la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite generar, almacenar, manipular y analizar esa información basándose en bases de datos georeferenciadas para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información o fenómenos, que permiten ayudar en la toma de decisiones basándose en la gestión de información espacial. Al ser un SIG, una integración organizada de hardware, software y datos geográficos; diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada se cuenta con facilidades para resolver problemas complejos de planificación y gestión. Muchas disciplinas se han beneficiado de la tecnología subyacente en los SIG. Esto ha provocado que el uso de esta tecnología haya sido asimilada por universidades, gobiernos, empresas e instituciones que lo han aplicado a sectores como los bienes raíces, la salud pública, la criminología, la defensa nacional, el desarrollo sustentable, los recursos naturales, la arqueología, la ordenación del territorio, el urbanismo, el transporte o la logística, entre otros. El Ingeniero Civil al coordinar o estar integrado en equipos multidisciplinarios que atienden las disciplinas anteriores,

requiere de nociones y elementos básicos para iniciarse en el manejo de estos sistemas. Tiene la ventaja de sus extensas bases de conocimiento en Planeación, Hidrología, Construcción, así como su capacidad de abstracción, generación de modelos e identificación de procesos, gracias también a la formación matemática adquirida durante su formación profesional.

Con el conocimiento de las imágenes satelitales así también de sus características nos permitirá saber el grado de factibilidad que tendremos al momento de hacer el uso de ellas sabiendo las condiciones con las que trabajaremos para su posterior uso así también de la forma de cómo se las obtiene y como se puede trabajar con ellas mediante el uso de programas informáticos para la generación de alternativas en los tramos de carreteras que estemos estudiando. Se dará a conocer el manejar y el uso de las imágenes satelitales mediante el paquete operático ArcGis y los pasos para la elaboración y generación de las curvas de nivel para la elaboración de posibles trazos dando así a mejores ideas en el diseño final y realizando un estudio más profundo en el área de estudio aprovechando al máximo toda la información que las imágenes satelitales nos puedan otorgar.

## **CAPÍTULO II**

## **CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE ALTERNATIVAS DE TRAZO EN CARRETERAS**

### **GENERALIDADES**

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente adicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. En el proyecto integral de una carretera el diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de él se establece la configuración tridimensional, con el propósito de que la vía sea tridimensional, segura, cómoda, estética y compatible con el medio ambiente. Una vía será funcional de acuerdo a su tipo, característica geométrica y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación. La geometría de la vía tendrá como premisa básica la de ser segura, a través de un diseño simple y uniforme.

La vía será cómoda en la medida en que se disminuyan las aceleraciones de los vehículos y sus variaciones lo cual se logrará ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los tramos rectos. La vía estética al adaptarla al paisaje, permitiendo generar visuales agradables a las perspectivas cambiantes, produciendo en el conductor un recorrido fácil. La vía será económica, cuando cumpliendo con los demás objetivos ofrece el menor costo posible tanto en su construcción como en su mantenimiento. Finalmente, la vía deberá ser compatible con el medio ambiente, adaptándola en lo posible a la topografía natural, a los usos del suelo y al valor de la tierra y procurando mitigar o minimizar los impactos ambientales. Los factores o requisitos del diseño a tener en cuenta se agrupan en externo o previamente existentes, e internos o propios de la vía y su diseño. Los factores internos del diseño contemplan las velocidades a tener en cuenta para el mismo y los efectos operacionales de la geometría especialmente los vinculados con la seguridad exigida y los relacionados con la estética y armonía de la solución.

## 2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

La clasificación para diseño consulta 6 categorías en dos grupos:

Carreteras: autopistas, autorrutas y primarias

Caminos: colectores, locales y de desarrollo.

## 2.2 SEGÚN EL TIPO DE TERRENO

La pendiente longitudinal y transversal del terreno son las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido longitudinal y transversal del eje de la vía. La línea de máxima pendiente sobre el terreno natural, es la inclinación máxima del terreno natural en cualquier dirección. Los terrenos se clasifican en plano, ondulado, montañoso y escarpado, de acuerdo con los parámetros que se indican en la siguiente tabla.

TIPO DE TERRENO	INCLINACIÓN MÁXIMA MEDIA DE LAS LÍNEAS DE MÁXIMA PENDIENTE (%)	MOVIMIENTO DE TIERRAS
Llano	+ - 3%	Mínimo movimiento de tierras, por lo que no presenta dificultad ni en el trazado ni en la explanación de una carretera. Las pendientes longitudinales de una vía son cercanas al 0%.
Ondulado (O)	3%-6%	Moderado movimiento de tierras que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y explanación de una

		carretera.
Montañoso (M)	4%-9%	Las pendientes longitudinales y transversales son fuertes aunque no las máximas que se puedan presentar en una dirección dada. Hay dificultades en el trazado y explanación de una carretera.
Escarpado (E)		Máximo movimiento de tierras, con muchas dificultades para el trazado y explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas en el recorrido de una vía.

De esta manera, se consideran las siguientes carreteras:

**a) CARRETERAS EN TERRENO LLANO**

Es la combinación de los alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

**b) CARRETERAS EN TERRENO ONDULADO**

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de la de los vehículos livianos sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas pendientes por un intervalo de tiempo largo.

### **c) CARRETERAS EN TERRENO MONTAÑOSO**

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes.

### **d) CARRETERAS PRIMARIAS**

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas a la que operan en terrenos montañosos para distancias significativas o intervalos más frecuentes.

## **2.3 SEGÚN SU VELOCIDAD DE DISEÑO**

La velocidad es el elemento básico para el diseño geométrico de una carretera y el parámetro de cálculo de la mayoría de diversos componentes del proyecto.

La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, de tal manera que siempre se garantice seguridad. La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado en condiciones de comodidad y seguridad. Por lo tanto, ella representa una referencia mínima. La velocidad de diseño se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas de la vía predominan. Se clasificación de las velocidades de proyecto según el tipo de emplazamiento son:

#### **Para Autopista:**

- Terreno Llano a Ondulado Medio: 120 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte: 100 km/h
- Terreno Llano a Ondulado Medio: 80 km/h

**Para Autorrutas:**

- Terreno Llano ha Ondulado Fuerte: 100 y 90 km/h
- Terreno Montañoso: 80km/h

**Para Carreteras Primarias:**

- Terreno Llano y Ondulado Fuerte: 100 y 90 km/h
- Terreno Montañoso: 80 km/h

**Para Caminos Colectores**

- Terreno Llano ha Ondulado Medio: 80 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte: 70 Km/h
- Terreno Montañoso: 60 Km/h

**Para Caminos Locales**

- Terreno Llano ha Ondulado Medio: 70 Km/h
- Terreno Ondulado Fuerte: 60 Km/h
- Terreno Montañoso: 50 y 40 Km/h

**Caminos de Desarrollo**

- Terreno Llano ha Ondulado Medio: 50 y 40 Km/h
- Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso: 30 Km/h

## **2.4 RUTAS Y LÍNEAS DE PENDIENTE**

### **2.4.1 SELECCIÓN DE RUTAS**

Se entiende por ruta aquella franja de terreno de ancho variable comprendida entre dos puntos obligados extremos y que pasa a lo largo de dos puntos obligados intermedios dentro de la cual es factible realizar la localización del trazado de una vía. Los puntos obligados son aquellos sitios extremos o intermedios por los que necesariamente deberá pasar la vía, ya sea por razones técnicas, económicas, sociales o políticas; como por ejemplo: poblaciones, áreas productivas, puertos, puntos geográficos como valles y depresiones, etc. La identificación de una ruta a través de estos puntos obligados o de control primario y su paso por otros puntos intermedios de menor importancia o de control secundario, hace que aparezcan varias rutas alternas. Son ejemplos de puntos de control secundario: caseríos, cruces de ríos y cañadas, cruces con otras vías, zonas estables, bosques, etc.

Para todas las rutas alternas, es necesario llevar a cabo la actividad denominada selección de ruta, la cual comprende una serie de trabajos preliminares que tienen que ver con acopio de datos, estudios de planos, reconocimientos aéreos y terrestres de estudio, etc.

El acopio de datos se refiere a la obtención de la información básica en la zona de estudio, relacionada con la topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y los usos de la tierra. Estos factores constituyen los mayores controles en el diseño, localización y construcción de la futura vía. Igualmente, deberá obtenerse información sobre la actividad económica y social de la región. Las principales fuentes de información para la obtención de información son la ADMINISTRADORA BOLIVIA DE CAMINOS, SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA, INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA EN BOLIVIA. El estudio de planos forma parte del llamado análisis de la información existente. Básicamente consiste en la elaboración de los croquis de las rutas sobre planos, cartas geográficas o fotografías aéreas. A escalas muy comunes como 1:100000, 1:50000, 1:25000, identificando sobre ellos la información obtenida anteriormente especialmente los puntos obligados de control primario, ya que estos guían la dirección general a seguir de una ruta específica.

De esta manera y con la identificación también de los puntos de control secundario, es posible señalar sobre los planos varias rutas alternas o franja de estudio. Mediante los reconocimientos aéreos y terrestres se realiza un examen general de las rutas o franjas de terreno que han quedado previamente determinadas y marcadas en los croquis. Su finalidad es la de identificar los costos posibles de construcción de la futura vía por cada ruta, determinar los efectos que tendrá la vía en el desarrollo económico de la región e estimar los efectos destructivos que puedan producirse en el paisaje natural. Igualmente, se aprovecha el reconocimiento para obtener datos complementarios de la zona en estudio. Las poligonales de estudio permiten recoger todos aquellos detalles necesarios que dan a conocer cual ruta es la que ofrece un mejor trazado. Estas poligonales deben levantarse en forma rápida y con una precisión no muy alta. Es así como, sus lados se pueden medir a cinta o a taquimetría, los rumbos se determinan con brújula, las alturas con barómetro y las pendientes con niveles de mano.

#### **2.4.2 EVALUACIÓN DEL TRAZADO DE RUTA**

La mejor ruta entre varias alternas, que permita enlazar dos puntos extremos o terminales, será aquella que de acuerdo a las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas y de drenaje, ofrezca el menor costo con el mayor índice de utilidad económica, social y estética. Por lo tanto, para cada ruta será necesario determinar, en forma aproximada, los costos de construcción, operación y conservación de la futura vía a proyectar, para así compararlos con los beneficios probables esperados. Existen diversos métodos de evaluación de rutas y trazados alternos, con los cuales se podrá hacer la mejor selección. Dentro de estos métodos, se encuentra el de bruce, en el cual se aplica el concepto de longitud virtual. Compara para cada ruta o trazado alternativo, sus longitudes, sus desniveles y sus pendientes, tomando en cuenta únicamente el aumento de longitud correspondiente al esfuerzo de tracción en las pendientes. Se expresa así:

$$x_0 = x + k \sum y$$

Donde:

$x_0$  = Longitud resistente (m).

x = Longitud total del trazado (m).

$\Sigma y$  = Desnivel o suma de desniveles (m).

k = Inverso del coeficiente de tracción.

En la siguiente tabla aparecen los valores de k para los distintos tipos de superficie de rodamiento.

Valores del inverso del coeficiente de tracción.

TIPO DE SUPERFICIE	VALORES MEDIO DE k
Carretera en tierra	21
Macadam	32
Pavimento asfáltico	35
Pavimento rígido	44

### 2.4.3 LÍNEA DE PENDIENTE O DE CEROS.

#### CONCEPTO

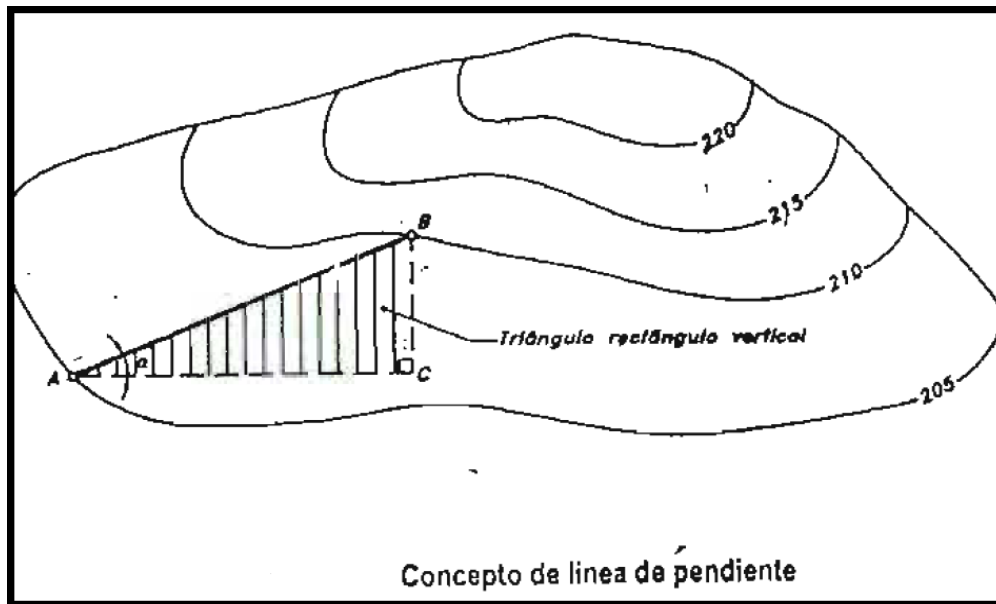
La línea de pendiente es aquella línea que, pasando por los puntos obligados del proyecto, conserva la pendiente uniforme especificada y que de coincidir con el eje de la vía, este no aceptaría cortes ni rellenos, razón por la cual también se le conoce con el nombre de línea de ceros. Es la línea que al ir a ras del terreno natural, sigue la forma de éste, convirtiéndose en una línea de mínimo movimiento de tierra. Por los tanto, cualquier eje vial de diseño que trate de seguida lo más cerca posible, será un eje económico, desde este punto de vista.

#### TRAZADO DE UNA LÍNEA PENDIENTE

En la isometría del terreno natural con curvas de nivel cada cinco metros ilustrada den la figura mostrada en la parte de de abajo considérese los puntos A y B sobre las curvas de nivel sucesivas. La pendiente de la línea recta AB, que los une, es:

$$\text{Pendiente de AB} = \tan \alpha = BC/AC$$

Luego, si se quiere mantener una línea de pendiente uniforme igual a  $\tan \alpha$ , la distancia horizontal necesaria para pasar de una curva de nivel a otra será:



$$AC = BC / \tan \alpha$$

Donde:

AC = Distancia horizontal entre curvas de nivel sucesivas, o abertura del compas.

BC = Diferencia de nivel entre curvas o equidistancia.

$\tan \alpha$  = Pendiente de la línea recta AB. Pendiente de la línea de ceros.

Por lo tanto, también puede decirse que:

$$a = \text{Equidistancia} / \rho$$

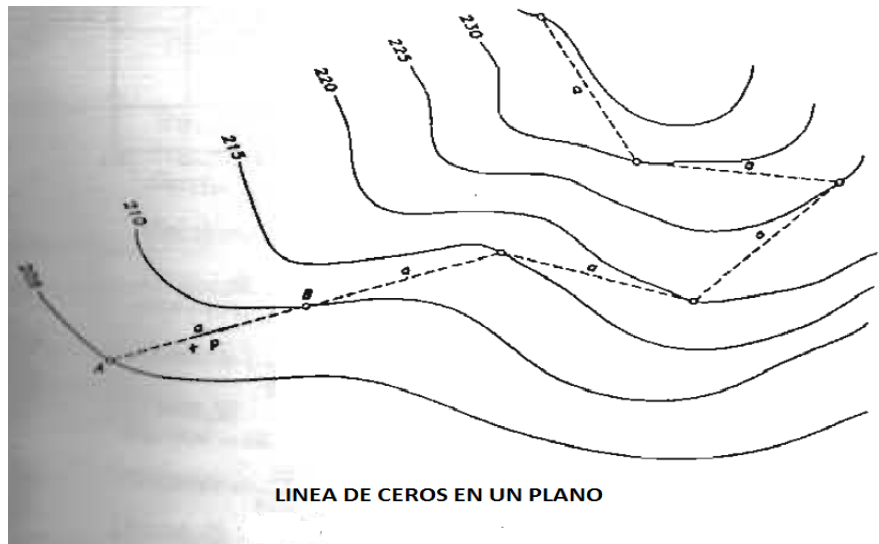
Dónde:

a = Abertura del compas

$\rho$  = Pendiente uniforme de la línea de ceros.

De esta manera la distancia AC o a, en metros reducida a la escala del plano, se podrá trazar con un compas de puntas secas a partir del punto inicial, materializándose así una

serie de puntos sobre curvas sucesivas, cuya unión constituye la línea de ceros, tal como se muestra en la siguiente figura:



En términos generales, en el trazado de una línea de ceros, se pueden presentar dos casos: el primero, consiste en llevar desde un punto inicial una línea de ceros de pendiente uniforme sin especificar el punto final o de llegada. El segundo, consiste en trazar una línea de ceros a través de dos puntos obligados. En este último caso será necesario estimar la pendiente máxima permitida por las normas. La línea de ceros en el terreno se la lleva marcándola en la dirección general requerida, pasando por los puntos de control y por los lugares más adecuados. Para tal efecto, se emplean miras y jalones.

## **DISEÑO GEOMÉTRICO HORIZONTAL: PLANTA**

### **CONCEPTOS**

De una manera general una carretera se puede concebir como un sistema que logra integrar beneficios, conveniencia, satisfacción y seguridad a sus usuarios; que conserva, aumenta y mejora los recursos naturales de la tierra, el agua y el aire; y que colabora en el logro de los objetivos del desarrollo regional, agrícola, industrial, comercial, residencial, recreacional y de salud pública. En forma particular, el diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de

los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido la carretera queda geoméricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal.

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas.

### **CURVAS CIRCULARES SIMPLES**

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto las curvas del espacio no necesariamente son circulares.

#### **a) ELEMENTOS GEOMÉTRICOS QUE CARACTERIZAN UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE.**

En la siguiente figura aparecen los diferentes elementos geométricos de una curva circular simple. Tomando el sentido de avance de izquierda a derecha, dichos elementos son:

PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

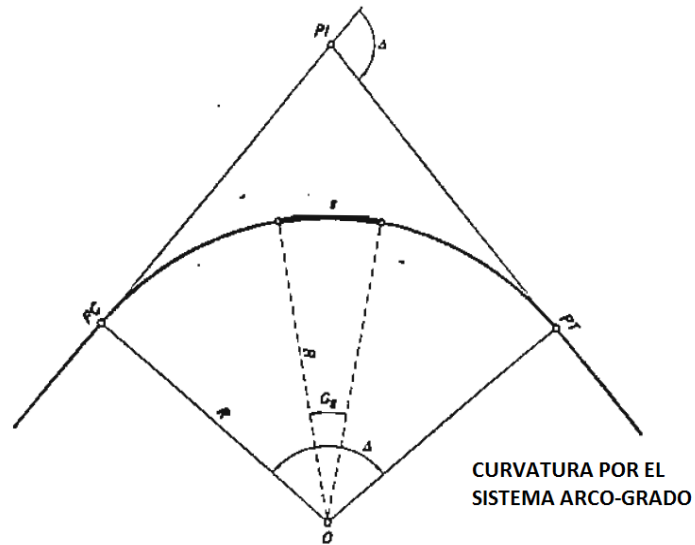
PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O = Centro de la curva circular.

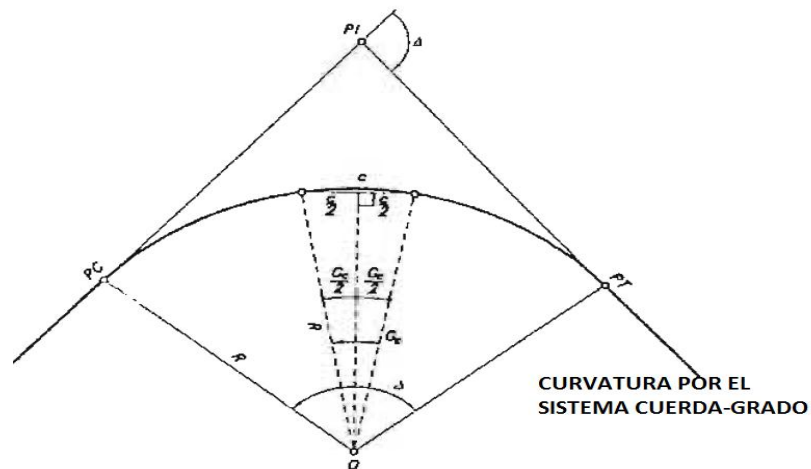
$\Delta$  = Angulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal. Es igual al ángulo central subtendido por el arco PI al PT.



a) SISTEMA ARCO-GRADO



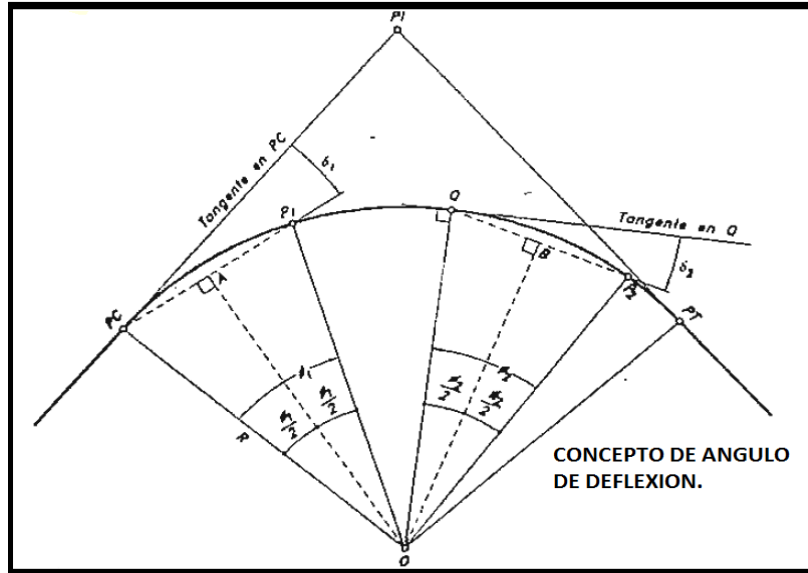
b) SISTEMA CUERDA-GRADO



**DEFLEXIÓN DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE.**

Tradicionalmente el cálculo y la localización de las curvas circulares simples en el terreno, se realizan por el método de los ángulos de deflexión. Se denomina Ángulo de deflexión  $\delta$  de una curva, al ángulo formado entre cualquier línea tangente a la curva y a la cuerda dirigida desde el punto de la tangencia a cualquier otro punto  $P$  sobre la curva,

tal como lo muestra la figura de abajo para el ángulo de deflexión  $\delta_1$  correspondiente a la tangente en el PC y el punto  $P_1$  y el ángulo de deflexión  $\delta_2$  correspondiente a la tangente en el punto Q y  $P_i$ .



## ESTABILIDAD EN LA MARCHA, PERALTE Y TRANSICIÓN

### DESPLAZAMIENTO DE UN VEHÍCULO SOBRE UNA CURVA CIRCULAR

Para ángulos de deflexión principal  $\Delta \leq 6^\circ$ , en el caso de que no puedan evitarse curvas circulares simples se recomienda utilizar las de los radios mínimos dados en la siguiente tabla:

<b>Caminos Colectores – Locales – Desarrollo</b>			
<b>Vp</b>	<b>e<sub>máx</sub></b>	<b>f</b>	<b>R<sub>mín</sub></b>
<b>km/h</b>	<b>(%)</b>		<b>(m)</b>
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
<b>Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios</b>			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Con el propósito de proporcionar seguridad, eficiencia y un diseño balanceado entre los elementos de la vía desde el punto de vista geométrico y físico, es fundamental estudiar la relación existente entre la velocidad y la curvatura.

Cuando un vehículo circula sobre una curva horizontal, actúa sobre él una fuerza centrífuga F que tiende a desviarlo radialmente hacia afuera de su trayectoria normal. La magnitud de esta fuerza es:

$$F = m * a$$

Donde:

m = Masa del vehículo.

a = Aceleración radial, dirigida hacia el centro de curvatura.

Pero la masa m y la aceleración radial a son iguales:

$$m = W/g \quad , \quad a = V^2/R$$

Donde:

W = Peso del vehículo.

g = Aceleración de la gravedad.

V = Velocidad del vehículo.

R = Radio de la curva circular horizontal.

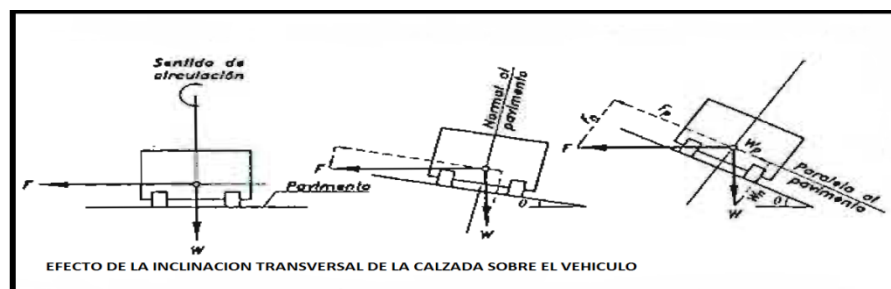
Por lo tanto:

$$F = W \cdot V^2 / g \cdot R$$

En esta última expresión se puede ver que para un mismo radio R, la fuerza centrífuga F es mayor si la velocidad V es mayor, por lo que el efecto centrífugo es más notable. La única fuerza de fricción que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de fricción desarrollada entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal; por lo tanto será necesario buscarle un complemento inclinado transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina peralte. Si sobre una curva horizontal de radio R un vehículo circula a una velocidad constante V, según la ecuación:

$$F = W \cdot V^2 / g \cdot R$$

El peso W y la fuerza centrífuga F son también constantes, pero sus componentes en las direcciones normal y paralela al pavimentos varían según la inclinación que tenga la calzada, tal como se aprecia en la figura en la parte inferior. Para la situación anterior las componentes normales de las fuerzas W y F son siempre del mismo sentido y se suman, actuando hacia el pavimento, contribuyendo a la estabilidad del vehículo. Por el contrario las componentes paralelas de W y F son de sentido opuesto y su relación hace variar los efectos que se desarrollan en el vehículo.



## VELOCIDAD, CURVATURA, PERALTE Y FRICCIÓN LATERAL

Existen dos fuerzas que se oponen al deslizamiento lateral de un vehículo, la componente  $W_p$  del peso y la fuerza de fricción transversal desarrollada entre las llantas y el pavimento. Igualmente para ayudar a evitar este deslizamiento, se

acostumbra en las curvas darle cierta inclinación transversal a la calzada. Esta inclinación denominada peralte se simboliza con la letra  $\theta$ . por lo tanto de acuerdo con las figuras anteriores:

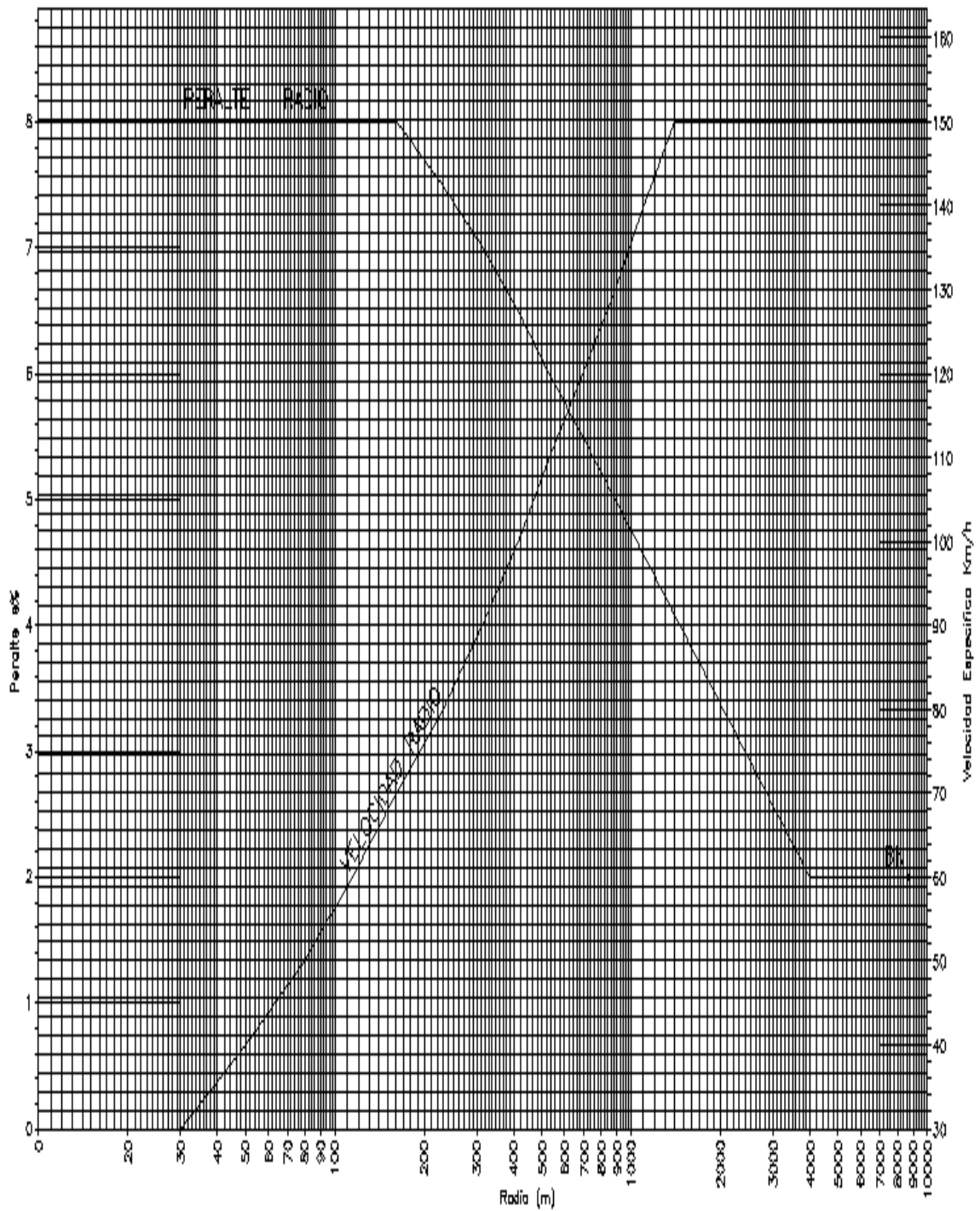
$$\Theta = \tan \theta$$

Se presentan los radios mínimos absolutos  $R_{min}$ :

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65
tmáx (%)	31,0	28,0	25,0	23,0	21,0	19,0	18,0	17,0	16,0
Rmin (m) e = 0%(1)	15	25	40	55	75	100	130	170	210
Rmin (m) e = 8%	15 <sup>(2)</sup>	20	30	40	55	75	90	120	140

En el siguiente ábaco establece una relación única entre los elementos de diseño: radio, peralte y velocidad. Permite obtener el peralte e y el radio R para una curva que se desee diseñar para una velocidad específica  $V_e$  determinada. Igualmente permite establecer el peralte e y la velocidad específica  $V_e$  para una curva que se desee diseñar con un radio R dado.

# ÁBACO: RELACIÓN PERALTE – RADIO Y VELOCIDAD ESPECÍFICA.



## TRANSICIÓN DE PERALTE

La sección transversal de la calzada sobre un alineamiento recto tiene una inclinación comúnmente llamada bombeo normal, la cual tiene por objeto facilitar el drenaje o escurrimiento de las aguas lluvias lateralmente hacia las cunetas. El valor del bombeo dependerá del tipo de superficie y de la intensidad de las lluvias en la zona del proyecto variando del 1% al 4%. Así mismo la sección transversal de la calzada sobre un alineamiento curvo tendrá una inclinación asociada con el peralte, el cual tiene por objeto, como se vio anteriormente, facilitar el desplazamiento seguro de los vehículos sin peligros de deslizamiento. Para pasar de un sección transversal con bombeo normal a otra con peralte, es necesario realizarse bruscamente, sino gradualmente a lo largo de la vía entre este par de secciones. A este tramo de la vía se le llama transición peraltada. Si para el diseño de las curvas horizontales se emplean curvas espirales de transición, las cuales se estudiarán más adelante, la transición del peraltado se efectúa junto con la curvatura de la espiral. Cuando solo se dispone de curvas circulares, se acostumbra a realizar una parte de la transición en la recta y la otra parte sobre la curva. Se ha encontrado empíricamente que la transición del peralte puede introducirse dentro de la curva hasta en un 50%, siempre que por lo menos la tercera parte central de la longitud de la curva circular quede con el peralte completo. Para realizar la transición del bombeo al peralte, puede utilizarse tres procedimientos: 1) rotando la calzada alrededor de su eje central. 2) rotando la calzada alrededor de su borde interior. 3) rotando la calzada alrededor de su borde exterior. El primer procedimiento es el más conveniente, ya que los desniveles relativos de los bordes con respecto al eje son uniformes, produciendo un desarrollo más armónico y con menos distorsión de los bordes de la calzada.

En la siguiente figura se muestra en forma esquemática y tridimensional la transición del peralte de una curva circular, rotando la calzada alrededor de su eje central, donde:

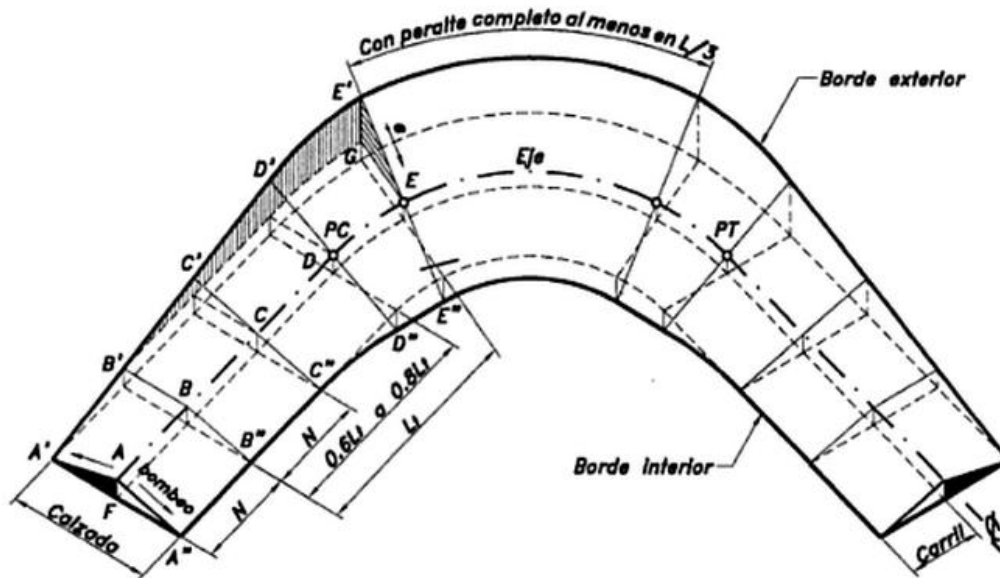
$L_t$  = Longitud de transición.

$N$  = Longitud de aplanamiento.

$L$  = Longitud de la curva circular.

$e$  = Peralte necesario de la curva circular.

La longitud de transición por simplicidad se considera desde aquella sección transversal donde el carril exterior se encuentra a nivel o no tiene bombeo, hasta aquella sección donde la calzada tiene todo su peralte completo. La longitud de aplanamiento es la longitud necesaria para que el carril exterior pierda su bombeo o se aplane.



### TRANSICION DE PERALTE

En términos generales en las curvas circulares con tramos sin espiral la transición del peralte se desarrolla una parte en la tangente y la otra curva, exigiéndose en el PC y en el PT de la misma entre un 60% y un 80% del peralte total, prefiriéndose valores promedio de este rango. Por comodidad y apariencia se recomienda que la longitud del tramo donde se realiza la transición del peralte debe ser tal que la pendiente longitudinal de los bordes relativa a la pendiente longitudinal del eje de la vía no debe ser mayor que un valor  $m$ . En este sentido  $m$  se define como la máxima diferencia algebraica entre las pendientes longitudinales de los bordes de la calzada y el eje de la misma. La tabla abajo mostrada presente los valores máximos y mínimos recomendados de esta diferencia en función de la velocidad específica.

## **CURVAS ESPIRALES DE TRANSICIÓN.**

### **3.6.1 GENERALIDADES**

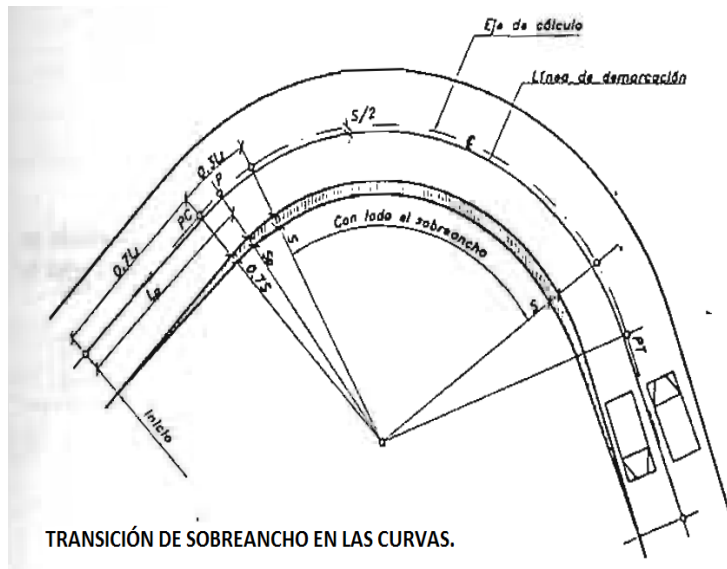
Como se estableció anteriormente el alineamiento en planta de una vía consiste en el desarrollo geométrico de la proyección de su eje sobre un plano horizontal. Dicho alineamiento está formado por tramos rectos (tangentes) enlazados con curvas (circulares simples compuestas y espirales de transición). Tradicionalmente en nuestro medio se ha utilizado y se seguirá utilizando en muchos proyectos, el trazado convencional donde solo se emplean tramos rectos empalmados con arcos circulares simples. En estos diseños, la curvatura pasa bruscamente de cero en la recta a un valor constante  $1/R$  en la curva circular de radio  $R$ . Eventualmente también en los trazados se empalman los tramos rectos con curvas circulares compuestas de dos o más, pero la experiencia demuestra que los conductores sobre todo aquellos que circulan por el carril exterior, por comodidad tienden a cortar la curva circular describiendo trayectorias no circulares e invadiendo el carril del sentido opuesto en carreteras de dos carriles dos sentidos con el consiguiente peligro potencial de accidentes. Realmente estas trayectorias no circulares se generan debido a que los vehículos al entrar en la curva circular experimentan la fuerza centrífuga que tiende a desviarlos de su carril de circulación por lo que los conductores instintivamente maniobran sus vehículos tratando de evitar incomodidad y contrarrestando la fuerza centrífuga a través de la ocupación del carril de la dirección lo cual representa peligro de choque con otro vehículo especialmente en condiciones de poca visibilidad y en presencia de radios pequeños.

### **SOBREANCHO EN LAS CURVA**

Cuando un vehículo por una curva horizontal ocupa un ancho de calzada mayor que una recta. Esto debido a que por la rigidez y dimensiones del vehículo sus ruedas traseras siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras, ocasionando dificultad a los conductores para mantener su vehículo en el eje del carril de circulación correspondiente. En estas circunstancias y con el propósito de que las condiciones de operación de los vehículos en las curvas sean muy similares a las de la recta la calzada en las curvas debe ensancharse. Este aumento del ancho se denomina Sobre ancho  $S$  de la curva.

### 3.7.1 TRANSICIÓN DE SOBREALCHO

Con el fin de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobre ancho debe desarrollarse gradualmente a la entrada y a la salida de las curvas. En el caso de las curvas simples por razones de apariencia el sobre ancho debe desarrollarse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada en la misma longitud  $L$  utilizada para la transición del peraltado.



En los alineamientos espiralizados el sobre ancho se distribuye a lo largo de la Clotoide, trazando el borde del ensanche por medio de distancias radiales a partir del eje de la vía las cuales varían directamente con la longitud de la espiral central  $L_e$  desde el TE y el ET tal que se llega al sobre ancho total  $S$  en el EC y el CE garantizando de esta manera que toda la curva circular central lleve el sobre ancho uniforme  $S$ .

### DISEÑO GEOMÉTRICO VERTICAL: RASANTE

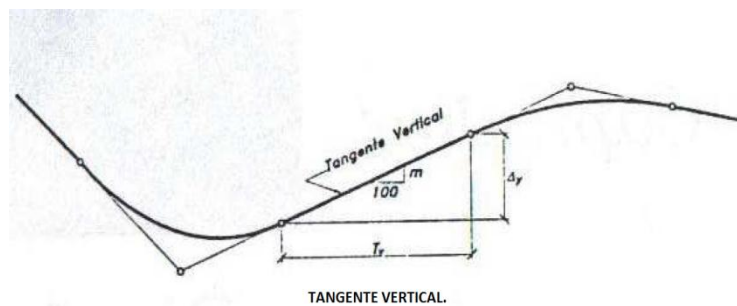
El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o subrasante.

## ELEMENTOS GEOMÉTRICOS QUE INTEGRAN EL ALINEAMIENTO VERTICAL.

Al igual que el diseño en planta el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales enlazados entre sí por curvas verticales. El alineamiento a proyectar estará en directa correlación con la topografía del terreno natural.

### TANGENTES VERTICALES

Las tangentes sobre un plano vertical se caracterizan por su longitud y su pendiente, y están limitadas por dos curvas sucesivas. De acuerdo con la siguiente figura la longitud  $T_v$  de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La pendiente  $m$  de la tangente vertical es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.



Para propósitos del diseño vial, las pendientes deben limitarse dentro de un rango normal de valores de acuerdo al tipo de vía que se trate. Así se tendrán pendientes máximas y mínimas. La pendiente máxima es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Su valor queda determinado por el volumen de tránsito futuro y su composición, por la configuración o tipo de terreno por donde pasara la vía y por la velocidad de diseño. En la siguiente tabla se presentan las pendientes máximas recomendadas a utilizar.

PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDADAS EN %.

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Las pendientes máximas se emplearan cuando sea conveniente desde el punto de vista económico con el fin de salvar ciertos obstáculos de carácter local en tramos cortos tal que se conviertan en longitudes críticas. Se define la longitud critica de una pendiente como la máxima longitud en subida sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por de un valor prefijado. Se considera que la longitud crítica es aquella que ocasiona una reducción de 25 km/h en la velocidad de operación de los vehículos pesados, en pendientes superiores al 3%. De orden práctico, se establece la longitud crítica de una pendiente como la distancia horizontal medida desde el comienzo de la pendiente necesaria para lograr una altura de 15 metros respecto al mismo origen.

Para proyectos de carreteras en los cuales supere la longitud critica y con volúmenes de transito promedio diario mayores a 1000 vehículos, será necesario para propósitos de capacidad y niveles de servicio, estudiar la posibilidad de construir vías lentas o carriles adicionales a la derecha para transito lento. La pendiente mínima es la menor pendiente que se permite en el proyecto. Su valor se fija para facilitar el drenaje superficial longitudinal pudiendo variar según se trate de un tramo en terraplén o en corte y de acuerdo al tipo de terreno. De todas maneras la inclinación de la línea de rasante en cualquier punto de la calzada no longitudinales de pendientes cuya distancia de recorrido a la velocidad de diseño sea inferior a la recorrida en 10 segundos, midiéndose dicha longitud entre vértices contiguos.

## **CURVAS VERTICALES**

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que se facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical.

### **GEOMETRÍA DE LAS CURVAS VERTICALES PARABÓLICAS.**

#### **3.9.1 CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS**

La parábola utilizada para el enlace de dos tangentes verticales consecutivas debe poseer las siguientes propiedades:

La razón de variación de su pendiente a lo largo de su longitud es una constante. La proyección horizontal del punto de intersección de las tangentes verticales está en la mitad de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia extremos, donde empieza y termina la curva. Los elementos verticales de la curva varían proporcionalmente con el cuadrado de los elementos horizontales. La pendiente de cualquier cuerda de la parábola, es el promedio de las pendientes de las líneas tangentes a ella en sus respectivos extremos.

#### **3.9.2 CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS**

Una curva es asimétrica cuando las proyecciones horizontales de sus tangentes son de distinta longitud. Esta situación se presenta cuando la longitud de la curva de sus ramas está limitada por algún motivo en este caso para una curva vertical cóncava.

#### **3.9.3 COEFICIENTE ANGULAR DE UNA CURVA VERTICAL**

El coeficiente angular  $K_v$  de una curva vertical, define la curvatura de la parábola como una variación de longitud por unidad de pendiente:

$$K_v = L_v / i \text{ (mts/ \%)}$$

$$\text{Si } i = 1 \% \text{ entonces } K_v = L_v / 1\%$$

Entonces  $K_v$  es la distancia horizontal en metros necesaria para que se efectúe un cambio del 1% en la pendiente de la tangente a lo largo de la curva. Así si  $K_v$  es la distancia horizontal para que se produzcan un cambio de pendiente del 1% será la longitud total  $L_v$  de la curva esto es:

$$L_v = K_v i$$

Mediante esta expresión se puede determinar la longitud mínima de una curva vertical para un coeficiente angular  $K_v$  dado, según los criterios de seguridad, drenaje, comodidad y apariencia de acuerdo al tipo de vía a proyectarse.

### **3.10 VISIBILIDAD EN CARRETERAS**

Una de las características más importantes que deberá ofrecer el proyecto de una carretera el conductor de un vehículo es la habilidad de ver hacia adelante tal que permita realizar una circulación segura y eficiente. La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella. Esta distancia de visibilidad deberá ser de suficiente longitud tal que permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo pueden ser por la presencia de un obstáculo fijo sobre su carril de circulación o el adelantamiento de un vehículo lento en carreteras de dos carriles dos sentidos o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras terciarias de calzadas angostas.

#### **3.10.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA**

Se considera como distancia de visibilidad de parada de un determinado punto de carretera, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la velocidad de diseño pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo fijo que aparezca en su trayectoria. Dependiendo de la complejidad del obstáculo y de las características del conductor, el tiempo de percepción-reacción puede variar de 0.5 a 4 segundos. Para fines de proyecto se emplea un valor medio de 2 segundos. Durante este tiempo se considera que la velocidad del vehículo  $V_o$  se mantiene constante, pues su

variación es muy pequeña. La distancia de frenado  $d_f$  que se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente y que esa recorrida en un tiempo  $t_f$  por el vehículo en movimiento uniformemente decelerado con aceleración.

### **DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO**

Un tramo de carretera de dos carriles y de circulación en dos sentidos tiene distancia de visibilidad de adelantamiento cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que en condiciones de seguridad el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril a una velocidad menor son peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible en el momento de iniciarse la maniobra de adelantamiento. En carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación se debe procurar la máxima longitud posible en que la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor a la mínima dada, por esto como norma de diseño se deben proyectar en tramos de 5 kilómetros varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada.

VELOCIDAD DE DISEÑO (km/h)	30-60	60-80	80-100
LONGITUD MINIMA CON DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO	20%	30%	40%

### **3.10.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO**

En carreteras terciarias de una calzada y sin diferenciación de carriles la distancia de visibilidad de encuentro es la longitud mínima disponible de carreteras, visible para los conductores que circulan en sentidos opuestos, obligados a llevar a cabo maniobras para esquivarse. Se ha establecido que esta longitud debe ser suficientemente larga para permitirle a los vehículos que viajan a la velocidad de diseño en sentidos contrarios, esquivarse y cruzarse con seguridad a una velocidad de 10 km/h.

### **3.10.4 EVALUACIÓN DE LA VISIBILIDAD DE UN PROYECTO EN PLANOS**

La distancia de visibilidad es un elemento que debe tenerse en cuenta desde el principio de proyecto, dada la importancia que tiene tanto en la seguridad como en la capacidad de la futura carretera. Las distancias de visibilidad tanto de parada como de adelantamiento se

pueden medir directamente utilizando aplicaciones informáticas o específicas, anotándolas a intervalos frecuentes usualmente cada 20 o 25 metros sobre los planos de planta-perfil. De esta manera el diseñador podrá apreciar de conjunto todo el trazado y realizar un proyecto más equilibrado. En carreteras de dos carriles con dos sentidos de una circulación deben medirse las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento. En carreteras de dos calzadas separadas es suficiente análisis de visibilidad de parada. Para la medición de las distancias de visibilidad se deben considerar las siguientes alturas: 1) altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: 1.15 metros. 2) altura del obstáculo que debe ver el conductor y que lo obliga a parar: 0.15 metros. 3) altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos 1.35 metros.

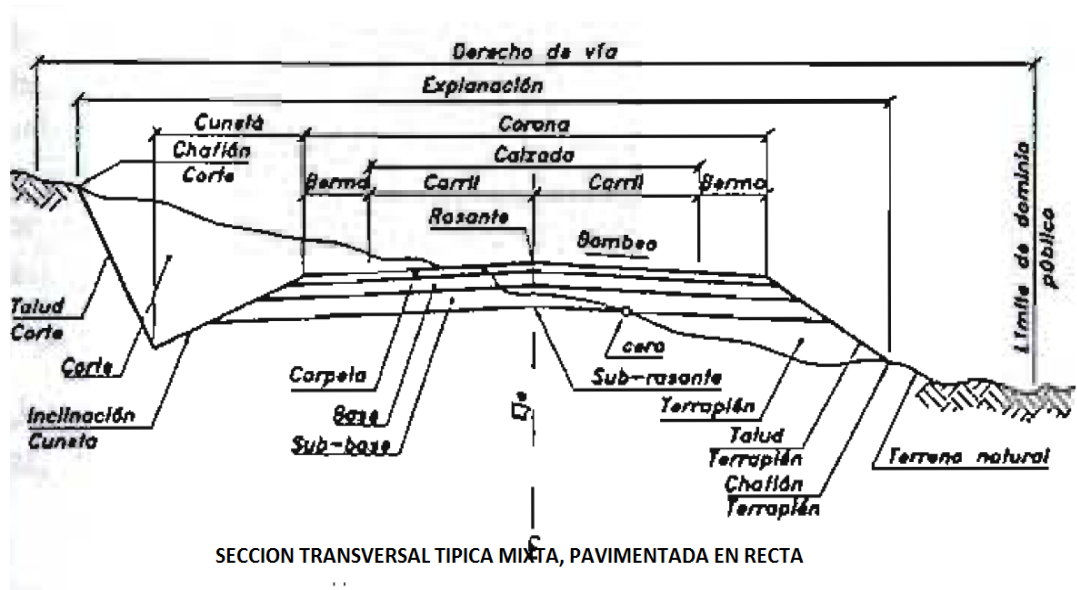
## **DISEÑO GEOMÉTRICO TRANSVERSAL: SECCIONES ÁREAS Y VOLÚMENES.**

### **CONCEPTO**

El diseño geométrico transversal de una carretera consiste en la definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal. De esta manera se podrá fijar la rasante y el ancho de la faja que ocupará la futura carretera y así estimar las áreas y volúmenes de tierra a mover.

### **ELEMENTOS QUE INTEGRAN LA SECCIÓN TRANSVERSAL**

Geoméricamente la sección transversal de una carretera está compuesta por el ancho de zona o derecho de vía, el ancho de explanación, el ancho de banca o plataforma, la corona, la calzada, los carriles, las bermas, las cunetas, los taludes laterales y otros elementos complementarios. En la siguiente figura se detallan estos elementos para el caso de una vía pavimentada de sección transversal mixta, corte y terraplén, ubicada en recta o en tangente.



La calzada o superficie de rodamiento es aquella parte de la sección transversal destinada a la circulación de los vehículos constituida por uno o más carriles para uno o dos sentidos. Cada carril tendrá un ancho suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. El ancho y el número de carriles de la calzada se determinan con base en un análisis de capacidad y nivel de servicio deseado al final del periodo de diseño.

Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 2.50 m, 3.00 m, 3.50 m y 3.65 m. En la siguiente tabla se suministran los anchos de calzada recomendados en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño.

TIPO DE CARRETERA	TIPON DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO (km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera principal de dos calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3
	Ondulado	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	Montañoso	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	Escarpado	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	-
Carretera principal de una calzada.	Plano	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	-	-
	Ondulado	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	-	-
	Montañoso	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	7,3	7,3	7,3	-	-	-	-
Carretera Secundaria	Plano	-	-	7	7,3	7,3	7,3	-	-	-	-
	Ondulado	-	7	7	7,3	7,3	7,3	-	-	-	-
	Montañoso	-	6,6	7	7	7	-	-	-	-	-
	Escarpado	6	6	6,6	7	-	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria	Plano	-	5	6	6,6	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	5	5	6	6,6	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	5	5	6	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	5	5	6	-	-	-	-	-	-	-

#### ANCHO RECOMENDADOS DE CALZADA EN RECTA.

Contiguo a la calzada se encuentran las bermas que son fajas entre las orillas de la calzada y las líneas definidas por los hombros de la carretera. Las bermas sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento, controlan la humedad y las posibles erosiones de la calzada. Eventualmente se pueden utilizar para estacionamiento provisional y para dar seguridad al usuario de la carretera pues en este ancho adicional se pueden eludir accidentes potenciales o reducir su severidad. También se pueden utilizar para los trabajos de conservación.

En la siguiente tabla abajo mostrada se presentan los anchos de berma recomendados en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño. Al conjunto formado por la calzada y las bermas se le denomina corona. Por lo tanto el ancho es la distancia horizontal medida normalmente al eje, entre las aristas interiores de las cunetas de un corte y/o entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén.

TIPO DE CARRETERA	TIPON DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO (km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera principal de dos calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2,5/1,0	2,5/1,1	2,5/1,2	2,5/1,3
	Ondulado	-	-	-	-	-	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0
	Escarpado	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	-
Carretera principal de una calzada.	Plano	-	-	-	-	1,8	2	2	2,5	-	-
	Ondulado	-	-	-	1,8	1,8	2	2	2,5	-	-
	Montañoso	-	-	-	1,5	1,5	1,8	1,8	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	1,5	1,5	1,8	1,8	-	-	-
Carretera Secundaria	Plano	-	-	1	1,5	1,5	1,8	-	-	-	-
	Ondulado	-	0,5	1	1	1,5	1,8	-	-	-	-
	Montañoso	-	0,5	0,5	1	1	-	-	-	-	-
	Escarpado	0,5	0,5	0,5	1	-	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria	Plano	-	0,5	0,5	1	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	0,5	0,5	0,5	1	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-

#### ANCHO RECOMENDADO DE BERMAS.

En los tramos rectos la calzada tiene una pendiente transversal que va del eje hacia los bordes, denominada bombeo; el cual tiene por objeto facilitar el escurrimiento de las aguas de las lluvias hacia las bermas y cunetas. En la siguiente tabla se suministran, en función del tipo de superficie de rodadura, los valores recomendados del bombeo a emplearse en el proyecto.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA		BOMBEO %
MUY BUENA	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
	colocada con extendedoras mecánicas.	
BUENA	Superficie de mezcla asfáltica colocada con	2,0 - 3,0
	terminadora. Carpeta de riegos	
REGULAR A MALA	Superficie de tierra o grava.	2,0 - 4,0

La pendiente transversal recomendada para las bermas es la correspondiente a la de la calzada más un 2%. Si se construye la berma como continuación de la calzada se deberá mantener la pendiente adoptada para la calzada. Las cunetas son zanjas revestidas o no, construidas paralelamente a las bermas destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera. Sus dimensiones se determinan de acuerdo a los análisis

hidráulicos del sitio. Generalmente son de sección triangular sin embargo son deseables las de sección trapezoidal.

A continuación aparecen los taludes que son las superficies laterales inclinadas que limitan la explanación. Si la sección es en corte, el talud empieza enseguida de la cuneta. Si la sección es en terraplén el talud se inicia en el borde de la berma. Las inclinaciones adoptadas para los taludes se determinan con base en los estudios geológicos y geotécnicos del lugar. En términos generales los taludes que se emplean son: para cortes 2 verticales por la 1 horizontal y para terraplenes 2 verticales por 3 horizontales. La banca o plataforma de la carretera es la distancia horizontal medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los hombros. El chaflán o estaca extrema de talud es el punto donde el talud de corte o terraplén encuentra el terreno natural. El ancho de explanación es la distancia total horizontal comprendida entre los chaflanes derecho o izquierdo. El ancho de zona o derecho de vía es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. En la tabla abajo mostrada aparecen los anchos mínimos de derecho de vía recomendados. A esta zona no se le podrá dar uso privado. La rasante como eje es la proyección vertical del desarrollo del eje real de la superficie de rodamiento de la vía. La sub-rasante es aquella superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento.

TIPO DE CARRETERA	ANCHO MINIMO DE ZONA (m)
Principal de dos calzadas	$\geq 30$
Principal de una calzada	24-30
Secundaria	20-24
Terciaria	15-20

#### ANCHOS MÍNIMOS DE DERECHO DE VÍA RECOMENDADOS.

A los niveles de la sub-rasante también se les conoce como las cotas de proyecto o cotas rojas. A los niveles del terreno natural se les denominan cotas negras. Cuando es necesario excavar el terreno para formar la superficie de la sub-rasante, se dice que se

hace excavación o corte. Si por el contrario, es necesario colocar material para ubicar el pavimento sobre él, se dice que se hace relleno o terraplén. De acuerdo al tipo de vía a proyectar adicionalmente a los valores recomendados dados aquí existen diferentes criterios que permiten definir las dimensiones e inclinaciones de cada uno de los elementos de una sección transversal. Como el enfoque presentado aquí es meramente geométrico el análisis en lo sucesivo parte de la base que dichas dimensiones e inclinaciones son conocidos, las cuales obviamente se fundamentan en otros estudios complementarios como geológicos, suelos, pavimentos e hidráulicos.

## **CAPÍTULO III**

## **CAP 3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES SATELITALES**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos. La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras.

El valor de las imágenes de satélite y la información extraída de ellas son evidentes. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan a ras de tierra. Por supuesto, el carácter "remote" de la teledetección aumenta también este valor, ya que proporciona una visión parcial del globo sin tener que moverse de la oficina. Además de estas ventajas evidentes, las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance. Algunas imágenes, por ejemplo, muestran las enfermedades de la vegetación, la existencia de minerales en afloramientos rocosos o la contaminación de los ríos. Algunos satélites "ven" a través de las nubes y la niebla que oculta parte de la superficie terrestre. El valor práctico y la multiplicidad de aplicaciones de las imágenes continúan aumentando a medida que se lanzan nuevos satélites, que se suman a los que ya están en órbita. Al haber más satélites se dispone de imágenes en una cantidad creciente de tamaños de escena, resoluciones espectrales, frecuencias de paso y detalles espaciales. A la vez que estos nuevos sensores espaciales hacen que las imágenes sean más útiles que nunca, ofrecen a los usuarios actuales mayores dificultades a la hora de escoger las más adecuadas. El propósito de este folleto es presentarle la terminología y los conceptos básicos de la tecnología de la teledetección y familiarizarle con los sistemas satelitales presentes y futuros. Esta información le proporcionara los conocimientos necesarios

para hacer las preguntas pertinentes a la hora de comprar imágenes y garantizarle la adquisición de los productos que mejor se adapten a su aplicación concreta.

## **CONCEPTO**

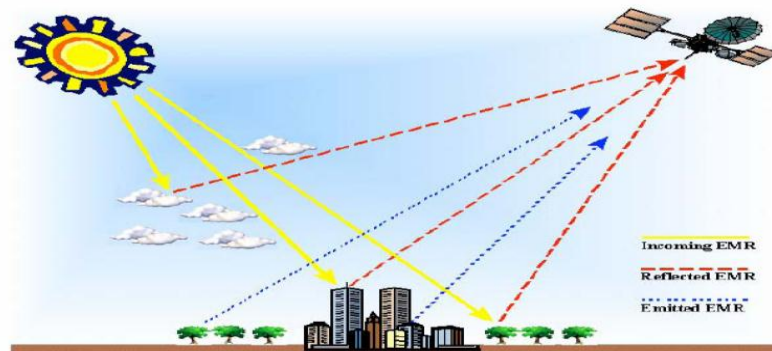
Con el desarrollo de la computacional, la ciencia está avanzando hacia un nivel con posibilidades ilimitadas de conocimiento la obtención de información en algunos campos de la investigación actualmente no requiere la presencia física del hombre, equipos como los satélites demuestran la capacidad humana para desarrollar tecnologías alternativas de solución a problemas en los que existían limitaciones técnicas, la aplicación en procesos de datos actualmente resulta ser una tarea sencilla en la que manejar múltiples variables no es un obstáculo en el momento de obtener resultados instantáneas a través de un sistema de información geográfica o imágenes satelitales.

## **PRINCIPIOS GENERALES DE LA TELEDETECCIÓN**

Para ilustrar el proceso de obtención de las imágenes satelitales, se puede comparar con las imágenes fotográficas, debido a que esta técnica es conocida. La fotografía se fundamenta en la impresión de un objeto sobre una película sensible a la luz con el apoyo de un sistema óptico para un control de condiciones de exposición, la fotografía necesita que exista una fuente de energía externa al objeto comúnmente el sol, puesto que no puede que la iluminación es importante esto se puede comparar con la teledetección ya que combina los mismos objetos para su estudio que son el objeto, fuente de energía, sensor, plataforma, sistema de de transmisión y recepción y por último que desempeña el usuario. En definitiva un sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes elementos:

- ✚ Fuente de energía, supone un creador de energía que el sensor está detectando, la fuente más importante la energía del sol.
- ✚ Cubierta terrestre, formada por vegetación, agua construcciones, suelo las cuales se reflejan de acuerdo a la energía generada por la fuente.

- ✚ Sistemas de sensores y la plataforma que captan energía procedente de la cubierta terrestre y enviarla al centro o base de recepción.
- ✚ Sistema de recepción –comercialización donde se recibe la información enviada por el sensor.
- ✚ Interprete, es el encargado de analizar información comúnmente en forma de imágenes digitales.
- ✚ Usuario final, es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación anterior.



Las principales aplicaciones de la teledetección son:

- ✚ Estudio de la erosión de playas y arenales.
- ✚ Cartografía geológica para la exploración de terrenos.
- ✚ Cartografía de nuevos depósitos volcánicos.
- ✚ Control de movimientos glaciales polares.
- ✚ Inventarios de aguas superficiales.
- ✚ Análisis en tiempo real de masas nubosas.
- ✚ Cartografía de la cobertura vegetal del suelo.
- ✚ Cartografía térmica del mar.

- ✚ Rápida evolución de condiciones de estrés en la vegetación por efectos de la sequía o la erosión.

Durante los últimos años con el avance de tecnologías encargadas de facilitar la comprensión a cerca de las propiedades y comportamiento de la naturaleza. Una de las técnicas mejor desarrolladas en los últimos años ha sido la obtención de imágenes satelitales de la tierra desde sensores incluidos sobre satélites que giran alrededor del planeta este es un proceso conocido como la teledetección. La teledetección es un conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos a través de datos adquiridos por un sensor que no está en contacto directo con el objeto de estudio

### **VENTAJA DEL PROCESO DE TELEDETECCIÓN**

Cabe preguntarse qué ventajas tiene el utilizar imágenes de satélite cuando existen muchas otras fuentes de datos geográficos, como fotografías aéreas, estudios sobre el terreno y mapas sobre papel. Para la mayoría de las aplicaciones, la respuesta más sencilla es que las imágenes de satélite son más rápidas, mejores y más baratas. La imagen del satélite es con frecuencia el medio más práctico para adquirir información geográfica aprovechable. Consideremos las ventajas de dichas imágenes:

#### **DIGITAL**

Casi todas las imágenes procedentes de satélite se adquieren digitalmente. Esto significa que no hay necesidad de efectuar conversiones de datos, escaneos o digitalizaciones. Con una preparación mínima, las imágenes quedan listas para ser cargadas directamente y utilizadas inmediatamente con su sistema SIG, de tratamiento de imágenes o sistema informático de cartografía. Dada su naturaleza digital, las imágenes satelitales se procesan, manipulan y realzan para extraer de ellas sutiles detalles e informaciones que otras fuentes no detectarían.

## **RÁPIDO**

En lo que tarda un equipo topográfico en descargar su material o un piloto en realizar las comprobaciones previas al vuelo, un satélite de teledetección levanta el mapa de un vasto bosque o el de una ciudad entera. Además, dado que los satélites se encuentran en orbitas estables, raramente tardan más de una semana en adquirir imágenes de la zona que le interesa.

## **ECONÓMICO**

Para zonas extensas, las imágenes de satélite resultan normalmente más económicas que la fotografía aérea o las campanas topográficas sobre el terreno.

## **GLOBAL**

Los satélites no están limitados por fronteras políticas ni geográficas.

Los satélites comerciales de teledetección se hallan en orbitas polares que los permiten sobrevolar todas las zonas del planeta. Un satélite de teledetección obtendrá una imagen de la zona que le interesa, independientemente de que este en la cima de una montaña o en medio del océano.

## **ACTUALIZADO**

En el mundo actual, en rápida mutación, necesitamos información actualizada para tomar decisiones críticas para nuestros proyectos. Cuando se imprimen, los mapas ya tienen meses o años. Sin embargo, puede disponer de una imagen de satélite un par de días después de su toma. De hecho, el mapa más actualizado que se puede tener es una imagen.

## **SINÓPTICO**

Los satélites de teledetección captan, en una sola imagen, detalles de la cubierta del suelo, carreteras e infraestructuras principales que se extienden por cientos o incluso miles de kilómetros cuadrados.

## **PRECISO**

La cámara no miente y tampoco lo hace un sensor de satélite. Dado que una imagen de satélite en bruto, sin procesar, se crea sin intervención humana, la información que contiene es una representación precisa, objetiva e imparcial de los objetos y detalles de la superficie terrestre.

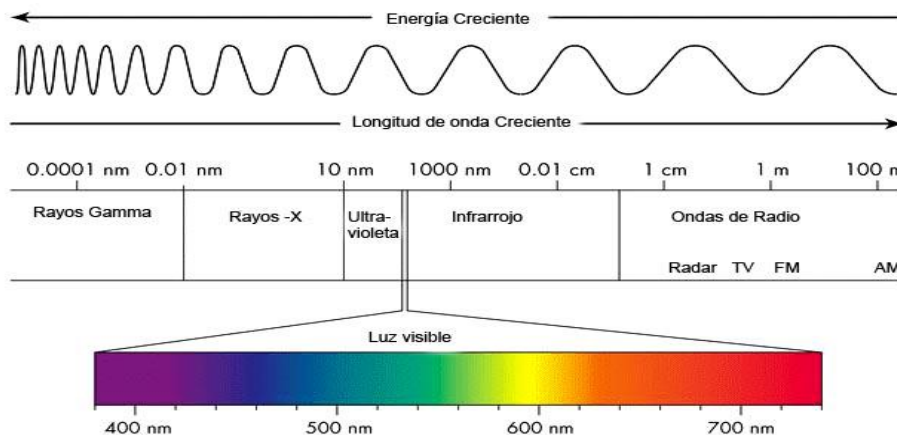
## **FLEXIBLE**

El tratamiento y la extracción de información de las imágenes de satélite pueden ser tan complicados o sencillos como se desee. No hace falta ser un científico espacial para observar imágenes de satélite e identificar una casa y un río crecido por la lluvia en sus proximidades, comprendiendo la relación entre ambos. De igual modo, se pueden sacar datos más complejos y aprender a combinar las imágenes con miles de datos geográficos distintos con capacitación en el manejo de los programas informáticos de aplicaciones geográficas y procesamiento de imágenes. Cobertura total de la superficie terrestre donde se obtienen imágenes de áreas inaccesibles.

## **FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN**

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 puedo obtener la información concreta que necesita para llevar a término su proyecto. Pero, al mismo tiempo, una gama más amplia de posibilidades complica lo elección del tipo de imágenes que ha de comprar. Esta sección le presentara 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 como 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 específica y bien definida. 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.



**Espectro electromagnético.**

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.

## **EVALUACIÓN DE SATÉLITES Y SENSORES**

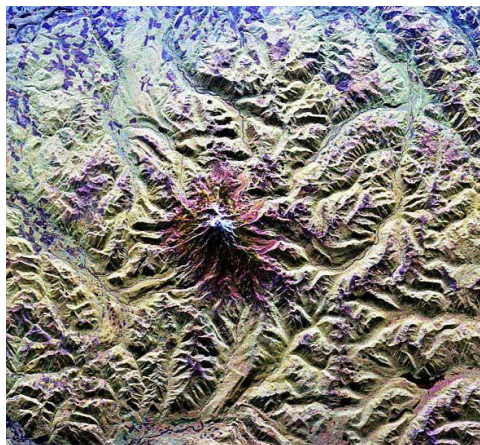
### **Los sensores de los satélites**

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 la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro. **Las imágenes multiespectrales** 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

multiespectrales de hoy en día miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de tres a catorce. **Las imágenes hiperespectrales** se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos. La teoría en lo que se apoya la detección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas.

### **SENSORES ACTIVOS Y PASIVOS**

Todas las referencias que hemos hecho sobre sistemas de imágenes pancromáticas y multiespectrales se ciñen a los llamados sensores electro-ópticos, que son el tipo más corriente que llevan a bordo los satélites de teledetección. No obstante, existe otro sensor, llamado radar de apertura sintética (SAR) que es cada vez más conocido por los usuarios. Los sensores electro-ópticos son instrumentos pasivos de captación de imágenes que miden la energía electromagnética proveniente, sobre todo, del sol y que rebota en la superficie terrestre. Se llaman pasivos porque no disponen, para transmitir, de su propia fuente de energía, por lo que sólo funcionan con luz diurna. (La única excepción a lo anterior es un sensor electro-óptico que mide la radiación térmica infrarroja, que no es reflejo del sol sino de fuentes generadoras tales como centrales eléctricas).



**Imagen de radar del Monte Rainier, en el estado de Washington.**

La elección de uno de los muchos tipos de sensores es una de las decisiones más importantes que habrá de tomar porque condiciona casi todas las elecciones posteriores de productos. En muchas de ocasiones, es una elección sencilla, ya que existen aplicaciones bien documentadas en las que cada tipo de sensor ofrece el máximo rendimiento. La información que se da a continuación le ayudará a elegir el tipo de sensor que mejor se adapte a su aplicación.

## **ELEGIR IMÁGENES A PARTIR DEL SENSOR ADECUADO**

### **Aplicaciones Pancromáticas**

- Localizan, identifican y miden accidentes superficiales y objetos, principalmente por su apariencia física, es decir, forma, tamaño, color y orientación.
- Identifican y cartografían con precisión la situación de los elementos generados por la acción del hombre, como edificios, carreteras, veredas, casas, equipamientos de servicios públicos, infraestructura urbana, aeropuertos y vehículos.
- Actualizan las características físicas de los mapas existentes.
- Trazan los límites entre tierra y agua.
- Identifican y cuantifican el crecimiento y desarrollo urbano.
- Permiten generar modelos digitales de elevación de gran exactitud.
- Catalogan el uso del suelo.

### **Aplicaciones Multiespectrales**

- Distinguen las rocas superficiales y el suelo por su composición y consolidación.
- Delimitan los terrenos pantanosos.
- Estiman la profundidad del agua en zonas litorales.
- Catalogan la cubierta terrestre.

## **Aplicaciones de Radar de Apertura Sintética**

- Captan imágenes en zonas frecuentemente cubiertas por nubes, nieblas o inmersas en constante oscuridad.
- Localizan iceberg y hielo marino; cartografían otros estados de la superficie oceánica, como corrientes, olas, y poluciones petrolíferas.
- Cartografían aspectos del terreno muy sutiles, como tallas y pliegues.
- Permiten detectar y cartografiar cambios en la superficie terrestre debidos por ejemplo al crecimiento de la vegetación, a variaciones de la humedad del suelo, actividades agrícolas o forestales (labranza, deforestación), o incluso debidos a movimientos sísmicos (fallas, temblores, etc.).

## **Aplicaciones Aereofotogramétricas**

- Cartografían rasgos superficiales inferiores a un metro cuadrado.
- Cartografían zonas inferiores a 1000 kilómetros cuadrados.
- Cartografiado de precisión cronométrica para observar inmediatamente catástrofes naturales.

## **LAS CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN**

### **Rasterización frente a vectorización**

Los términos ráster y vector se emplean con frecuencia para describir los datos geoespaciales. Las imágenes digitales de satélite son conjuntos de datos rasterizados, lo que significa sencillamente que la imagen está comprimida en numerosos y diminutos elementos de imagen o píxeles que cubren la totalidad del área de la escena. Los conjuntos de datos vectoriales, por contraste, son mucho más abstractos y están compuestos por puntos, líneas y polígonos.

Por la propia naturaleza del proceso digital, las imágenes de satélite son del tipo ráster. Los sensores electro-ópticos exploran la tierra efectuando medidas de la energía electromagnética reflejada por miles de áreas terrestres definidas con exactitud. Tales áreas poseen una dimensión, llamada distancia de muestreo de tierra (GSD) y se corresponden con la resolución espacial y el tamaño de los píxeles. Por ejemplo, si un sensor tiene una GSD de 10 metros, ello significa que en su franja de imagen mide la reflectancia sobre una superficie de 10 x 10 metros. Si se trata de un sensor multiespectral, mide la reflectancia en varias bandas de distinta longitud de onda para cada área de 10 x 10 metros. Un píxel, o elemento de imagen, es la unidad más pequeña de imagen creada a partir de estas mediciones. A cada píxel se le asigna un valor, o número digital, basado en las medidas de reflectancia. Esta es la razón de que el tamaño de los píxel se relacione con la GSD. **La conversión de los píxeles y las GSD en imágenes** Durante el tratamiento de las imágenes, el ordenador convierte el valor de reflectancia de cada píxel en una escala de grises o de grado de brillo de color. La escala de gris monocromática se utiliza para representar márgenes pancromáticas puesto que éstas se componen de valores de reflectancia en una sola parte del espectro o banda. Esta es la razón por la cual las imágenes pancromáticas suelen ser en blanco y negro. En las imágenes multiespectrales, cada píxel tiene un color que se crea combinando niveles de brillo en rojo, verde y azul que se corresponden con los valores de la reflectancia en tres bandas diferentes. Las imágenes multiespectrales parecen fotografías en color debido a dicha combinación.

### **Unas pocas palabras sobre interpretación de imágenes**

Hay que tener en cuenta que los valores espectrales son sólo una parte de la información contenida en las imágenes de satélite. Cada píxel posee información espacial y espectral, lo cual significa que se pueden identificar visualmente accidentes y objetos del terreno por su apariencia física. Por ejemplo, un edificio cuadrado aparecerá cuadrado y una parcela agrícola redonda mostrará asimismo dicha forma. En lo que se refiere a la información espectral, la intensidad del color de la imagen revela también información. Por ejemplo, si se ha elegido el color rojo para representar la reflectancia del infrarrojo

cercano de una imagen, objetos tales como la vegetación verde, que reflejan totalmente la energía en esa longitud de onda, aparecerán de color rojo brillante. Otros niveles de brillo corresponden a la reflectancia en otras bandas. La interpretación de imágenes puede ir desde la simple inspección visual hasta la utilización de sistemas de tratamiento de imágenes que analizan y tipifican los rasgos del terreno basándose en el valor digital de las firmas espectrales. Los programas informáticos de tratamiento de imágenes y algunos de cartografía efectúan dicho análisis y tipificación con mucha mayor precisión que el ojo humano.

### **TÉRMINOS RELATIVOS A LAS IMÁGENES**

**RESOLUCIÓN ESPACIAL** — La resolución espacial se refiere a tamaño del objeto o característica del terreno de menor tamaño que se puede distinguir en una imagen. Se trata de una de las características más importantes que hay que considerar a la hora de elegir imágenes, porque determina de forma directa qué rasgos del terreno pueden cartografiarse. Esto es muy importante para evaluar los costos del proyecto dado que, generalmente, cuanto más detallada es una imagen más cara resulta por unidad de superficie.

### **RESOLUCIÓN ESPECTRAL**

Este término define las longitudes de onda en las que el sensor es capaz de medir la energía reflejada. Las longitudes de onda se expresan en micras ( $\mu\text{m}$ ). El número de bandas se utiliza asimismo para explicar cómo mide el sistema la reflectancia de varias longitudes de onda distintas. Por ejemplo, un sensor multiespectral de cuatro bandas mide la energía en cuatro longitudes de onda diferentes. Hay que tener en cuenta, no obstante, que una imagen multiespectral se compone casi siempre de tres bandas como mínimo porque una imagen a color sólo puede crearse adicionando los tres colores fundamentales (rojo, verde y azul).

## **PRECISIÓN**

Es esta una característica de la imagen que, con frecuencia, se pasa por alto y puede ser crítica para las aplicaciones cartográficas. Se refiere a la certeza con la que un objeto dado se encontrará sobre el terreno donde aparece en la imagen. Normalmente, la precisión se expresa en píxeles, que se pueden convertir fácilmente en metros. Por ejemplo, una imagen con resolución de 10 metros puede tener una precisión de un píxel, lo que significa que un objeto de dicha imagen puede estar descolocado 10 metros en cualquier dirección. Si bien esto puede parecer de gran inexactitud, no debe olvidarse que las imágenes son con frecuencia la fuente de información más precisa en comparación con los mapas, la aerofotografía y las bases de datos.

## **TAMAÑO DE LA ESCENA/COBERTURA**

Cada sensor del satélite posee una anchura de franja o campo de visión que determina el tamaño de una escena de imagen. El sensor recoge miles de medidas de reflectancia a lo largo de esta franja, pero este caudal de mediciones se divide habitualmente en escenas de dimensiones cuadradas. De este modo, si el ancho de la franja es de 60 kilómetros, el tamaño estándar de la imagen de toda la escena será de 60 x 60 km. La mayoría de los distribuidores de imágenes satelitales pueden "cortar" una subescena más pequeña de la escena total, tal como un cuarto o la mitad. Si el área de interés es muy pequeña, la compra de una subescena es una opción rentable. Si el área de interés es mayor que una escena estándar, se pueden solicitar dos o más escenas adyacentes y pedir que una consultora especializada realice con ellas un mosaico, es decir una sola imagen a partir de varias imágenes distintas pero adyacentes. El propio usuario puede hacer esta operación si dispone de un paquete de programas de procesamiento de imágenes.

## **ELECCIÓN DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL ADECUADA**

Un factor de importancia que hay que tomar en consideración cuando se buscan imágenes es la relación que existe entre el tamaño de la escena y la resolución espacial. Imaginemos una cámara con teleobjetivo. A medida que éste enfoca rasgos de pequeño

tamaño, el campo visual disminuye. Esto se aplica también a las imágenes de satélite. Una gran resolución espacial digamos un metro, se corresponde con un área de cobertura pequeña (y archivos digitales de gran tamaño). Al escoger una imagen, se deben equilibrar estas dos características de forma que la resolución espacial sea lo bastante alta como para distinguir los objetos que se necesita identificar. No obstante, el tamaño de la escena ha de ser lo suficientemente ancho como para colocar en ello dichos objetos en su perspectiva adecuada. Dicho de otro modo: no debemos dejar que los árboles nos impidan ver el bosque.

## **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 cosos. 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 y países enteros.
- Sigue eventos regionales como plagas de insectos, sequía y desertificación.

## **INTRODUCCIÓN A LOS PRODUCTOS DE IMÁGENES**

### **EXPLICACIÓN DE LOS PRODUCTOS CORRIENTES**

Uno de los aspectos más valiosos de las imágenes digitales es que pueden ser procesadas, manipuladas y realizadas por computadora para generar una serie de productos de información diferentes. A continuación se enumeran algunos de los productos más corrientes que se extraen de las imágenes obtenidas por satélite. Muchos de ellos pueden adquirirse directamente del distribuidor de imágenes. También es posible comprar las imágenes en bruto y contratar a una empresa especializada para extraer de ellas productos personalizados. Esta tarea puede llevarla a cabo el usuario final si dispone de programas de procesamiento de imágenes.

**MAPAS DE CLASIFICACIÓN** — Son probablemente los de tipo más común entre los creados a partir de imágenes de satélite. En estos mapas temáticos, las zonas de terreno se clasifican y agrupan en clases de ocupación y uso del suelo. Las clasificaciones pueden ser amplias, como zonas urbanas, boscosas, de campo abierto y de aguas. También pueden ser muy específicas, diferenciando campos de maíz, trigo, soja o remolacha. Normalmente, los distintos tipos de terreno están codificados por colores. También se utilizan para determinar zonas de interés.

**MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM)** — Llamados también modelos digitales del terreno, estos conjuntos de datos contienen medidas de la elevación del terreno obtenidas aplicando procedimientos fotogramétricos solapados. Los DEM se usan con frecuencia para crear modelos tridimensionales y en los programas informáticos de visualización comúnmente usados en ingeniería civil, cartografía geológica y simulación de vuelo. Actualmente existen dos conocidos satélites que toman imágenes con un par estereoscópico: Ikonos y Aster de los cuales se pueden obtener modelos de elevación digital a 1 y 15 metros respectivamente.

**FUSIONES** — Es posible fundir dos tipos de imágenes de satélite distintas para crear un producto híbrido que combine las ventajas de ambas imágenes. Lo más habitual es fundir una imagen pancromática, como la SPOT de 10 metros con otra multispectral SPOT de 20 metros o Landsat de 30 metros. Esto produce una imagen que contiene los datos multispectrales y la información espacial de la imagen pancromática.

**MOSAICOS** — Es frecuente que la escena de la imagen del satélite no abarque el área de interés en su totalidad. En ese caso se pueden solicitar dos o más escenas adyacentes y el distribuidor efectuará un mosaico utilizando complejos algoritmos informáticos que hagan coincidir exactamente los bordes de las escenas y equilibren los colores para crear una base de datos sin fisuras de la zona extensa.

**DETECCIÓN DE CAMBIOS** — Para crear una imagen de detección de cambios se aplican algoritmos especiales a dos imágenes de satélite de la misma zona, tomadas en momentos distintos. El ordenador examina todos y cada uno de los píxeles de las dos escenas para determinar qué valores de píxel ha cambiado. En la mayoría de los casos, el área modificada se resalta en color. Este procedimiento se utiliza habitualmente para cartografiar automáticamente extensas zonas e identificar cambios como nuevos edificios, carreteras, urbanizaciones y también desastres naturales como inundaciones, aluviones, etc. De este modo se identifican también cambios radicales, como la transformación de bosques en zonas de cultivo.

## **RESOLUCIÓN DIGITAL**

Resolución de la Imagen Escala topográfica típica

1000 metros 1:1.500.000

30 metros 1:80.000

20 metros 1:50.000

10 metros 1:25.000

5 metros 1:12.000

1 metro 1:2.000

## **NIVELES DE PROCESAMIENTO DE LOS PRODUCTOS**

Las imágenes obtenidas por los satélites pueden tratarse para realzar su apariencia visual y su exactitud geométrica. Al comprar las imágenes, el proveedor ofrece múltiples posibilidades de procesamiento y es muy importante considerar qué grado de procesamiento se va a necesitar. Esta elección se hará, principalmente, de acuerdo con el tipo de programa informático que se utilizará para trabajar con las imágenes.

### **DATOS EN BRUTO**

Se trata del nivel inferior del procesamiento. En la mayoría de las imágenes de satélite, los datos en bruto poseerán cierto grado de corrección geométrica y radiométrica, lo que significa, simplemente, que se han eliminado las distorsiones causadas por el propio sensor.

### **CORRECCIÓN GEOMÉTRICA**

Los datos de las imágenes se han vuelto a muestrear para corregir los errores geométricos causados por la rotación terrestre y el ángulo de incidencia del sensor.

## **GEOCODIFICACIÓN BÁSICA**

Los datos se transportan a coordenadas geográficas utilizando para ello la información de ubicación registrada por el satélite cuando se captó la imagen que, a continuación, se traslada a la proyección topográfica preferida por el cliente.

## **GEOCODIFICACIÓN TOTAL**

Los datos se corrigen mediante puntos de control en tierra, tanto procedentes de mapas como de mediciones GPS.

## **ORTO RECTIFICACIÓN**

La orto rectificación es un proceso computacional por el que se eliminan de las imágenes las distorsiones horizontales y verticales principalmente debidas al relieve. Este proceso mejora de forma espectacular la calidad y utilidad de la imagen porque le otorga las mismas cualidades que posee un mapa.

## **REALCE**

El proveedor aplica algoritmos informáticos para aumentar la calidad de la imagen y destacar ciertos rasgos. El realce más común realizado por el proveedor es el llamado "Contrast Stretching", por el que se reasignan los valores de reflectancia de los píxeles para abarcar toda la gama de la escala de 256 tonos de gris. Este procedimiento se asemeja a ajustar el mando de un receptor de televisión. Evita que se pierdan detalles en zonas muy oscuras o muy brillantes.

## **PRODUCTOS ESPECÍFICOS**

De las imágenes de satélite se pueden obtener muchos productos así como pueden ser utilizar en diversas aplicaciones. Desde tener una imagen a color con una grilla sobrepuesta (como si fuera un mapa para ir a visitar el terreno) y tener mayor claridad de la morfología, hasta obtener zonas alteración hidrotermal requeridas por una compañía minera en el rubro de la exploración minera. Cualquier producto imaginable desde una

imagen satelital se puede obtener con el conocimiento necesario de sus capacidades y de cómo procesar los datos originales.

### **SISTEMA DE OBSERVACIÓN TERRESTRE**

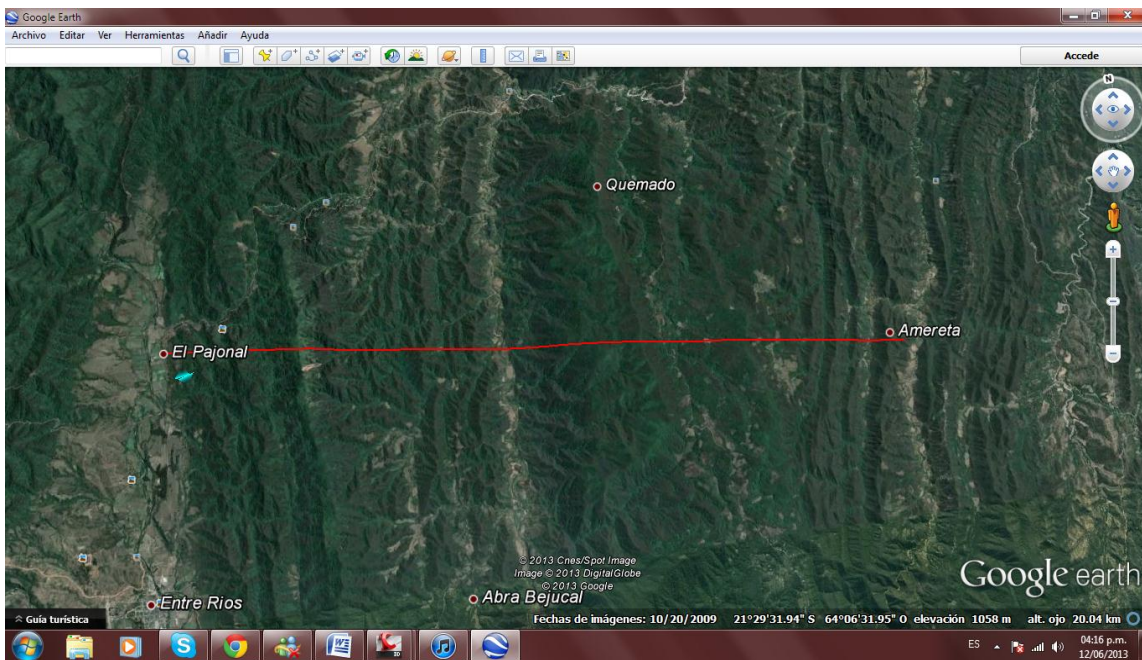
El sistema de observación terrestre es EOS (EARTH OBSERVING SYSTEM) es la pieza central de la empresa sobre Ciencias de la Tierra de la NASA compuesta por una serie de satélites, componentes de la ciencia y de un sistema de datos que apoya una serie coordinada de satélites de órbita polar y baja inclinación para observaciones globales a largo plazo de la superficie de la tierra, de la biosfera, atmosfera y de los océanos permitiendo una mejor comprensión del planeta como un sistema integral. Desde la creación de la Administración Aeronáutica y Espacial Nacional NASA ha estado estudiando el planeta tierra y sus cambios ambientales mediante la observación de la atmosfera. Al conocer las variables que afectan el entorno, se ha accedido a una mejor comprensión del ambiente global explorando los sistemas terrestres (aire, tierra y agua).

## **CAPÍTULO V**

## CAPÍTULO 5 APLICACIÓN PRÁCTICA

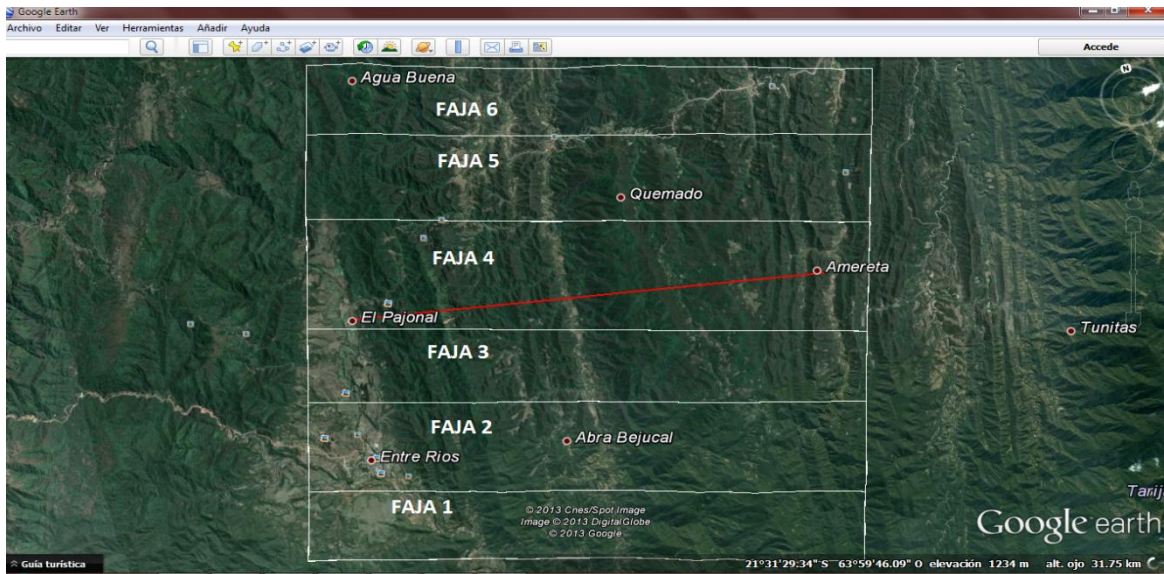
### 5.1 Ubicación del tramo

El tramo en estudio corresponde a la unión de los puntos A y B: como punto A ubicamos la zona de EL PAJONAL con las coordenadas Latitud: 378974.178 y Longitud: 7623734.0610 y como punto B la zona de AMERETA con las coordenadas Latitud: 393225.810 y Longitud: 7622034.117, ambos puntos unidos en línea recta por una distancia de 14.63 km, ubicados en el departamento de Tarija en la Provincia de O'Connor. El Municipio de Entre Ríos está ubicado en la parte central del Departamento de Tarija. Limita al norte con el Departamento de Chuquisaca, al Sud y al Este con la Provincia Gran Chaco, al Oeste con la Provincia Cercado, hacia el Noroeste con la Provincia Méndez y hacia el Sudoeste con las Provincias Avilés y Arce. De manera general la Provincia O'Connor presenta un clima mesotérmico templado – cálido y húmedo, inviernos templados y secos. De manera particular se distinguen zonas de clima templado cálido sub-húmedo en la parte norte, meridional y sur, mientras la parte noreste presenta un clima templado cálido semiárido, con zonas repletas de vegetación y también compuestas por una variedad de ríos en sus dimensiones territoriales.

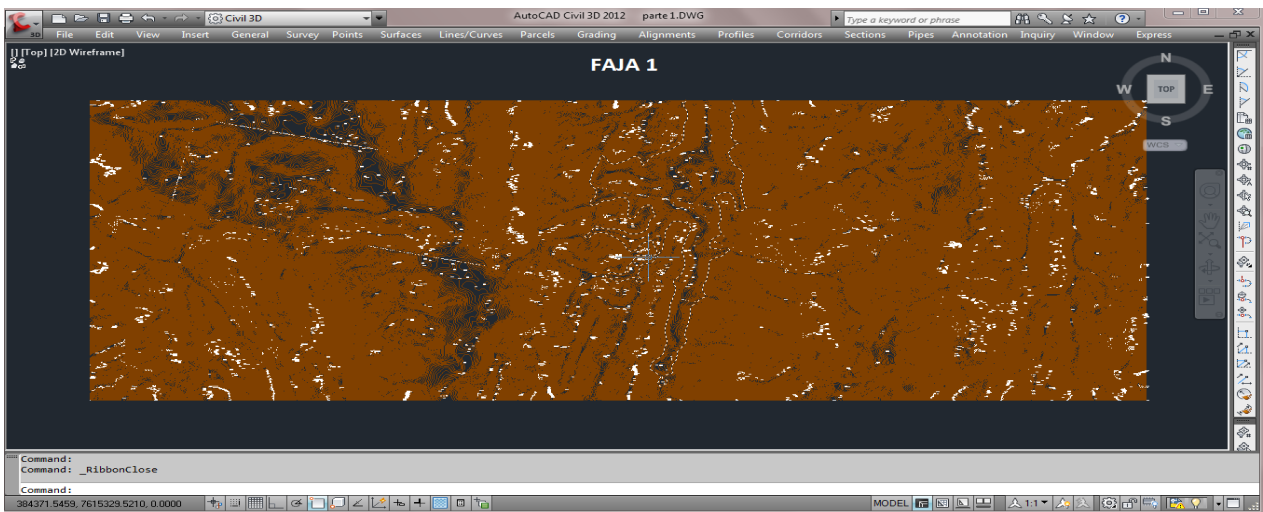


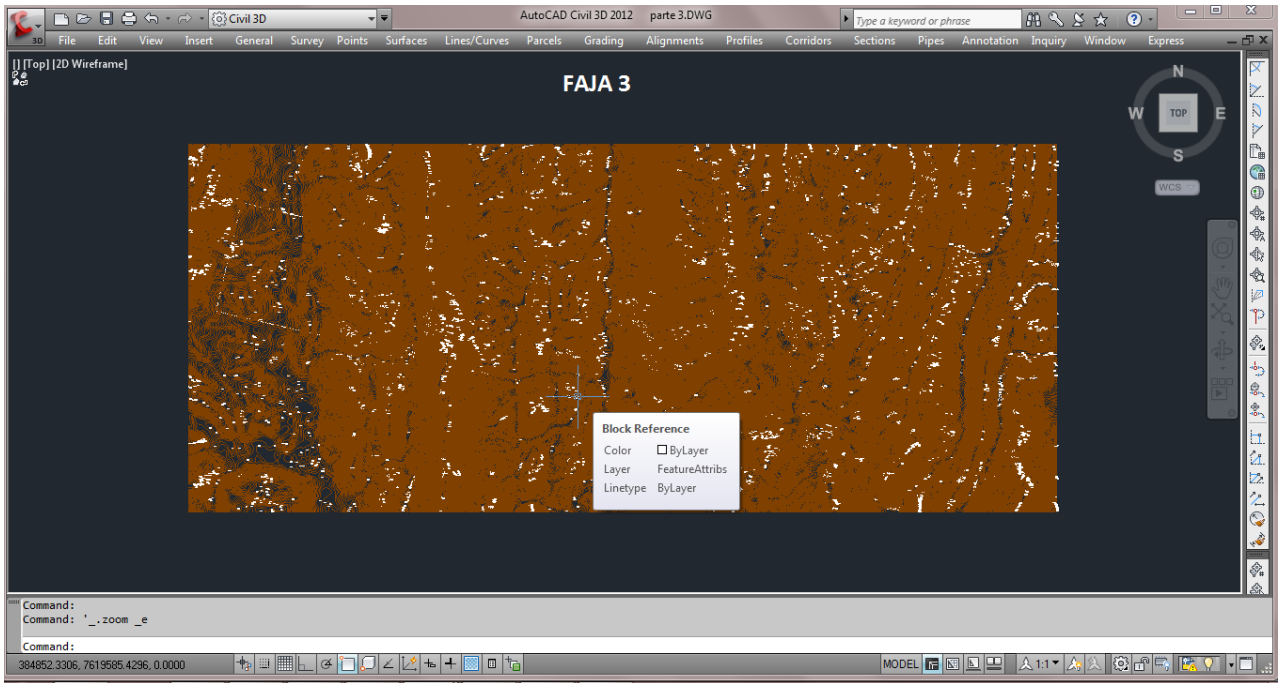
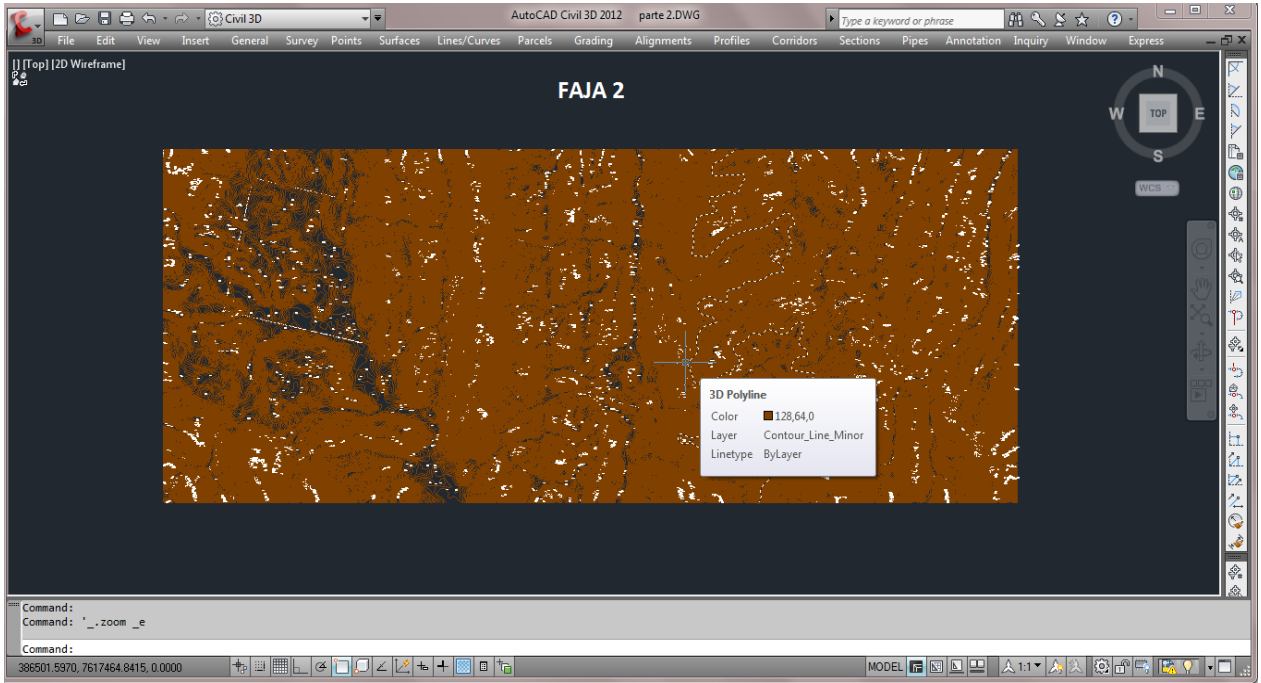
## 5.2 Generación de curvas de nivel para el área de estudio:

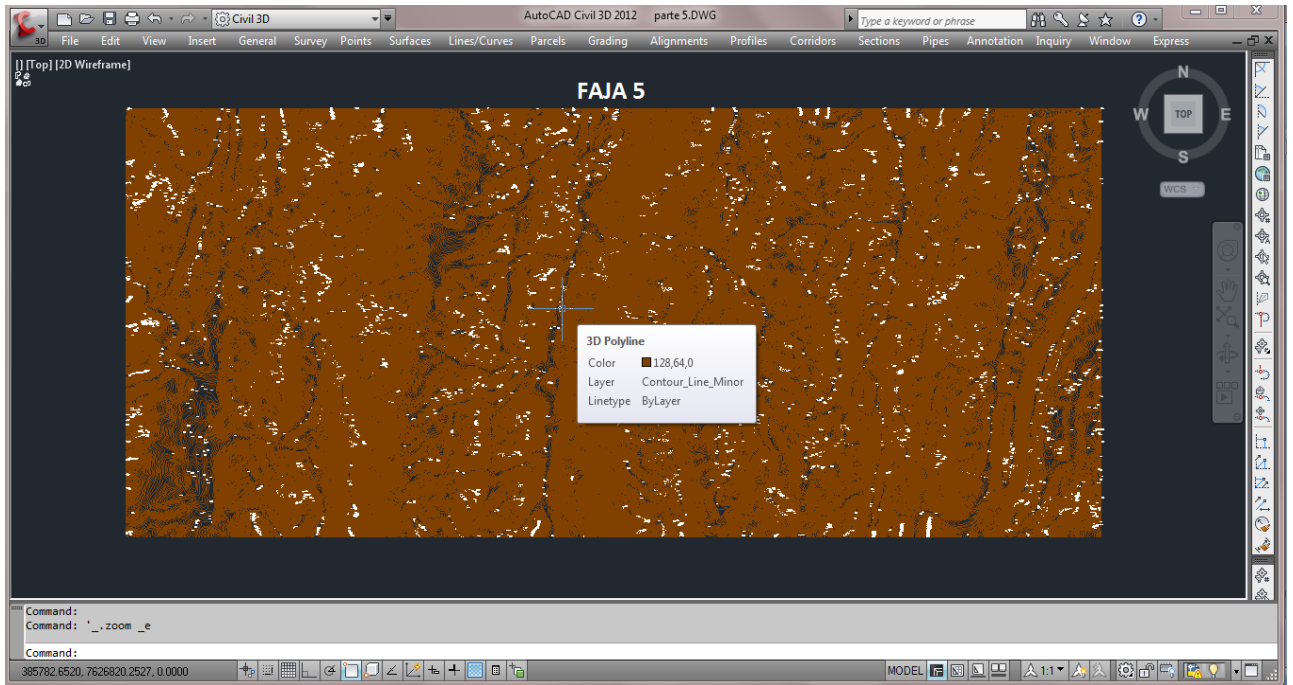
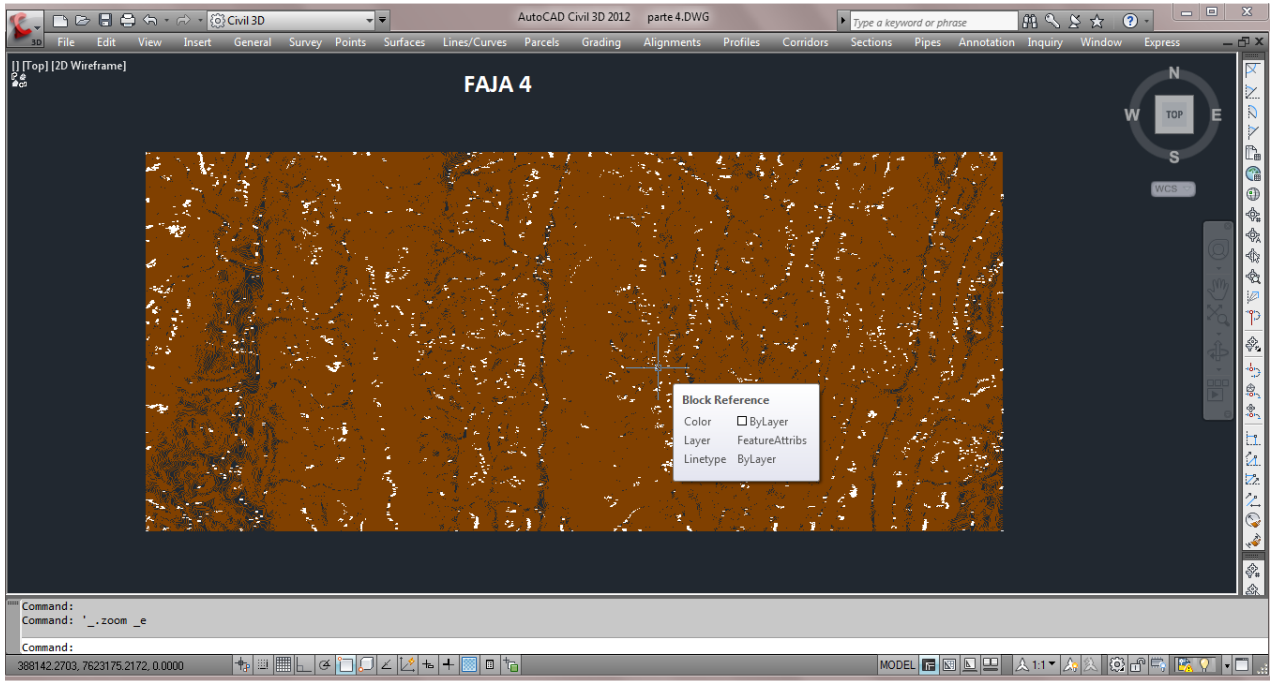
Para la generación de las curvas de nivel se procedió a delimitar un polígono en el programa Google Earth y a la vez sub dividirlos para luego empalmar las fajas de curvas de nivel para conformar un solo polígono de toda la área de estudio, con la ayuda del Programa Global Mapper se procedió a obtener las curvas de nivel de cada segmento.



Una vez divididas las fajas se procedió a obtener las curvas de nivel de cada una de ellas para conformar toda la zona de estudio:



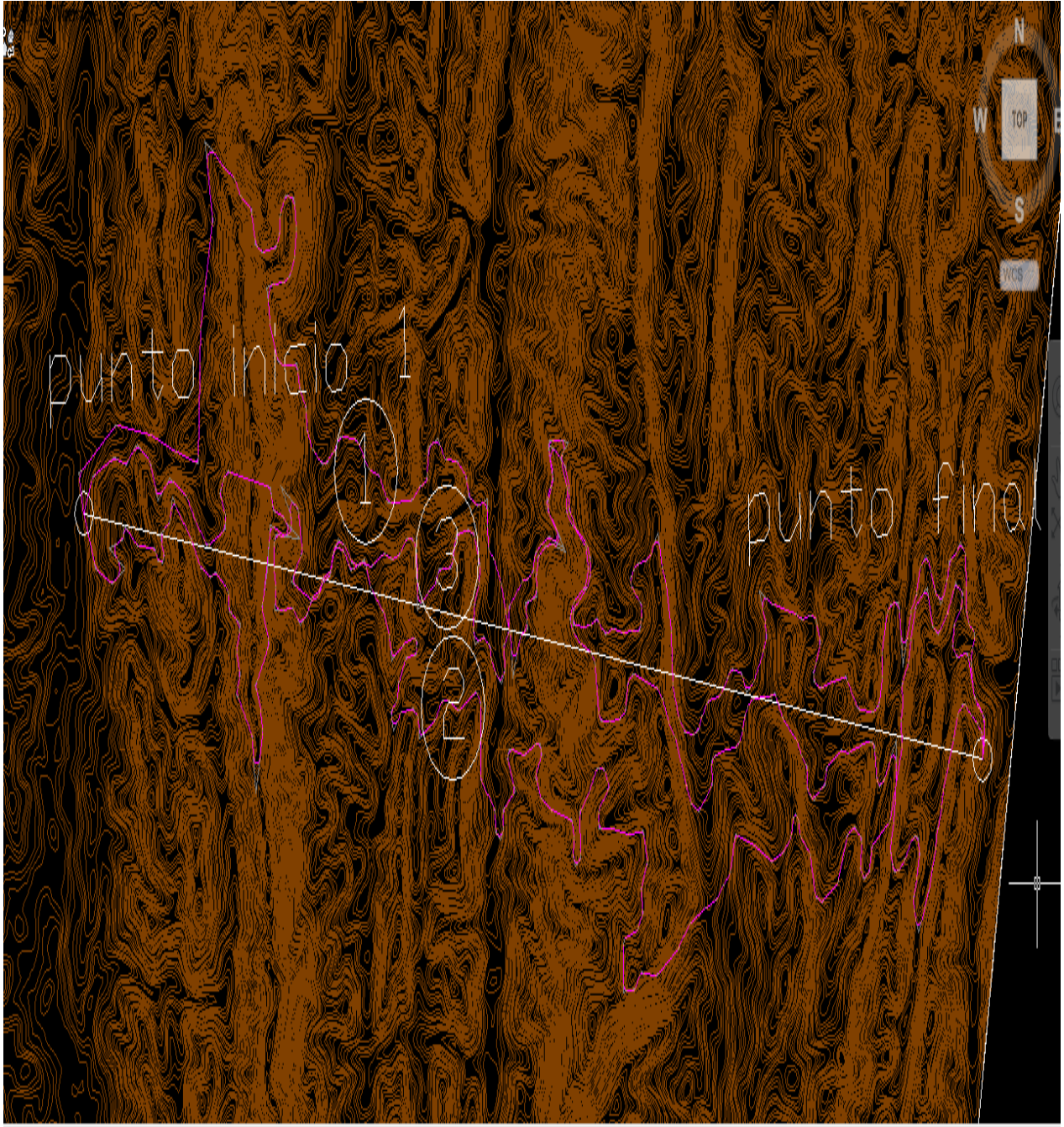






### 5.3 Trazado de línea a pelo de tierra o línea cero para alternativas:

En este proyecto se hizo el análisis de 3 alternativas de acuerdo a los siguientes parámetros:

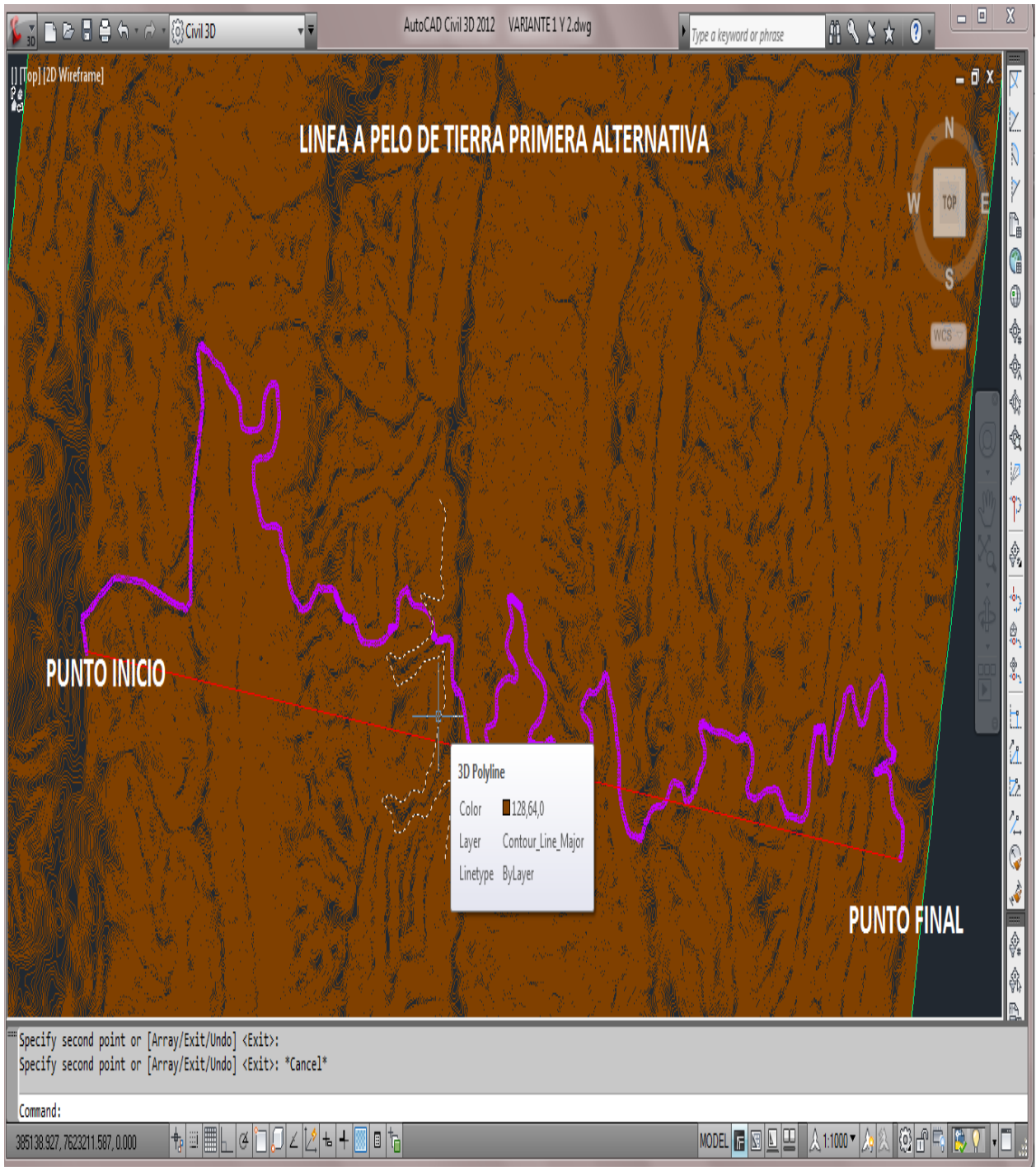


Velocidad de diseño: 40 km/h

Pendiente máxima para terreno montañoso: 12%

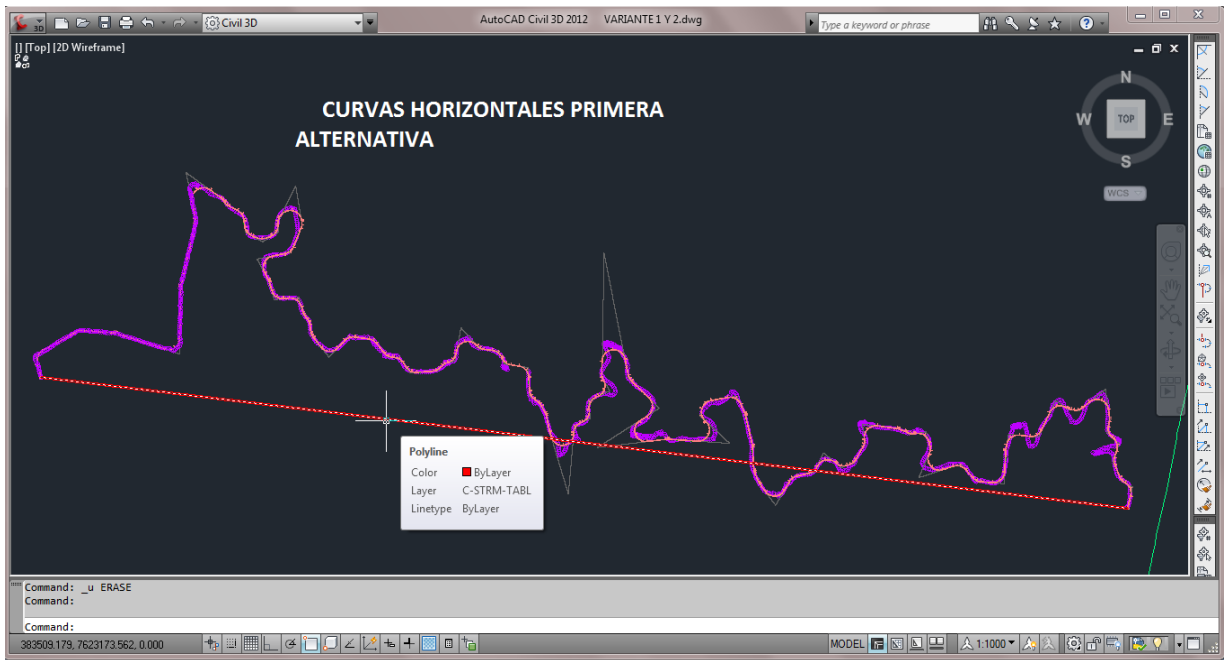
### 5.3.1 Primera alternativa:

### 5.3.2 Línea a pelo de tierra



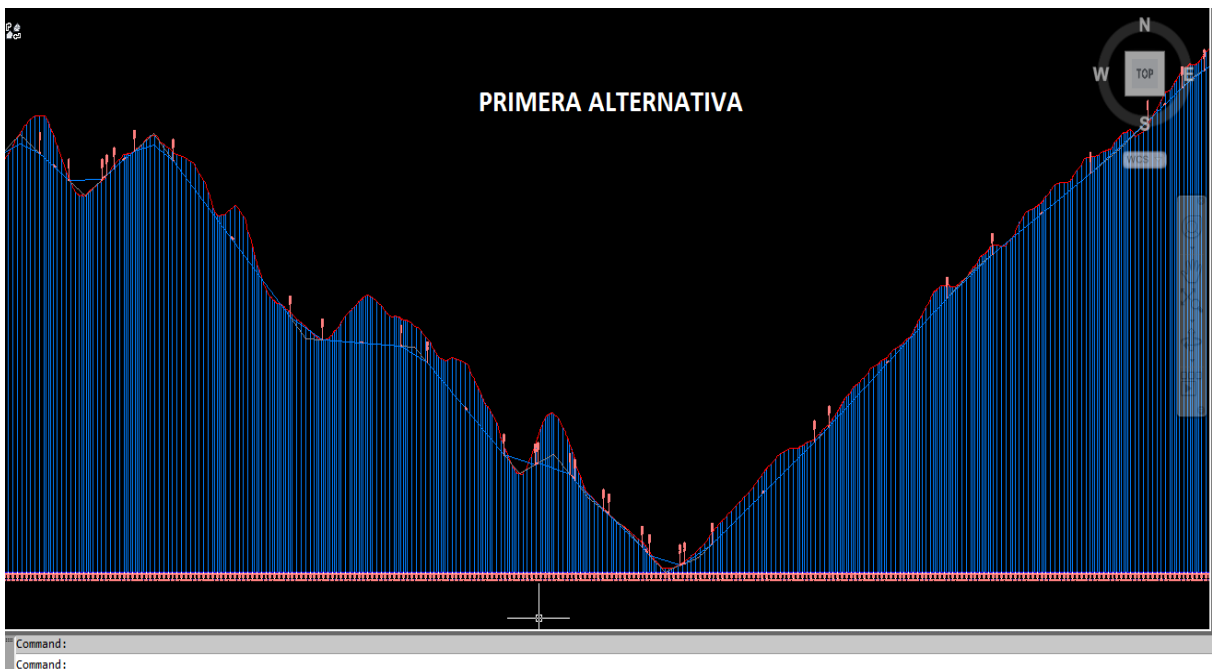
### 5.3.3 Curvas horizontales:

Radio mínimo para velocidad 40 km/h: 45 m



### 5.3.4 Curvas verticales:

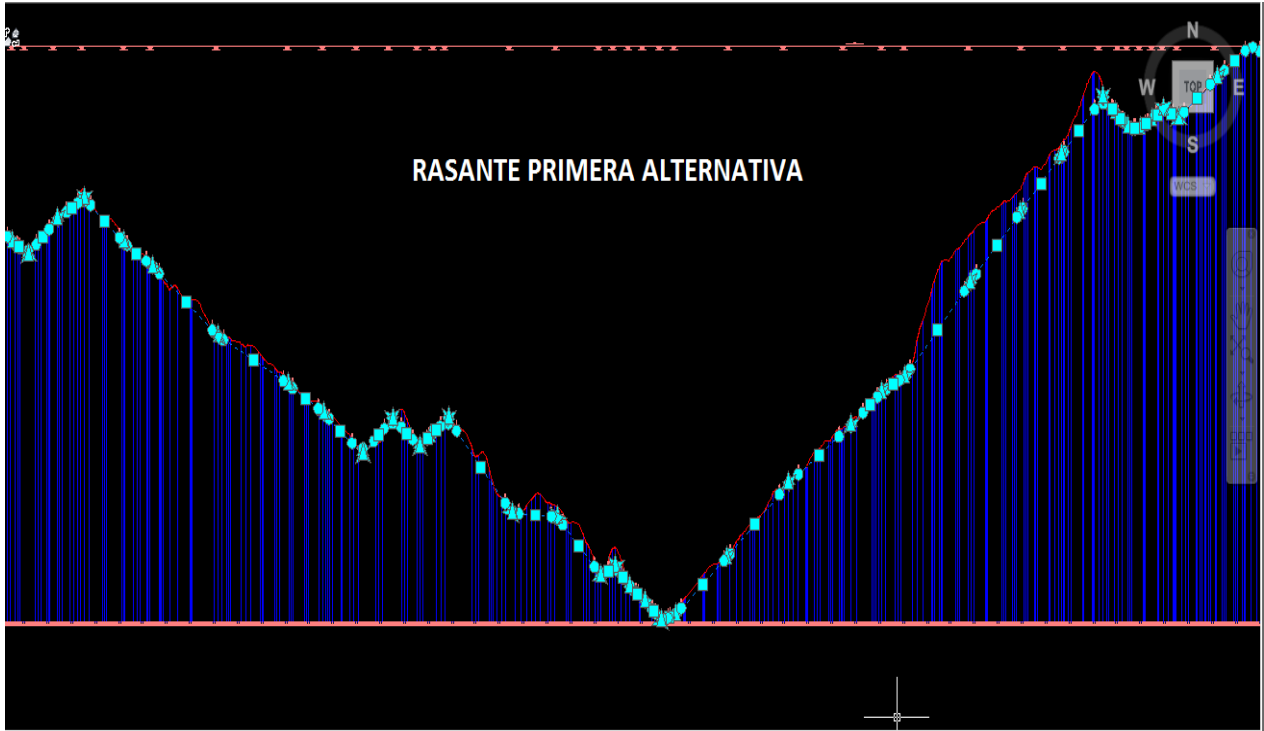
Perfil de terreno:



Rasante Primera Alternativa:

K mínimo para velocidad 40 km/h: 9

Pendiente máxima para terreno montañoso: 12%



5.3.5 Sección tipo:

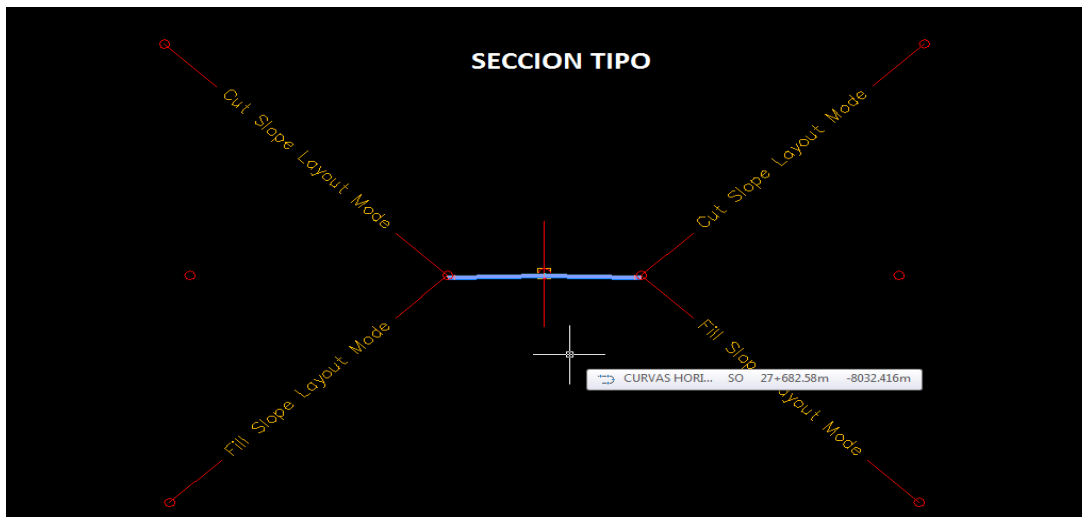
Para la sección tipo usada se tomo en cuenta los siguientes parámetros:

Ancho de cada carril: 3.5 m

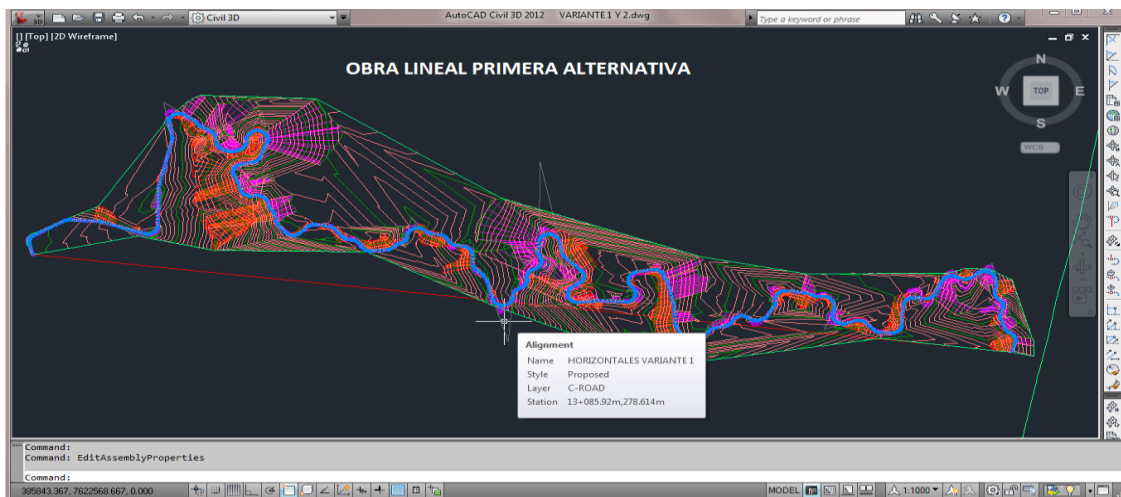
Ancho de berma: 0.20 m

Bombeo: 2%

Taludes 1:3 para corte y 1:1.5 para relleno según norma ABC.

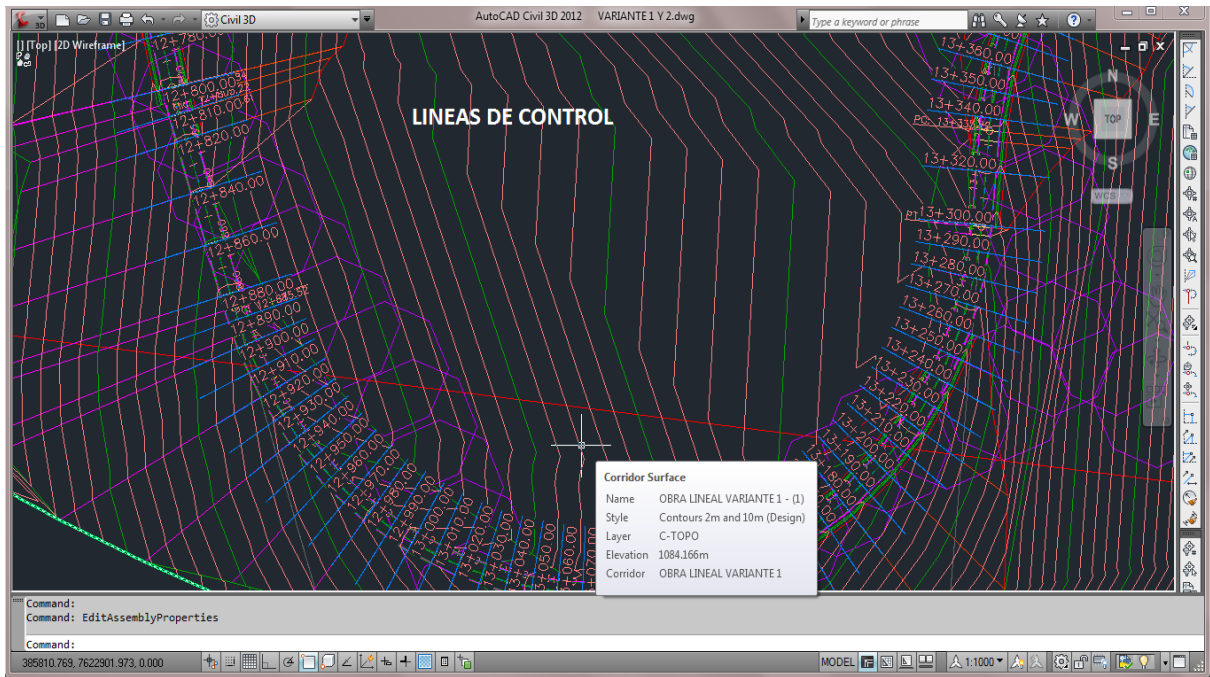


### 5.3.6 Obras lineales:



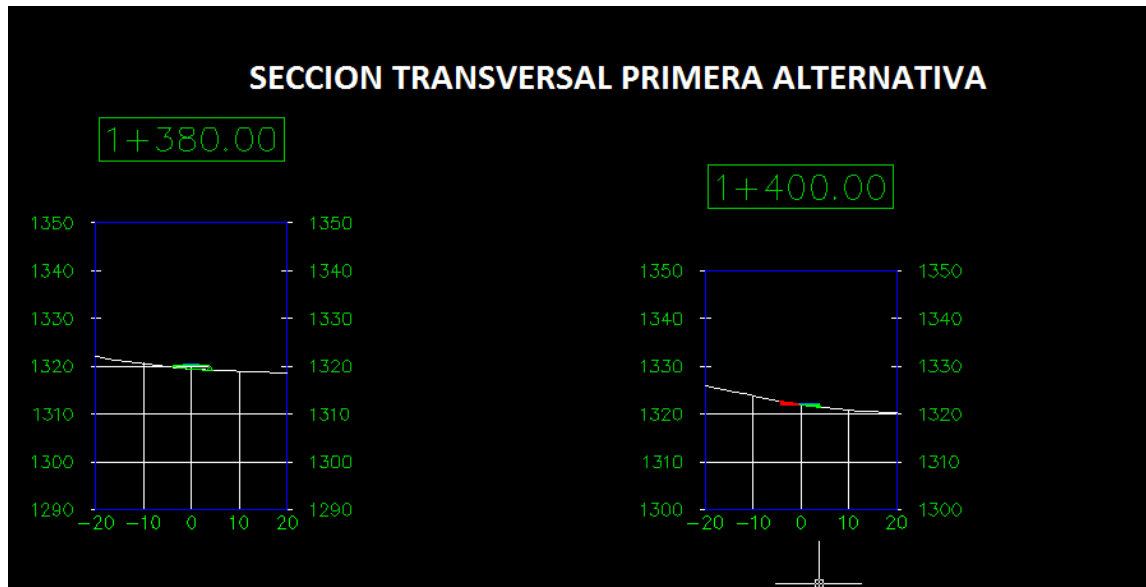
### 5.3.7 Líneas de control:

Para rectas cada 20m; Para curvas cada 10m



### 5.3.8 Secciones transversales:

Todas las secciones transversales serán observadas de mejor manera en la parte de ANEXO de la alternativa elegida.



### 5.3.9 Tabla de movimiento de tierra:

Aquí presentamos la última tabla de movimiento de tierra las demás serán ubicadas en la parte de ANEXOS de la alternativa elegida.

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
29+160.00	0.00	40.47	0.00	667.43	84564.41	2297895.86
29+180.00	0.00	67.65	0.00	1081.22	84564.41	2298977.08
29+200.00	0.00	63.63	0.00	1312.80	84564.41	2300289.87
29+220.00	0.00	64.93	0.00	1285.64	84564.41	2301575.51
29+240.00	0.00	73.40	0.00	1383.36	84564.41	2302958.87
29+260.00	0.00	84.06	0.00	1574.68	84564.41	2304533.55
29+280.00	0.00	76.74	0.00	1608.06	84564.41	2306141.60
29+300.00	0.00	57.50	0.00	1342.44	84564.41	2307484.04
29+320.00	0.02	18.16	0.16	756.59	84564.56	2308240.63
29+326.68	3.20	5.39	10.73	78.62	84575.29	2308319.25

Los datos en el recuadro son los volúmenes acumulados tanto de corte y relleno.

### 5.3.10 Obras de Arte Mayor

La ubicación de obras de arte mayor se las siguió de la siguiente manera. Haciendo la utilización de las imágenes satelital se puedo apreciar que solo tendremos.

Cantidad de obras Mayores = 1

Descripción: Puente

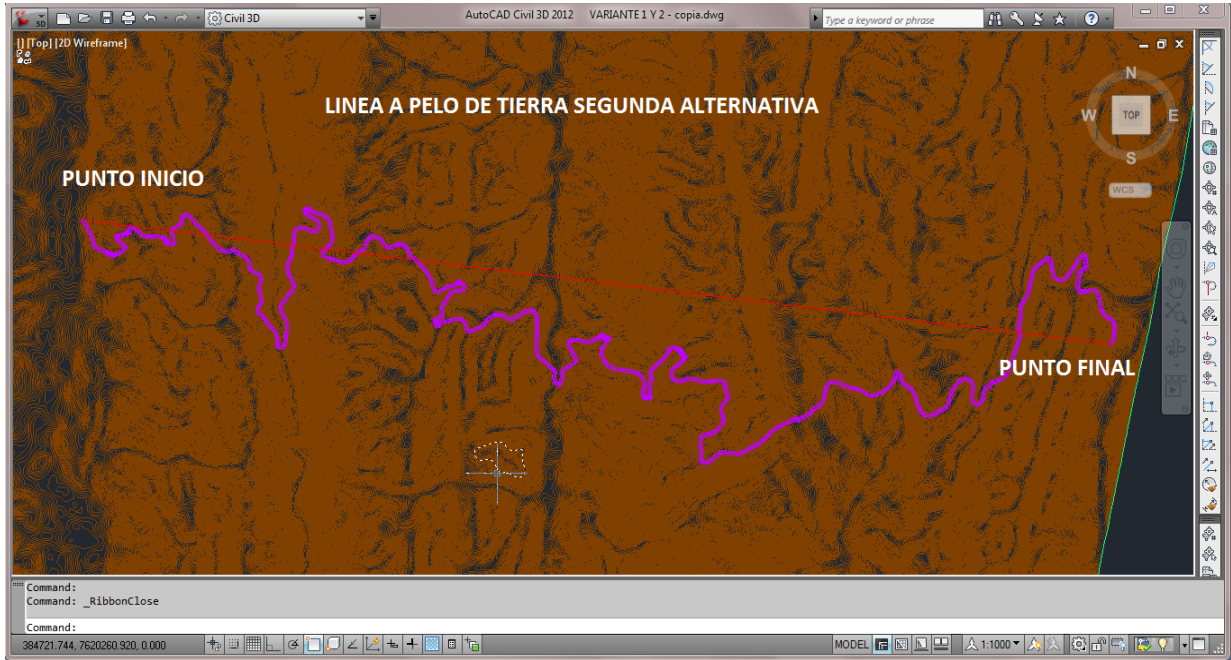
Longitud= 35.716 m

Progresiva: 12+527.04 – 12+562.756



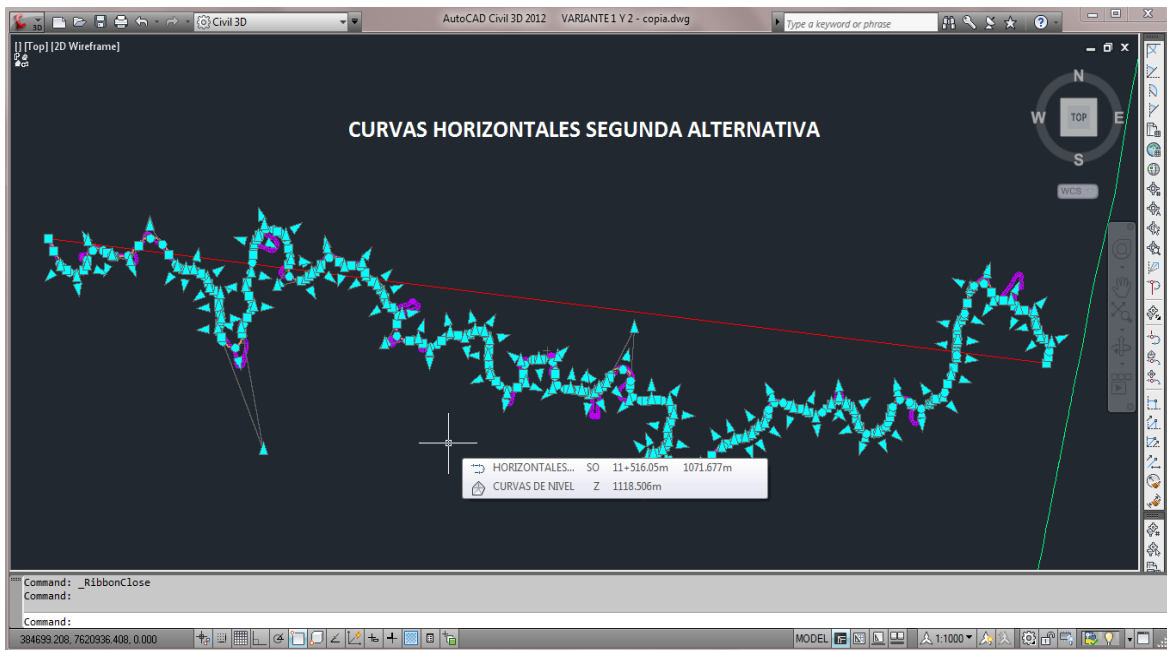
### 5.4.1 Segunda alternativa:

### 5.4.2 Línea a pelo de tierra



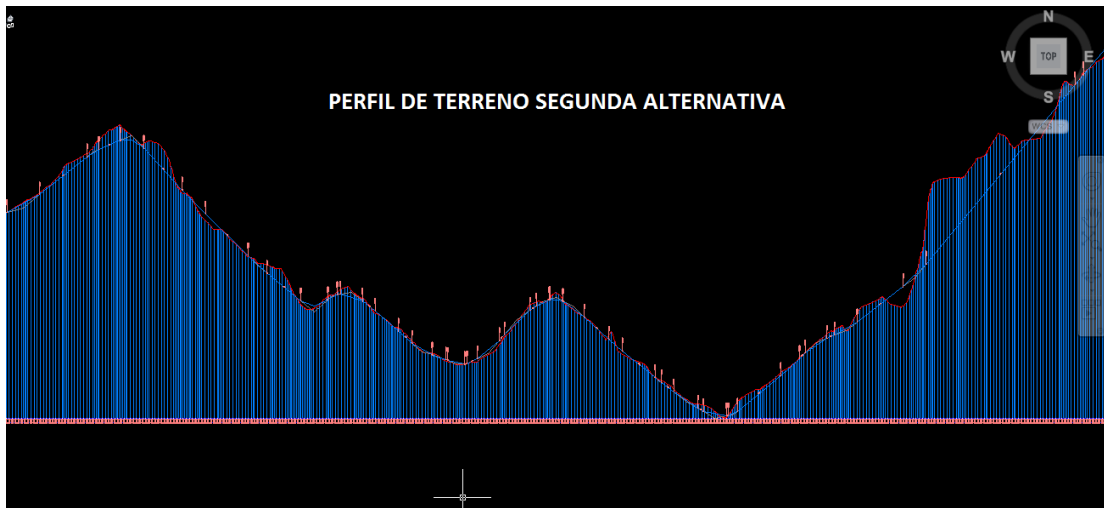
### 5.4.3 Curvas horizontales:

Radio mínimo para velocidad 40 km/h: 45 m



#### 5.4.4 Curvas verticales:

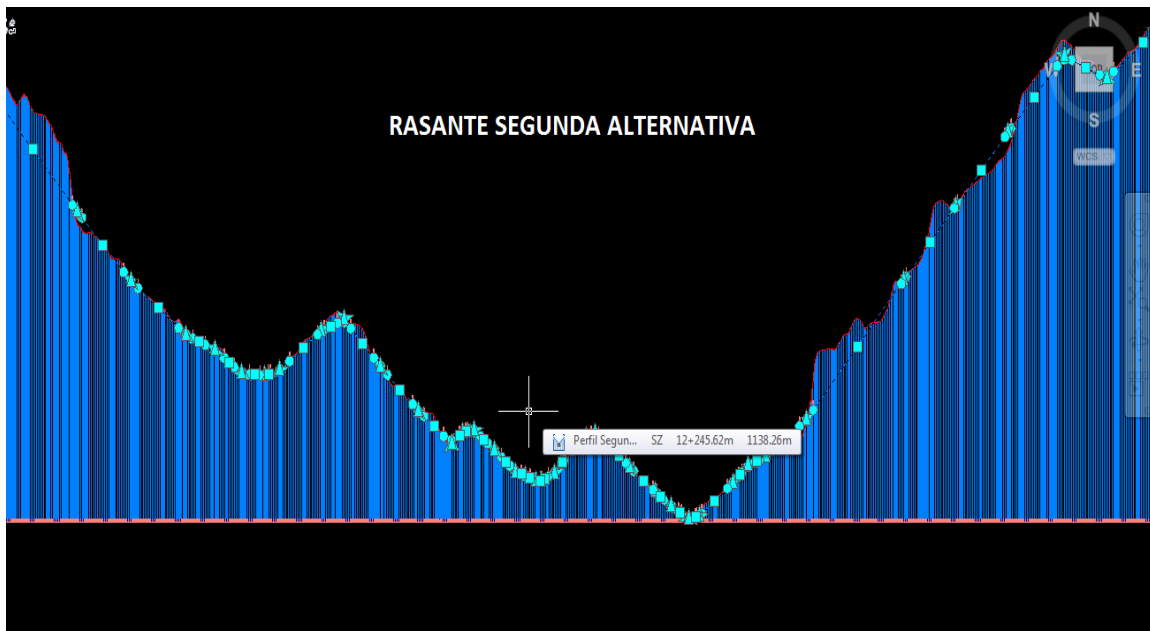
Perfil de terreno:



Rasante Primera Alternativa:

K mínimo para velocidad 40 km/h: 9

Pendiente máxima para terreno montañoso: 12%



### 5.4.5 Sección tipo:

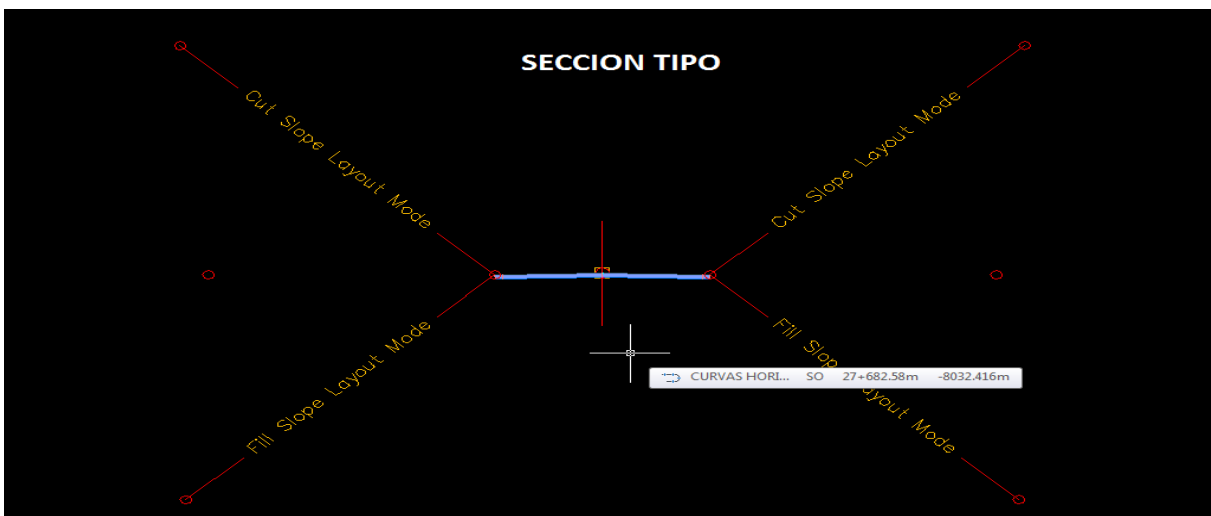
Para la sección tipo usada se tomo en cuenta los siguientes parámetros:

Ancho de cada carril: 3.5 m

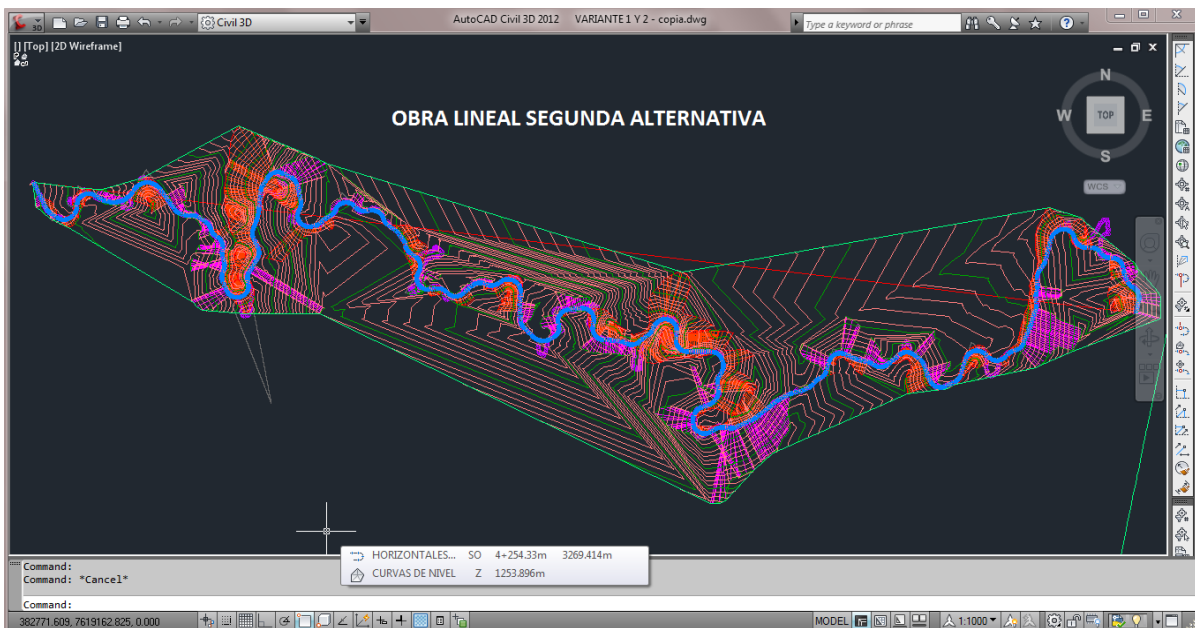
Ancho de berma: 0.20 m

Bombeo: 2%

Taludes 1:3 para corte y 1:1.5 para relleno según norma ABC.

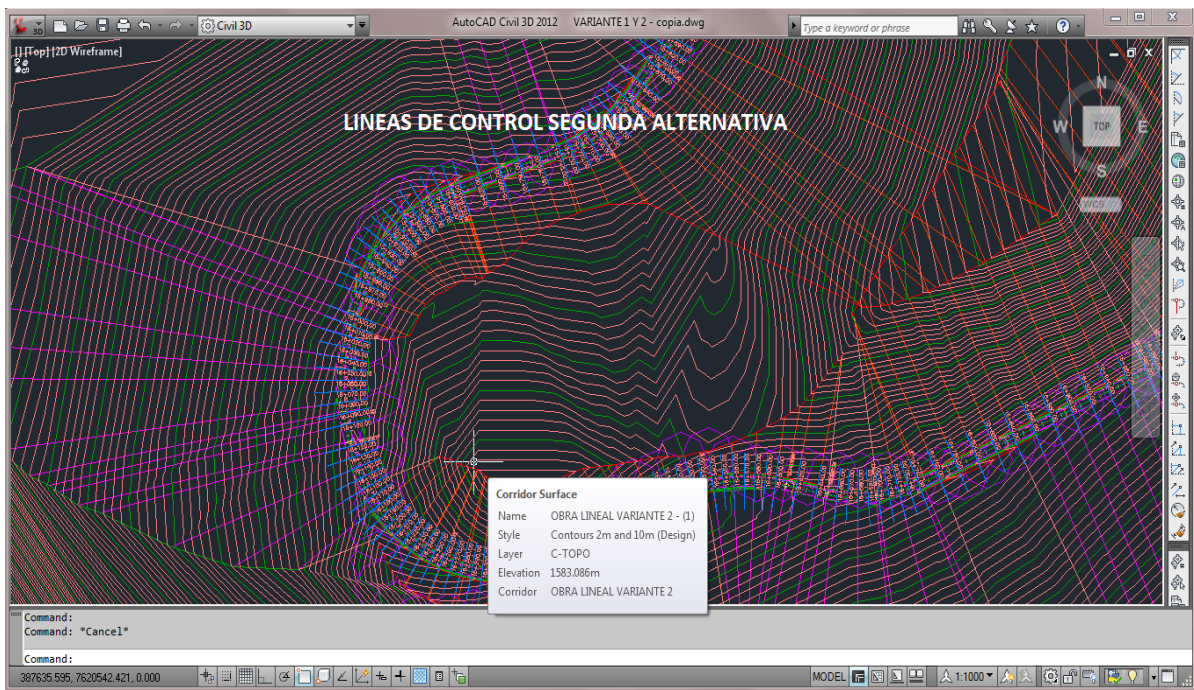


### 5.4.6 Obras lineales:



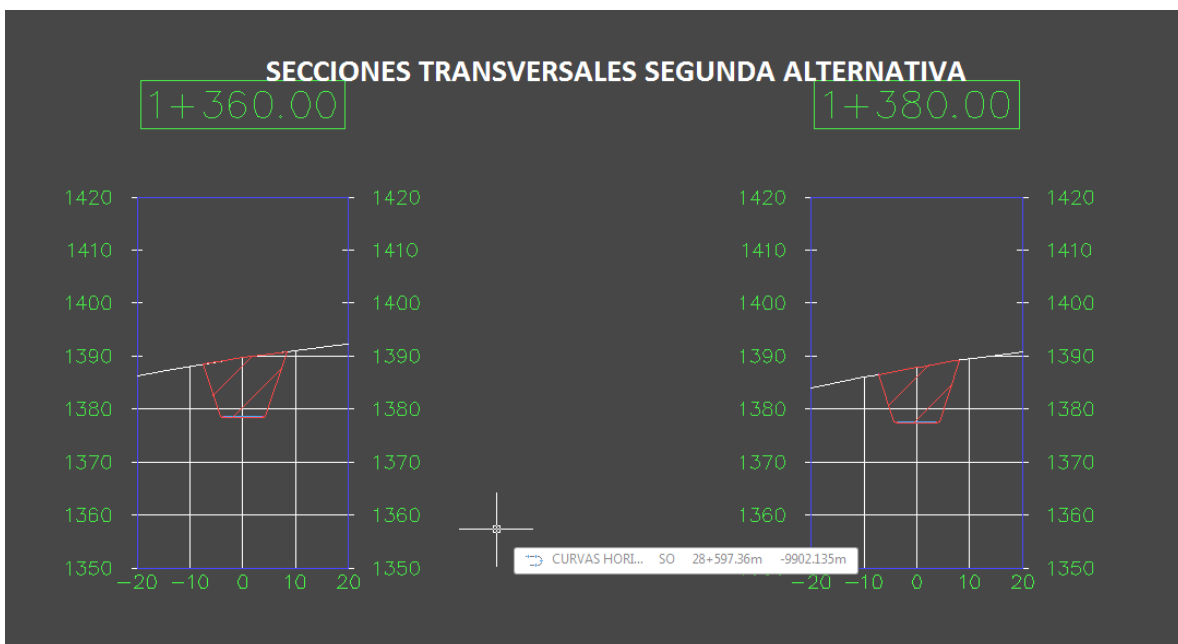
### 5.4.7 Líneas de control:

Para rectas cada 20m; para curvas cada 10m



### 5.4.8 Secciones transversales:

Todas las secciones transversales serán observadas de mejor manera en la parte de ANEXOS, de la alternativa elegida.



#### 5.4.9 Tabla de movimiento de tierra:

Aquí presentamos la última tabla de movimiento de tierra las demás serán ubicadas en la parte de ANEXOS de la alternativa elegida.

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
30+020.00	0.00	54.94	0.00	863.56	349181.13	2279600.57
30+040.00	0.00	69.92	0.00	1248.60	349181.13	2280849.17
30+060.00	0.00	64.99	0.00	1349.07	349181.13	2282198.25
30+080.00	0.00	55.66	0.00	1206.54	349181.13	2283404.78
30+100.00	1.97	8.92	19.70	645.81	349200.83	2284050.59
30+102.02	3.63	5.97	5.67	15.05	349206.49	2284065.64

Los datos encerrados son los volúmenes acumulados tanto de corte y relleno.

#### 5.4.10 Obras de Arte Mayor

La ubicación de obras de arte mayor se las siguió de la siguiente manera. Haciendo la utilización de las imágenes satelital se puede apreciar que solo tendremos.

Cantidad de obras Mayores = 1

Descripción: Puente

Longitud: 31.195 m

Progresiva: 14+067.39 – 14+098.582



### 5.5.1 Tercera alternativa:

### 5.4.2 Línea a pelo de tierra

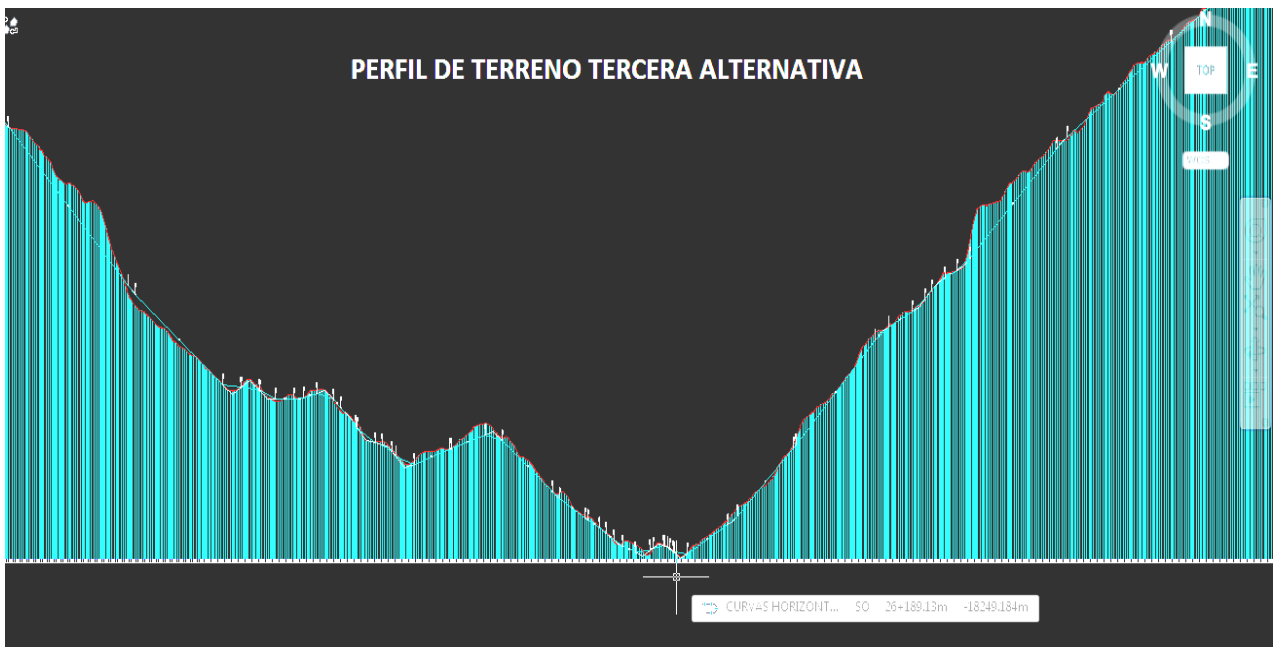


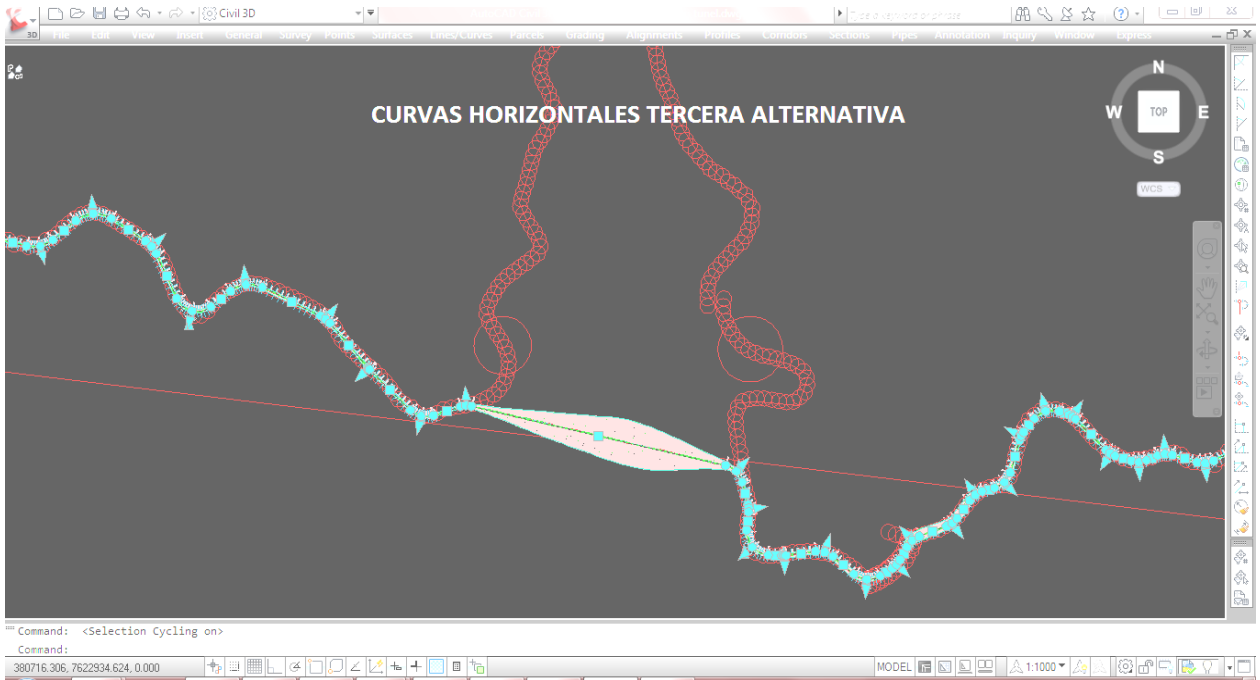
### 5.5.3 Curvas horizontales:

Radio mínimo para velocidad 40 km/h: 45 m

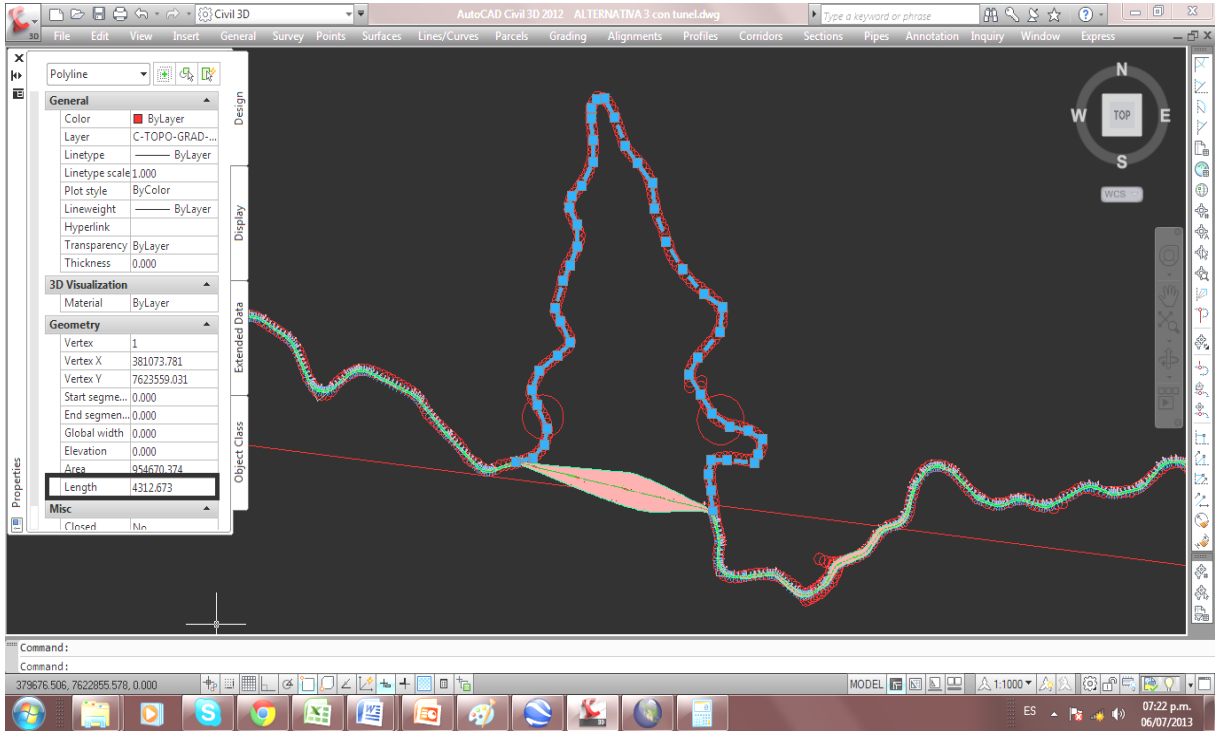
### 5.5.4 Curvas verticales:

Perfil de terreno:





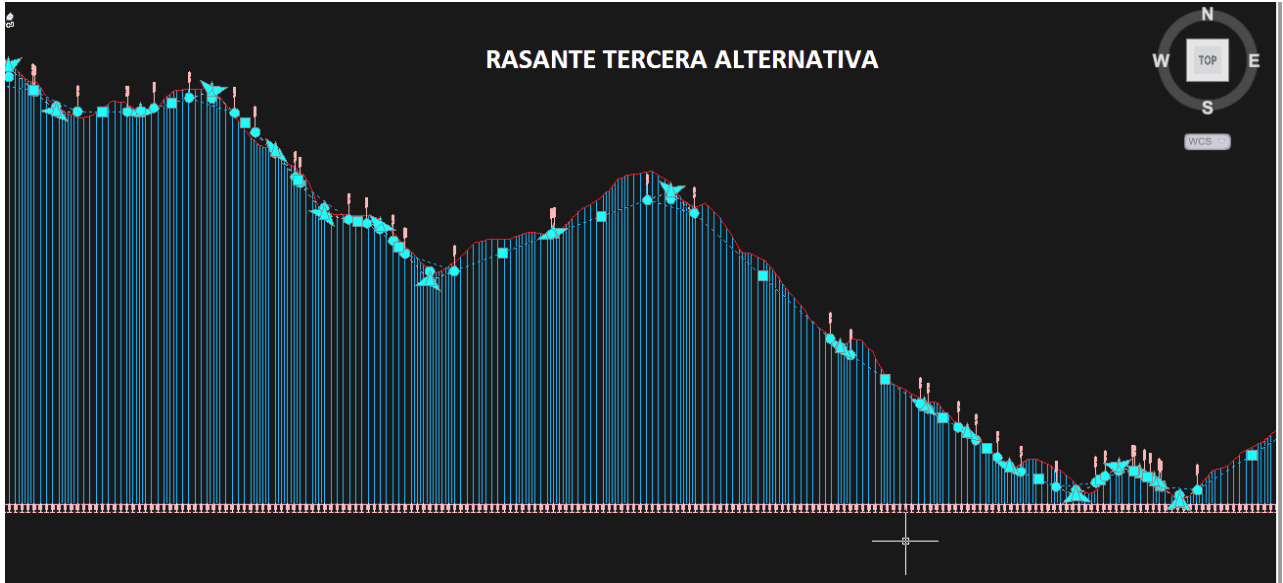
Distancia de reducción debido al túnel: 4312.673 m equivalente a una reducción de a 14.76% en su trazado.



Rasante Primera Alternativa:

K mínimo para velocidad 40 km/h: 9

Pendiente máxima para terreno montañoso: 12%



### 5.5.5 Sección tipo:

Para la sección tipo usada se tomo en cuenta los siguientes parámetros:

Ancho de cada carril: 3.5 m

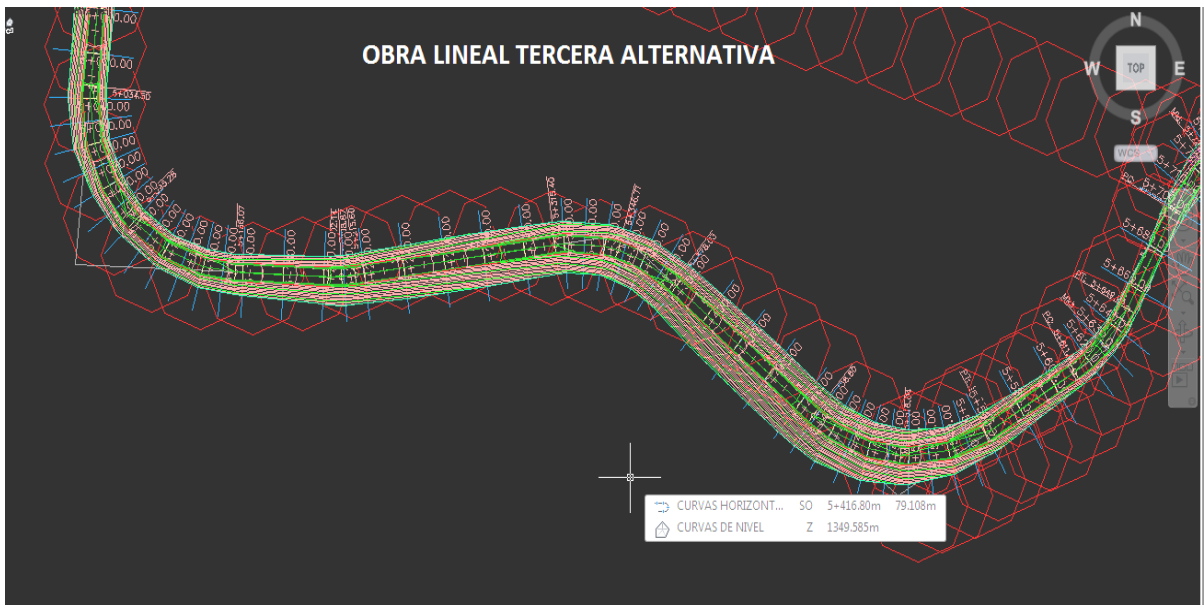
Ancho de berma: 0.20 m

Bombeo: 2%

Taludes 1:3 para corte y 1:1.5 para relleno según norma ABC.

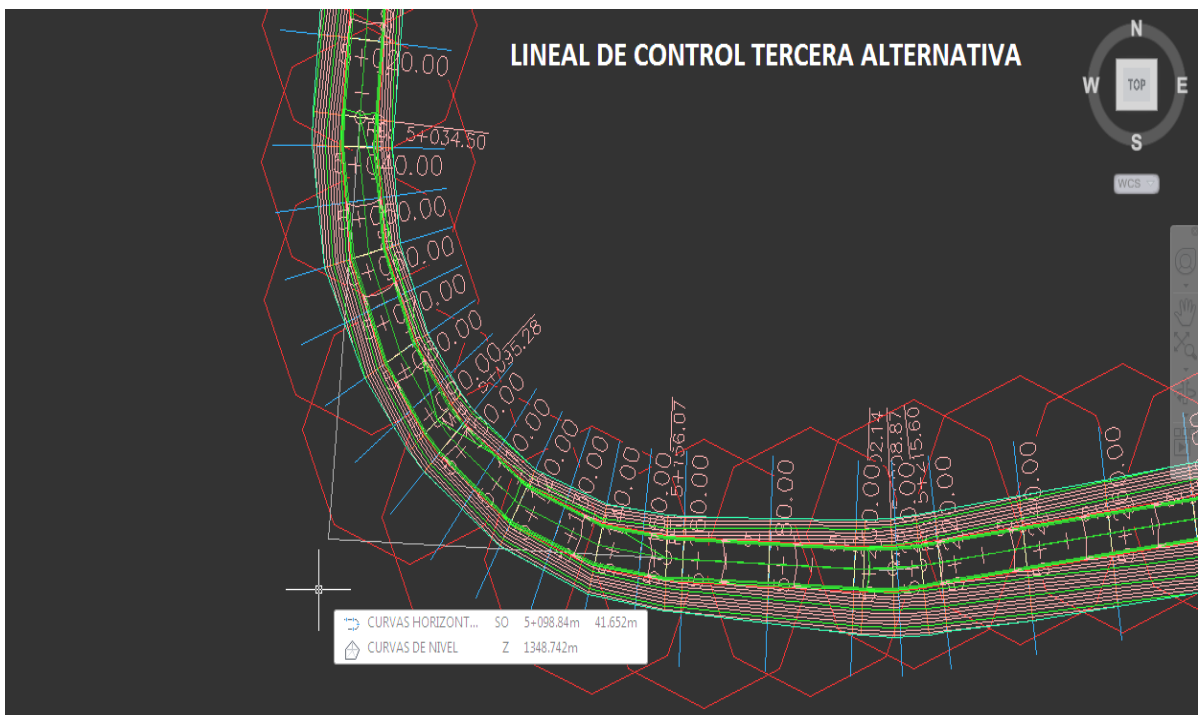


### 5.5.6 Obras lineales:



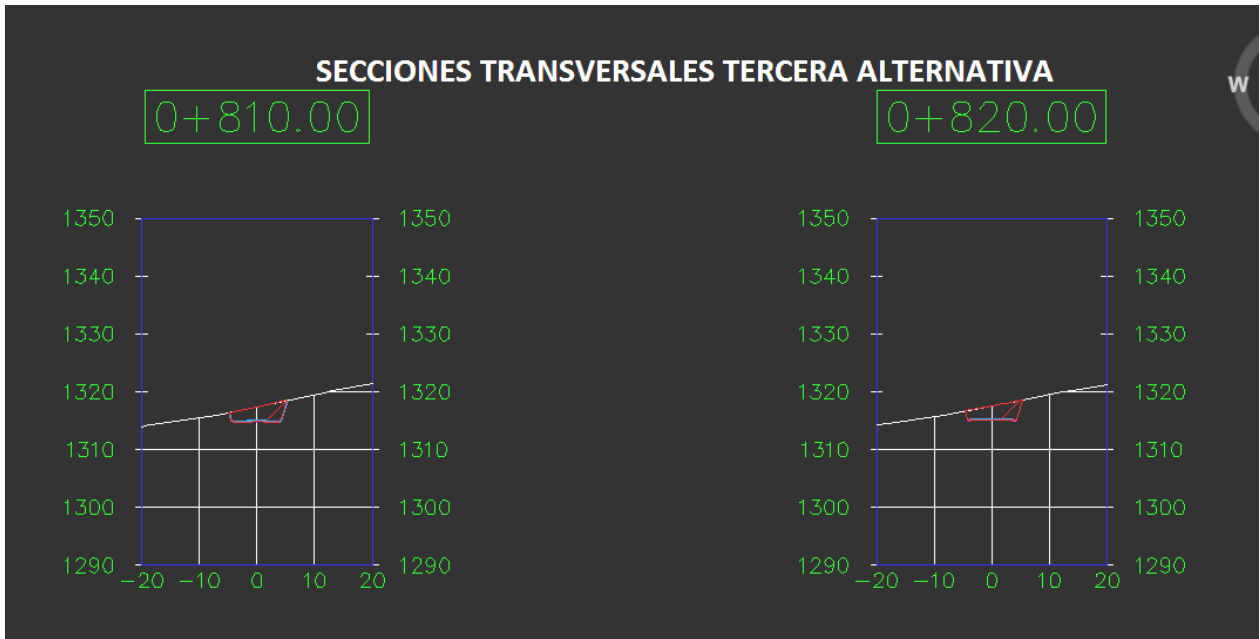
### 5.5.7 Líneas de control:

Para rectas cada 20m; para curvas cada 10m



### 5.5.8 Secciones transversales:

Todas las secciones transversales serán observadas de mejor manera en la parte de ANEXOS, de la alternativa elegida.



### 5.5.9 Tabla de movimiento de tierra:

Aquí presentamos la última tabla de movimiento de tierra las demás serán ubicadas en la parte de ANEXOS de la alternativa elegida.

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
25+020.00	0.00	53.58	0.00	1218.25	172232.24	1178973.55
25+040.00	0.00	35.17	0.00	887.52	172232.24	1179861.06
25+050.00	0.00	29.75	0.00	317.44	172232.24	1180178.50
25+060.00	0.00	32.56	0.00	300.36	172232.24	1180478.86
25+080.00	0.00	56.51	0.00	886.51	172232.24	1181365.37
25+100.00	0.00	52.54	0.00	1090.54	172232.24	1182455.91
25+120.00	0.00	43.46	0.00	959.97	172232.24	1183415.88
25+139.61	3.21	5.39	31.49	478.89	172263.73	1183894.76

Los datos encerrados son los volúmenes acumulados tanto de corte y relleno.

### 5.5.10 Obras de Arte Mayor

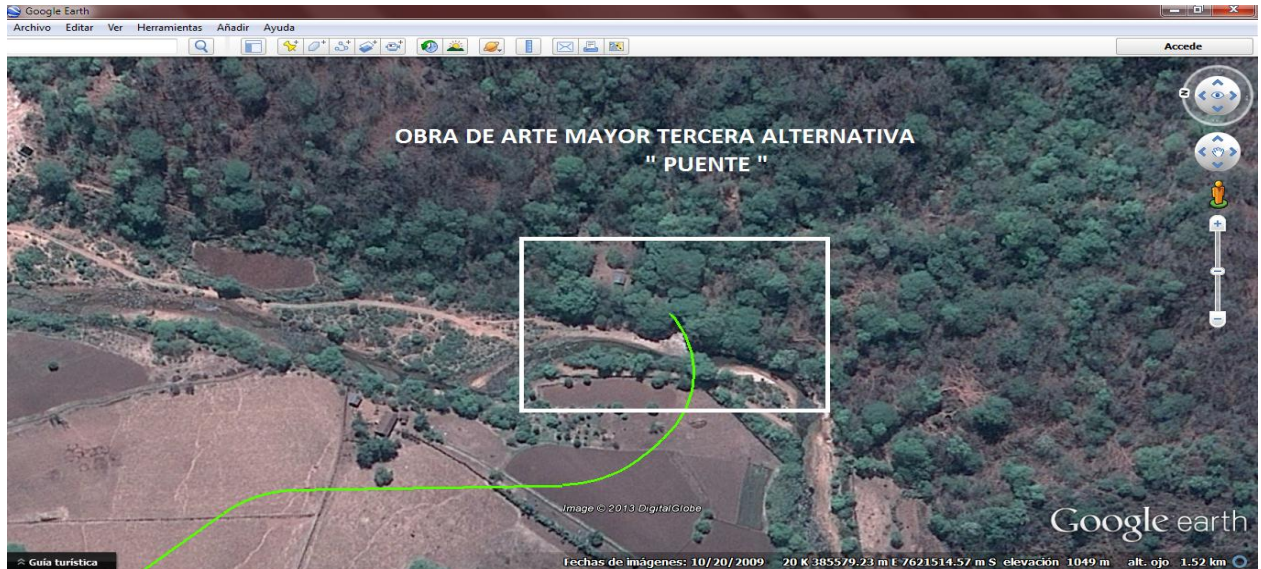
La ubicación de obras de arte mayor se las siguió de la siguiente manera. Haciendo la utilización de las imágenes satelital se puede apreciar que solo tendremos.

Cantidad de obras Mayores = 2

Descripción: Puente

Longitud: 58.142 m

Progresiva: 10+626.15 – 10+684.292



Descripción: Túnel

Longitud: 1058 m

Progresiva: 2+553 – 3+611



## 5.6 ANÁLISIS DE PENDIENTES MAYORES PARA ALTERNATIVA 1 ,2 Y 3

En este punto se procederá a analizar la cantidad de longitud en la que predominan las pendientes mayores. Para este análisis se tomara un rango de la pendiente entre 10% y 12 % y de esta manera determinar cuál de las dos alternativas tiene más pendiente.

### Primera alternativa:

Exportando las tablas de alineamiento vertical de Civil Cad 3d a Microsoft Excel se obtuvo:

NUMERO	ESTACION (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE	LONGITUD (m) DE PENDIENTES MAYORES
1	0	297,67	-1,35%	
2	297,67	218,09	3,84%	
3	515,76	217,84	5,07%	
4	733,6	163,89	0,78%	
5	897,49	279,88	4,45%	
6	1177,37	256,64	11,07%	256,64
7	1434,01	273,25	4,34%	
8	1707,26	268,13	7,51%	
9	1975,39	269,69	-1,36%	
10	2245,08	278,39	10,94%	278,39
11	2523,47	207,1	-6,89%	
12	2730,57	146,1	-11,50%	146,1
13	2876,67	142,53	-3,01%	
14	3019,2	335,22	3,96%	
15	3354,42	245,96	5,67%	
16	3600,38	129,37	4,29%	
17	3729,75	216,72	4,63%	
18	3946,47	393,94	2,36%	
19	4340,41	284,12	8,26%	
20	4624,53	166,33	-6,13%	
21	4790,86	156,23	-7,27%	
22	4947,09	619,35	-9,34%	
23	5566,44	170,78	-6,32%	
24	5737,22	319,72	9,67%	
25	6056,94	286,24	6,28%	
26	6343,18	424,09	-9,00%	
27	6767,27	318,9	-6,59%	
28	7086,17	704,86	-8,51%	
29	7791,03	758,08	-5,46%	
30	8549,11	385,03	-6,48%	
31	8934,14	425,01	-8,41%	
32	9359,15	321,6	9,64%	
33	9680,75	294,57	-8,31%	
34	9975,32	113,76	8,39%	
35	10089,08	195,9	7,68%	
36	10284,98	687,09	-11,87%	687,09
37	10972,07	487,51	-0,69%	
38	11459,58	474,29	-10,65%	474,29

39	11933,87	155,74	4,95%	
40	12089,61	158,86	-11,05%	158,86
41	12248,47	164,42	-7,35%	
42	12412,89	177,34	-9,84%	
43	12590,23	150,93	3,90%	
44	12741,16	556,65	8,82%	
45	13297,81	667,58	9,62%	
46	13965,39	673,85	7,34%	
47	14639,24	334,98	8,63%	
48	14974,22	249,13	5,29%	
49	15223,35	706,31	11,48%	706,31
50	15929,66	537,39	11,22%	537,39
51	16467,05	448,85	11,09%	448,85
52	16915,9	451,62	10,98%	451,62
53	17367,52	134,56	-9,98%	
54	17502,08	134,79	-9,06%	
55	17636,87	129,44	-1,01%	
56	17766,31	128,42	6,29%	
57	17894,73	129,37	7,25%	
58	18024,1	156,65	-5,31%	
59	18180,75	421,9	8,36%	
60	18602,65	380,38	7,60%	
61	18983,03	445,81	-8,26%	
62	19428,84	435,19	-9,13%	
63	19864,03	916,72	-8,18%	
64	20780,75	122,31	1,19%	
65	20903,06	386,99	8,20%	
66	21290,05	418,8	6,92%	
67	21708,85	102,34	-0,70%	
68	21811,19	399,12	7,35%	
69	22210,31	364,42	10,97%	364,42
70	22574,73	681,57	-6,16%	
71	23256,3	372,44	-6,57%	
72	23628,74	339,67	-6,86%	
73	23968,41	254,33	8,21%	
74	24222,74	132,3	-8,53%	
75	24355,04	264,29	-10,54%	264,29
76	24619,33	316,89	-4,04%	
77	24936,22	281,52	-7,53%	
78	25217,74	552,78	-11,63%	552,78
79	25770,52	241,1	8,84%	
80	26011,62	289,27	-5,72%	
81	26300,89	185,73	-9,22%	
82	26486,62	396,43	-8,74%	
83	26883,05	195,88	5,76%	
84	27078,93	197,6	-6,04%	
85	27276,53	391,22	-8,65%	
86	27667,75	384,53	-9,49%	
87	28052,28	383,02	-11,66%	383,02
88	28435,3	450	9,94%	
89	28885,3	223,5	10,51%	223,5
90	29108,8	116,47	11,53%	116,47
91	29225,27	111,02	-4,22%	
92	29336,29			
			<b>TOTAL</b>	<b>6050,02</b>

Para un rango de pendiente entre 10 % y 12% una longitud de 6.050 km.

**Segunda alternativa:**

Exportando las tablas de alineamiento vertical de Civil Cad 3d a Microsoft Excel se obtuvo:

NUMERO	ESTACION (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE	LONGITUD (m) DE PENDIENTES MAYORES
1	0	284,57	6,92%	
2	284,57	308,22	10,83%	308,22
3	592,79	337,64	10,58%	337,64
4	930,43	297,45	9,59%	
5	1227,88	338,57	-4,98%	
6	1566,45	510,95	10,45%	510,95
7	2077,4	531,68	9,02%	
8	2609,08	341,56	-8,52%	
9	2950,64	303,53	-7,59%	
10	3254,17	879,19	7,34%	
11	4133,36	877,21	8,22%	
12	5010,57	1093,34	-8,78%	
13	6103,91	157,34	-8,38%	
14	6261,25	138,82	-11,79%	138,82
15	6400,07	920,48	-11,80%	920,48
16	7320,55	587,37	-10,78%	587,37
17	7907,92	598,09	-8,18%	
18	8506,01	315,24	-4,35%	
19	8821,25	296,77	-7,25%	
20	9118,02	241,47	-0,76%	
21	9359,49	171,2	2,69%	
22	9530,69	449,21	7,97%	
23	9979,9	251,63	4,24%	
24	10231,53	398,46	-10,81%	398,46
25	10629,99	410,06	-9,82%	
26	11040,05	364	-8,28%	
27	11404,05	119,29	9,00%	
28	11523,34	120,79	1,60%	
29	11644,13	228,02	-7,90%	
30	11872,15	227,52	-8,97%	
31	12099,67	109,87	-2,61%	
32	12209,54	109,48	-4,38%	
33	12319,02	62,28	0,00%	
34	12381,3	146,25	4,66%	
35	12527,55	185,42	11,80%	185,42
36	12712,97	163,32	7,08%	
37	12876,29	#¡VALOR!	2,87%	
NUMERO	ESTACION (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE	LONGITUD (m) DE PENDIENTES MAYORES
39	1	13345,67	-8,99%	
40	13346,67	274,01	-8,11%	274,01
41	13620,68	178,2	-7,70%	178,2
42	13798,88	186,92	-5,75%	
43	13985,8	115,6	1,77%	
44	14101,4	368,13	8,25%	368,13
45	14469,53	167,63	9,60%	
46	14637,16	191,81	4,00%	
47	14828,97	443	7,64%	

48	15271,97	1059,83	12,01%	1059,83
49	16331,8	569,58	11,90%	569,58
50	16901,38	568,26	11,80%	568,26
51	17469,64	613,82	11,31%	613,82
52	18083,46	461,28	-4,36%	
53	18544,74	778,74	8,20%	
54	19323,48	783,73	7,44%	
55	20107,21	125,7	6,28%	
56	20232,91	302,53	-8,86%	
57	20535,44	488,34	-7,62%	
58	21023,78	487,63	-7,08%	
59	21511,41	533,9	8,79%	
60	22045,31	536,33	6,08%	
61	22581,64	1121,61	-3,48%	
62	23703,25	377,84	-6,69%	
63	24081,09	739,51	-7,34%	
64	24820,6	361,32	-9,86%	
65	25181,92	368,76	-7,58%	
66	25550,68	883,51	-4,74%	
67	26434,19	868,41	-8,16%	
68	27302,6	613,68	-7,50%	
69	27916,28	604,51	-9,79%	
70	28520,79	519,64	-5,29%	
71	29040,43	68,61	7,04%	
72	29109,04	497,44	8,21%	
73	29606,48	296,14	7,96%	
74	29902,62	199,4	4,54%	
75	30102,02			0
<b>TOTAL</b>				<b>7019,19</b>

Para un rango de pendiente entre 10 % y 12% una longitud de 7.019 km.

### Tercera alternativa:

Exportando las tablas de alineamiento vertical de Civil Cad 3d a Microsoft Excel se obtuvo:

NUMERO	ESTACION (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE	LONGITUD (m) DE PENDIENTES AYORES
1	0	618,65	7,89%	
2	618,65	264,58	0,27%	
3	883,23	636,01	7,93%	
4	1519,24	189,82	9,08%	
5	1709,06	271,77	9,99%	
6	1980,83	120,79	4,28%	
7	2101,62	209,24	-4,57%	
8	2310,86	133,61	-9,63%	
9	2444,47	114,52	-0,62%	
10	2558,99	939,77	-1,47%	
11	3498,76	1728,82	-11,97%	1728,82
12	5227,58	170	-5,66%	

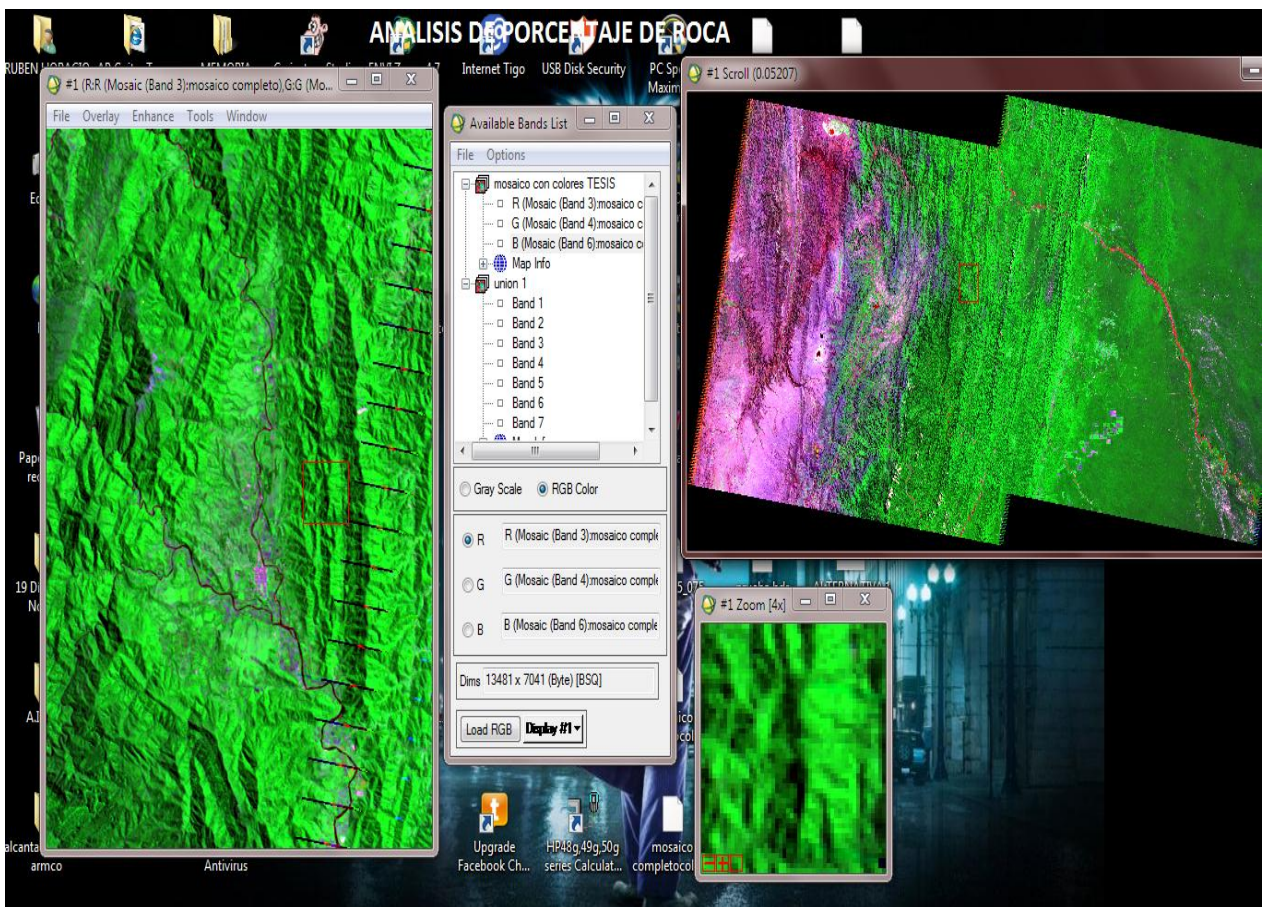
13	5397,58	158,32	7,13%	
14	5555,9	224,06	-8,68%	
15	5779,96	131,11	4,70%	
16	5911,07	82,04	-3,41%	
17	5993,11	205,09	4,38%	
18	6198,2	378,77	-10,77%	378,77
19	6576,97	376,42	-5,80%	
20	6953,39	137,49	9,17%	
21	7090,88	218,21	0,93%	
22	7309,09	247,77	7,56%	
23	7556,86	89,09	1,22%	
24	7645,95	132,02	-9,28%	
25	7777,97	163,63	-8,99%	
26	7941,6	316,11	-8,84%	
27	8257,71	73,69	-3,58%	
28	8331,4	162,71	-9,99%	
29	8494,11	290,49	-6,90%	
30	8784,6	104,36	1,35%	
31	8888,96	171,91	-7,28%	
32	9060,87	107,23	11,61%	107,23
33	9168,1	182,64	-6,98%	
34	9350,74	139,19	5,90%	
35	9489,93	395,68	7,75%	
36	9885,61	224,2	9,38%	
37	10109,81	708,9	11,88%	708,9
38	10818,71	391,23	6,76%	
39	11209,94	1265,1	9,80%	
40	12475,04	662,8	10,50%	662,8
41	13137,84	520,43	7,99%	
42	13658,27	677,63	7,99%	
43	14335,9	214,68	-8,83%	
44	14550,58	123,6	0,53%	
45	14674,18	261,05	6,15%	
46	14935,23	208,18	0,00%	
47	15143,41	226,84	11,02%	226,84
48	15370,25	541,16	-9,98%	
49	15911,41	885,54	-6,40%	
50	16796,95	566,12	-1,61%	
51	17363,07	476,92	10,69%	476,92
52	17839,99	441,57	8,21%	
53	18281,56	355,86	-3,18%	
54	18637,42	391,72	-9,54%	
55	19029,14	694,46	-4,65%	
56	19723,6	308,46	-4,85%	
57	20032,06	419,88	-7,41%	
58	20451,94	160,87	-6,25%	
59	20612,81	280,36	8,55%	
60	20893,17	639,24	-8,75%	
61	21532,41	817,42	-7,60%	
62	22349,83	494,95	-8,43%	
63	22844,78	413,55	1,05%	
64	23258,33	429,08	-1,42%	
65	23687,41	259,51	-8,66%	
66	23946,92	340,13	9,86%	
67	24287,05	169,14	8,84%	
68	24456,19	117,41	7,58%	
69	24573,6	283,68	-7,27%	
70	24857,28	282,33	-7,41%	
71	25139,61		0,00%	
0	0			
			TOTAL	4290,28

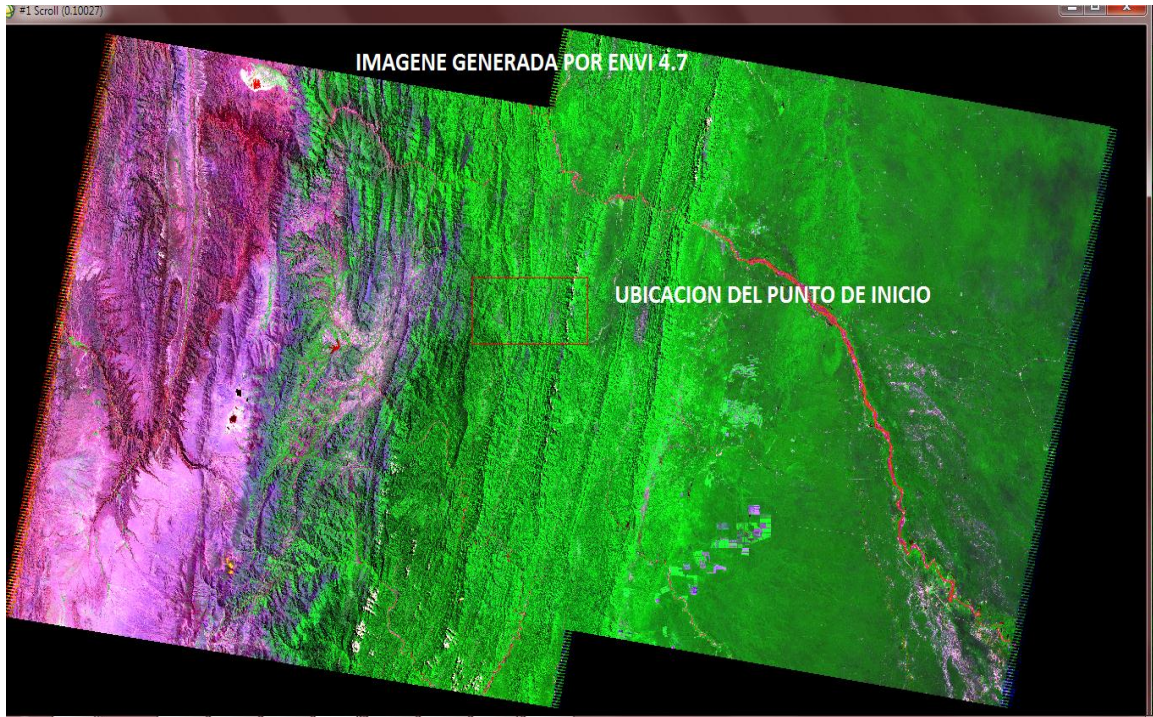
Para un rango de pendiente entre 10 % y 12% una longitud de 4.290 km.

## 5.7 Análisis de porcentaje de roca mediante el programa ENVI para Alternativa 1, 2 y 3.

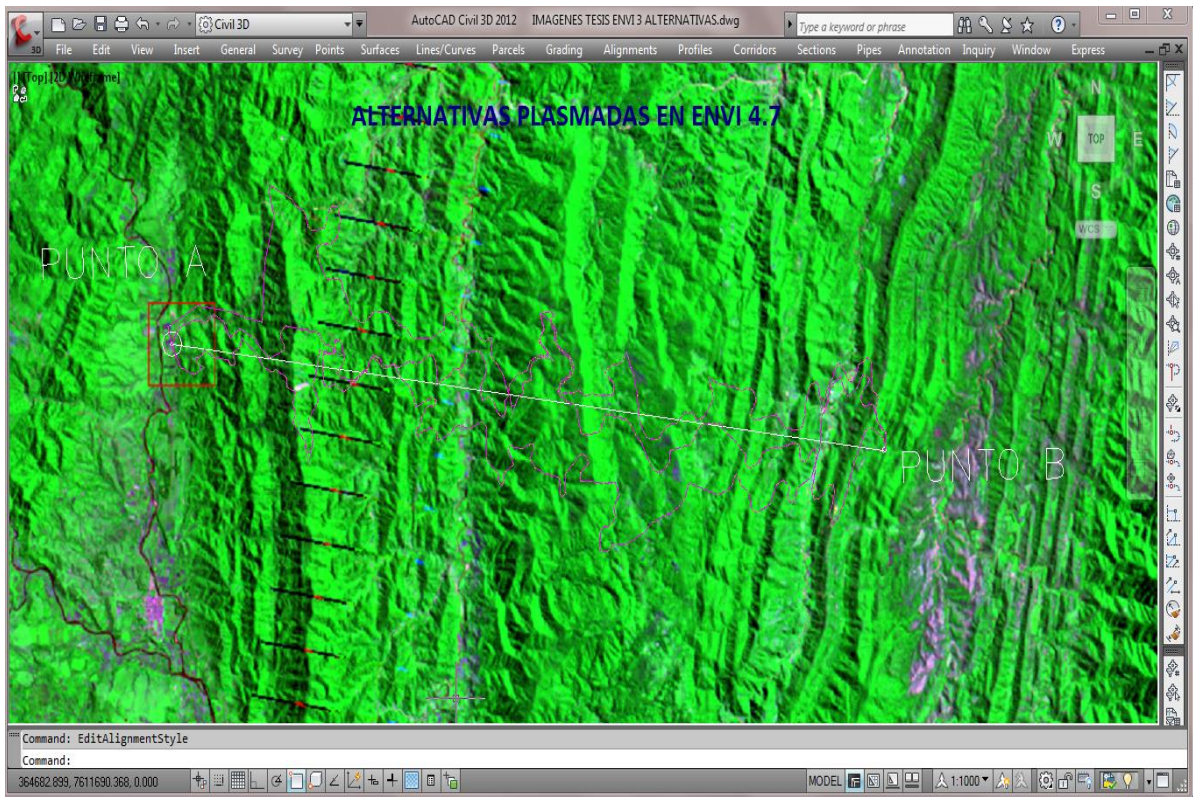
Generación de la imagen tipo Landsat y ubicación de los puntos de estudio.

Según la combinación de las bandas utilizadas para este proyecto la combinación de bandas infrarrojas: banda 3, banda 4, banda 6, dándonos como resultado los pixeles de color MAGENTA los lugares donde hay presencia de roca y los pixeles de color verde terreno semiduro dependiendo de la intensidad de los colores.





Alternativas plasmadas en la imagen generada por ENVI 4.7 y estudio del porcentaje de roca



Tras un análisis basado en el estudio de los colores de los píxeles en el programa ENVI 4.7 se determinó lo siguiente:

**PRIMERA ALTERNATIVA**

Longitud Total Primera Alternativa: 29.326 km

Longitud de presencia de roca: 4.7 km

Porcentaje de presencia de roca: 16.026 %

**SEGUNDA ALTERNATIVA**

Longitud Total Segunda Alternativa: 30.102 km

Longitud de presencia de roca: 3.65 km

Porcentaje de presencia de roca: 12.125 %

**TERCERA ALTERNATIVA**

Longitud Total Segunda Alternativa: 25.139 km

Longitud de presencia de roca: 2.83 km

Porcentaje de presencia de roca: 11.25 %

## 5.8 Estudio y Elección de la mejor alternativa:

Para la elección de la mejor alternativa se tomara en cuenta los siguientes factores: Menor Longitud de trazado, Menor Longitud con respecto a la pendiente mayor predominante, Menor cantidad de Obras de Arte Mayor, Menor cantidad de volúmenes de movimiento de tierra tanto en corte como en relleno y la menor cantidad de porcentaje de roca.

De acuerdo a los resultados obtenidos generamos la siguiente tabla:

FACTORES	PRIMERA ALTERNATIVA	SEGUNDA ALTERNATIVA	TERCERA ALTERNATIVA
LONGITUD(Km)	29,326	30,102	25,139
LONGITUD MAYOR PENDIENTE 10% Y 12 % (Km)	6,050	7,019	4,290
OBRAS DE ARTE MAYOR	1	1	2
VOLUMENES DE TIERRA CORTE (m3)	2308319,250	2284065,640	1183894,760
VOLUMENES DE TIERRA RELLENO (m3)	84575,290	349206,490	172263,730
PORCENTAJE DE ROCA (%)	16	12	11

## PRESUPUESTO TOTAL DE CADA ALTERNATIVA

### PRIMERA ALTERNATIVA

PRIMERA ALTERNATIVA				
ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL POR ITEM
INSTALACIÓN DE FAENAS	GLB	2.768,63	1	2.768,63
EXCAVACION COMUN PARA CAMINOS	M3	30,22	1938388,006	58.572.727,66
EXCAVACION EN ROCA PARA CAMINOS	M3	88,50	369931,243	32.737.452,56
RELLENO Y TERRAPLEN	M3	15,01	84575,29	1.269.135,75
OBRAS COMPLEMENTARIAS (LIMPIEZA, DESBROCE, DESTRONQUE Y SEÑALIZACION)	HA	3.944,78	5	19.723,90
OBRAS DE ARTE MAYOR (PUENTE)	ML	52.230,52	35,716	1.865.465,40
			<b>TOTAL (Bs)</b>	<b>92.601.808,51</b>

### SEGUNDA ALTERNATIVA

SEGUNDA ALTERNATIVA				
ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL POR ITEM
INSTALACIÓN DE FAENAS	GLB	2.768,63	1	2.768,63
EXCAVACION COMUN PARA CAMINOS	M3	30,22	2004267,599	60.563.426,87
EXCAVACION EN ROCA PARA CAMINOS	M3	88,50	279798,04	24.761.020,42
RELLENO Y TERRAPLEN	M3	15,01	349206,49	5.240.188,26
OBRAS COMPLEMENTARIAS (LIMPIEZA, DESBROCE, DESTRONQUE Y SEÑALIZACION)	HA	3.944,78	5	19.723,90
OBRAS DE ARTE MAYOR (PUENTE)	ML	52.230,52	31,195	1.629.331,20
			<b>TOTAL (Bs)</b>	<b>90.587.128,08</b>

### TERCERA ALTERNATIVA

TERCERA ALTERNATIVA				
ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL POR ITEM
INSTALACIÓN DE FAENAS	GLB	2.768,63	1	2.768,63
EXCAVACION COMUN PARA CAMINOS	M3	30,22	1053666,336	31.838.884,26
EXCAVACION EN ROCA PARA CAMINOS	M3	88,50	130228,4236	11.524.700,66
RELLENO Y TERRAPLEN	M3	15,01	172263,73	2.584.987,40
OBRAS COMPLEMENTARIAS (LIMPIEZA, DESBROCE, DESTRONQUE Y SEÑALIZACION)	HA	3.944,78	4	15.779,12
OBRAS DE ARTE MAYOR(PUENTE)	ML	52.230,52	58,142	3.036.787,13
OBRAS DE ARTE MAYOR(TUNEL)	ML	72.900,34	1058	77.128.557,60
			TOTAL (Bs)	126.132.464,80

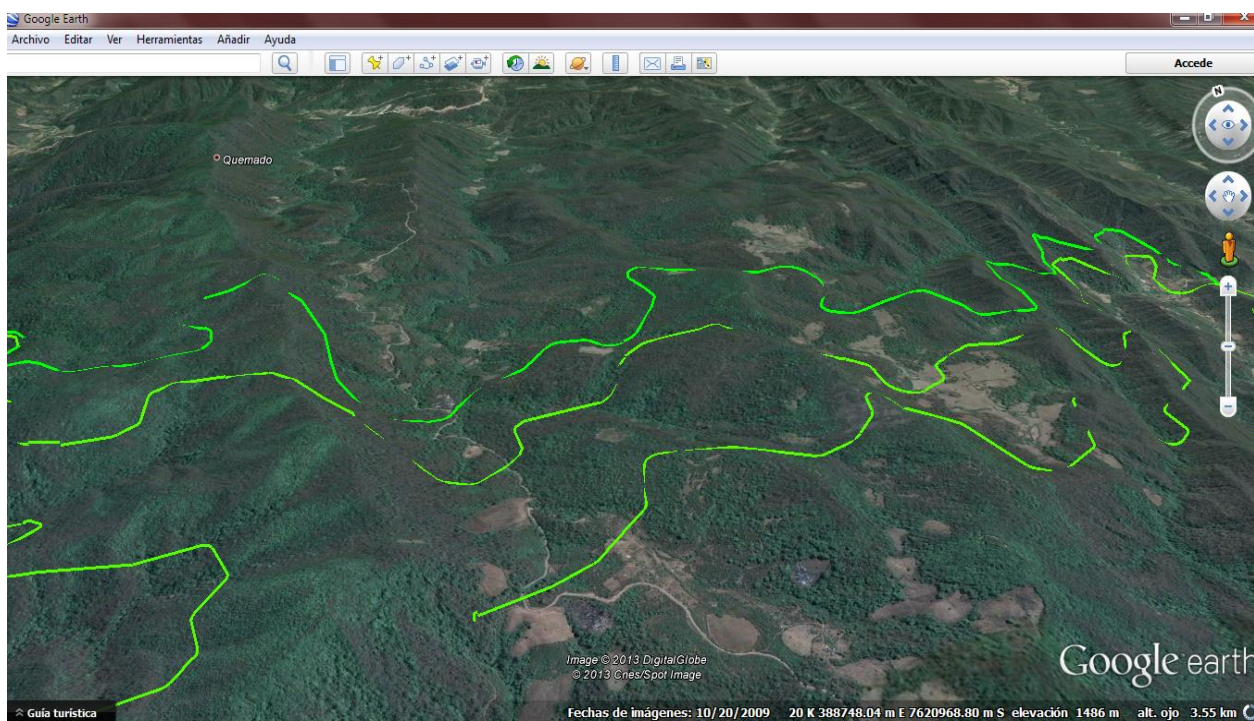
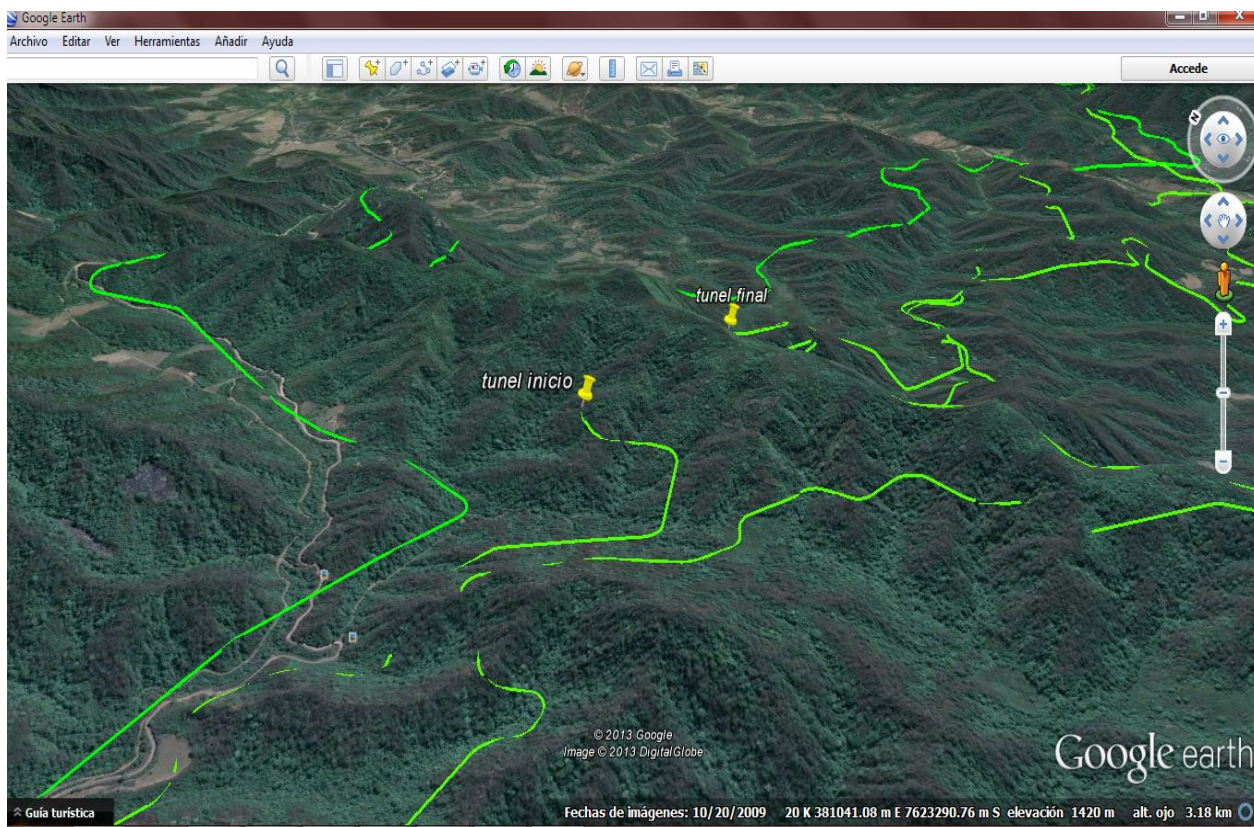
Mediante el siguiente proyecto y con una sucesión de métodos puestos en prácticas se establecieron 3 alternativas:

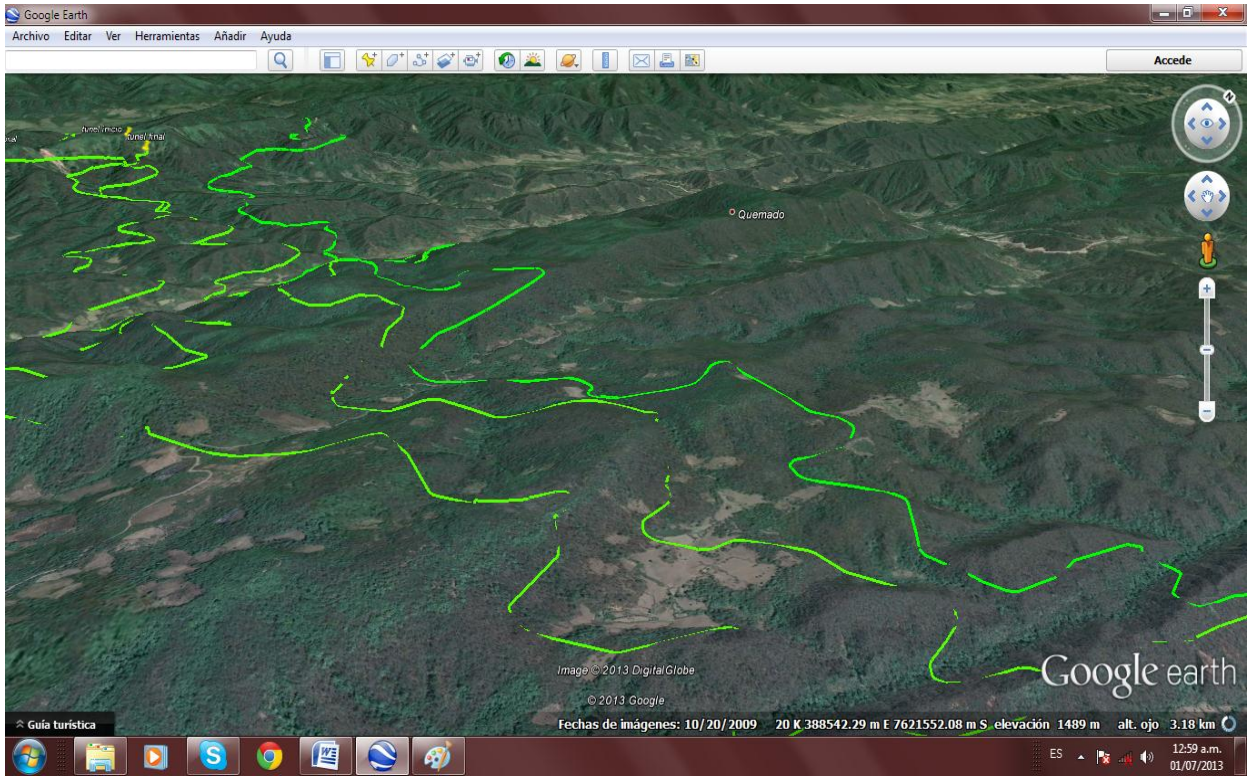
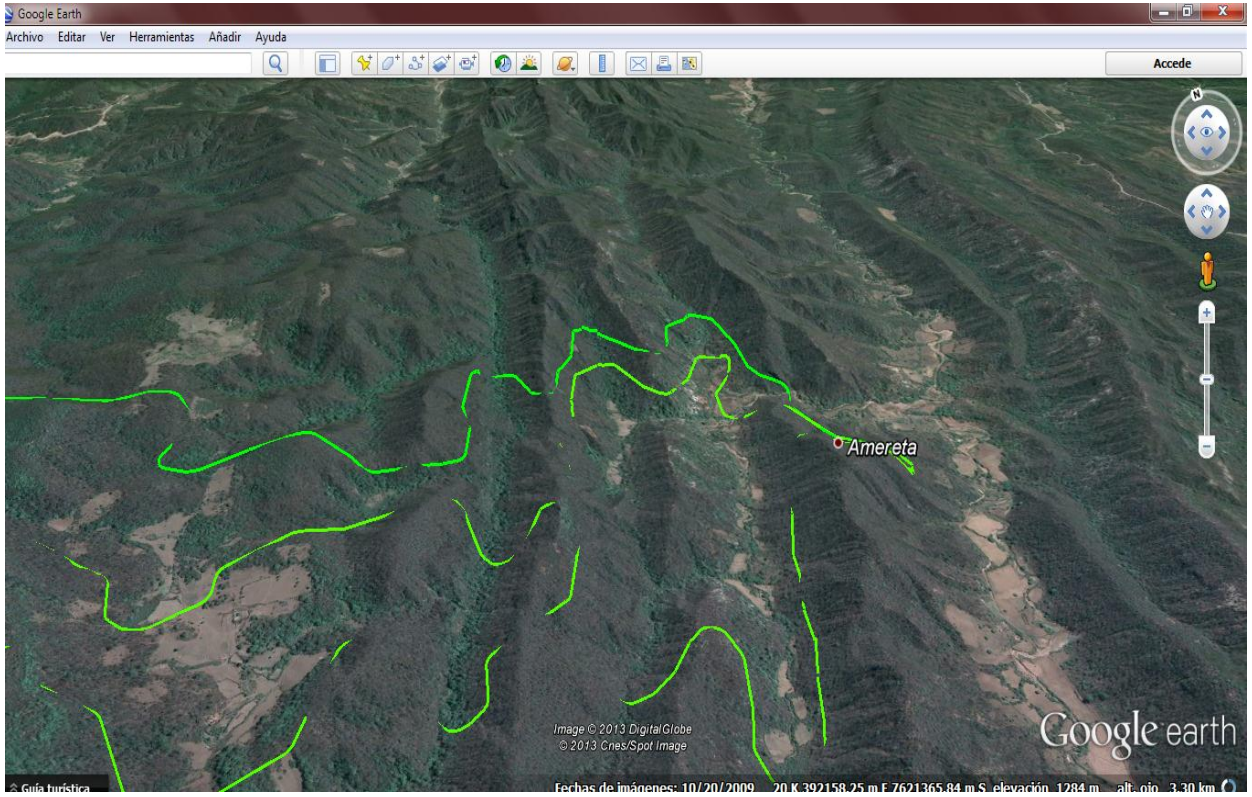
La primera alternativa la cual se la hizo por la zona norte con respecto a la ubicación de los puntos en estudios El Pajonal- Amereta la cual tras los estudios realizados nos dio como resultado una longitud de 29.326 km que es menor con respecto a la segunda alternativa y mayor con respecto a la tercera con movimientos de tierra en corte y relleno que en comparación a la segunda alternativa pero que con respecto a la tercera alternativa es mayor en una cantidad muy considerable. La Segunda alternativa se la realizo por la parte sur de los puntos en estudios, dándonos una longitud de 30.102 km mayor con respecto a la Primera Alternativa pero teniendo puntos a favor como ser menor costo en la construcción de Obras de Arte Mayor (Puente) con respecto a las otras dos Alternativas y con un menor porcentaje de roca con respecto a la Primera Alternativa.

La Tercera Alternativa se la realizo en un trazado intermedio con respecto a las otras dos alternativas teniendo una longitud de 25.139 km teniendo muchos puntos a favor como ser Menor longitud , Menor cantidad de Longitud con Mayor Pendiente, menor cantidad de volumen de corte y menor cantidad de porcentaje de roca en su trazado pero con la salvedad que tiene 2 obras de arte mayor ( túnel y un puente) en su trazado una más que las otras dos alternativas que aumentan en gran magnitud el costo final de dicha alternativa. Observando los resultados que se generaron para las tres alternativas se determina como mejor elección a la **TERCERA ALTERNATIVA**, ya que como se observa en el cuadro tiene 4 puntos a favor en los factores que son números de obras de menor

longitud, menor longitud de pendiente mayor menor, menor volúmenes de corte y porcentaje de roca menor y aunque tenga un costo mayor que las otras dos alternativas predomina el factor importante que es de menor longitud y aunque cuente con un túnel y aumente considerablemente su costo final con el transcurso del tiempo se vuelve en una opción conveniente ya que el golpe forestal sobre la superficie del terreno no se verá afectada y con el tiempo dará lugar a la regeneración y el impacto ambiental será de menor incidencia además que hoy en día contamos con el avance tecnológico y podemos hacer uso de maquinaria que nos permite la construcción de túneles en un lapso de tiempo más corto que a la vez disminuyen la complicidad de su construcción.

## 5.9 Trazado y vista en Google Earth de las 3 alternativas generadas.





**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAP 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- ✚ Se determinó los aspectos básicos que influyen en el análisis de alternativas de carreteras obteniendo resultados muy favorables ya que como se ven en las imágenes plasmadas en las vistas en imágenes Google Earth los trazos son muy aceptables y se asemeja a la realidad.
- ✚ Se ajustó el diseño de acuerdo a la norma de Administradora Boliviana de Carreteras ABC vigente en nuestro país, con una velocidad de diseño de 40km/h debido a la topografía accidentada del terreno como se puede apreciar en las imágenes satelitales.
- ✚ En el uso del programa ENVI 4.7 se procedió a utilizar la combinación de bandas 3, 4 y 6 debido a que la banda 3 genera pixeles de cubierta y las bandas 4 y 6 infrarrojos de material duro y roca.
- ✚ La combinación de los programas operativos nos sirvieron como herramienta fundamental para el estudio realizado, el correcto uso de cada uno de ellos nos proporcionaron información que hasta hace un tiempo requería de un tiempo mayor para su estudio tales como la generación de curvas de nivel para un Área de gran extensión, para este proyecto se utilizó un área de 20 km x 7 km, para poder trazar una línea a pelo de tierra con mas visión.
- ✚ Los programas utilizados en este proyecto nos son programas netamente relacionados a la Ingeniería Civil ya que tanto el Global Mapper como el ENVI 4.7 son programas relacionados a la geografía con herramientas que se las puede aplicar a las necesidades que tenemos, como ser herramientas para generar curvas de nivel, observar cubiertas vegetales, presencia de roca, presencia de aguas infiltradas.

- ✚ El área de estudio se eligió por las características que presenta el terreno y el lugar, ya que debido a sus características de terreno montañoso y accidentado nos hace poner en práctica todos los conocimientos aprendidos académicamente y requiere de un análisis minucioso para la elección de una alternativa de acuerdo a los resultados que vayamos obteniendo con las herramientas de los programas informáticos aplicando imágenes satelitales.
  
- ✚ Haciendo una comparación basado netamente en lo económico obtenemos una diferencia entre la Primera Alternativa y la Tercera Alternativa (Alternativa Elegida) teniendo una diferencia de 35.595.336,72 bs y comparando la Segunda Alternativa y la Tercera Alternativa (Alternativa Elegida) obteniendo una diferencia de 33.530.656,29 bs. Con el detalle que la elaboración de un túnel utilizado en la Tercera Alternativa tiene un elevado costo de construcción.
  
- ✚ Las diferencia de longitudes entre la Primera Alternativa y la Tercera Alternativa (Alternativa Elegida) es de 4.187 km y entre la Segunda Alternativa y la Tercera Alternativa (Alternativa Elegida) es de 4.96 km mostrándonos que con la utilización de un túnel se reduce una longitud considerable en el trazado.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Tener conocimiento pleno de las normas de construcción y de las normas básicas de diseño de carretera para un trazado de alternativas correcto.
- ✚ Trabajar en las mismas unidades en todos los programas a utilizar ya que si trabajamos en unidades diferentes tendríamos resultados erróneos.
- ✚ Hacer la configuración correspondiente de cada uno de los programas utilizados, para que haya una generación de datos uniforme.
- ✚ Para realizar este tipo de proyecto se recomienda tener una Computadora con buenas características elevadas, ya que los programas utilizados requieren de un alto rendimiento de la misma.
- ✚ Tratar de conseguir la mejor calidad de imágenes satelitales posibles para así poder trabajar de una manera tal que se asemeje a la realidad.