Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

# COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

**Oswin David José Solis Solares**
Asesorado por el Ing. Juan Carlos Estrada Monterroso

Guatemala, julio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

# COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

**OSWIN DAVID JOSÉ SOLIS SOLARES**
ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS ESTRADA MONTERROSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

## NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|---|---|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova |
| VOCAL V | Br. Henry Fernando Duarte García |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

## TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|---|---|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Marco Antonio García Díaz |
| EXAMINADOR | Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Manuel López Juárez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

# HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 de mayo de 2014.

**Oswin David José Solis Solares**

Guatemala 12 de noviembre de 2015

Ingeniero
Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes
Escuela de Ingeniería Civil
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Cordialmente me dirijo a usted, para informarle que he revisado el trabajo de graduación: **"COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS"** desarrollado por el estudiante **Oswin David José Solis Solares** con carné **2010-20111**.

Considero que este trabajo ha sido desarrollado satisfactoriamente.

Atentamente

Ing. Juan Carlos Estrada Monterroso
Colegiado Activo 7029

JUAN CARLOS ESTRADA MONTERROSO
Ingeniero Civil-Guatemala
Colegiado 7029

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

http://civil.ingenieria.usac.edu.gt

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, 27 de Abril de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **"COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS"** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Oswin David José Solis Solares con carné 201020111, quien contó con la asesoría del Ing. Juan Carlos Estrada Monterroso.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC



ACAAI

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL ACREDITADO POR Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería
PERIODO 2013 - 2018

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Carlos Estrada Monterroso y del Coordinador del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Oswin David José Solares , titulado **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRAFÍA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA, PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS,** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

*Guatemala, junio 2016*
/mrrm.



PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería
ACAAI
PERIODO 2013 – 2019

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 307.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA CON ESTACIÓN TOTAL Y FOTOGRAMETRÍA PARA ELABORAR ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS ,** presentado por el estudiante universitario: **Oswin David José Solis Solares,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, julio de 2016

/gdech

# ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|---|---|
| **Dios** | Porque me dio la vida, me ha protegido, y me ha dado la inteligencia y sabiduría para permitirme culminar otra etapa académica. |
| **Mis padres** | José Oswaldo Solis Martínez y Reyna Violeta Solares Soto, por el amor, la comprensión, por habernos brindado su apoyo incansablemente para que mis hermanos y yo salgamos adelante. Porque me instruyeron en los caminos del bien y gracias a ello estoy donde estoy. |
| **Mis hermanos** | Byron, Christian y Wilmer Solis, por estar allí siempre que los necesité y su aliento en todo momento. |
| **Mis amigos/hermanos** | Brian Linares y Andrés Monterroso, porque siempre estuvieron cuando los necesité y me apoyaron en todo momento. |
| **Ing. Juan Carlos Estrada** | Por su amistad, su gran ayuda en todos los aspectos tanto profesionales como personales, y por el apoyo en mi trabajo de graduación. |

# AGRADECIMIENTOS A:


| | |
|---|---|
| **Universidad de San Carlos de Guatemala** | Por ser mi segunda casa donde recibí la inspiración para seguir y culminar la carrera. |
| **Facultad de Ingeniería** | Porque me facilitó la adquisición del conocimiento tecnológico y científico que me permiten obtener el título de Ingeniero Civil. |
| **Mis colegas** | Fernando Juachin, Lázaro García, Osberto Velásquez, Juan Pablo Burrero, Oswaldo Salazar, Kevin Morales, Azucena Alvarado, Jacobo García, Katherin Lima, Mónica de León, Nicolás de León, Milagro Escobar, Vodenith Villacinda, Nehemías Monterroso, Marisol Urrutia, Ilsy y Marian Hernández. |
| **Mis compañeros de trabajo** | Maribel Molina, Aracely Gallardo y Ana Gloria Samayoa. |
| **Ing. Juan Carlos Estrada Monterroso** | Por su valiosa colaboración, apoyo y asesoría para la realización de este trabajo de graduación. |

| | |
|---|---|
| **Universidad de San Carlos de Guatemala** | Por ser mi segunda casa donde recibí la inspiración para seguir y culminar la carrera. |
| **Verónica Cecilia Méndez** | Por haberme apoyado, aconsejado en cada semestre que culminábamos, y por el apoyo desinteresado que siempre mostró. |

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... VII
LISTA DE SÍMBOLOS ..... IX
GLOSARIO ..... XI
RESUMEN ..... XV
OBJETIVOS ..... XVII
INTRODUCCIÓN ..... XIX

1. CONCEPTO GENERAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA ..... 1
1.1. Tipos de métodos de medición topográfica ..... 2
1.1.1. Métodos topográficos ..... 3
1.1.1.1. Métodos planimétricos ..... 4
1.1.1.2. Métodos altimétricos ..... 6
1.2. Métodos alternativos para el trazado de diseños geométricos ..... 8
1.2.1. Nivelación geométrica ..... 9
1.2.1.1. Nivelación simple ..... 10
1.2.1.2. Nivelación compuesta ..... 10
1.2.2. Fotogrametría ..... 11
1.2.3. Aplicaciones de la topografía y la fotogrametría ..... 12
1.3. Aplicación de la fotogrametría en proyectos viales ..... 12
1.3.1. Preparación de fotografías aéreas por software ..... 14

2. GENERALIDADES DE LA FOTOGRAMETRÍA ..... 17
2.1. Definición de la fotogrametría ..... 18
2.1.1. Fotogrametría terrestre ..... 20

2.1.2. Fotogrametría aérea ..... 20
2.2. Uso de la fotogrametría para el trazado de carreteras ..... 22
2.2.1. Reconocimiento aéreo ..... 24
2.2.2. Reconocimiento combinado ..... 25
2.2.3. Fotografías aéreas ..... 26
2.2.4. Foto interpretación ..... 27
2.3. Uso que se le da a la fotogrametría en otros países ..... 28

3. DESARROLLO DE ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN PROYECTOS VIALES ..... 31
3.1. Elementos generales que conforman un estudio de prefactibilidad ..... 31
3.1.1. Principales fases de un proyecto para trabajos topográficos ..... 32
3.2. Elementos generales que conforman un estudio de prefactibilidad según Normas SNIP 2016 ..... 33
3.2.1. Normas generales ..... 33
3.2.2. Normas específicas ..... 34
3.2.2.1. Proyectos nuevos que forman capital fijo ..... 34
3.2.2.2. Estudio técnico ..... 38
3.2.2.3. Ingeniería y arquitectura del proyecto ..... 41
3.3. Elementos que conforman un diseño geométrico ..... 44
3.3.1. Diseño horizontal ..... 44
3.3.1.1. Elementos geométricos de una carretera ..... 44
3.3.1.1.1. Proyección horizontal longitudinal (planta) ..... 45

3.3.1.1.2. Elementos geométricos de las curvas ..... 45
3.3.1.1.3. Trazo de curvas circulares ..... 47
3.3.1.1.4. Proyección vertical longitudinal (perfil) ..... 48
3.3.1.1.5. Proyección transversal. Sección ..... 50
3.3.1.1.6. Movimiento de tierras ... 54
3.3.1.2. Ecuación de la clotoide o espiral de Euler ..... 55
3.4. Trazado de diseño preliminar ..... 57
3.4.1. Levantamiento topográfico ..... 58
3.4.2. Reconocimiento terrestre..... 59
3.4.2.1. Trazo preliminar..... 60
3.4.2.2. Línea a pelo de tierra..... 62

4. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN CON ESTACIÓN Y LA COMPROBACIÓN CON FOTOGRAMETRÍA ..... 65
4.1. Evaluación y análisis por el método convencional de medición con estación según las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos sección 3.4 ..... 65
4.1.1. Contenido de la evaluación..... 66
4.1.1.1. Indicadores de rentabilidad económica ..... 67
4.1.1.2. Análisis de sensibilidad..... 67

4.2. Estudios técnicos de ingeniería. Sección 3.4 ..... 67
4.2.1. Topografía ..... 68
4.2.1.1. Inspección inicial ..... 68
4.2.2. Levantamiento topográfico ..... 68
4.2.3. Diseño geométrico ..... 70
4.2.3.1. Especificaciones ..... 70
4.2.4. Hidrología e hidráulica ..... 71
4.2.5. Diseño de obras de drenaje ..... 71
4.2.5.1. Generalidades de la obra ..... 73
4.2.5.2. Dimensiones ..... 73
4.2.5.3. Sección transversal (geometría) ..... 73
4.2.5.4. Carpeta de desgaste ..... 73
4.2.5.5. Juntas ..... 74
4.2.5.6. Losas de aproximación ..... 74
4.2.5.7. Superestructura ..... 74
4.2.5.8. Apoyos ..... 75
4.2.5.9. Infraestructura ..... 75
4.2.5.10. Cimentación ..... 75
4.2.5.11. Cuartos de cono ..... 75
4.2.5.12. Drenajes superficiales ..... 76
4.2.5.13. Normas de aplicación ..... 76
4.2.5.14. Localización ..... 77
4.2.5.15. Carga de diseño ..... 77
4.2.5.16. Materiales, mano de obra, equipo y métodos constructivos ..... 77
4.2.5.17. La longitud del puente ..... 77
4.2.6. Geotecnia y diseño estructural del pavimento ..... 78
4.2.7. Señalización y seguridad vial ..... 80
4.2.8. Cantidades estimadas de trabajo y costos ..... 81

4.2.8.1. Cantidades estimadas de trabajo ..... 81
4.2.8.2. Costos de construcción ..... 81
4.2.8.3. Costos de supervisión ..... 82
4.2.8.4. Escalamiento ..... 82
4.2.9. Especificaciones técnicas especiales ..... 82
4.2.10. Documentos de concurso y bases de licitación ..... 83
4.2.11. Análisis de riesgo ..... 83
4.2.12. Evaluación y análisis por el método indirecto de medición con fotogrametría ..... 83

5. RESULTADOS DEL COSTO DEL MÉTODO CONVENCIONAL CON ESTACIÓN TOTAL Y DE LA FOTOGRAMETRÍA EN EL TRAZADO DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS PARA ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD ..... 85
5.1. Método directo ..... 85
5.1.1. Tablas de resultado del costo directo ..... 85
5.1.1.1. Resultado del costo general ..... 85
5.1.1.2. Resultado del costo según el cronograma ..... 86
5.1.1.3. Costo GPS ..... 87
5.1.1.4. Costo estación total ..... 89
5.1.1.5. Costo de diseño ..... 91
5.2. Método indirecto fotogrametría ..... 93
5.2.1. Costo del levantamiento por el método indirecto fotogrametría ..... 93
5.2.2. Tablas de resultado del costo indirecto de fotogrametría ..... 94
5.2.2.1. Resultado del costo general ..... 94

5.2.2.2. Resultado del costo según el cronograma ..... 95
5.2.2.3. Costo GPS ..... 95
5.2.2.4. Costo estación total ..... 97
5.2.2.5. Costo de diseño ..... 99

6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA INTEGRACIÓN DE COSTOS ..... 101
6.1. Comparación de costo y tiempo por cada método ..... 101
6.1.1. Comparación del costo entre el método directo e indirecto ..... 101
6.1.2. Comparación del tiempo entre el método directo e indirecto ..... 102

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 105
7.1. Análisis de resultados en costo de medición ..... 105
7.2. Análisis de resultados según tiempo de empleo ..... 106

8. EJEMPLO DE UN TRAZADO DE DISEÑO GEOMÉTRICO CON PLANOS ..... 107

CONCLUSIONES ..... 109
RECOMENDACIONES ..... 111
BIBLIOGRAFÍA ..... 113
APÉNDICES ..... 115

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS


1. Aplicaciones generales de la topografía a la ingeniería ..... 2
2. Métodos planimétricos ..... 6
3. Métodos altimétricos ..... 8
4. Nivelación compuesta ..... 11
5. Fotografía terrestre..... 19
6. Fotografía aérea I..... 19
7. Fotografía aérea II..... 22
8. Ejemplo de utilización de fotogrametría para el trazo de carreteras .... 24
9. Utilización de fotogrametría para el trazo de carreteras..... 27
10. Elementos geométricos de una curva circular..... 46
11. Alineamiento de una carretera. Planta ..... 47
12. Alineamiento de una carretera. Perfil ..... 50
13. Alineamiento transversal. Sección ..... 53
14. Alineamiento previo a movimiento de tierras..... 55
15. Curva circular clotoide..... 56
16. Localización geográfica del proyecto a realizar..... 58
17. Trazo de línea a pelo de tierra ..... 63
18. Alineamiento horizontal..... 64
19. Gráfico comparación costo entre método directo e indirecto ..... 102
20. Gráfico comparación tiempo entre método directo e indirecto ..... 103

## TABLAS


I. Valores a emplearse para la superficie de rodamiento ..... 52
II. Escala de fotografía ..... 84
III. Resultado del costo general ..... 86
IV. Resultado del costo según el cronograma ..... 87
V. Resultado del costo para la medición utilizando GPS ..... 87
VI. Resultado del costo de la medición utilizando estación total ..... 90
VII. Resultado del costo total del diseño por método directo ..... 92
VIII. Resultado del costo general ..... 94
IX. Resultado del costo según el cronograma ..... 95
X. Resultado del costo para la medición utilizando GPS ..... 96
XI. Resultado del costo de la medición utilizando fotogrametría ..... 97
XII. Resultado del costo total del diseño por método indirecto fotogrametría ..... 99

# LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|---|---|
| **cm** | Centímetro |
| **Em** | Escala media |
| **Km** | Kilómetro |
| **m** | Metro |
| **mm** | Milímetro |
| **UTM** | Universal Transversal Mercator |

# GLOSARIO

| | |
|---|---|
| **AASHTO** | American Association of State Highways and Trasnportation Officials. |
| **ACI** | American Concrete Institute. |
| **Acimutales** | Proyecciones de una porción de tierra sobre un plano horizontal seleccionado. |
| **AISC** | American Institute of Steel Construction. |
| **Altimetría** | Parte de la topografía que se ocupa de la medición de alturas. |
| **Aneroide** | Instrumento que mide la presión atmosférica. |
| **Bal Plex** | Instrumento que tiene como finalidad ampliar fotografías hasta 5 veces su tamaño normal. |
| **CAD** | Computer Aided Design. |
| **Clotoide** | Es una curva tangente al eje de las abscisas en el origen y cuyo radio de curvatura disminuye de manera inversamente proporcional a la distancia recorrida sobre ella. |
| **Conred** | Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. |

| | |
|---|---|
| **Cotas** | Altura que presenta un punto sobre un plano horizontal que se usa como referencia. |
| **Equialtímetro** | Instrumento que tiene como finalidad la medición de desniveles entre puntos que se hallan a distintas alturas o el traslado de cotas de un punto conocido a otro desconocido. |
| **Equidistancia** | Distancia entre dos puntos de espacio euclídeo equivale a la longitud del segmento de la recta que los une. |
| **Espiral de Euler** | Es una curva cuya curvatura, que cambia linealmente con la longitud de la curva. |
| **Estereoscopia** | Técnica capaz de recoger cualquier información visual tridimensional y crear una ilusión en tres dimensiones. |
| **Fotogrametría** | Es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a través de las fotografías. Puede ser de corto o largo alcance. |
| **Gasoductos** | Es una conducción de tuberías que sirven para transportar gases combustibles a gran escala. |
| **Granangular** | En la fotografía es aquel cuya distancia focal es menor a la del objetivo normal. |

| | |
|---|---|
| **Imágenes GIMP** | Imágenes digitales en forma de mapas de bits. |
| **ISPRS** | Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos. |
| **Línea pelo a tierra** | Línea quebrada base para proyectar el trazo de la línea definitiva para el diseño del alineamiento. |
| **Mapificación** | Generación de mapas que explican gráficamente segmentaciones o zonas importantes. |
| **MDT** | Modelos Digitales de Elevación. |
| **NRD** | Normas de Reducción de Desastres. |
| **Oleoductos** | Tubería utilizada para el transporte de petróleo y sus derivados. |
| **Poligonación** | Conjunto de puntos unidos por tramos. |
| **Segeplan** | Secretaría Nacional General de Planificación. |
| **Sistemas Raster** | Conjunto de mapas individuales, todos referidos a la misma zona del espacio. |
| **SNIP** | Sistema Nacional de Inversión Pública. |
| **Subrasante** | Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre el cual se coloca la estructura del pavimento. |

| | |
|---|---|
| **TIR** | Tasa Interna de Retorno. |
| **TPDA** | Tráfico Promedio Diario Anual. |

# RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se realizó para presentar un análisis comparativo de costos para mediciones topográficas aplicados a diseños preliminares en proyectos de prefactibilidad. Los métodos de medición analizados son el método directo que se realiza con estación total y un método indirecto de medición que lo representa la fotogrametría.

La metodología utilizada se basó en realizar una investigación de los requisitos que deberían cumplir los estudios de prefactibilidad, establecido esto, se procedió a verificar la disponibilidad de recursos mediante la evaluación de costos para cada método, así como determinar el rendimiento de un topógrafo en campo, como también conocer el valor de cada plan de vuelo. Al emplear los dos métodos se conoció el valor de cada uno y el tiempo que requieren antes de la implementación del diseño preliminar.

Para fines académicos, se toma como investigación el proyecto de Ampliación de Acceso a San José Pinula, al que se le realizó la medición por método directo e indirecto, analizando las ventajas y desventajas que cada uno conlleva.

# OBJETIVOS

## General

Conocer y evaluar el método directo de medición topográfica y la fotogrametría, en estudios de prefactibilidad para el trazado de diseños geométricos.

## Específicos

1. Comparar económicamente el uso de métodos directos e indirectos para el trazado.

2. Determinar el beneficio de la utilización de la fotogrametría en diseños preliminares para estudios de prefactibilidad.

3. Incentivar el uso de la fotogrametría para obtener en el tiempo de entrega de estudios de prefactibilidad.

# INTRODUCCIÓN

La propuesta de este trabajo de graduación es evaluar las ventajas del uso de métodos alternativos para el trazado de carreteras, el cual consiste en un análisis comparativo del método directo como lo es la medición topográfica y el método indirecto el cual es la fotogrametría, y asimismo, proporcionarlo para el uso en proyectos de prefactibilidad para trazados de carreteas.

Para el trazado existen diferentes etapas, siendo algunas de estas imprescindibles, mientras que otras son dependientes de procesos como la topografía, los alcances que tendría el proyecto, la disponibilidad de los recursos económicos, la prematura entrega de los diseños y la prefactibilidad que pueda tener un proyecto.

El presente trabajo tiene la finalidad de estudiar y analizar la vialidad en el uso de la fotogrametría para el desarrollo de un proyecto de prefactibilidad, con este se determinarían las ventajas y desventajas, los impactos que podrían tener, así como una breve investigación de los factores que afectarían la inversión.

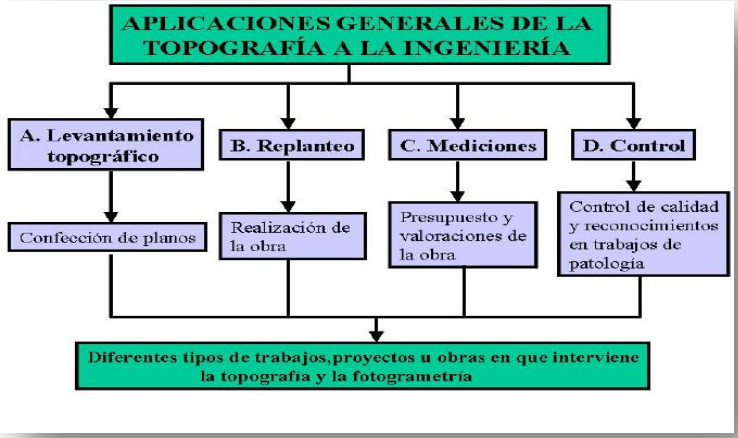
# 1. CONCEPTO GENERAL DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA

La topografía es la ciencia que estudia los métodos y procedimientos para la determinación de posiciones sobre la superficie de la Tierra, por medio de medidas en un espacio o sistema de coordenadas. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia una dirección y una elevación.

El conjunto de procedimientos necesarios para determinar las posiciones de los puntos y la representación en un plano se le llama comúnmente “levantamiento topográfico”.

La mayor parte de los levantamientos, tienen como objetivo el cálculo de superficies y volúmenes; la representación de las medidas tomadas en el campo mediante la presentación de perfiles y planos, por lo cual estos se consideran dentro de la topografía (ver figura1).

Figura 1. **Aplicaciones generales de la topografía a la ingeniería**




Fuente: TOSCANO, Ricardo. *Métodos topográficos*. p. 36.

## 1.1. Tipos de métodos de medición topográfica

Las mediciones de terrenos en general, consisten en marcar o localizar los linderos para determinar el área, ubicar en proyectos de construcción y desmembraciones.

Los levantamientos de vías de comunicación consisten en la elaboración de los levantamientos para el diseño, la planificación, la construcción y el mantenimientos de caminos, carreteras, autopistas, vías férreas, canales de agua y líneas de transmisión.

Levantamientos mineros: estos fijan y controlan la posición de los trabajos en los bancos de material y las minas subterráneas, se necesitan para controlar los volúmenes de material que se procesa.

Levantamientos catastrales: se realizan en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijar y delimitar los predios y es el estudio del crecimiento y la distribución poblacional.

### 1.1.1. Métodos topográficos

La finalidad de todo trabajo topográfico es la observación en campo de una serie de puntos que permita posteriormente en gabinete, la obtención de sus coordenadas para:

- Hacer una representación gráfica de una zona
- Conocer su geometría
- Conocer su altimetría
- Calcular una superficie, longitud, desnivel

En todos los trabajos se busca una precisión determinada. Para la elaboración de un plano, la precisión de planimetría y la elección de los elementos del terreno la marca la escala de la representación y el límite de percepción visual de 0,2 mm. Para la altimétrica, los puntos levantados están condicionados por la equidistancia de las curvas de nivel.

Para llegar a obtener las coordenadas de un punto, es necesario apoyarse en otros previamente conocidos. Los errores de estos se van a transmitir a los detalles tomados desde ellos, y por eso debe establecerse una metodología de trabajo de manera que se tengan comprobaciones de la bondad de las medidas.

En cuanto al sistema de coordenadas utilizado, puede ser un sistema general (coordenadas UTM) o en un sistema local. Para trabajos oficiales e

importantes es muy común el empleo de coordenadas generales. Los puntos de los que se parte son vértices geodésicos que constituyen la red de puntos con coordenadas UTM distribuidos por todo el territorio nacional. Para levantamientos pequeños, como pueden ser trabajos de deslinde, medidas de superficies es más común el uso de coordenadas locales.

Los métodos topográficos son diversos sistemas de proceder para en función de los trabajos de campo y gabinete tener una toma de datos correctos. Consiste en estacionar un instrumento en un punto conocido, hacer estación, de la cual se tienen coordenadas (x, y, z) conocidas por lo que mediante ángulos y distancias tomo los datos. Si solo se hace planimetría se necesitan x, y; altimetría z; taquimetría x,y,z.

#### 1.1.1.1. Métodos planimétricos

Tienen por objetivo estudiar las normas y procedimientos para efectuar la planimetría de un terreno; se basan en la medida de ángulos (acimutales) y distancias en horizontal (ver figura 2).

En planimetría los métodos son:

- Radiación: permite relacionar todos los puntos del terreno con un punto de coordenadas conocidas.
- Poligonal o itinerario: permite relacionar puntos de estación o itinerario.
- Triangulación: permite relacionar puntos a mayores distancias.
- Redes: primero se hace una red de triángulos no muy grandes donde se tienen una serie de vértices (red de triangulación o trigonométrica), después se hace una segunda red que marcaría la poligonal (red topográfica o de poligonación) y finalmente, una tercera red que sirve

para tomar los datos (red de relleno). Así, se consiguen los errores mínimos y se aproximan las coordenadas a la forma de trabajo haciendo una triangulación con menor número de errores y con las menos estaciones posibles.

Si se quiere levantar un plano de una amplia zona con la red trigonométrica, se fijan unos puntos y se calculan sus coordenadas en forma de triángulos. Se miden todos los ángulos de los triángulos y con un lado se tendrán todos los datos, es decir, con métodos angulares y una medida se podrá dar valores x, y a todos los demás triángulos.

Los triángulos tienen lados grandes ya que sirven para cubrir la mayor parte del terreno. El problema es que habrá mayor error cuanto mayor sea el número de triángulos. La red topográfica se observa con los métodos de poligonal. Una vez conocidas las coordenadas de los vértices de los triángulos se formarán polígonos en la zona teniendo los puntos con sus coordenadas xy.

Figura 2. **Métodos planimétricos**

Fuente: TOSCANO, Ricardo. *Métodos topográficos*. p. 4.

#### 1.1.1.2. Métodos altimétricos

La altimetría tiene por objetivo estudiar cotas, altitudes y desniveles (ver figura 3). En altimetría los métodos son:

- Nivelación barométrica: son los menos precisos pero los métodos más rápidos.
- Nivelación trigonométrica: permite ver la diferencia de altitud en función de medidas angulares.
- Nivelación geométrica: permite ver la diferencia de altitud en función de visuales horizontales.

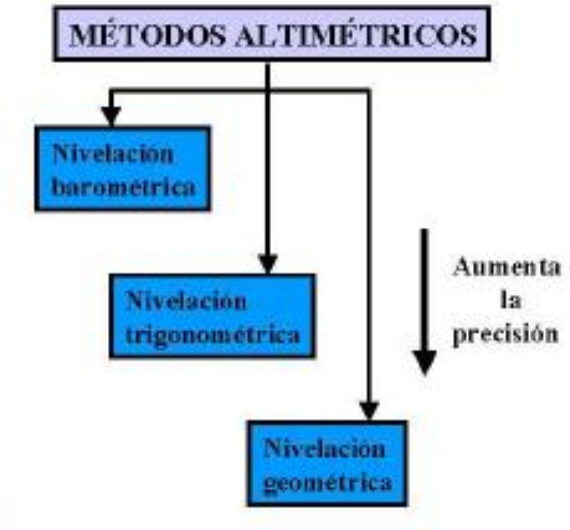
Una clasificación de los métodos topográficos en función del instrumental empleado es la siguiente:

- Métodos basados en medidas angulares:
  - Triangulación
  - Intersecciones (directa e inversa)

- Métodos basados en la medida de ángulos y distancias:
  - Poligonal
  - Radiación

- Métodos de medida de desniveles:
  - Nivelación barométrica
  - Nivelación trigonométrica
  - Nivelación geométrica

Figura 3. **Métodos altimétricos**




Fuente: TOSCANO, Ricardo. *Métodos topográficos*. p. 5.

## 1.2. Métodos alternativos para el trazado de diseños geométricos

Una vez realizados los estudios socioeconómicos que justifican la construcción de nuevos caminos y las mejoras de las existentes, se programan los estudios de vialidad que permitan establecer la conveniencia y las prioridades para la elaboración de nuevos proyectos y las obras correspondientes.

Con este fin es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprende el estudio comparativo de todas las rutas posibles y convenientes para seleccionar en cada caso, la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales. Entendiéndose por ruta, a la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados dentro de la cual es posible hacer la localización de un camino.

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, por razones técnicas, económicas, sociales y políticas, tales como: poblaciones, sitios o áreas productivas y puertos orográficos.

Como se observa, la selección de ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde la obtención de datos, examen y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar a este nivel los costos y ventajas de las diferentes rutas y elegir así la más conveniente.

Con la selección de ruta se determina la zona más ventajosa para la localización de un camino. Se requiere ahora establecer el trazo de este camino, haciéndolo necesario completar y definir los datos recolectados previamente; para esto último; se requiere un levantamiento topográfico, ya sea utilizando los métodos directos o alternativos.

### 1.2.1. Nivelación geométrica

Consiste en determinar desniveles entre puntos mediante visuales horizontales.

El desnivel es la diferencia entre la altura a la que queda la visual horizontal en el punto de partida y en el punto final. A la lectura tomada en el punto de partida se le llama de espalda, y a la del punto al que se quiere medir el desnivel, de frente.

- Esas alturas se miden fácilmente si la regla es una mira (graduada en metros y fracciones de metro).

- El instrumento topográfico que se utiliza en este método es el nivel o equialtímetro.

- En la nivelación geométrica, se distingue entre nivelación simple y compuesta.

#### 1.2.1.1. Nivelación simple

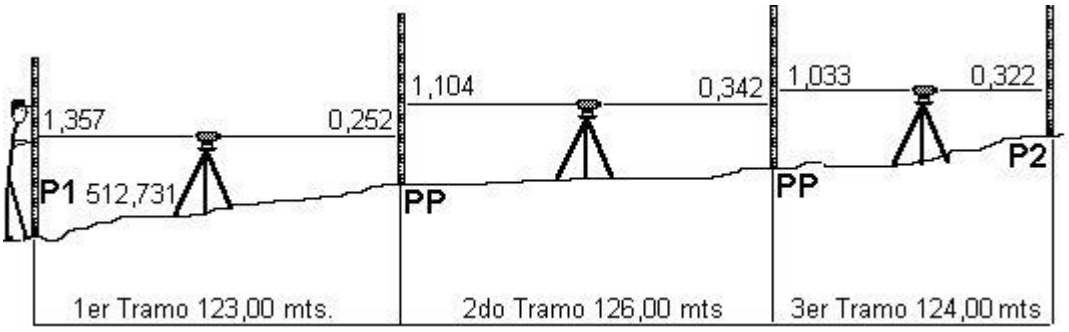
En la nivelación simple se determina el desnivel entre los puntos mediante una única posición del instrumento. Para ello deben darse dos condiciones:

- Que la diferencia de nivel entre los puntos sea tal que la longitud de la miras permita determinarla. Si se utilizan miras convencionales de 4 m, ese es el máximo desnivel que se puede determinar mediante una medida: correspondería a tener en una lectura 0 en un punto y 4 en el otro.
- Que la distancia que los separa sea tal que las lecturas a las miras pueda realizarse.

#### 1.2.1.2. Nivelación compuesta

La nivelación compuesta se hace cuando es necesario situar el nivel en varias posiciones porque alguna de las dos condiciones anteriores no se cumplen. Por ejemplo, para medir el desnivel entre A y B, se necesita medir desniveles a puntos intermedios (ver figura 4).

Figura 4. **Nivelación compuesta**




Fuente: *Google*. www.google.com.gt/nivelacioncompuesta. Consulta: abril de 2014.

La nivelación de puntos puede ser de dos maneras: “nivelación longitudinal o itinerario altimétrico” y “nivelación radial”.

En el primer caso los puntos nivelados se van sucediendo y en el segundo, están agrupados alrededor de uno que se toma como referencia: una única lectura de espalda sirve para calcular desniveles varios puntos en los que se lee el frente.

La nivelación geométrica es más precisa que la trigonométrica. Se utiliza por tanto en cuando se requieren cotas con precisión. Por ejemplo, puede utilizarse para dar cotas a las bases de poligonal, para nivelar piezas de industria, para pruebas de carga en puentes.

### 1.2.2. Fotogrametría

La fotogrametría es un instrumento que sirve para determinar la forma del objeto ya que se puede observar, también se logra determinar el tamaño si se

sigue un proceso que ayude a calcular la escala apropiada, y la posición si se ubica al objeto en lugares conocidos.

### 1.2.3. Aplicaciones de la topografía y la fotogrametría

Tipos de trabajos, proyectos u obras en los que interviene la topografía y la fotogrametría:

- Levantamientos de terreno para plantas, polígonos industriales y urbanizaciones.
- Parcelaciones a escala municipal, entre otros.
- Estudio de perfiles para regadíos, carreteras, redes eléctricas, oleoductos, gasoductos, saneamientos, traída de aguas, saneamientos, entre otros.
- Planos catastrales.
- Autovías, autopistas (incluidos cruces especiales).
- Líneas de ferrocarril.
- Obras hidráulicas: embalses, centrales, entre otros.
- Cartografía de cascos urbanos y provinciales (escalas de 1:500, 1:1 000, 1:5 000, 1:10 000).
- Zonas regables y estudios de recursos mineros (escala 1:25 000, S= 50 000 ha).
- Levantamientos subterráneos.

## 1.3. Aplicación de la fotogrametría en proyectos viales

El desarrollo de diseño de la línea pelo a tierra o preliminar de caminos y carreteras, a partir de la información de fotografías aéreas, aplicando fotogrametría se hace de una forma sencilla y rápida; el concepto es que

mientras mejor quede acomodada esa línea pelo a tierra a la superficie terrestre menor será el movimiento de tierra que se deba realizar.

Para la determinación de esta línea en el sistema tradicional se hace con compás buscando una pendiente entre las curvas de nivel, en el método fotogramétrico digital se dibujan círculos de igual diámetro buscando también tener una pendiente constante que es la de diseño, el punto aquí es que el sistema tradicional ha sido ampliamente probado por todos los profesionales dedicados al diseño de obras viales.

Desde mediados del siglo pasado y por ser los ingenieros graduados en los años 60 los que están en puestos de decisión en la mayoría de casos, no están familiarizados con los procesos CAD y de computación y por carecer de conocimientos de manejo de fotografías por sistemas raster de programas de computación, por lo que no confían en los resultados por el método “Diseño de la línea pelo a tierra o preliminar de caminos y carreteras a partir de la información de fotografías aéreas aplicando fotogrametría.”

Se evaluarán los dos métodos por las cantidades de volúmenes para medir el grado de divergencia entre ellos y tomarlo como válido en caso de tener menos de 5 % de diferencia volumétrica, por ser línea (la línea pelo a tierra) no tiene volumen y no se puede comparar en términos económicos la producción de esa línea con ambos métodos; se evaluará dos métodos distintos, el fotogramétrico y el tradicional con estación total para llegar al cálculo de volúmenes y conocer sus costos actuales; de aquí se tomará la decisión de evaluar la hipótesis y tomarla como verdadera o falsa.

### 1.3.1. Preparación de fotografías aéreas por software

Fotografías aéreas o imágenes aéreas, son fotografías tomadas desde un avión o helicóptero a una determinada altura de vuelo sobre un terreno de interés.

Otra aplicación del software libre para Ciencias de la Tierra es el uso del editor de imágenes GIMP para el reconocimiento de patrones en las fotografías o imágenes aéreas. Este software ayuda a los geólogos a realizar una mejor interpretación de las fotografías para llevar a cabo una toma de decisiones al momento de estar analizando algunas de estas fotografías aéreas, pues este programa contiene varios filtros que se aplican a las fotografías previamente escaneadas o digitalizadas, para hacer visibles rasgos y características que en la fotografía original no se aprecian o se aprecian muy poco.

La toma de fotografías desde el aire ha sido utilizada por el hombre casi desde la invención de los aviones. Sus usos son múltiples y se aplica a las distintas áreas del quehacer humano, que incluyen la agricultura y silvicultura, el urbanismo, la ingeniería en todas sus ramas, la minería, la pesca, el periodismo, la defensa, entre otros. Su utilidad es evidente, ya que permite tener a muy corto plazo, una visión aérea de sectores extensos, que de otra forma sería mucho más lenta y costosa de obtener.

La toma de fotos aéreas ha evolucionado junto con el avance de sus dos apoyos tecnológicos, la cámara fotográfica y las aeronaves (aviones y helicópteros), agregándose además, en las últimas décadas, los satélites. Tomadas con cámaras especiales a lo largo de una línea de vuelo en secuencia, con un porcentaje de sobre posición lateral, las fotografías aéreas

proporcionan imágenes reales de la superficie terrestre. La mejor forma para su observación es la siguiente:

- De acuerdo con la secuencia de las líneas de vuelo, se colocan las fotos por pares bajo un microscopio estereoscópico para que cada ojo observe, de manera independiente, solo una de las dos fotografías.
- Los dedos índices de cada mano se colocan sobre un punto sobresaliente y común a cada fotografía.
- Las fotografías se observan a través del microscopio y se mueven hasta que las imágenes de los dedos queden superpuestas; cuando los dedos se retiran el relieve se percibe instantáneamente, de manera muy parecida a la vista hacia tierra firme desde la ventanilla de un avión en vuelo.

En las fotografías aéreas se pueden identificar los diferentes tipos de roca por sus características estructurales, ambientes de depósito, textura, tono de grises o color, entre otros.

# 2. GENERALIDADES DE LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee en forma natural el ser humano. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto.

Desde sus inicios, la fotogrametría se ha convertido en la herramienta indispensable en la producción de la base cartográfica de todos los países del mundo; de hecho, la mayoría de la cartografía topográfica del planeta ha sido realizada por medio de esta disciplina. Si bien la fotogrametría tuvo su inicio en el levantamiento de fachadas arquitectónicas y plantas de edificios, mediante el uso de fotografías terrestres, pronto se utilizaron las fotografías aéreas para el levantamiento de la cartografía de base, lo que le dio el tremendo auge que ha mantenido hasta hoy día. Esta capacidad de cartografiado de base la convierte también en la fuente primigenia de información para la cartografía temática y para los sistemas de información geográficos.

Como consecuencia de la utilización de la fotografía aérea, se desprendió de la fotogrametría la disciplina de la fotointerpretación, la cual comparte sus fundamentos básicos con la fotogrametría aérea.

A partir de los años ochenta, el desarrollo acelerado de la computación, condujo al establecimiento de la teledetección como consecuencia lógica de la

evolución de la fotointerpretación, así como al desarrollo de técnicas de tratamiento computarizado de imágenes digitales y al desarrollo de la visión por computadora.

Actualmente, con el apoyo de la computación, la fotogrametría se ha convertido en una disciplina indispensable en el campo de la cartografía, a la vez que aumenta el número de sus usuarios debido a que los equipos fotogramétricos de elevado costo, están siendo desplazados por programas de precio menor o por programas desarrollados por los mismos usuarios.

## 2.1. Definición de la fotogrametría

Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado.

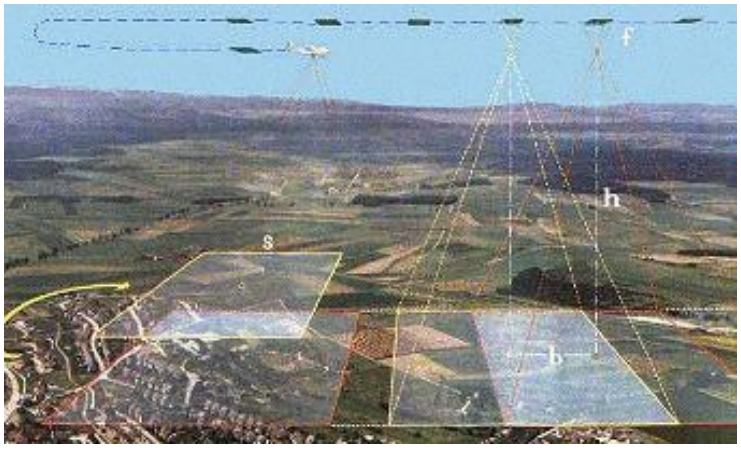
Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

La fotogrametría es una herramienta de medición indirecta, que es de mucha utilidad, ya que se apoya en imágenes que por cualquier inconveniente no se puede estar en el lugar del objeto. La fotogrametría esencialmente se clasifica en dos categorías: fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea (ver figuras 5 y 6).

Figura 5. **Fotografía terrestre**

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. *Fotogrametría*.www.ign.es/fotogrametria. Consulta: septiembre de 2015.

Figura 6. **Fotografía aérea I**




Fuente: Instituto Geográfico Nacional. *Fotogrametría*.www.ign.es/fotogrametria. Consulta: septiembre de 2015.

### 2.1.1. Fotogrametría terrestre

Este tipo de fotografía es usado en topografía superficial como subterránea, como también en restauración de edificios, casas y demás, ya que en este proceso se le toma una fotografía al edificio que se está restaurando y luego se hacen bosquejos de cómo pudo haber sido y como va a quedar restaurado.

Las fotografías se pueden trabajar conjuntamente con equipos topográficos ya que en algunas ocasiones la cámara forma parte del teodolito, de modo que el eje principal de la cámara es el mismo que el del teodolito, con lo cual se puede tomar una serie de fotografías junto con mediciones topográficas.

Con respecto a la fotografía subterránea es una herramienta, ya que puede servir para el cálculo de áreas de trabajo, como consecuencia calcular volúmenes de material que se tenga que extraer de una obra en particular, por ejemplo para calcular volúmenes en el movimiento de tierra que se hacen al construir túneles para la explotación de minerales o tramos carreteros túneles, minas, entre otros.

### 2.1.2. Fotogrametría aérea

La fotogrametría aérea es un proceso que es esencialmente tomar una serie de fotografías, con interés en el área que se está fotografiando, más que todo es la representación más compleja y completa que revela información de la superficie terrestre en estudio (ver figura 7).

Estas fotografías instruyen sobre el terreno revelando accidentes geográficos importantes como lo son volcanes, valles, ríos, cuencas, como también las estructuras construidas por el hombre.

Este tipo de fotografía tiene diversos usos tales como: levantamientos topográficos, planeación de urbanizaciones, cálculos de áreas que colaboran en una cuenca, estudios de drenajes, planificación y diseño de carreteras, ubicación de ríos, líneas férreas, líneas de conducción de energía eléctrica, investigación y estudio de cultivos, planificación urbana y geológica, entre otros usos.

El proceso de fotografías aéreas es un proceso que consiste en tomar fotografías desde un avión, en el cual se ha colocado previamente una cámara, esta cámara toma fotos individuales de un área determinada, en las cuales se logra tomar varios tipos de fotografías que se verán más adelante como: verticales, oblicuas, todo esto con un plan de vuelo predeterminado, que es establecido ya sea por condiciones del terreno como condiciones climáticas.

Figura 7. **Fotografía aérea II**

Fuente: REYES ARREAGA, Sergio Iván. *Guía teórica y práctica del Curso de Topografía 3*. 2005. p. 217.

## 2.2. Uso de la fotogrametría para el trazado de carreteras

La fotogrametría tiene una gran cantidad de aplicaciones y ámbitos de investigación, como la arquitectura, la escultura, la meteorología, la medicina, arqueología, entre otros, y por supuesto, la topografía, en la que se utilizan fotografías aéreas.

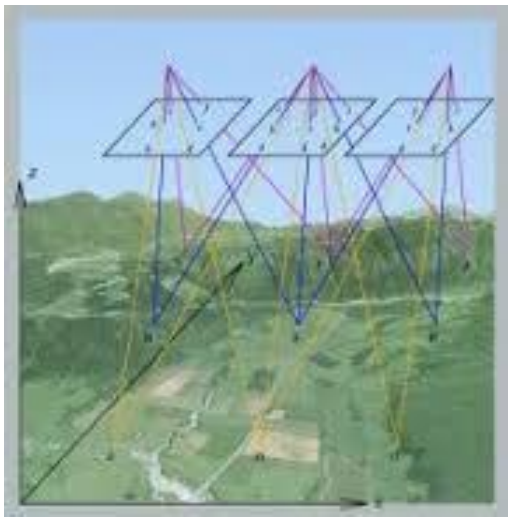
Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos digitales del terreno (MDT), modelos digitales de elevación (MDE) y orto imágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales, entre otros. Para llevar a cabo la restitución digital,

las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso interactivo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes.

La utilización de la fotogrametría consiste en la realización de mapas y planos topográficos, además, realiza otros tipos de mapas de carácter especial, los cuales pueden presentar gran variedad de escalas, y se utilizan en el proyecto y diseño de obras tales como autopistas, carreteras, vías de ferrocarril, puentes, tuberías, oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, presas hidroeléctricas, estudios urbanos, entre otros.

Una importante cantidad de la información cartográfica producida mediante el empleo de la fotogrametría, es utilizada como referencia espacial en bases de datos digitales. Estos, se integran con otros datos obtenidos por diferentes medios, generalmente de carácter cualitativo y descriptivo para conformar sistemas de información geográfica (SIG).

Figura 8. **Ejemplo de utilización de fotogrametría para el trazo de carreteras**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional*. Fotogrametría*. www.ign.es/fotogrametria. Consulta: septiembre de 2015.

### 2.2.1. Reconocimiento aéreo

Es el que ofrece mayores ventajas, ya que se puede observar grandes zonas desde la altura que convenga facilitando el estudio; se distinguen tres tipos de reconocimiento aéreo.

El primero reconocimiento aéreo se efectúa en avioneta y tiene por objetivo determinar las rutas que se consideren viables y fijar el área que se debe fotografiar a escala 1:50 000, intervienen en el técnico especialista en planeación, localización y geotécnica.

El segundo reconocimiento aéreo se lleva a cabo después de interpretar las fotografías a escalas 1:50 000 hechas en el primer reconocimiento y tiene

por objetivo comprobar lo estudiando las fotografías. Este reconocimiento se efectúa en el helicóptero para poder descender en los lugares de interés y acentuar aún más la información obtenida. Al finalizar el recorrido se fotografía la zona a escala de 1:25 000 para proyectarlas en el aparato llamado Bal Plex, que puede ampliar las fotografías hasta cinco veces mayor, dando así una mayor idea de las rutas posibles para elaborar un presupuesto con una aproximación razonable que puede ser factor determinante en la elección de las rutas.

El tercer reconocimiento puede ser aéreo o terrestre, es propiamente un refinamiento del estudio hecho en el Bal Plex, en el cual ya no intervienen el técnico especialista el planeación.

### 2.2.2. Reconocimiento combinado

Es una combinación de los dos anteriores y se lleva a cabo en las siguientes circunstancias:

Cuando no se dispone de fotografía aérea de la región y existe la posibilidad de realizar un recorrido en avión o helicóptero. Se efectúa de forma similar al primer reconocimiento aéreo con la diferencia de que al volar se van marcando las rutas posibles en las cartas geográficas disponibles para después recorrerlas por tierra siguiendo el procedimiento indicado en el reconocimiento terrestre.

Cuando se cuenta con fotografías de la zona pero no se pueda realizar un recorrido aéreo, en este caso se realizará la interpretación de las fotografías, marcando las diferentes rutas y eliminando los accidentes que podrían retrasar los trazos, luego se procede a realizar un reconocimiento terrestre.

### 2.2.3. Fotografías aéreas

La información obtenida a través de las fotografías aéreas facilita el estudio del terreno desde el punto de vista topográfico, geológico y de uso de la tierra, permitiendo así determinar la elección de la mejor ruta.

Para la toma de fotografías aéreas se utilizan cámaras métricas de eje vertical, con lente granangular con distorsión máxima de 0-01 mm y distancia focal de aproximadamente 152 mm, con formato de 23 por 23 cm.

Para lograr la continuidad estereoscópica, debe existir una sobre posición longitudinal de 60 a 80 % y una sobre posición lateral de 20 a 30 %, dependiendo de la relación relieve del terreno-altura de vuelo.

La toma de las fotografías está restringida a ciertas épocas del año y horas del día, por la presencia de nubes y por la proyección de sombras; se específica que las nubes no cubran más del 5 % del área fotografiada y que el ángulo de altura del Sol con respecto al horizonte esté comprendido entre 45 y 75 grados, dependiendo de la topografía del terreno.

Cuando se trate de un terreno plano es conveniente que el ángulo sea poco menor, porque así, las sombras ayudan a observar el relieve.

La escala de una fotografía vertical y el área cubierta por ella dependen de los siguientes elementos:

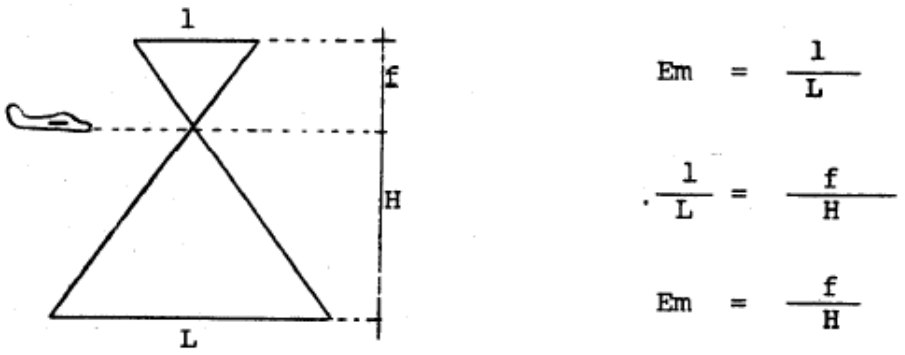
- La distancia focal o constante de la cámara F, que es la distancia entre el centro óptico del objetivo y el plano de la imagen fotográfico o plano focal.

- El formato 1, que corresponde a las dimensiones de negativo de forma, o sean las longitudes de sus lados.

- La altura del vuelo H, que es la distancia del centro óptico del objetivo al nivel medio del terreno en el área cubierta por la foto (ver figura 8).

- La escala media Em de las fotografías, llamadas también escala de vuelo, se obtiene de la siguiente manera:

Figura 9. **Utilización de fotogrametría para el trazo de carreteras**




Fuente: Instituto Geográfico Nacional. *Fotogrametria.*www.ign.es/fotogrametria. Consulta: septiembre de 2015.

### 2.2.4. Foto interpretación

La foto interpretación consiste en el examen de las imágenes fotográficas, con el objetivo de identificar rasgos y determinar su significado. Identificando las fotografías por medio de sus características físicas, características de rasgos y objetos, topográficas, geomorfológicas y características de la vegetación.

## 2.3. Uso que se le da a la fotogrametría en otros países

- Restitución análoga digital para la creación de la base cartográfica de pueblos y ciudades en Argentina, con el interés de controlar y planificar el desarrollo urbanístico. Control fiscal de las propiedades para el cobro de impuestos sobre la tierra.
- Mapificación para la creación de un catastro fiscal en Rosario, Argentina (urbano y rural), con carácter impositivo para el control del consumo de agua y proyección de sistemas hidráulicos que racionalizarán y harán más eficiente este servicio. Control de embalses, piscinas, estanques u otros objetos acumuladores de agua.

- Formación de modelos digitales del terreno en zonas de Portugal para la investigación geólogo-minera. Con interés de ubicación y cálculo de los potenciales existentes en el subsuelo y a cielo abierto a partir de la generación de ortofotos.

- Desarrollo de la mapificación digital a escala 1:2 000 y 1:10 000, con intereses para la agricultura cañera y no cañera. Densificación de los suelos para la realización del drenaje parcelario por métodos fotogramétricos. Control de cultivos y análisis de cosechas.

- Mapificación topográfica a escala 1:1 000, Maiquetía, Venezuela. Interés de control urbanístico, planeamiento social de la zona y proyección de viales.

- Restitución de planos escala 1:1 000. Proyectos Ríos, Arlanza, Arlanzón, Esgueva, Canal Auxiliar, España. Destinado al análisis de las cuencas,

control de los recursos hidrográficos, planificación de represas y toma de decisión ante desastres.

- Creación de las bases cartográficas en formado digital de proyectos con intereses sociales y económicos para la realización de anteproyectos ingenieriles, administración de los recursos y control posterior.

- Levantamiento de la red de comunicaciones telefónica de Toledo, España.

- Levantamiento para proyección de fibra óptica en Maravatio - Atlacomulco en México.

- Levantamiento de la zona arqueológica de Cantona en México. Con descripción de los objetos de interés histórico, cultural y social.

- Restitución de fachadas y armonización con el levantamiento arquitectónico, para la reconstrucción y rehabilitación de monumentos y lugares de alto interés histórico cultural. Esta actividad recibe el apoyo de la Oficina del Historiador de la ciudad de La Habana.

- Restitución de fachadas de la catedral de Neceno en Suiza. Este trabajo sirvió de apoyo para su restauración, posterior a un incendio que la destruyó y aseguró la base gráfica del sistema informativo que la administra.

- Creación de mapas temáticos de zonas protegidas en Brasil. Destinado al estudio de las zonas, ubicación de recursos y especies naturales existentes.

- Mapificación 1:1 000 de la región de Mariel Jaruco, Cuba. Destinado para el inventario de recursos, planificación vial y diseño de obras ingenieriles. Constituye el primer resultado de la mapificación digital en el país, con tratamiento tridimensional y topológico para garantizar la administración en un GIS.

# 3. DESARROLLO DE ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN PROYECTOS VIALES

Frente a las necesidades que se tienen de inversión en infraestructura terrestre, se necesitan contemplar alternativas que identifiquen los aspectos críticos en los diseños antes de ser ejecutados. Para ello se realizan proyectos de prefactibilidad que muestren el comportamiento en aspectos de inversión, ejecución y planificación.

## 3.1. Elementos generales que conforman un estudio de prefactibilidad

Los estudios de prefactibilidad para proyectos de inversión en Guatemala están regido por la Secretaria General de Planificación (Segeplan), que tiene como propósito el ordenar y hacer eficaz el proceso de la inversión pública mediante el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

El SNIP consta con lineamientos para autorizar la ejecución con recursos provenientes del estado, estos lineamientos serán detallados a continuación:

Para la evaluación técnica, económica y social de los proyectos, es requisito indispensable la existencia de un documento actualizado, que dependiendo del tamaño, complejidad y costo del mismo, debe estar formulado a nivel de perfil, prefactibilidad, factibilidad, y en cada caso, presentar los diseños finales. Estos estudios deberán realizarse de acuerdo con estas normas y las guías metodológicas emitidas por la Segeplan.

Para proyectos que forman capital fijo, las etapas de prefactibilidad, factibilidad, diseños finales o ejecución.

### 3.1.1. Principales fases de un proyecto para trabajos topográficos

Fases esenciales de un proyecto correspondiente a trabajos topográficos:

- Estudio previo

  Para señalizar provisionalmente los linderos, trazados, entre otros. suele bastar con el mapa nacional, visita al terreno, instrumentos de medida sencillos.

- Redacción del anteproyecto

  Se exige contar con las diferentes variantes para elegir una solución sobre la base de un plano topográfico con solo los detalles más significativos (levantamiento provisional).

- Redacción del proyecto

  Se exige realizar un plano topográfico a mayor escala y con más detalles, definiéndose perfiles longitudinales y transversales a menos separación para obtener la exactitud suficiente y efectuar las correcciones oportunas (levantamiento definitivo).

- Ejecución de la obra

  Se efectúan los replanteos a partir de los planos

## 3.2. Elementos generales que conforman un estudio de prefactibilidad según Normas SNIP 2016

En el marco de la modernización del Estado y en la búsqueda de la transparencia en el uso de los recursos públicos, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplan), ha implementado el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), cuyo propósito es mejorar la calidad de la inversión, propiciando la asignación de recursos a los proyectos de mayor rentabilidad social, acordes a las prioridades, metas, resultados y lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo.

### 3.2.1. Normas generales

El Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) reconoce dos tipos de proyectos de inversión, los que forman capital fijo y los que no forman capital fijo.

Todo proyecto de inversión que se presente a la Segeplan, deberá especificar la fase del ciclo de vida del proyecto que requiere financiamiento, que podrá ser: preinversión o ejecución.

Las entidades públicas de inversión que ejecuten proyectos de inversión que generen o no capital fijo, con fondos regidos por la Ley Orgánica del Presupuesto, incluyendo los fideicomisos y proyectos con fondos de cooperación reembolsable y no reembolsable, tienen la obligación de registrar e

ingresar oficialmente el documento de proyecto a Segeplan para su evaluación correspondiente; así como también, mantener actualizada la información en el Sistema de Información de Inversión Pública (SNIP).

Con fundamento en el análisis realizado a la documentación presentada, la Segeplan evalúa y emite la opinión técnica correspondiente.

### 3.2.2. Normas específicas

Los proyectos de prefactibilidad requieren seguir diferentes normas, ya sean generales o específicas para poder llevar a cabo la ejecución del mismo. A continuación se detalla algunas normas que se deben tomar en cuenta.

#### 3.2.2.1. Proyectos nuevos que forman capital fijo

Los proyectos de inversión que forman capital fijo que requieran recursos por primera vez para la etapa de ejecución, deben estar formulados y evaluados a nivel de perfil, prefactibilidad o factibilidad, dependiendo del tamaño, complejidad y costo del mismo. Posteriormente deberá presentar el documento de proyecto a la Segeplan con los contenidos que se describen a continuación:

- Diagnóstico

  Nombre del proyecto. Los proyectos se identifican con un nombre claramente estructurado, en función de la alternativa seleccionada, respondiendo a las siguientes características:

  - Proceso
  - Objeto

- Localización específica

- Antecedentes

En los antecedentes es necesario presentar la forma en que ha evolucionado la posible solución al problema, es decir, el proyecto en la institución responsable y también en la comunidad, destacando los trámites y estudios previos que originaron su identificación, la experiencia obtenida en otros proyectos o estudios similares, así también, mencionar los proyectos ejecutados, instituciones participantes y las fechas que correspondan.

También se debe indicar si la solución que se ha seleccionado (el proyecto) fue consultada, según corresponda, a mujeres, niños, jóvenes, pueblos indígenas, población con discapacidad, adultos mayores u otro sector de la población, directamente relacionada con el proyecto que se propone. Es necesario que como parte de los antecedentes se exponga brevemente el impacto de eventos naturales o antrópicos que hubieran afectado el área donde se ubicará el proyecto.

No debe presentarse en este apartado la justificación, la problemática, los objetivos del proyecto que se está formulando.

- Análisis de la problemática

Es fundamental para la evaluación, caracterizar y analizar la problemática que se quiere resolver con la ejecución y puesta en marcha del proyecto. Es necesario indicar cómo esa problemática afecta de manera diferenciada a mujeres y hombres; cuando proceda a pueblos

indígenas y no indígenas; a niños, jóvenes y adultos mayores. Para el efecto, deberá identificar el problema y plantearse al menos dos alternativas de solución, una de las cuales puede ser la situación base optimizada; las cuales se compararán con la situación sin proyecto.

- Área de influencia

  Análisis del espacio geográfico dentro del cual se focaliza el problema y el impacto que la alternativa de solución planteada. El estudio debe considerar para efecto de análisis, cinco aspectos básicos: geográficos, ambientales, de riesgo, socioeconómicos y de servicios, considerando la relación del proyecto con la gestión y ordenamiento territorial.

- Justificación

  - Situación sin proyecto

    Corresponde a la descripción detallada de la situación actual y análisis de la evolución del problema, sus consecuencias, los costos en los que se incurrirá por no solucionar el problema; las implicaciones en las condiciones de vida de las personas, especialmente de mujeres, niños, adultos mayores, pueblos indígenas y jóvenes, así como los beneficios que se dejan de percibir.

  - Situación con proyecto

    Análisis de las alternativas identificadas como las soluciones al problema, seleccionando la mejor opción, con base en las ventajas

comparativas de las mismas, en función de la que ofrece mayor beneficio.

- Objetivos y metas

Se deberá identificar el objetivo general, los objetivos específicos, las metas, productos y resultados que se pretenden alcanzar durante la vida útil del proyecto; considerando la metodología de Gestión por Resultados.

Los objetivos específicos deberán reflejar, cuando proceda, cómo el proyecto atenderá las necesidades de hombres y las necesidades de mujeres, por separado o de otros grupos de población como niñez, jóvenes, adultos mayores, personas con discapacidad, entre otros.

- Estudio de mercado

El proyecto basará su dimensión en el estudio de mercado, especialmente en lo que se refiere a la identificación, caracterización, cuantificación y proyección de la oferta y la demanda del bien o servicio a prestar, considerando las necesidades de la población objetivo o beneficiarios directos identificados, estos datos deberán estar desagregados por sexo, edad e identidad étnica. En cuanto a la oferta, es importante presentar cómo se está prestando el servicio actualmente frente a la demanda planteada y justificar por qué la oferta existente es insuficiente para solucionar el problema, o bien si dicha oferta carece de pertinencia de género o de pueblos.

- Beneficiarios directos e indirectos

Se deberá identificar y caracterizar los beneficiarios directos (población objetivo) e indirectos (en ambos casos establecer categorías por: género, socioeconómico, étnico, etario) y su cuantificación por ubicación y área geográfica, utilizando datos estadísticos actualizados.

#### 3.2.2.2. Estudio técnico

- Localización del proyecto

Todo proyecto debe incluir el estudio de macro y micro localización de la solución adoptada, señalado en el plano de microlocalización.

Las entidades públicas de inversión deberán analizar la ubicación de los proyectos, en relación con el conjunto de regulaciones existentes en materia de uso del suelo (zona de alto riesgo, área protegida, zona de patrimonio cultural, límites viales y otras).

- Terrenos y derechos de paso

Las obras de infraestructura que el Estado construya y que incrementen el capital fijo, deberán ejecutarse en inmuebles cuya propiedad o posesión sea Estado, incluyendo municipios y entidades descentralizadas y autónomas. Bajo ningún caso se podrá realizar construcciones en inmuebles que se encuentren inscritos en los Registros de la Propiedad a nombre de personas individuales o jurídicas de carácter privado.

Para efectos de programación y asignación de recursos de las obras de infraestructura, la posesión legítima, se puede acreditar de la siguiente forma:

- En caso de bienes municipales, con acuerdo municipal, escritura pública o acta municipal.
- En caso de bienes particulares, con documento notarial donde indique ceder la posesión a la institución que corresponda.
- En caso de bienes comunales, la cesión de la posesión deberá realizarse a la municipalidad o institución por medio del acta de la Asamblea.
- Comunitaria y acta notarial.
- En cada caso se debe iniciar el registro de posesión de conformidad con la Ley de Titulación Supletoria para entidades estatales; adjuntando al expediente constancia de esto.
- Se exceptúa de la aplicación del presente artículo la construcción de caminos y carreteras, el cual se regirá por las leyes de la materia.

- Tamaño

Consiste en la capacidad de producción o la prestación de un servicio durante la vida útil del proyecto y dependerá del tipo de proyecto que se está formulando, para lo cual se debe tomar en cuenta el resultado del estudio de mercado.

- Equidad

  El documento de proyecto debe identificar, visibilizar y tener en cuenta las circunstancias o necesidades que cada grupo de población (mujeres, niños, pueblos indígenas, jóvenes y adultos mayores, entre otras) enfrenta, con relación al problema que será resuelto con el proyecto. De igual forma debe incorporar en las alternativas de solución el análisis de cómo inciden en la calidad de vida de las poblaciones antes indicadas.

- Accesos

  En los proyectos que proceda, es necesario tomar en cuenta que la ubicación tenga los accesos pertinentes y eficaces para que las mujeres, personas con discapacidad, niños, jóvenes, adultos mayores, pueblos indígenas y otras poblaciones que accedan al proyecto, ello implica considerar la distancia, las condiciones del acceso, la pertinencia cultural, la seguridad, entre otros.

- Tecnología

  Seleccionada la alternativa óptima se debe analizar y definir la tecnología que mejor aplica para la producción de bienes y la prestación de servicios que el proyecto pretende entregar. En ese sentido es importante considerar los mecanismos de participación, en los distintos niveles, diferenciados para hombres, mujeres y otros grupos de población.

#### 3.2.2.3. Ingeniería y arquitectura del proyecto

- Juego de planos

  Cuando se trate de infraestructura física se deberá considerar para el diseño, la aplicación de normas sismo-resistente, Normas de Reducción de Desastres (NRD) y otras de conformidad con el tipo de proyecto.

  Los planos deben sustentar el diseño y el costo propuesto del proyecto; contener micro localización, que permita identificar dónde se ubicará el mismo (su localización específica: municipio, aldea, caserío, cantón, barrio).

- Especificaciones técnicas

  Se debe incluir el conjunto de criterios generales, específicos y especiales; normas y estándares técnicos que se aplicarán en la ejecución del proyecto.

Para las Normas NRD emitidas por Conred se refiere a:

- NDR 1. Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala.
- NDR 2. Normas mínimas de seguridad en edificios e instituciones de uso público.
- NDR 3. Especificaciones técnicas para materiales de construcción.

- Presupuesto detallado

  Se debe incluir el presupuesto detallado de inversión a nivel de rubros o renglones de trabajo y actividades con la unidad de medida, cantidad, costo unitario y costo total en quetzales, debidamente firmado y sellado por el jefe de Planificación; deberán incluirse los costos correspondientes a las medidas de mitigación ambientales, de riesgo, gastos administrativos o legales, cuando corresponda.

  Presentar un resumen que integre los costos directos e indirectos y sus fuentes de financiamiento.

- Cronograma de ejecución física y financiera

  Presentar la programación física y financiera, debidamente firmada y sellada por el jefe de Planificación, que contenga la ejecución del proyecto, individualizando los rubros y las actividades necesarias para su ejecución, especificando el tiempo y requerimiento financieros para cada uno de ellos y las fechas de inicio y finalización.

- Estudio administrativo y legal

  - Aspectos administrativos

    Se debe incluir la estructura organizativa para la ejecución y operación del proyecto (definición de funciones, responsabilidades, delimitación de autoridad, personal necesario, identificación de canales de comunicación, participación de las y

los beneficiarios y otros). Así como, los Manuales de operación y mantenimiento, para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

- Aspectos legales

  Se debe establecer los requisitos legales (licencias, permisos y otros) a cumplirse para la ejecución del proyecto, con sus respectivos costos en el presupuesto detallado del proyecto y que formen parte de los costos indirectos.

- Estudio financiero

Se debe integrar utilizando la información del presupuesto de inversión incluyendo los costos de administración y los relacionados con los aspectos legales, la proyección de los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil; así como los ingresos proyectados y las fuentes de financiamiento del proyecto.

Las fuentes de financiamiento del proyecto deben desglosarse a nivel de recursos internos (gobierno central, comunidad, aporte municipal y otros aportes), y recursos externos, indicando la fuente de dichos recursos.

- Evaluación financiera

  Con el propósito de establecer la rentabilidad financiera de los proyectos, y de acuerdo a su naturaleza, deberán hacer el análisis en relación del costo beneficio y presentar indicadores como: valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) para proyectos productivos.

## 3.3. Elementos que conforman un diseño geométrico

Para empezar a realizar el trazado y replanteo previo a la construcción de una carretera ya sea esta urbana o rural, se necesita recopilar toda la información del proyecto vial, asimismo, conocer los elementos geométricos que constituyen un alineamiento, ya sea vertical u horizontal, para que puedan ser debidamente analizados e interpretados por el encargado de realizar el trabajo y así facilitar el desenvolvimiento de las actividades de campo.

### 3.3.1. Diseño horizontal

El diseño horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean circulares o de transición. El establecimiento del alineamiento horizontal depende de la topografía y características hidrológicas del terreno, las condiciones del drenaje, las características técnicas de la subrasante y el potencial de los materiales locales.

#### 3.3.1.1. Elementos geométricos de una carretera

El alineamiento horizontal está constituido por rectas o alineamientos rectos que se conectan entre sí, generalmente por medio de curvas circulares que proporcionan el correspondiente cambio de dirección que mejor se acomode al correcto funcionamiento de la vía.

#### 3.3.1.1.1. Proyección horizontal longitudinal (planta)

El alineamiento horizontal de una carretera es la proyección de un plano sobre el eje de la carretera y los elementos que la integran: tangentes, curvas circulares y curvas de transición.

- Tangentes

  Son las proyecciones sobre un plano horizontal de las rectas que unen una curva; la longitud es la distancia que une la curva anterior y el principio de la siguiente.

- Curvas circulares

  Son los arcos de un círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas. Pueden ser simples o compuestas.

- Curvas de transición

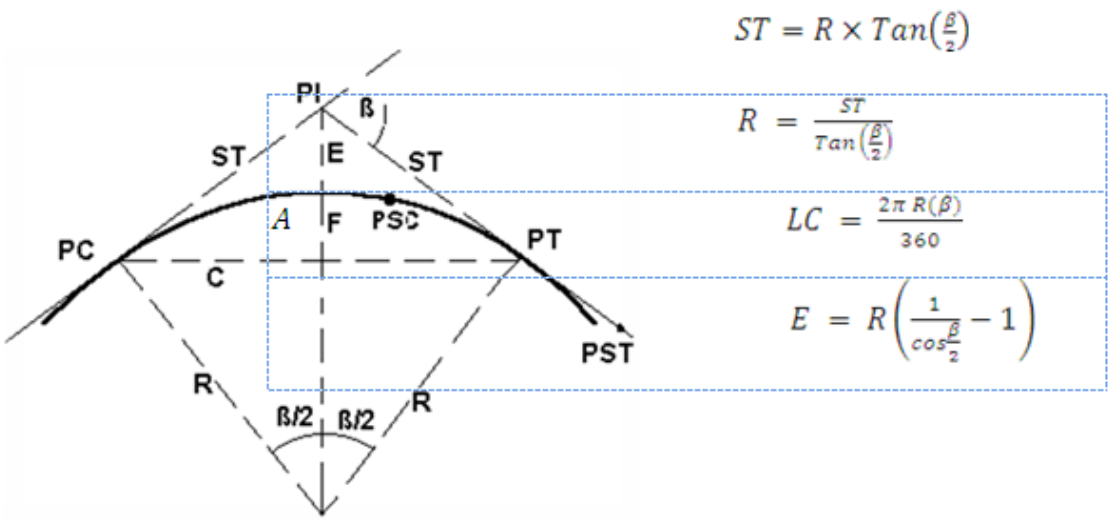
  Se utilizan para proporcionar un cambio gradual de dirección al pasar un vehículo de un tramo en tangente a un tramo de curva circular.

#### 3.3.1.1.2. Elementos geométricos de las curvas

Las curvas circulares pueden ser simples o compuestas. Las simples son las de uso más general; las compuestas se usan menos, en casos especiales.

Los elementos que conforman las curvas horizontales están dados en la figura 10.

Figura 10. **Elementos geométricos de una curva circular**




Fuente: SANTOS VAQUERIZO, Eduardo. *Metodología para el replanteo y trazado de un proyecto horizontal*. p. 7.

P.I = punto de intersección entre las dos tangentes

β = ángulo de la curva

R = radio de la curva

PC = principio de curva

PT = punto de terminación de la curva

E = external

T = tangente

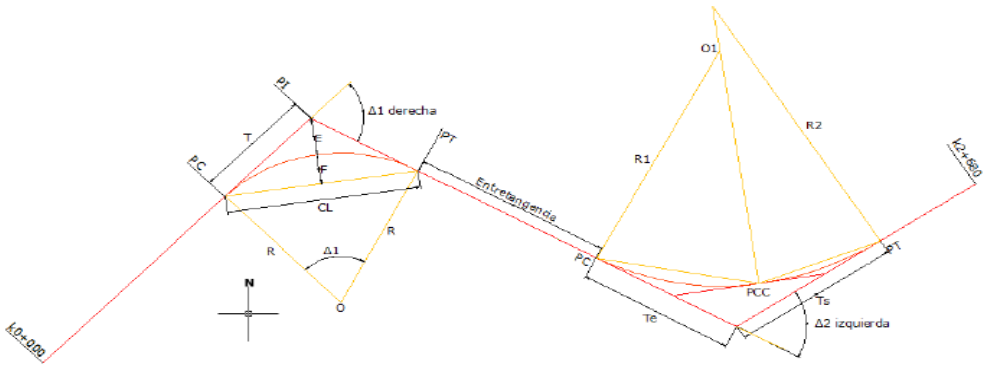
LC = longitud de curva

### 3.3.1.1.3. Trazo de curvas circulares

Existen diferentes métodos para el trazo de curvas circulares (ver figura 11), el criterio para saber que método utilizar, depende de las circunstancias topográficas y de los datos con que se cuenta. Los métodos más conocidos son los siguientes:

- Método por deflexiones angulares
- Método por coordenadas rectangulares
- Método por tangentes auxiliares
- Método por cuerdas sucesivas

Figura 11. **Alineamiento de una carretera. Planta**




Fuente: JIMENEZ, Edgar. *Diseño geométrico de vías*. p. 14.

#### 3.3.1.1.4. Proyección vertical longitudinal (perfil)

Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de proyecto de una carretera. Al eje de esta en alineamiento vertical se denomina línea subrasante (ver figura 11).

Los modelos que integran el alineamiento vertical son tangentes y curvas:

- Tangentes verticales

  Las tangentes verticales se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas, su longitud es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.
- Curvas verticales

  Las curvas verticales enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la tangente de salida. Dando como resultado un camino de operación segura y confortable, aparte de ser agradable y con características de drenaje adecuadas.

  Existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas verticales, los cuales son:

  - Criterio de comodidad

Se aplica al proyecto de curvas verticales un columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambio de dirección, se suma al peso propio del vehículo, recomendándose que en la curva la aceleración centrífuga no exceda de 0,305 m/ $\text{seg}^2$.

- Criterio de apariencia

  Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, sea a las curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito dependiente.

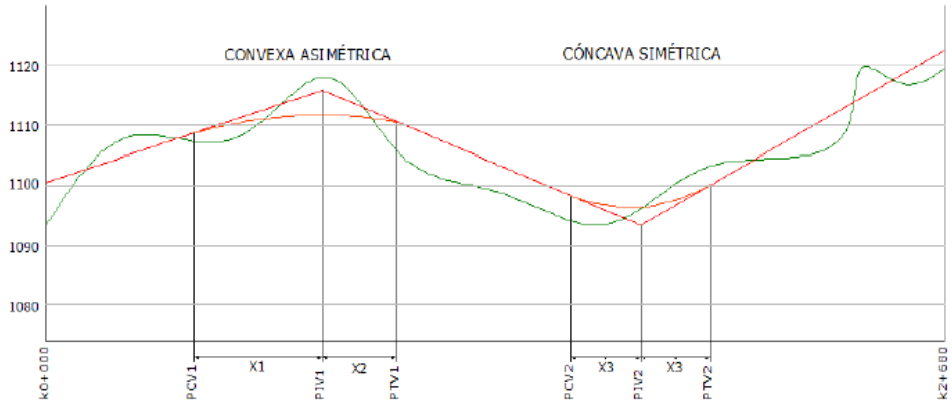
- Criterio de drenaje

  Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente.

- Criterio de seguridad

  Este se aplica a curvas en cresta y en columpio, la longitud de la curva debe ser tal, que la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase.

Figura 12. **Alineamiento de una carretera. Perfil**




Fuente: JIMENEZ, Edgar. *Diseño geométrico de vías*. p. 15.

#### 3.3.1.1.5. Proyección transversal. Sección

Es un corte vertical normal al alineamiento vertical (ver figura 13). Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Lo elementos que la integran son:

La corona, la subcorona, las cunetas y contracuneta, los taludes y las partes complementarias.

La corona es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está

representada por una línea. Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

- Rasante

  Esta se define como la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está representada por un punto.

- Pendiente transversal

  Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. De acuerdo a la relación con los elementos del alineamiento horizontal, se presentan tres casos:

  - Bombeo

    El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante, para evitar la acumulación del agua sobre el pavimento. El bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad o inseguridad. La tabla I da los valores a emplearse en un proyecto en función de la superficie de rodamiento.

Tabla I. **Valores a emplearse para la superficie de rodamiento**

| | TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO | BOMBEO |
|---|---|---|
| MUY BUENA | Superficie de concreto hidráulico o asfalto, tendido con extendedoras mecánicas. | 0.010 a 0.020 |
| BUENA | Superficie de mezcla asfaltica tendida con motoconformadoras. | 0.015 a 0.030 |
| REGULAR O MALA | Superficie de tierra o grava | 0.020 a 0.040 |

Fuente: FERNANDEZ, W. D. *Estudio de factibilidad de la utilización de un mini helicóptero en aplicaciones fotogramétricas para soluciones de ingeniería civil*. p. 4.

- Sobreelevación

  La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

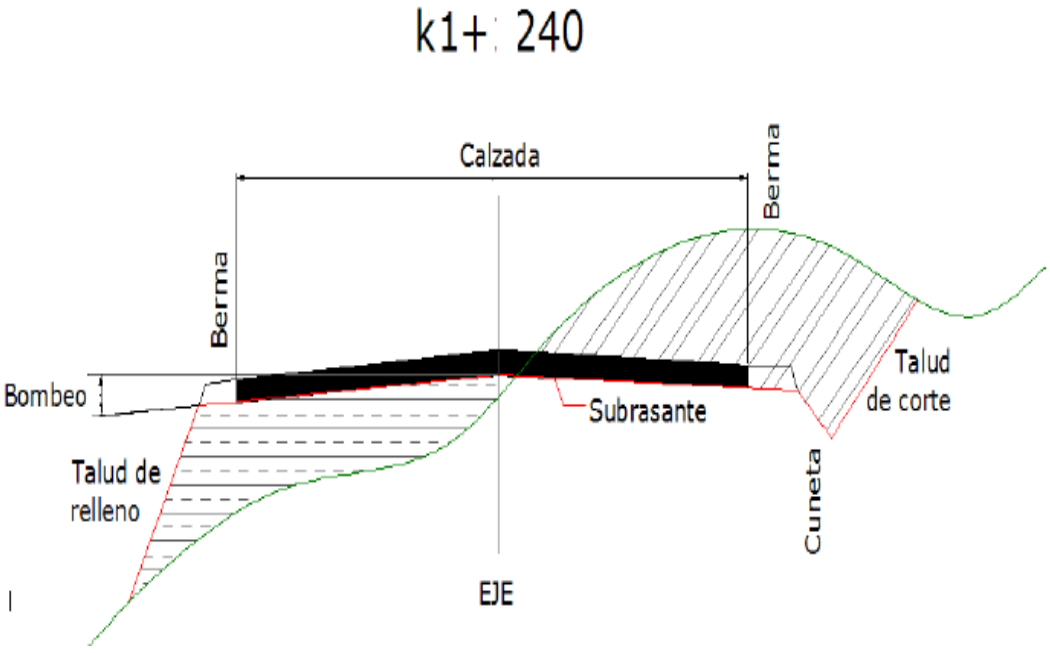
- Transición del bombeo a la sobreelevación

  Se han establecido cuatro valores para la sobreelevación en la construcción de una carretera, tomándose el valor máximo de 12 % para aquellos lugares donde no existen heladas ni nevadas y el volumen de tránsito es mínimo, 10 % en lugares sin heladas ni nevadas, en 8 % en zonas donde las heladas o nevadas son frecuentes y finalmente se usa 6 % en zonas urbanas.

- Calzada

Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos, el ancho de esta es variable a lo largo del camino, y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en vertical. Normalmente el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal.

Figura 13. **Alineamiento transversal. Sección**




Fuente: JIMENEZ, Edgar. *Diseño geométrico de vías* p. 16.

#### 3.3.1.1.6. Movimiento de tierras

El costo de construcción es parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de terracerías, esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como subrasante económica.

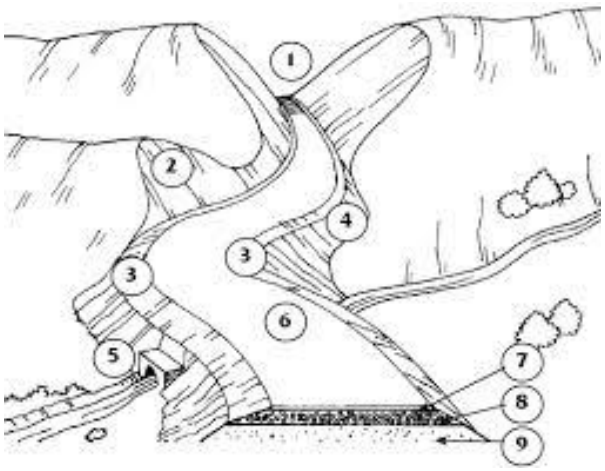
Al iniciarse el estudio de la subrasante en un tramo se deben analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno natural, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que se requiere para alojar las estructuras de drenaje (ver figura 14).

Para el proyecto de la subrasante se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- La subrasante debe cumplir con las especificaciones de proyectos geométricos dadas.
- El alineamiento horizontal es definitivo, pues todos los problemas inherentes a este han sido previstos en la fase del anteproyecto.
- La subrasante al proyectar debe permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel y su elevación debe ser la necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante son las condiciones topográficas, condiciones geotécnicas, subrasante mínima y costo de las terracerías.

Figura 14. **Alineamiento previo a movimiento de tierras**




Fuente: TOSCANO, Ricardo. *Diseño geométrico*. p. 6.

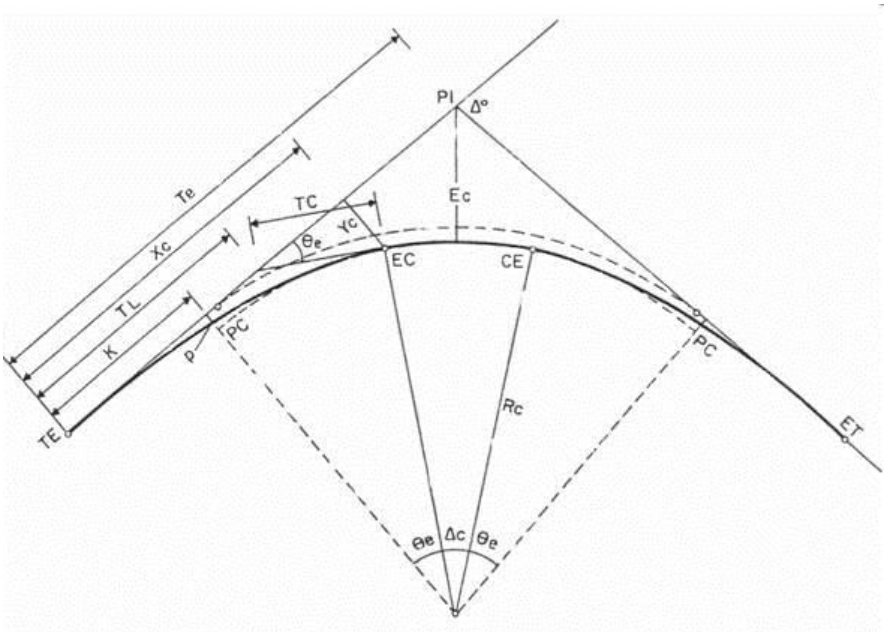
### 3.3.1.2. Ecuación de la clotoide o espiral de Euler

Este tipo de curvas combina una curva circular, siempre con dos espirales; una al inicio y otra al final. En carreteras no se utilizan en gran número por el incremento que representa en la construcción. Su empleo es más adecuado en vías de alta velocidad, ya que al pasar de un tramo recto a una curva circular simple se presenta bruscamente la tendencia a salir a la curva debido a la fuerza centrífuga. Este hecho representa, además de una incomodidad, un serio peligro que no se evita del todo con la sobreelevación y el conductor se ve obligado a frenar y describir un arco mayor que el de la curva circular (ver figura 15).

Con las clotoides, los problemas de colisión prácticamente desaparecen, ya que se pasa de la parte de la tangente de entrada  a la curva circular, mediante una espiral de transición con un radio de curvatura infinito en el punto de tangencia con la recta que disminuye hasta llegar al radio finito de la curva circular.

El clotoide  puede estar constituido en diversas formas; no obstante, se presenta el caso más frecuente que, como ya se mencionó antes, consta de una espiral de entrada, una curca circular simple y una espiral de salida. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. **Curva circular clotoide**




Fuente: VALLADARES, Jorge Félix. *Guía teórica y práctica del curso de Vías Terrestre 1*. 2002. p. 147.

- Elementos de la curva clotoide

PI = punto de intersección de las tangentes
TE = punto de terminación de la tangente y de inicio de la espiral
EC = punto terminal de la curva espiral y de inicio de la curva circular
CE = punto de terminación de la curva circular y de inicio de la espiral de salida
ET = punto final de la curva espiral e inicial de la tangente de salida
$\Delta$ = ángulo de deflexión de las tangentes
$\Delta$c = ángulo central de la curva circular
Θc = deflexión de la espiral
ST = subtangente
Xc, Yc = coordenadas de los puntos EC o CE
K, P = coordenadas del PC o PT
TL = tangente larga
TC = tangente corta
Cle = cuerda larga del espiral
Ec = external
Rc = radio de la curva circular simple
LC = longitud de la curva circular
Lc = longitud de la espiral

## 3.4. Trazado de diseño preliminar

Después de realizar estudios socioeconómicos que justifican la construcción o mejoras de un camino, es necesario realizar una serie o mejoras de un camino, es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de todas las rutas más convenientes, para seleccionar la que ofrezca más ventajas tanto económicas como sociales. Se entiende por ruta, la franja de terreno de ancho variable entre

dos puntos obligados; y por punto obligado aquellos sitios por los que necesariamente debe pasar el camino.

El proyecto de carreteras se puede dividir en tres partes: selección de ruta, anteproyecto y proyecto la localización geográfica de la ampliación de carretera ingreso a San José Pínula como se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Localización geográfica del proyecto a realizar**

Fuente: Google Maps. *Ampliación de carretera ingreso a San José Pínula*. Consulta abril de 2015.

### 3.4.1. Levantamiento topográfico

Para recopilar datos e información necesaria se requiere de un levantamiento topográfico, ya sea utilizando los métodos convencionales terrestres, o empleando el método fotogramétrico. El levantamiento topográfico será esencialmente un plano con sus curvas de nivel de la faja en estudio, en

plano con el perfil longitudinal del terreno en el eje de la poligonal que sirvió de base y un plano de seccionamiento transversal.

Para seleccionar cual método es el más apropiado para realizar el levantamiento topográfico se deberá tener en cuenta la vegetación, configuración del terreno, plazo de ejecución y accesibilidad.

El proyectista se deberá basar en cartas geográficas y geológicas en escalas de 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000 y 1:25 000. Estas cartas pueden dar una idea de las características de la región en lo que respecta a topografía, hidrología y ubicación de las poblaciones. Se deberán trazar sobre la carta las posibles rutas dividiéndolas en tramos y estos a su vez en subtramos, designándolas normalmente por los nombres de las poblaciones extremas. Cabe añadir que en las diferentes rutas saldrán nuevos puntos de paso obligados tales como: cruce de ríos, puertos, cruces en otras vías que constituyen puntos obligados secundarios.

Deberán considerarse también los desniveles entre los puntos obligados, así como las distancias entre ellos, para conocer la pendiente que gobernará en su trazo.

Una vez trazadas las posibles rutas en las cartas geológicas, se deberán hacer los reconocimientos. Los cuales pueden ser aéreos, terrestres o una combinación de ambos.

### 3.4.2. Reconocimiento terrestre

Este tipo de reconocimiento se lleva a cabo cuando no es posible realizar el aéreo, es menos efectivo que este ya que el técnico localizador no puede

abarcar grandes extensiones de área y tiene que estudiar por partes su línea; de la misma manera, el geólogo no puede abarcar grandes zonas para poder definir formaciones, los contactos, las fallas y las fracturas.

Este reconocimiento se efectúa después de haber realizado un estudio sobre las posibles rutas en las cartas geológicas y haber elaborado un presupuesto llegando a una ruta única, ya que por este reconocimiento no es posible recorrer todas las rutas probables.

El ingeniero localizador se auxilia de aparatos con el aneroide, la brújula, clisímetro, binoculares y cámara fotográfica.

#### 3.4.2.1. Trazo preliminar

Fijados los puntos obligados del cambio, se lleva a cabo el trazo preliminar que no es más que una poligonal abierta, la finalidad del trazo preliminar es tener una base para el trazo definitivo y elaborar un presupuesto que ayude en la selección de la ruta más conveniente.

El trazo preliminar se efectúa de la siguiente manera:

- Punto de partida

  Debe ser completamente identificado, como por ejemplo, un cruce de carreteras, un puente, un cruce de vía de ferrocarril, entre otros. Si no existe algo parecido se establece y se toma la más detallada identificación de tal manera que puede ser localizado años después.

- Azimut de partida

  Se debe tomar el azimut de partida, de ser posible obtener las latitudes, no ser posible hacer observaciones solares (cinco).

- Determinar cota del punto de partida

  Si no se cuenta con un banco de nivel dentro de los 5 km para correr una nivelación se debe hacer con un barómetro aneroide.

- Establecer kilometraje

  Si no se tiene un kilometraje conocido, se debe marcar el 0+000.

- Tomar precauciones

  - Al trazar no hacer grandes esfuerzos por tener grandes tangentes, pero si por avanzar el trabajo con orden y precisión.
  - Se debe colocar estacas cada 20 m o en los puntos intermedios de quiebres del terreno.
  - Se debe evitar el daño a sembradíos, arboles, entre otros, haciendo el trazo paralelo a las hileras y no en diagonal.
  - Se debe colocar mojones de concreto para marcar cada PI.
  - Se debe tomar doble lectura en los puntos PI anotando el ángulo simple como el doble. Los puntos intermedios deberán ser tomados dos veces haciendo girar el anteojo 180 grados.
  - Hacer observaciones solares cada 10 km, corrigiendo los azimutes para que se correspondan.

- Efectuar la nivelación del perfil de la línea preliminar

  Se deben obtener las cotas de todas las estaciones colocadas, tanto las de 20 m como las intermedias, con una precisión de centímetros. Además, deben colocarse bancos de nivel a cada 500 m y en los puntos apropiados para la colocación de puentes, entre otros. Estos bancos de nivel se deben numerar por el kilómetro.

- Dibujo de la poligonal

  Se deberá proceder a dibujar en gabinete la poligonal base de preferencia de color negro y las curvas de nivel a color sepia.

#### 3.4.2.2. Línea a pelo de tierra

Conociendo las curvas de nivel del terreo y la pendiente gobernadora (se recomienda que cuando se tenga la pendiente máxima, se use 2 o 3 % menor para apegarse más a las condiciones que se esperan), se trazará la línea de la siguiente manera:

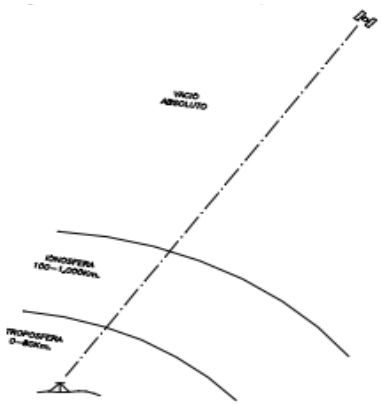
Si se tiene una pendiente y una equidistancia entre curvas de nivel dadas, se calculará trayectoria que debe seguir el trazo para tener esa pendiente por medio de una regla de tres como lo muestra la figura 17.

A la escala que se esté trabajando se toma la distancia “L” con la abertura de un compás y se va trazando de curva en curva donde la longitud se adapte.

La unión de estos puntos dará la línea a “pelo de tierra” que es la base para proyectar la línea definitiva, que con las mayores tangentes posibles

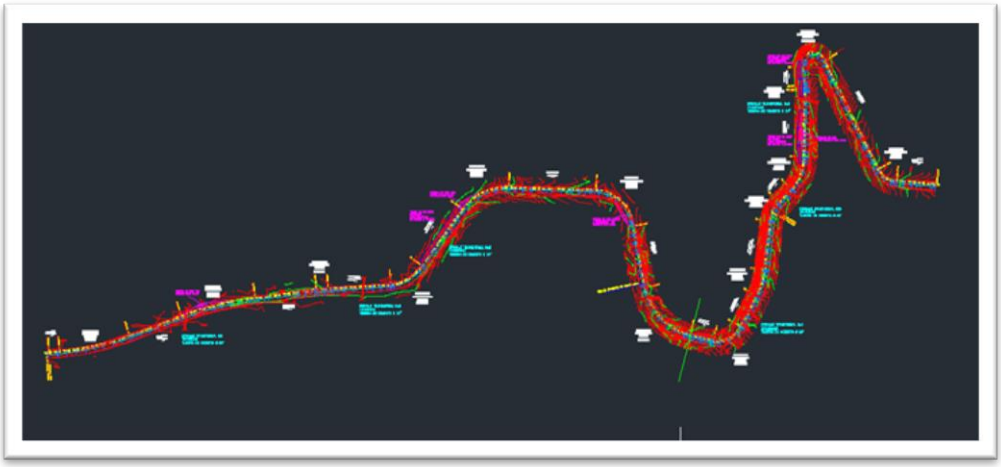
deberá ajustarse lo más que se pueda a la línea “a pelo tierra”, para esto se procurará compensar a izquierda y derecha de la línea quebrada “a pelo de tierra”. Las tangentes se unirán con curvas que también se apaguen lo más posible a esta línea imaginaria o compensen su trazo a izquierda y derecha lo más posible (ver figura 18).

Figura 17. **Trazo de línea a pelo de tierra**




Fuente: AREVALO VALDEZ, Jorge Alejandro. *Diseño de la línea pelo a tierra o preliminar de caminos y carreteras a partir de la información de fotografías aéreas aplicando fotogrametría.* p. 57.

Figura 18. **Alineamiento horizontal**



Fuente: elaboración propia, ampliación de carretera ingreso a San José Pínula, empleando AutoCAD Civil 3D.

# 4. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MÉTODO CONVENCIONAL DE MEDICIÓN CON ESTACIÓN Y LA COMPROBACIÓN CON FOTOGRAMETRÍA

El objetivo principal de este trabajo de investigación es evaluar y analizar dos diferentes métodos de mediciones topográficas que a continuación se detallan en este capítulo.

## 4.1. Evaluación y análisis por el método convencional de medición con estación según las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos sección 3.4

El consultor debe realizar el análisis de costos y beneficios, cuantificando estos últimos de acuerdo con una metodología aceptable por la DGC, definiendo la zona de influencia económica del proyecto, tanto directa como indirecta. La metodología a aplicar, deberá determinar y evaluar las posibles alternativas de los trabajos de mejoramiento y rehabilitación de la carretera y obtener los parámetros económicos, que demuestren que la alternativa seleccionada representa una inversión rentable para el país.

Actualmente al iniciar un levantamiento por el método convencional de estación total se deben identificar los puntos de salida, para georeferenciar el proyecto en coordenadas GTM para Guatemala, los costos para el uso de GPS varían mediante el equipo a usar, para esta comparación se utilizará un GPS de doble frecuencia marca Trimble R4 teniendo un proyecto de 3 km de longitud se necesitan puntos georeferenciados a cada 500 m y tres puntos de salida y tres

puntos de llegada cada 3 km mediante especificaciones de la Dirección General de Caminos, por lo que se necesitan diez y ocho mediciones de GPS.

El rendimiento de GPS es de 1 punto por cada hora, para la medición con estación total se utilizará la marca Trimble M3 DR5, en este proyecto se tiene una longitud de 3 km, pero por especificaciones de la Dirección General de Caminos se deberá extender la medición 30 m al margen derecho y 30 m al margen izquierdo, delimitando todos los accesos, casas, postes, monumentos y todo lo que afecte el diseño final del trazo, por lo que se tienen medir un área de 180 000 $\mathrm{m}^2$ para medir y nivelar, el rendimiento de la topografía es de 18 000 $\mathrm{m}^2$ por día.

Los drones son naves no tripuladas las cuales llevan consigo una cámara, la cual permite monitorear y medir áreas extensas de terreno con el cual se determinan superficies, para realizar esta medición se necesitan instalar bases de GPS para control en los planes de vuelo, los planes de vuelo son determinados por el área y el tipo de terreno. Para este caso se utilizan planes de vuelo con incerteza de 10 centímetros en z, se requieren 2 planes de vuelo para cubrir el área de 18 hectáreas y el tiempo de eso tardó 2 días, además, se complementan matemáticamente para comparación.

### 4.1.1. Contenido de la evaluación

Para la evaluación es importante conocer la metodología que se utilizará para determinar la rentabilidad de cada uno de los métodos a utilizar, en donde se evaluará cual método es conveniente a utilizar.

#### 4.1.1.1. Indicadores de rentabilidad económica

Evaluación de los costos y beneficios utilizando precios de cuenta, calculando los indicadores de rentabilidad, como: relación beneficio/costo (B/C), Valor Presente Neto (VPN) usando una tasa de actualización del 12 %, Tasa Interna de Retorno Económica (ITIRE) e índice de Beneficio Actualizado Neto (IBAN).

#### 4.1.1.2. Análisis de sensibilidad

Análisis de sensibilidad que demuestre el impacto en los indicadores de rentabilidad como:

- Incremento en los costos.
- Disminución en los beneficios.
- Reducción de las tasas de crecimiento vehicular (afectadas por las Inundaciones).
- Y cualquier otro factor.

### 4.2. Estudios técnicos de ingeniería. Sección 3.4

Con base en la alternativa seleccionada, se elaborarán los diseños definitivos, planos, estimaciones de cantidades de trabajo y costos, especificaciones técnicas especiales, y otras actividades inherentes al estudio.

### 4.2.1. Topografía

Los estudios sin limitarse solamente a la topografía deben incluir la inspección inicial, levantamiento topográfico y de ser necesario la rectificación de la topografía.

#### 4.2.1.1. Inspección inicial

Esta comprenderá una inspección detallada del Proyecto, con base en la cual se definirá la profundidad de los trabajos de campo que han de llevarse a cabo en el tramo. El consultor a su juicio y con la revisión y la aprobación del DTI, podrá subdividir el tramo como considere necesario para su investigación y análisis.

Por subdivisiones se entienden aquellos segmentos de la carretera con características de tránsito, geométricas y geotécnicas similares. Se deberá preparar una memoria detallada de esta inspección y entregarla conjuntamente con el informe final.

### 4.2.2. Levantamiento topográfico

Este levantamiento consiste en una poligonal localizada y nivelada con estaciones cada veinte metros. En cada estación deberán levantarse secciones transversales, hasta una distancia de treinta metros a cada lado de la línea central como mínimo. En las curvas se deberá reducir la distancia longitudinal a diez metros.

La línea localizada, deberá referenciarse con monumentos de concreto cada quinientos metros como máximo y al principio o final de curva, con el

objetivo de poder efectuar las labores de replanteo (dos monumentos por cada estación referenciada). Los monumentos se colocarán de manera que faciliten la ubicación del trazado (línea central) y que no sean afectados por los trabajos de ejecución del proyecto, además, deberán contener información como distancia de cada monumento a la línea central y su ángulo con respecto a ella, además de la inscripción de la elevación en cada uno. Estos datos de referencia, deberán ser verificados y aprobados en campo por el DTI.

Esta actividad incluye los levantamientos topográficos adicionales (bancos de materiales, accesos a otras carreteras, márgenes de ríos cercanos cuya distancia sea no mayor a los cincuenta metros, entre otros). El levantamiento topográfico del derecho de vía consiste en el levantamiento de los linderos de las propiedades por donde se desarrolle el proyecto, ubicando en el plano específico el nombre del propietario del área afectada en el diseño propuesto.

Todas las libretas, apuntes y archivos electrónicos (indicando el tipo de software y versión) de topografía, deberán ser entregadas al DTI en cada etapa de la consultoría, en copia original impreso y en archivos electrónicos.

Se deben de georeferenciar la línea de diseño, por medio de georeferencias colocadas a un máximo de 5 km, colocando una en el inicio del proyecto y otra al final del proyecto, estas bases deben cumplir con las especificaciones de la monumentación. Se debe entregar la lista de coordenadas GTM y geográficas de la línea de diseño y coordenadas GTM de todo el proyecto.

### 4.2.3. Diseño geométrico

El diseño geométrico es una de las partes importantes para poder llevar a cabo el proyecto, este mismo consta de diferentes partes las cuales se describen a continuación.

#### 4.2.3.1. Especificaciones

Deberán observarse en el diseño geométrico las siguientes especificaciones mínimas: se utilizará la sección típica propuesta por el consultor.

El diseño geométrico se basará principalmente en el alineamiento existente, cuando este cumpla con las especificaciones para el Proyecto; donde no se cumplan las especificaciones se realizarán los cambios necesarios (con el criterio de afectar en lo mínimo posible las propiedades). Las modificaciones al alineamiento vertical u horizontal en caso se afecten propiedades y servicios, deberán ser aprobadas por el jefe del DTI, al demostrarse que durante el período de la vida útil del Proyecto, se requiere del ensanche o la construcción de carriles adicionales para atender un nivel de servicio adecuado, se necesita que el análisis de costos y diseño, sean separados para efectos de futuras contrataciones e inversiones escalonadas.

Al finalizar el diseño geométrico, el consultor deberá localizar en el campo y replantear el alineamiento propuesto y verificar su aplicación tanto teórica como práctica, conjuntamente con personal del DTI.

El consultor deberá considerar dentro de su oferta el costo de las visitas de seguimiento al desarrollo de la consultoría por personal de la DPE de la DGC (6 mínimo y 10 máximo).

### 4.2.4. Hidrología e hidráulica

El estudio hidrológico deberá contener como mínimo: análisis de arrastres, caudales de diseño, riesgos de socavación, asolvamiento, cambios de cauce (migración) y protección de márgenes, esta información será necesaria para realizar el diseño de obras de drenaje (puentes, bóvedas, tuberías, entre otros). El estudio hidrológico debe contener períodos de retorno para 500 años, para determinar el área de descarga, se debe presentar los estudios para períodos de retorno para 50, 100, 200, 400 y 1 000 años.

### 4.2.5. Diseño de obras de drenaje

Los estudios de drenaje deberán comprender una inspección inicial de la condición física de las estructuras existentes, tanto de drenaje mayor como de drenaje menor, así como el estudio de mapas cartográficos, fotografías aéreas, historial de caudales y otra información que permita un mejor criterio para efectuar una evaluación detallada de la superestructura y subestructura de puentes, bóvedas y obras de drenaje existentes en general.

Además, se deberá determinar el estado de los mismos, la capacidad de carga y los trabajos a efectuarse, como control de erosiones y mejoramiento (pintura, reparaciones, ampliaciones, limpieza, sustitución de elementos estructurales de estructuras existentes o sustitución de la estructura completa si fuere necesario) y el estudio de obras complementarias de ser necesarias como muros protectores, aletones, entre otros.

En el caso de requerirse el diseño de nuevas estructuras de drenaje mayor (en el caso de los puentes y bóvedas), deberán efectuarse levantamientos topográficos especiales con suficiente longitud aguas arriba y aguas abajo (doscientos metros ambos lados como mínimo), sobre el cauce de río o quebrada, levantando secciones transversales a cada 5 m, indicándose el ancho del río, creciente máxima y creciente extraordinaria; además del estudio de hidráulica fluvial, se efectuarán estudios de suelos y el análisis estructural, de tal manera que permita el mejor y eficiente diseño de la estructura (todos los estudios se informarán en detalle con las respectivas memorias de cálculo y registros de laboratorio).

Deberá presentarse una memoria de cálculo, extensamente detallada haciendo referencia a las correspondientes secciones de las normas AASHTO, ACI, AISC o las que fueron consideradas.

Las estructuras de drenaje menor existentes, deberán inventariarse considerando los datos de: estacionamiento, esviaje, diámetro u otra dimensión según la forma, longitud, clase de material construido, tipo de cabeza o tragante y su condición actual.

Se levantará el perfil de cada una de ellas, considerando los canales de entrada y salida existentes y sus posibles ampliaciones. También se deberá levantar todos aquellos datos que permitan estimar nuevos canales, subdrenajes, cunetas, contracunetas, cunetas a revestir, entre otros, con el fin de garantizar la eliminación de problemas de drenaje superficial y subterráneo.

Cuando se trate del diseño de obras de drenaje mayor se deben observar las siguientes normas:

#### 4.2.5.1. Generalidades de la obra

Los trabajos a efectuar son los estudios previos al diseño de la estructura, y el diseño de la misma hasta la ejecución de los planos, de construcción del puente, actividades descritas en los presentes términos de referencia.

#### 4.2.5.2. Dimensiones

Las longitudes parciales y la longitud total de la estructura, así como la altura de la misma serán determinadas por los estudios topográficos, hidrológicos y las características propias del lugar, tomando en consideración el uso de cada estructura y las características y uso del río.

#### 4.2.5.3. Sección transversal (geometría)

La sección transversal de los puentes tendrá un ancho de calzada de 8,00 m para dos vías y banquetas a ambos lados, de 1,00 m de ancho útil. En el borde de la calzada, irá un guarda llantas de 0,20 m de alto. Los barandales a prever serán del tipo mixto, es decir defensa contra vehículos y defensa peatonal, debiendo adoptarse alguno de los diseños propuestos en las Standard Specifications for Highway Bridges de la AASHTO, o de los diseños tipo de la DGC.

#### 4.2.5.4. Carpeta de desgaste

La carpeta de desgaste o superficie de rodadura, se ejecutará con el mismo material del puente, pero deberá preverse en su diseño la colocación en el futuro de una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor.

#### 4.2.5.5. Juntas

Los dispositivos a colocar en las juntas de expansión entre los diferentes tramos, si así lo requiere el diseño estructural, serán de neopreno armado (tipo Transflex o similar), absolutamente estacas e intercambiables y estarán dimensionadas para los desplazamientos calculados con base en el salto térmico, contracción de fraguado y deformación diferida.

#### 4.2.5.6. Losas de aproximación

El proyecto preverá la construcción de losas de aproximación de una longitud mínima de cinco metros con un ancho igual a la rodadura del puente, y se exigirá particularmente la correcta compactación de los terraplenes sobre los cuales se apoyarán estas losas.

#### 4.2.5.7. Superestructura

La superestructura estará diseñada del tipo y material que el estudio técnico y económico sugiera. No se aceptarán diseños con armaduras de acero de paso inferior debido a inconvenientes tenidos en la práctica.

La altura total de la superestructura adoptada deberá dejar una luz libre hasta las aguas máximas, que deberá justificarse mediante los resultados de los estudios hidrológicos y geotécnicos que se citan más adelante (previendo el paso de embarcaciones propias del lugar).

#### 4.2.5.8. Apoyos

Los apoyos podrán ser de acero o a base de neopreno (o goma y plomo, como en los Lead Rubber Bearings); y estarán diseñados considerando el sismo de diseño de acuerdo a la zona donde se ubica el puente.

#### 4.2.5.9. Infraestructura

Los tipos de estructura a utilizar será de conformidad con lo que es buen criterio y la práctica aconsejen, debiéndose tomar en cuenta factores como costos, facilidad de ejecución, seguridad, entre otros.

Los estribos serán cerrados con muros de ala abiertos de acuerdo con el ángulo de caída de los aproches.

#### 4.2.5.10. Cimentación

Las cimentaciones se diseñarán de conformidad con lo que los estudios de suelos determinen, a la cota y resistencia del suelo que se establezcan. Debiendo realizar como mínimo una perforación por cada elemento de la subestructura.

#### 4.2.5.11. Cuartos de cono

Los taludes de los terraplenes que envuelven los estribos, denominados aquí “cuartos de cono”, tendrán una pendiente 2:3 y estarán protegidos contra la acción de las corrientes de acuerdo a las recomendaciones de los estudios hidráulicos que más adelante se especifican.

#### 4.2.5.12. Drenajes superficiales

En la calzada del puente se preverán tubos de 4” de diámetro para el drenaje superficial a ambos lados, contra los cordones de las aceras y con una salida franca hacia el inferior del tablero para evitar que el agua pluvial caiga sobre elementos de la superestructura. En ambos accesos se preverán sistemas de drenaje para evitar que las corrientes de agua que se producen durante las lluvias socaven los terraplenes y cuartos de cono. Estos podrán consistir en rápidos de concreto con disipadores de energía o conductores adecuadamente diseñados.

#### 4.2.5.13. Normas de aplicación

Para el diseño de estructuras de concreto reforzado, serán de aplicación las especificaciones del *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89) (Revised 1992) y Commentary – ACI 318R-89 (Revised 1992) publicadas por el American Concrete Institute*.

Para el diseño de estructuras metálicas serán de aplicación las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC), edición 1994.

Para el diseño de todos los elementos de puente serán de aplicación las *Standard Specifications for Highway Bridges*. 2002, 150 edición, 1992 de la AASHTO, o siguientes. Alternativamente, podrán utilizarse las *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (AASHTO 1994)* y que incorporan la filosofía de diseño basada en el método de los Factores de Carga y Resistencia (LRFD).

#### 4.2.5.14. Localización

La ubicación del puente a diseñar deberá efectuarse de conformidad con la carretera existente en su relación con el cruce del río; es decir que tendrá sus estribos inicial y final ubicados en concordancia con la carretera existente. Aparte de esta condición, la ubicación exacta de la obra se regirá por la altimetría de la carretera.

#### 4.2.5.15. Carga de diseño

Se utilizará la carga viva HS-20 de la AASHTO mas el 25 % de dicha carga o T3-S2-R4 de la DGC, el que sea más crítico.

#### 4.2.5.16. Materiales, mano de obra, equipo y métodos constructivos

Para las partes de la estructura de concreto reforzado, se utilizará concreto de resistencia a la compresión, según las especificaciones de AASHTO. El tipo de concreto no debe ser difícil de fabricar en el campo, previo diseño de la mezcla en un laboratorio acreditado y con los controles mínimos que ejercerá el supervisor de la obra. Para las vigas de concreto preesforzado se utilizará concreto de alta resistencia que requieren de mayores controles.

#### 4.2.5.17. La longitud del puente

Deberá definirse de acuerdo con el estudio hidrológico, hidráulico y la topografía del lugar. Para puentes con longitudes menores de 50 metros se deben diseñar de una sola luz (sin apoyos intermedios).

### 4.2.6. Geotecnia y diseño estructural del pavimento

Este estudio incluirá, pero no se limitará, al establecimiento de todas las alternativas de pavimentación posibles, ya sea con pavimento rígido, semirrígido flexible (incluyendo la opción de mejoramiento de la vía por medio de un tratamiento superficial) así como la sugerencia y opinión justificada de la mejor opción para el tramo.

Se evaluarán las posibilidades de efectuar modificaciones al alineamiento vertical, en los puntos donde existan limitantes por la rasante actual, incluyendo el establecimiento de todas las obras conexas derivadas de las modificaciones a la rasante existente, como los accesos a otras carreteras ya sean estas de terracería o pavimento. Además, se deberá realizar el estudio y propuesta de solución para las obras de protección de taludes en los puntos donde el proyecto lo requiera.

El consultor analizará la información recopilada para definir las acciones a seguir y la profundidad de los estudios complementarios como los trabajos de campo y laboratorio. Dichos estudios deben incluir muestreos de suelos y pavimentos calicatas y sondeos a cada quinientos (500) m como máxima distancia entre cada exploración y con una profundidad mínima de uno punto cincuenta (1,50) m en la subrasante de corte a diseñar y sobre el terreno natural en las secciones de relleno, ensayos en campo y en laboratorio (ensayos de humedad natural, granulometría, límites de consistencia y peso específico, clasificando los suelos por los métodos AASHTO, dibujando el perfil de suelos de subrasante a lo largo del proyecto) para definir las propiedades mecánicas de los suelos de la subrasante se efectuarán ensayos de densidad máxima-humedad óptima (proctor modificado) y CBR de cada muestra o sondeo de la subrasante.

Deberá efectuar muestreo y estudio de bancos de materiales, considerando todas las pruebas que se requieran dependiendo de los usos de cada uno de ellos, así en los bancos de base y agregados para el pavimento deben incluirse sin limitarse por ello a: granulometrías, resistencias tanto física como química, volumen aproximado (gravedad específica, compactación, CBR, entre otros) y usos propuestos de cada banco.

El estudio permitirá evaluar y localizar los bancos de materiales a utilizar en la construcción de la estructura del pavimento, concretos estructurales, obras de drenaje, terraplenes y otros usos, con base en la calidad del material y los costos de explotación, transporte y medidas de mitigación al impacto ambiental negativo, debiendo incorporar la rehabilitación de los mismos posteriormente a su explotación.

Se investigará el perfil geotécnico de la carretera y del suelo de subrasante, de manera tal que permita definir secciones homogéneas de características físicas y mecánicas similares.

Las metodologías que se empleen para el estudio, deberán ser congruentes a lo largo del mismo y estar respaldadas por normas y procedimientos reconocidos a nivel mundial (AASHTO, Asphalt Institute, Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE), entre otros) los cuales figurarán en el informe impreso y digitalizado. El cual incluirá la frecuencia del muestreo, los métodos de campo y laboratorio que se empleen para la evaluación de las propiedades mecánicas y los métodos de diseño aplicados.

Con los datos obtenidos y el diseño propuesto, se presentará una estrategia de mantenimiento.

Para la alternativa adoptada, se deberán especificar los procedimientos constructivos a llevar a cabo durante la ejecución de la obra, deberá considerar además la temporalidad en la ejecución (invierno o verano). Se deberá definir las especificaciones técnicas especiales para la ejecución de las obras y el tiempo estimado.

### 4.2.7. Señalización y seguridad vial

El consultor efectuará un análisis de seguridad vial a lo largo del tramo, el cual incluirá la seguridad del usuario de la carretera, de la población local y los trabajadores de la obra. En el estudio, se identificarán los puntos y subtramos críticos de alto riesgo de accidentalidad existentes, tanto peatonal como vehicular y propondrá medidas específicas, con estimación de los costos, para eliminar o disminuir los riesgos en tales puntos críticos y así mejorar la seguridad del tránsito.

Estas medidas incluirán, pero no se limitarán a: cambios razonables en el alineamiento vertical u horizontal, señalización vertical, horizontal y barreras físicas de protección, incluyendo un plan de seguridad vial (mantenimiento de la señalización, marcas especiales, programas de: información vial masivos para usuarios de la ruta, seguridad y atención médica y de mecánica en épocas de alta demanda de uso de la ruta, entre otros) y cualquier medida que se considere necesaria. Investigar si existen áreas donde se incluyan en la carretera usuarios incompatibles con el tránsito vehicular como: carretas, bicicletas, entre otros, y debe considerar en el diseño de la sección típica, una zona de la carretera (carril) para el tránsito de dichos usuarios**;** para lo cual deberá utilizarse el Manual Centroamericano de Señales Uniformes (Secretaria de Integración Económica de Centro América (Sieca) edición diciembre 2000).

### 4.2.8. Cantidades estimadas de trabajo y costos

Para determinar el valor real de lo que cuesta utilizar cada método se deben de realizar diversos estudios, para poder estimar el trabajo que se llevará a cabo y así poder reducir los costos del proyecto.

#### 4.2.8.1. Cantidades estimadas de trabajo

Las cantidades de trabajo reportadas deberán ajustarse, a las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos, edición septiembre del 2001 y a las especificaciones técnicas especiales elaboradas por el consultor.

#### 4.2.8.2. Costos de construcción

El consultor deberá preparar una integración de costos unitarios, debidamente soportada con memoria de cálculo, desglosada en: mano de obra directa; depreciación de equipo; combustibles y lubricantes; llantas y repuestos; materiales; gastos generales; imprevistos y utilidad, así como las fórmulas de sobrecostos sugeridas para cada renglón de trabajo o una fórmula general, incluyendo los costos de las medidas de mitigación de impacto ambiental por separado.

Estos costos deberán incluir tanto los insumos de importación como los locales, para efecto de separación de monedas (quetzales o US$ u otras monedas).

#### 4.2.8.3. Costos de supervisión

El consultor hará una estimación afinada del costo en moneda nacional, de los servicios de la supervisión técnica y control de ejecución de las obras, describiendo la organización y equipo necesarios para llevarla a cabo. Deberá incluir aspectos como llevar a cabo el monitoreo del Plan de Aseguramiento del Control de Calidad, a los trabajos efectuados por el contratista y los elementos necesarios que debe cumplir el contratista para la recepción de las obras.

#### 4.2.8.4. Escalamiento

El consultor deberá calcular el escalamiento que sufren los costos del proyecto, debido a las variaciones en los precios de adquisición de suministros y bienes, como consecuencia de la inflación, utilizando para ello la metodología adecuada y aceptada por la DGC, para corto, mediano y largo plazo.

### 4.2.9. Especificaciones técnicas especiales

El consultor deberá elaborar y presentar todas las especificaciones técnicas especiales, que sean necesarias para la adecuada ejecución del proyecto propuesto y que modifiquen o complementen las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*.

Las especificaciones técnicas especiales se presentarán en un formato similar al de las especificaciones generales, detallando la definición y descripción de la actividad, los materiales a utilizar, los procedimientos constructivos, tolerancias, control de calidad y la forma de medición y tipo de unidades de los rubros de pago.

### 4.2.10. Documentos de concurso y bases de licitación

El consultor deberá preparar los términos de referencia del concurso para la supervisión de la ejecución de la obra. Además, elaborará las bases de licitación que incluyan las listas de cantidades de trabajo, especificaciones técnicas especiales, disposiciones especiales, planos y otros documentos, para la licitación de la obra.

### 4.2.11. Análisis de riesgo

Se debe realizar el estudio de riesgo para las estructuras diseñadas y existentes en el proyecto, con forme al *Manual centroamericano de gestión de riesgo en puentes*, edición 2010. elaborado por Sieca;Cepredenac;Sica. Se deben evaluar por medio de las matrices de vulnerabilidad, que se desarrollan es este manual. Se debe evaluar el riesgo de todo el proyecto según las matrices que tiene preparadas Segeplan.

### 4.2.12. Evaluación y análisis por el método indirecto de medición con fotogrametría

Para el caso de este proyecto fue necesario determinar los parámetros sobre los cuales se va a trabajar en el diseño, para que cumpla con las funciones de precisión en las tomas de fotografías digitales y así obtener la cartografía de escala grande que permita realizar diferentes análisis.

Para el proyecto se establecen en primera instancia las proyecciones cartográficas a utilizar en este caso se trabaja con una proyección azimutal o cartesiana, esto para evaluar la viabilidad técnica y económica de la medición, teniendo en cuenta estos valores se determina si existe alguna información de

este tipo en la zona como fotografías anteriores, para poder recabar la mayor información posible acerca de los cambios que hubiese sufrido el entorno.

Para la toma de las fotografías es necesario tener en cuenta el diseño del plan de vuelo y las variables que intervienen, como la cámara aérea, sus elementos principales, es decir la distancia focal, el tiempo de exposición, su resolución. En segundo lugar conocer el tipo de aeronave que llevará el sensor, la velocidad crucero del vuelo, la autonomía y el techo de vuelo.

Para este proyecto se toma en cuenta el traslape longitudinal, para determinar la línea del proyecto en un solo vuelo y evitar procesos de aero triangulación, en general se afirma que la escala de las fotografías deben tener una escala cinco veces menos de la escala requerida para el producto final.

Tabla II. **Escala de fotografía**

| Escala del plano | Escala vuelo | Tamaño píxel en plano (µm) | Tamaño píxel en terreno (m) | Tamaño archivo (Mb) |
|---|---|---|---|---|
| 1:2000 | 1:10000 | 12.5 | 0.25 | 340 |
| | | 25 | 0.25 | 85 |
| | | 30 | 0.30 | 89 |
| 1:1000 | 1:5000 | 12.5 | 0.0625 | 340 |
| | | 25 | 0.125 | 89 |
| | | 30 | 0.15 | 89 |

Fuente: CIAF

Fuente: FERNANDEZ, W. D. *Estudio de factibilidad de la utilización de un mini helicóptero en aplicaciones fotogramétricas para soluciones de ingeniería civil*. p. 5.

# 5. RESULTADOS DEL COSTO DEL MÉTODO CONVENCIONAL CON ESTACIÓN TOTAL Y DE LA FOTOGRAMETRÍA EN EL TRAZADO DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS PARA ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

## 5.1. Método directo

Los resultados del costo directo se presentan en una serie de costos que van desde el inicial de las bases georeferenciados hasta el total del diseño geométrico.

### 5.1.1. Tablas de resultado del costo directo

La integración de costos se muestra a través de tablas donde se encuentran los renglones de trabajo que describe el procedimiento y costo para un estudio de prefactibilidad.

#### 5.1.1.1. Resultado del costo general

El costo total para el estudio de prefactibilidad contiene el valor total del diseño geométrico de carreteras, se describe el método directo el cual es la topografía convencional.

Tabla III. **Resultado del costo general**

| RENGLONES | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | PRECIO TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Renglón 1** | Medición de salida y entrada con GPS | Base | 6,00 | 681,73 | 4 090, 38 |
| **Renglón 2** | Levantamiento topográfico con ubicaciones | Día | 4,00 | 2 388,05 | 9 552,20 |
| **Renglón 3** | Diseño geométrico de pavimentación | Km | 3,00 | 5 968,67 | 17 906,00 |
| **Total** | | | | | 31 548,58 |

Fuente: elaboración propia.

#### 5.1.1.2. Resultado del costo según el cronograma

El costo total para el estudio de prefactibilidad contiene el valor de inversión diaria que describe el método directo, el cual es la topografía convencional.

Tabla IV. **Resultado del costo según el cronograma**

| | | DIAS | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RENGLÓN | COSTO (Q) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | AVANCE |
| RENGLÓN 1 | 4 090,38 | | | | | | | | | | | | | | 12,97% |
| RENGLÓN 2 | 9 552,20 | | | | | | | | | | | | | | 30,28% |
| RENGLÓN 3 | 17 906,00 | | | | | | | | | | | | | | 56,76% |
| TOTAL | 31 548,58 | 12,97 % | 7,57 % | 7,57% | 7,57 % | 7,57 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 7,09 % | 100% |

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.1.3. Costo GPS

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios para las bases de referencia con ubicación en coordenadas con referencia geográfica.

Tabla V. **Resultado del costo para la medición utilizando GPS**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| MEDICIÓN DE BASES DE SALIDA Y LLEGADA CON GPS R4 DE DOBLE FRECUENCIA PARA AMPLIACIÓN DEL ACCESO A SAN JOSÉ PINULA | BASE | 6,00 | 681,73 | 4 090,38 |

Continuación de la tabla V.

**MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS**

| DESCRIPCIÓN INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **CEMENTO PREMEZCLADO PARA BASES** | SACOS | 3,00 | 35,60 | 106,80 |
| **VARILLA LISA DE 1/8 PARA CENTRO DE BASES** | VARILLA | 1,00 | 11,50 | 11,50 |
| **CUBETA DE 5 GALONES** | UNIDAD | 1,00 | 20,00 | 20,00 |
| **MACHETES** | UNIDAD | 2,00 | 57,00 | 114,00 |
| **PINTURA EN SPRAY** | UNIDAD | 2,00 | 22,00 | 44,00 |
| **PALA** | UNIDAD | 1,00 | 75,00 | 75,00 |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 371,30 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | 331,52 |

**EQUIPO Y MAQUINARIA**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **EQUIPO DE GPS DOBLE FRECUENCIA** | PUNTO/HORA | DIA | 1,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | 1 000,00 |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | 892,86 |

**COMBUSTIBLES**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **GASOLINA** | 45 KM/GALÓN | GALÓN | 5,00 | 20,00 | 100,00 |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | 100,00 |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | **89,29** |

Continuación de la tabla V.

**MANO DE OBRA**

| DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **OPERADOR** | DÍA | 1,00 | 800,00 | 800,00 |
| **CADENERO** | DÍA | 1,00 | 125,00 | 125.00 |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | 925,00 |
| | | AYUDANTE | % | - |
| | | PRESTACIONES | 40,00 % | 370,00 |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | 1 295,00 |

| | | |
|---|---|---|
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | 2 608,66 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas + supervisión + utilidad) :** | 40,00 % | 1 043,46 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | 3 652,13 |
| **IVA:** | 12,00 % | 438,26 |
| **TOTAL** | | 4 090,38 |
| **PRECIO UNITARIO** | | 681,73 |

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.1.4. Costo estación total

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios para el trazo de las líneas preliminares y con estacionamiento a cada 20 m.

Tabla VI. **Resultado del costo de la medición utilizando estación total**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA CON UBICACIONES DE LINDEROS VISIBLES DE CASAS Y CALLES, BANQUETAS, TAPADERAS DE DRENAJES EXISTENTES Y EQUIPAMIENTO URBANO 30 METROS A CADA MARGEN | día | 4,00 | 2 388,05 | 9 552,20 |

**MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS**

| DESCRIPCIÓN INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **CEMENTO PREMEZCLADO PARA ESTACIONES INTERMEDIAS** | SACOS | 8,00 | 35,60 | 284,80 |
| **VARILLA LISA DE 1/8 PARA CENTRO DE ESTACIONES** | VARILLA | 2,00 | 11,50 | 23,00 |
| **CUBETA DE 5 GALONES** | UNIDAD | 4,00 | 20,00 | 80,00 |
| **MACHETES** | UNIDAD | 4,00 | 57,00 | 228,00 |
| **PINTURA EN ESPRAY** | UNIDAD | 5,00 | 22.00 | 110,00 |
| **PALA** | UNIDAD | 2,00 | 75,00 | 150,00 |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 875,80 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | 781,96 |

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **EQUIPO ESTACIÓN TOTAL** | DÍA | DÍA | 4,00 | 300,00 | 1 200,00 |
| | | | | | - |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | 1 200,00 |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | 1 071,43 |

**COMBUSTIBLES**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **GASOLINA** | 45 KM/GALÓN | GALÓN | 10,00 | 20,00 | 200,00 |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | 200,00 |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | 178,57 |

Continuación de la tabla VI.

**MANO DE OBRA**

| DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **TOPÓGRAFO** | DÍA | 4,00 | 300,00 | 1 200,00 |
| **CADENERO** | DÍA | 8,00 | 150,00 | 1 200,00 |
| **AYUDANTES** | DÍA | 4,00 | 125,00 | 500,00 |
| | | | | - |
| | | | | - |
| | | | | - |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | 2 900.00 |
| | | **AYUDANTE** | % | - |
| | | **PRESTACIONES** | 40,00 % | 1 160,00 |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | 4 060,00 |
| | | | | |
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | | | 6 091,96 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas + supervisión + utilidad) :** | | | 40,00 % | 2 436,79 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | | | 8 528.75 |
| **IVA:** | | | 12,00 % | 1 023,45 |
| **TOTAL** | | | | 9 552,20 |
| **PRECIO UNITARIO** | | | | 2 388,05 |

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.1.5. Costo de diseño

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios para la elaboración del diseño geométrico, presupuesto y especificaciones técnicas.

Tabla VII. **Resultado del costo total del diseño por método directo**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **DISEÑO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTACIÓN Y BANQUETAS, PARA LA AMPLIACION DEL ACCESO A SAN JOSE PINULA.** | km | 3,00 | 5 968,67 | 17 906,00 |

**MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS**

| DESCRIPCIÓN INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **Papel para Impresión de Planos A1** | Rollo | 2 | 115,00 | 230,00 |
| **Tinta para Ploter Hp t520** | Cartucho | 4 | 200,00 | 800,00 |
| | | | | |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 1 030,00 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | 919,64 |

**EQUIPO Y MAQUINARIA**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | **-** |

**COMBUSTIBLES**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | - |

Continuación de la tabla VII.

**MANO DE OBRA**

| DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **DIBUJANTE** | PLANO | 10,00 | 150,00 | 1 500,00 |
| **PRESUPUESTADOR CALCULISTA** | KM | 3,00 | 800,00 | 2 400,00 |
| **ESPECIALISTA EN DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS** | km | 3,00 | 1 200,00 | 3 600,00 |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | 7 500,00 |
| | | **AYUDANTE** | % | - |
| | | **PRESTACIONES** | 40,00 % | 3 000,00 |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | 10 500,00 |
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | | | 11 419,64 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas + supervisión + utilidad) :** | | | 40,00 % | 4 567,86 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | | | 15 987,50 |
| **IVA:** | | | 12,00 % | 1 918,50 |
| **TOTAL** | | | | 17 906,00 |
| **PRECIO UNITARIO** | | | | 5 968,67 |

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Método indirecto fotogrametría

Los resultados del costo indirecto se presentan en una serie de costos que van desde el inicial de las bases georeferenciados hasta el total del diseño geométrico.

### 5.2.1. Costo del levantamiento por el método indirecto fotogrametría

La integración de costos se muestra a través de tablas donde se encuentran los renglones de trabajo que describe el procedimiento y costo para un estudio de prefactibilidad.

### 5.2.2. Tablas de resultado del costo indirecto de fotogrametría

El resultado del costo indirecto se plasma en la serie de tablas que a continuación se presentan, mostrando así, el total según el procedimiento establecido.

#### 5.2.2.1. Resultado del costo general

El costo total para el estudio de prefactibilidad contiene el valor total del diseño geométrico de carreteras, se describe el método indirecto el cual es la topografía convencional.

Tabla VIII. **Resultado del costo general**

| RENGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | PRECIO TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| **RENGLÓN 1** | MEDICIÓN DE BASES DE SALIDA Y LLEGADA CON GPS R4 | BASE | 6,00 | 681,73 | 4 090,38 |
| **RENGLÓN 2** | LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO MEDIANTE PLAN DE VUELO | UNIDAD | 1,00 | 350,00 | 350,00 |
| **RENGLÓN 3** | DISEÑO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTACIÓN Y BANQUETAS PARA LA AMPLIACIÓN DEL ACCESO A SAN JOSÉ PINULA | Km | 3,00 | 4 651,55 | 13 954,64 |
| | TOTAL | | | | 18 395,02 |

Fuente: elaboración propia.

#### 5.2.2.2. Resultado del costo según el cronograma

El costo total para el estudio de prefactibilidad contiene el valor de inversión diaria que describe el método indirecto el cual es la fotogrametría aérea.

Tabla IX. **Resultado del costo según el cronograma**

| | | DIAS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RENGLÓN | COSTO (Q) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | AVANCE |
| RENGLÓN 1 | 4 090,38 | | | | | | | | | 22,24% |
| RENGLÓN 2 | 350,00 | | | | | | | | | 1,90% |
| RENGLÓN 3 | 13 954,64 | | | | | | | | | 75,86% |
| TOTAL | 18 395,02 | 22,24 % | 1,90 % | 12,64 % | 12,64 % | 12,64 % | 12,64 % | 12,64 % | 12,64 % | 100% |

Fuente: elaboración propia.

#### 5.2.2.3. Costo GPS

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios, para las bases de referencia con ubicación en coordenadas con referencia geográfica (ver tabla X).

Tabla X. **Resultado del costo para la medición utilizando GPS**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **MEDICIÓN DE BASES DE SALIDA Y LLEGADA CON GPS R4 DE DOBLE FRECUENCIA PARA AMPLIACIÓN DEL ACCESO A SAN JOSÉ PINULA** | BASE | 6,00 | 681,73 | 4 090,38 |
| **MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS** | | | | |
| **DESCRIPCIÓN INSUMO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **CEMENTO PREMEZCLADO PARA BASES** | SACOS | 3,00 | 35,60 | 106,80 |
| **VARILLA LISA DE 1/8 PARA CENTRO DE BASES** | VARILLA | 1,00 | 11,50 | 11,50 |
| **CUBETA DE 5 GALONES** | UNIDAD | 1,00 | 20,00 | 20,00 |
| **MACHETES** | UNIDAD | 2,00 | 57,00 | 114,00 |
| **PINTURA EN ESPRAY** | UNIDAD | 2,00 | 22,00 | 44,00 |
| **PALA** | UNIDAD | 1,00 | 75.00 | 75,00 |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 371,30 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | 331,52 |

| **EQUIPO Y MAQUINARIA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **DESCRIPCIÓN** | **RENDIMIENTO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **EQUIPO DE GPS DOBLE FRECUENCIA** | PUNTO/HORA | DIA | 1,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | 1 000.00 |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | 892,86 |
| **COMBUSTIBLES** | | | | | |
| **DESCRIPCIÓN** | **RENDIMIENTO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **GASOLINA** | 45 KM/GALÓN | GALÓN | 5,00 | 20,00 | 100,00 |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | 100,00 |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | 89,29 |
| **MANO DE OBRA** | | | | | |
| **DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD** | | | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **OPERADOR** | | | DÍA | 1,00 | 800,00 | 800,00 |
| **CADENERO** | | | DÍA | 1,00 | 125,00 | 125,00 |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | | | 925,00 |
| | | | | **AYUDANTE** | % | - |
| | | | | **PRESTACIONES** | 40,00 % | 370,00 |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | | | 1 295,00 |

Continuación de la tabla X.

| | | |
|---|---|---|
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | 2 608,66 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas +supervisión + utilidad) :** | 40,00 % | 1 043,46 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | 3 652,13 |
| **IVA:** | 12,00 % | 438,26 |
| **TOTAL** | | 4 090,38 |
| **PRECIO UNITARIO** | | **681,73** |

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2.4. Costo estación total

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios para el trazo de las líneas preliminares y con estacionamiento a cada 20 m (ver tabla XI).

Tabla XI. **Resultado del costo de la medición utilizando fotogrametría**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO MEDIANTE PLAN DE VUELOS CON DRONES TRIMBLE EXACTITUD 0,1 EN Z** | UNIDAD | 1,00 | **350,00** | **350,00** |

| MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **DESCRIPCIÓN INSUMO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **PLAN DE VUELO** | HA | 18,00 | - | - |
| **COMPRA DE MODELO DE ELEVACIÓN AÉREA IGN 21594_17_ORT_RGB SJP** | UNIDAD | 1,00 | 125,00 | 125,00 |
| **COMPRA DE ORTOFOTO 21594_17_ORT_RGB SJP** | UNIDAD | 1,00 | 125,00 | 125,00 |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 250,00 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | **223,21** |

Continuación de la tabla XI.

| EQUIPO Y MAQUINARIA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **DESCRIPCIÓN** | **RENDIMIENTO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | **-** |
| **COMBUSTIBLES** | | | | | |
| **DESCRIPCIÓN** | **RENDIMIENTO** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **GASOLINA** | 45 KM/GALÓN | GALÓN | 0.00 | 20,00 | - |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | **-** |
| **MANO DE OBRA** | | | | | |
| **DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD** | | | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **PRECIO UNITARIO (Q)** | **TOTAL (Q)** |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | | - |
| | | | | **AYUDANTE** | % | - |
| | | | | **PRESTACIONES** | 40,00 % | - |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | | - |

| | | |
|---|---|---|
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | 223,21 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas +supervisión + utilidad) :** | 40,00 % | 89,29 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | 312,50 |
| **IVA:** | 12,00 % | 37,50 |
| **TOTAL** | | 350,00 |
| **PRECIO UNITARIO** | | 350,00 |

Fuente: elaboración propia.

NOTA: se compró solamente un modelo de elevación aérea IGN 21594_17_ORT_RGB SJP, ya que con uno solo se cumplió con el área requerida para desarrollar el estudio.

### 5.2.2.5. Costo de diseño

Esta tabla muestra el costo total con desglose de la integración en los precios unitarios para la elaboración del diseño geométrico, presupuesto y especificaciones técnicas (ver tabla XII).

Tabla XII. **Resultado del costo total del diseño por método indirecto fotogrametría**

| DESCRIPCIÓN RENGLÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **DISEÑO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTACIÓN Y BANQUETAS PARA LA AMPLIACIÓN DEL ACCESO A SAN JOSÉ PINULA, INCLUYE TABULACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECABADA EN CAMPO** | km | 3,00 | 4 651,55 | 13 954,64 |

**MATERIAL, HERRAMIENTA Y OTROS**

| DESCRIPCIÓN INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **Papel para Impresión de Planos A1** | Rollo | 2 | 115,00 | 230,00 |
| **Tinta para Ploter Hp t520** | Cartucho | 4 | 200,00 | 800,00 |
| | | | | |
| **Total de materiales con IVA** | | | | 1 030,00 |
| **TOTAL DE MATERIAL SIN IVA** | | | | 919,64 |

**EQUIPO Y MAQUINARIA**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| **Total de Equipo y maquinaria con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE EQUIPO Y MAQUINARIA SIN IVA** | | | | | - |

Continuación de la tabla XII.

**COMBUSTIBLES**

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| **Total de Combustibles con IVA** | | | | | - |
| **TOTAL DE COMBUSTIBLES SIN IVA** | | | | | - |

**MANO DE OBRA**

| DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (Q) | TOTAL (Q) |
|---|---|---|---|---|
| **DIBUJANTE** | PLANO | 10,00 | 150,00 | 1 500,00 |
| **PRESUPUESTADOR CALCULISTA** | KM | 3,00 | 600,00 | 1 800,00 |
| **ESPECIALISTA EN DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS** | km | 3,00 | 800,00 | 2 400,00 |
| **SUBTOTAL MANO DE OBRA CALIFICADA** | | | | 5 700,00 |
| | | **AYUDANTE** | % | - |
| | | **PRESTACIONES** | 40,00 % | 2 280,00 |
| **TOTAL MANO DE OBRA** | | | | 7 980,00 |

| | | |
|---|---|---|
| **TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):** | | 8 899,64 |
| **TOTAL COSTO INDIRECTO: (administrativos + fianzas +supervisión + utilidad) :** | 40,00 % | 3 559,86 |
| **SUBTOTAL (suma de directos + indirectos)** | | 12 459,50 |
| **IVA** | 12,00 % | 1 495,14 |
| **TOTAL** | | 13 954,64 |
| **PRECIO UNITARIO** | | 4 651,55 |

Fuente: elaboración propia.

# 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA INTEGRACIÓN DE COSTOS

Conocer los parámetros técnicos necesarios para la selección del tipo de método más óptimo de acuerdo a las características del proyecto, en este caso la ampliación de la carretera de ingreso a San José Pínula. Lo que se busca al final de este trabajo es una comparación del costo y el tiempo en el uso de un método directo y un método indirecto para determinar cuál de los métodos resulta más exacto, para poder obtener una mejor optimización y aprovechamiento de los recursos y el tiempo.

## 6.1. Comparación de costo y tiempo por cada método

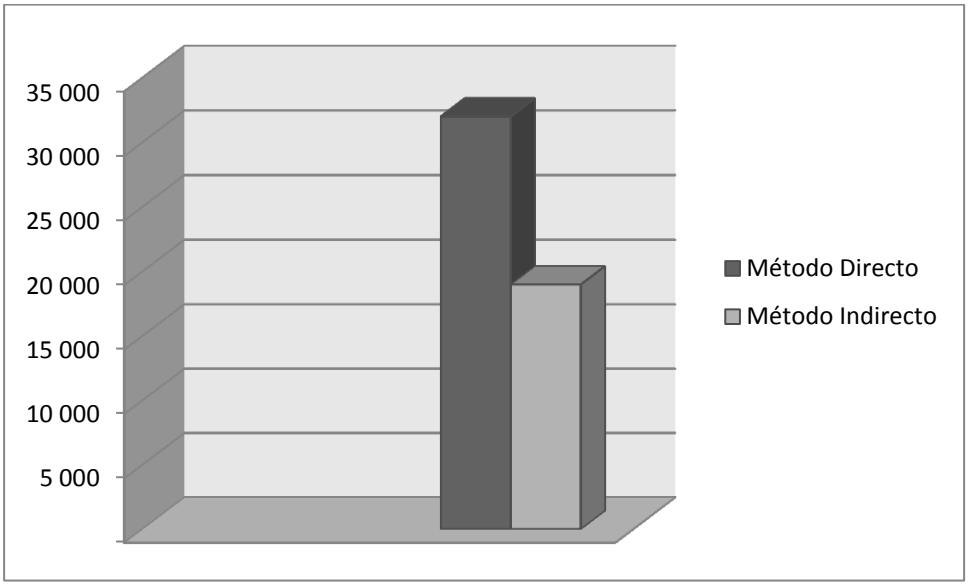
Para los siguientes incisos, de desarrollan lo que son las comparaciones de costo y tiempo de los métodos directo e indirecto, y así determinar cuál de los dos es más efectivo.

### 6.1.1. Comparación del costo entre el método directo e indirecto

Por medio de los estudios realizados para la ampliación de carretera de ingreso a San José Pínula para el levantamiento topográfico y el trazado preliminar por el método directo, tanto en campo como en gabinete, se estima un valor total de Q 31 518,00. Asimismo, para el método indirecto el valor es de Q 18 395,00.

Del análisis anterior se genera la gráfica de la figura 19, concluyendo para el área de estudio que el levantamiento por método directo es 1,71 veces más caro que el método indirecto (ver figura 19).

Figura 19. **Gráfico comparación costo entre método directo e indirecto**




Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

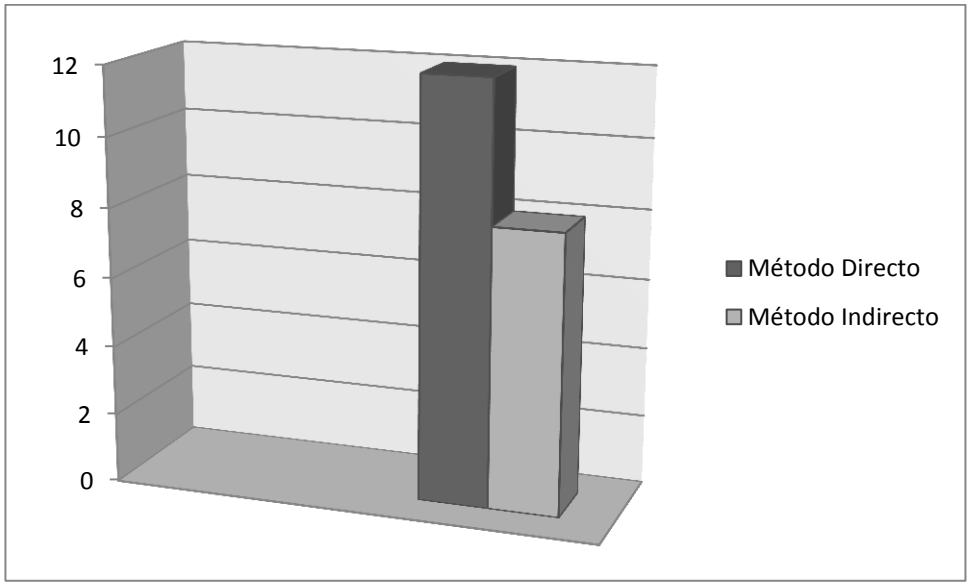
### 6.1.2. Comparación del tiempo entre el método directo e indirecto

Por medio de los estudios realizados para la ampliación de la carretera de ingreso a San José Pínula, se obtiene el dato del tiempo utilizado para la realización del levantamiento topográfico por método directo, fue de 12 días de trabajo.

Al mismo tiempo se obtuvo el dato utilizando el método indirecto el cual fue de 8 días de trabajo.

Del análisis anterior se genera la gráfica de la figura 20, concluyendo que el tiempo que se utiliza con el método indirecto, el cual es un 66 % menor respecto del método directo (ver figura 20).

Figura 20. **Gráfico comparación tiempo entre método directo e indirecto**




Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

# 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 7.1. Análisis de resultados en costo de medición

Luego de realizar las comparaciones de los resultados en los costos obtenidos para la elaboración y ejecución de las mediciones, el trazo preliminar en el tramo de la ampliación del acceso a San José Pínula, indica un valor más elevado por el método convencional, esto debido a que se requiere mayor tiempo para la ejecución, ya que al principio de la medición se colocaron ubicadas las bases de salida, los puntos georeferenciados intermedios y las bases de llegada para poder trazar una poligonal abierta en coordenadas GTM, añadido a esto la medición convencional requirió los servicios técnicos de un topógrafo y dos cadeneros con un rendimiento de 18 hectáreas por día, que conlleva un valor de Q 27 458,20, lo que incrementa el valor de la medición en campo.

El caso de la medición por el método indirecto los costos están dados por las bases que tienen la funcionalidad de referencias para la ubicación de las fotografías aéreas, para la investigación se utilizó modelos de elevación proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional, las cuales se utilizaron para elaborar el trazado preliminar ahorrando de gran manera el costo, dando este método un total de Q 14 304,64. Tanto para el método directo como para el indirecto los precios vienen de la suma del total de los renglones 2 y 3 del costo general, los cuales representan para el renglón 2 el levantamiento topográfico (planimetría y altimetría) y para el renglón 3 el diseño geométrico de pavimentación y banquetas.

## 7.2. Análisis de resultados según tiempo de empleo

El tiempo empleado para cada método se evidencia de sobremanera, ya que con el método convencional se logró demostrar que para el diseño preliminar fueron necesarios 8 días, incluyendo las mediciones con GPS, la topografía convencional. Mucho de esto influye en el manejo de la información, ya que se necesita que cada etapa sea concluida para proseguir con la siguiente etapa. El método indirecto se comporta de manera similar pero con la diferencia que los tiempos empleados para cada proceso son menores y de obtención rápida, tanto así que el diseñador no debe emplear demasiado tiempo en preparar la superficie y topografía para el diseño, y como un agregado se puede colocar la ortofoto sobre el modelo de elevación para una mejor apreciación de los accidentes geográficos.

En síntesis los resultados son los esperados, ya que se determinó que el método indirecto es más económico y el tiempo que se requiere es menor, este puede ser utilizado para el desarrollo de trazados preliminares en estudios viales de prefactibilidad por su corto tiempo para obtener información, y la facilidad de elaborar nuevas rutas sobre un mismo modelo de elevación.

# 8. EJEMPLO DE UN TRAZADO DE DISEÑO GEOMÉTRICO CON PLANOS

Obtenidos los resultados, queda demostrado que el método más eficiente es el método indirecto. Para fines académicos se presenta un ejemplo del trazado de diseño geométrico con planos de la ampliación de la carretera que conduce a San José Pínula, en el cual está plasmado las partes más importantes que debe presentar un alineamiento horizontal (ver el siguiente juego de planos).

# CONCLUSIONES

1. Los estudios de prefactibilidad son un requisito indispensable para la elaboración de un proyecto de infraestructura vial, en el cual se evalúan las diferentes soluciones para el acceso la ampliación o la nueva apertura de brechas. El método directo brinda una mejor exactitud en trazos de pelo a tierra, se requiere de mano de obra calificada y mayor cantidad de tiempo que incrementa el costo, la fotogrametría muestra en sus modelos de elevación una vista de planta y superficie de toda el área a estudiar pero la incerteza es mayor.

2. Económicamente el método directo muestra un valor más elevado ya que se invierten Q 31 548,58, la fotogrametría el valor a invertir en el estudio es de Q 18 395,02.

3. La fotogrametría como método de medición en estudios de prefactibilidad es viable ya que al tratarse de diseños preliminares se cuenta con mayor información sobre el terreno, y mejor procesamiento de la información para el diseñador por lo que disminuye el tiempo y por lo tanto el costo.

4. El Estado invierte 5 % de presupuesto en estudios de prefactibilidad, al utilizar la fotogrametría como alternativa de medición se puede realizar mayor cantidad de estudios y contemplar nuevas alternativas por la gran cantidad de información que brindan las ortofotos y los modelos de elevación.

# RECOMENDACIONES

1. Se puede optar por realizar un método híbrido en el que se mezclan los dos sistemas anteriormente descritos, esta combinación proporciona una mayor información a nivel espacial con los modelos de elevación, y en lugares específicos se puede aprovechar la topografía por el método convencional para realizar mediciones y comprobaciones de la exactitud que brindan ortofotos.

2. Para la realización de las mediciones por el método indirecto se puede realizar con los modelos de elevación de Instituto Geográfico Nacional, con la salvedad que se necesitan corroborar ciertos cambios en el ordenamiento y distribución de las viviendas ya que las fotografías del IGN son de 2006, pero por lo demás, es un sistema económico para estudios de prefactibilidad.

3. Con el método indirecto se busca tener un mejor aprovechamiento de los recursos del estado y mejorar las condiciones y calidad de la infraestructura vial, ya que se pueden contemplar mejores y mayores opciones a desarrollar que con el método directo, en el cual solo se tiene una parte de la información más detallada, pero menor información de la que proporciona la fotogrametría y al hacer los estudios de prefactibilidad se pueden establecer parámetros de crecimiento poblacional.

# BIBLIOGRAFÍA


1. American Association of State Highways and Transportation Officials. *AASHTO T 269, AASHTO T 164, AASHTO T 209.* EUA: AASHTO, 2013. 1600 p.

2. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (libro azul)*. Guatemala. Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2001. 724 p.

3. REYES ARREAGA, Sergio Iván. *Guía teórica y práctica del curso de Topografía 3.* Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 217 p.

4. SÁNCHEZ VARELA A. *Aplicación de la fotogrametría al estudio y proyectos de trazados viales*: trabajo final. Argentina: Universidad Nacional de San Juan, 2006 187 p.

5. Segeplan. *Normas de Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)*: *Ejercicio Fiscal 2016.* <snip.segeplan.gob.gt/sche/snip/documentos/Normas_SNIP_2016 pdf.)>. Consulta: octubre del 2015.

6. VALLADARES, Jorge Félix. *Guía teórica y práctica del curso de Vías Terrestres 1.* Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 167 p.

# APÉNDICES

Apéndice 1. **Informe de diseño. Alineamiento horizontal**

```
Tangent Data
Length:21.931Course:N 85° 57' 35.3718" E

Circular Curve Data
Delta:15° 25' 31.4123"Type:LEFT
Radius:572.958
Length:154.254Tangent:77.596
Mid-Ord:5.183External:5.231
Chord:153.788Course:N 78° 14' 49.6657" E

Tangent Data
Length:115.293Course:N 70° 32' 03.9596" E

Circular Curve Data
Delta:12° 25' 14.6511"Type:RIGHT
Radius:731.435
Length:158.563Tangent:79.593
Mid-Ord:4.292External:4.318
Chord:158.252Course:N 76° 44' 41.2851" E

Tangent Data
Length:132.113Course:N 82° 57' 18.6107" E

Circular Curve Data
Delta:03° 32' 56.2707"Type:RIGHT
Radius:381.972
Length:23.660Tangent:11.834
Mid-Ord:0.183External:0.183
Chord:23.656Course:N 84° 43' 46.7461" E

Tangent Data
Length:131.678Course:N 86° 30' 14.8814" E

Circular Curve Data
Delta:48° 59' 38.4049"Type:LEFT
Radius:95.493
Length:81.657Tangent:43.513
Mid-Ord:8.596External:9.446
Chord:79.191Course:N 62° 00' 25.6790" E

Tangent Data
Length:140.730Course:N 37° 30' 36.4766" E

Circular Curve Data
Delta:54° 11' 46.3599"Type:RIGHT
Radius:114.592
Length:108.392Tangent:58.635
Mid-Ord:12.579External:14.130
Chord:104.396Course:N 64° 36' 29.6565" E

Tangent Data
Length:184.041Course:S 88° 17' 37.1635" E

Circular Curve Data
Delta:76° 57' 42.3757"Type:RIGHT
Radius:81.851
Length:109.945Tangent:65.063
Mid-Ord:17.777External:22.709
Chord:101.864Course:S 49° 48' 45.9756" E

Tangent Data
Length:123.876Course:S 11° 19' 54.7878" E
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Verificación de criterio de diseño geométrico horizontal**

```
Circular Curve Data
Delta:65° 14' 29.8697"Type:LEFT
Radius:127.324
Length:144.981Tangent:81.492
Mid-Ord:20.085External:23.846
Chord:137.275Course:S 43° 57' 09.7227" E

Tangent Data
Length:50.973Course:S 76° 34' 24.6575" E

Circular Curve Data
Delta:74° 21' 28.0320"Type:LEFT
Radius:57.296
Length:74.358Tangent:43.457
Mid-Ord:11.645External:14.616
Chord:69.248Course:N 66° 14' 51.3265" E

Tangent Data
Length:69.146Course:N 29° 04' 07.3105" E

Circular Curve Data
Delta:22° 25' 46.9993"Type:LEFT
Radius:143.239
Length:56.074Tangent:28.401
Mid-Ord:2.735External:2.788
Chord:55.717Course:N 17° 51' 13.8108" E

Tangent Data
Length:97.395Course:N 06° 38' 20.3112" E

Circular Curve Data
Delta:38° 59' 30.6808"Type:RIGHT
Radius:57.296
Length:38.992Tangent:20.285
Mid-Ord:3.285External:3.485
Chord:38.244Course:N 26° 08' 05.6515" E

Tangent Data
Length:36.969Course:N 45° 37' 50.9919" E

Circular Curve Data
Delta:44° 57' 50.9914"Type:LEFT
Radius:95.493
Length:74.940Tangent:39.520
Mid-Ord:7.258External:7.854
Chord:73.032Course:N 23° 08' 55.4962" E

Tangent Data
Length:132.607Course:N 00° 40' 00.0005" E

Circular Curve Data
Delta:08° 42' 57.1979"Type:LEFT
Radius:76.394
Length:11.621Tangent:5.822
Mid-Ord:0.221External:0.222
Chord:11.610Course:N 03° 41' 28.5985" W

Tangent Data
Length:38.351Course:N 04° 57' 33.4944" W

Circular Curve Data
Delta:162° 22' 06.5151"Type:RIGHT
Radius:19.924
Length:56.462Tangent:128.467
Mid-Ord:16.870External:110.079
Chord:39.377Course:N 72° 37' 27.0095" E

Tangent Data
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Informe de diseño. Verificación de criterio de diseño geométrico horizontal**

## 1.1 VERIFICACION DE CRITERIO DE DISEÑO GEOMETRICO HORIZONTAL

Station Range: Start: 19+000.00, End: 21+751.15

1 Tangent
Start Station:19+000.00
End Station:19+021.93
Length:21.931m
Design Speed:30
Design Checks:

2 Circular Curve
Start Station:19+021.93
End Station:19+176.18
Radius:572.958m
Design Speed:30
Design Criteria:
Minimum Radius:30.00Cleared
Design Checks:

3 Tangent
Start Station:19+176.18
End Station:19+291.48
Length:115.293m
Design Speed:30
Design Checks:

4 Circular Curve
Start Station:19+291.48
End Station:19+450.04
Radius:731.435m
Design Speed:30
Design Criteria:
Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

5 Tangent
Start Station:19+450.04
End Station:19+582.15
Length:132.113m
Design Speed:30
Design Checks:

6 Circular Curve
Start Station:19+582.15
End Station:19+605.81
Radius:381.972m
Design Speed:30
Design Criteria:
Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Informe de diseño. Alineamiento horizontal**

```
7 Tangent
Start Station:19+605.81
End Station:19+737.49
Length:131.678m
Design Speed:30
Design Checks:

8 Circular Curve
Start Station:19+737.49
End Station:19+819.15
Radius:95.493m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

9 Tangent
Start Station:19+819.15
End Station:19+959.88
Length:140.730m
Design Speed:30
Design Checks:

10 Circular Curve
Start Station:19+959.88
End Station:20+068.27
Radius:114.592m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

11 Tangent
Start Station:20+068.27
End Station:20+252.31
Length:184.041m
Design Speed:30
Design Checks:

12 Circular Curve
Start Station:20+252.31
End Station:20+362.26
Radius:81.851m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

13 Tangent
Start Station:20+362.26
End Station:20+486.13
Length:123.876m
Design Speed:30
Design Checks:

14 Circular Curve
Start Station:20+486.13
End Station:20+631.11
Radius:127.324m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius:30.00Cleared
Design Checks:

15 Tangent
Start Station:20+631.11
End Station:20+682.09
Length:50.973m
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Verificación de criterio de diseño geométrico horizontal**

```
Design Speed:30
Design Checks:

16 Circular Curve
Start Station:20+682.09
End Station:20+756.45
Radius:57.296m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius:30.00Cleared
Design Checks:

17 Tangent
Start Station:20+756.45
End Station:20+825.59
Length:69.146m
Design Speed:30
Design Checks:

18 Circular Curve
Start Station:20+825.59
End Station:20+881.67
Radius:143.239m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius:30.00Cleared
Design Checks:

19 Tangent
Start Station:20+881.67
End Station:20+979.06
Length:97.395m
Design Speed:30
Design Checks:

20 Circular Curve
Start Station:20+979.06
End Station:21+018.05
Radius:57.296m
Design Speed:30
Design Criteria:
    Minimum Radius: 30.00Cleared
Design Checks:

21 Tangent
Start Station:21+018.05
End Station:21+055.02
Length:36.969m
Design Speed:20
Design Checks:

22 Circular Curve
Start Station:21+055.02
End Station:21+129.96
Radius:95.493m
Design Speed:20
Design Criteria:
    Minimum Radius: 15.00Cleared
Design Checks:

23 Tangent
Start Station:21+129.96
End Station:21+262.57
Length:132.607m
Design Speed:20
Design Checks:

24 Circular Curve
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Verificación de criterio de diseño geométrico horizontal**

```
Start Station:21+262.57
End Station:21+274.19
Radius:76.394m
Design Speed:20
Design Criteria:
    Minimum Radius:15.00Cleared
Design Checks:

25 Tangent
Start Station:21+274.19
End Station:21+312.54
Length:38.351m
Design Speed:20
Design Checks:

26 Circular Curve
Start Station:21+312.54
End Station:21+369.00
Radius:19.924m
Design Speed:20
Design Criteria:
    Minimum Radius: 15.00Cleared
Design Checks:

27 Tangent
Start Station:21+369.00
End Station:21+613.48
Length:244.478m
Design Speed:20
Design Checks:

28 Circular Curve
Start Station:21+613.48
End Station:21+665.35
Radius:52.087m
Design Speed:20
Design Criteria:
    Minimum Radius: 15.00Cleared
Design Checks:

29 Tangent
Start Station:21+665.35
End Station:21+751.15
Length:85.803m
Design Speed:20
Design Checks:
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Coordenadas totales por estación de diseño**

| Estación, Norte, Este, Rumbo y dirección |
|---|
| 19+000.001,608,151.5316n507,070.3561mN85° 57' 35"E |
| 19+020.001,608,152.9407n507,090.3064mN85° 57' 35"E |
| 19+040.001,608,154.6338n507,110.2336mN84° 09' 11"E |
| 19+060.001,608,157.0181n507,130.0900mN82° 09' 11"E |
| 19+080.001,608,160.0939n507,149.8510mN80° 09' 11"E |
| 19+100.001,608,163.8575n507,169.4927mN78° 09' 11"E |
| 19+120.001,608,168.3042n507,188.9910mN76° 09' 11"E |
| 19+140.001,608,173.4288n507,208.3223mN74° 09' 11"E |
| 19+160.001,608,179.2249n507,227.4630mN72° 09' 11"E |
| 19+180.001,608,185.6734n507,246.3939mN70° 32' 04"E |
| 19+200.001,608,192.3382n507,265.2508mN70° 32' 04"E |
| 19+220.001,608,199.0030n507,284.1076mN70° 32' 04"E |
| 19+240.001,608,205.6678n507,302.9645mN70° 32' 04"E |
| 19+260.001,608,212.3326n507,321.8213mN70° 32' 04"E |
| 19+280.001,608,218.9975n507,340.6781mN70° 32' 04"E |
| 19+300.001,608,225.6154n507,359.5513mN71° 12' 07"E |
| 19+320.001,608,231.8004n507,378.5703mN72° 46' 07"E |
| 19+340.001,608,237.4631n507,397.7512mN74° 20' 07"E |
| 19+360.001,608,242.5993n507,417.0798mN75° 54' 07"E |
| 19+380.001,608,247.2052n507,436.5416mN77° 28' 07"E |
| 19+400.001,608,251.2772n507,456.1221mN79° 02' 07"E |
| 19+420.001,608,254.8124n507,475.8065mN80° 36' 07"E |
| 19+440.001,608,257.8080n507,495.5803mN82° 10' 07"E |
| 19+460.001,608,260.3293n507,515.4205mN82° 57' 19"E |
| 19+480.001,608,262.7822n507,535.2695mN82° 57' 19"E |
| 19+500.001,608,265.2351n507,555.1185mN82° 57' 19"E |
| 19+520.001,608,267.6881n507,574.9675mN82° 57' 19"E |
| 19+540.001,608,270.1410n507,594.8165mN82° 57' 19"E |
| 19+560.001,608,272.5939n507,614.6656mN82° 57' 19"E |
| 19+580.001,608,275.0468n507,634.5146mN82° 57' 19"E |
| 19+600.001,608,277.0853n507,654.4082mN85° 37' 55"E |
| 19+620.001,608,278.3489n507,674.3681mN86° 30' 15"E |
| 19+640.001,608,279.5685n507,694.3309mN86° 30' 15"E |
| 19+660.001,608,280.7880n507,714.2937mN86° 30' 15"E |
| 19+680.001,608,282.0075n507,734.2565mN86° 30' 15"E |
| 19+700.001,608,283.2271n507,754.2192mN86° 30' 15"E |
| 19+720.001,608,284.4466n507,774.1820mN86° 30' 15"E |
| 19+740.001,608,285.6990n507,794.1425mN84° 59' 57"E |
| 19+760.001,608,289.5085n507,813.7391mN72° 59' 57"E |
| 19+780.001,608,297.3091n507,832.1155mN60° 59' 57"E |
| 19+800.001,608,308.7599n507,848.4684mN48° 59' 57"E |
| 19+820.001,608,323.3582n507,862.0863mN37° 30' 36"E |
| 19+840.001,608,339.2231n507,874.2643mN37° 30' 36"E |
| 19+860.001,608,355.0880n507,886.4424mN37° 30' 36"E |
| 19+880.001,608,370.9529n507,898.6204mN37° 30' 36"E |
| 19+900.001,608,386.8178n507,910.7984mN37° 30' 36"E |
| 19+920.001,608,402.6827n507,922.9765mN37° 30' 36"E |
| 19+940.001,608,418.5477n507,935.1545mN37° 30' 36"E |
| 19+960.001,608,434.4125n507,947.3326mN37° 34' 15"E |
| 19+980.001,608,449.1227n507,960.8455mN47° 34' 15"E |
| 20+000.001,608,461.2628n507,976.7074mN57° 34' 15"E |
| 20+020.001,608,470.4641n507,994.4365mN67° 34' 15"E |
| 20+040.001,608,476.4470n508,013.4941mN77° 34' 15"E |
| 20+060.001,608,479.0297n508,033.3011mN87° 34' 15"E |
| 20+080.001,608,478.7326n508,053.2939mS88° 17' 37"E |
| 20+100.001,608,478.1371n508,073.2850mS88° 17' 37"E |
| 20+120.001,608,477.5415n508,093.2762mS88° 17' 37"E |
| 20+140.001,608,476.9460n508,113.2673mS88° 17' 37"E |
| 20+160.001,608,476.3505n508,133.2584mS88° 17' 37"E |
| 20+180.001,608,475.7549n508,153.2496mS88° 17' 37"E |
| 20+200.001,608,475.1594n508,173.2407mS88° 17' 37"E |
| 20+220.001,608,474.5639n508,193.2318mS88° 17' 37"E |
| 20+240.001,608,473.9683n508,213.2229mS88° 17' 37"E |
| 20+260.001,608,473.0125n508,233.1920mS82° 54' 44"E |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Coordenadas totales por estación de diseño**

20+280.001,608,468.1564mN508,252.5423mS68° 54' 44"E
20+300.001,608,458.7633mN508,270.1430mS54° 54' 44"E
20+320.001,608,445.3912mN508,284.9484mS40° 54' 44"E
20+340.001,608,428.8346mN508,296.0791mS26° 54' 44"E
20+360.001,608,410.0770mN508,302.8737mS12° 54' 44"E
20+380.001,608,390.4733mN508,306.8340mS11° 19' 55"E
20+400.001,608,370.8632mN508,310.7638mS11° 19' 55"E
20+420.001,608,351.2531mN508,314.6937mS11° 19' 55"E
20+440.001,608,331.6429mN508,318.6235mS11° 19' 55"E
20+460.001,608,312.0328mN508,322.5533mS11° 19' 55"E
20+480.001,608,292.4227mN508,326.4832mS11° 19' 55"E
20+500.001,608,272.9877mN508,331.1473mS17° 34' 19"E
20+520.001,608,254.4725mN508,338.6549mS26° 34' 19"E
20+540.001,608,237.3597mN508,348.9666mS35° 34' 19"E
20+560.001,608,222.0706mN508,361.8283mS44° 34' 19"E
20+580.001,608,208.9819mN508,376.9234mS53° 34' 19"E
20+600.001,608,198.4156mN508,393.8802mS62° 34' 19"E
20+620.001,608,190.6321mN508,412.2811mS71° 34' 19"E
20+640.001,608,185.5198mN508,431.6082mS76° 34' 25"E
20+660.001,608,180.8759mN508,451.0615mS76° 34' 25"E
20+680.001,608,176.2319mN508,470.5149mS76° 34' 25"E
20+700.001,608,174.3565mN508,490.3307mN85° 30' 53"E
20+720.001,608,179.3337mN508,509.5968mN65° 30' 53"E
20+740.001,608,190.6002mN508,525.9987mN45° 30' 53"E
20+760.001,608,206.7454mN508,537.6555mN29° 04' 07"E
20+780.001,608,224.2262mN508,547.3726mN29° 04' 07"E
20+800.001,608,241.7069mN508,557.0898mN29° 04' 07"E
20+820.001,608,259.1877mN508,566.8070mN29° 04' 07"E
20+840.001,608,276.9990mN508,575.8795mN23° 18' 20"E
20+860.001,608,295.8591mN508,582.4862mN15° 18' 20"E
20+880.001,608,315.4550mN508,586.4038mN7° 18' 20"E
20+900.001,608,335.3198mN508,588.7257mN6° 38' 20"E
20+920.001,608,355.1857mN508,591.0379mN6° 38' 20"E
20+940.001,608,375.0516mN508,593.3502mN6° 38' 20"E
20+960.001,608,394.9174mN508,595.6624mN6° 38' 20"E
20+980.001,608,414.7824mN508,597.9823mN7° 34' 41"E
21+000.001,608,433.7519mN508,603.9918mN27° 34' 41"E
21+020.001,608,449.5459mN508,616.1040mN45° 37' 51"E
21+040.001,608,463.5315mN508,630.4010mN45° 37' 51"E
21+060.001,608,477.6082mN508,644.6056mN42° 38' 37"E
21+080.001,608,493.6261mN508,656.5206mN30° 38' 37"E
21+100.001,608,511.7713mN508,664.8448mN18° 38' 37"E
21+120.001,608,531.2506mN508,669.2146mN6° 38' 37"E
21+140.001,608,551.2252mN508,669.9662mN0° 40' 00"E
21+160.001,608,571.2238mN508,670.1989mN0° 40' 00"E
21+180.001,608,591.2225mN508,670.4316mN0° 40' 00"E
21+200.001,608,611.2211mN508,670.6643mN0° 40' 00"E
21+220.001,608,631.2198mN508,670.8970mN0° 40' 00"E
21+240.001,608,651.2184mN508,671.1297mN0° 40' 00"E
21+260.001,608,671.2171mN508,671.3624mN0° 40' 00"E
21+280.001,608,691.1599mN508,670.1426mN4° 57' 33"W
21+300.001,608,711.0850mN508,668.4137mN4° 57' 33"W
21+320.001,608,730.9893mN508,667.6097mN12° 53' 25"E
21+340.001,608,745.3146mN508,680.3496mN70° 24' 17"E
21+360.001,608,742.2620mN508,699.2758mS52° 04' 50"E
21+380.001,608,725.5915mN508,710.0029mS27° 35' 21"E
21+400.001,608,707.8657mN508,719.2654mS27° 35' 21"E
21+420.001,608,690.1399mN508,728.5280mS27° 35' 21"E
21+440.001,608,672.4140mN508,737.7905mS27° 35' 21"E
21+460.001,608,654.6882mN508,747.0530mS27° 35' 21"E
21+480.001,608,636.9623mN508,756.3156mS27° 35' 21"E
21+500.001,608,619.2365mN508,765.5781mS27° 35' 21"E
21+520.001,608,601.5107mN508,774.8407mS27° 35' 21"E
21+540.001,608,583.7848mN508,784.1032mS27° 35' 21"E
21+560.001,608,566.0590mN508,793.3657mS27° 35' 21"E
21+580.001,608,548.3331mN508,802.6283mS27° 35' 21"E
21+600.001,608,530.6073mN508,811.8908mS27° 35' 21"E
21+620.001,608,513.1338mN508,821.5856mS35° 34' 34"E

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Alineamiento vertical**

# 2.ALINEAMIENTO VERTICAL

Alignment PI Station Report
Station Range: Start: 19+000.00, End: 21+751.15

PI Estación, Norte, Este, Rumbo-Distancia
19+000.001,608,151.5316m507,070.3561m
99.527mN85° 57' 35"E
19+099.531,608,158.5439m507,169.6359m
272.482mN70° 32' 04"E
19+371.071,608,249.3460m507,426.5438m
223.540mN82° 57' 19"E
19+593.991,608,276.7623m507,648.3965m
187.024mN86° 30' 15"E
19+781.001,608,288.1664m507,835.0728m
242.877mN37° 30' 36"E
20+018.511,608,480.8278m507,982.9613m
307.739mS88° 17' 37"E
20+317.371,608,471.6643m508,290.5634m
270.431mS11° 19' 55"E
20+567.631,608,206.5052m508,343.7009m
175.922mS76° 34' 25"E
20+725.541,608,165.6565m508,514.8151m
141.003mN29° 04' 07"E
20+853.991,608,288.8985m508,583.3225m
146.080mN6° 38' 20"E
20+999.351,608,433.9994m508,600.2113m
96.773mN45° 37' 51"E
21+094.541,608,501.6708m508,669.3896m
177.949mN0° 40' 00"E
21+268.391,608,679.6075m508,671.4601m
172.581mN7° 44' 35"W
21+441.011,608,850.6147m508,648.2077m
401.227mS27° 11' 57"E
21+641.791,608,493.7545m508,831.6030m
114.116mS85° 27' 37"E
21+751.151,608,484.7222m508,945.3613m

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Coordenadas de topografía original**

## 3.1 Reporte de Topografía

Total COGO Points:2648

| Numero | Norte (m) | Este (m) | Elevación (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|
| 1000 | 10000.000 | 10000.000 | 1772.000 | e=0 |
| 1001 | 9996.195 | 9899.047 | 1780.083 | e=1 |
| 1002 | 10217.135 | 9737.587 | 1794.973 | e=2 |
| 1003 | 10217.282 | 9701.892 | 1798.234 | e=3 |
| 1004 | 9984.593 | 9742.126 | 1819.058 | e=4 |
| 1005 | 9900.836 | 9681.644 | 1830.065 | e=5 |
| 1006 | 9793.063 | 9692.081 | 1838.270 | e=6 |
| 1007 | 9618.509 | 9651.939 | 1860.241 | e=7 |
| 1008 | 9638.789 | 9487.575 | 1877.658 | e=8 |
| 1009 | 9685.010 | 9440.878 | 1884.909 | e=9 |
| 1010 | 9861.145 | 9376.694 | 1897.734 | e=10 |
| 1011 | 9884.531 | 9331.609 | 1897.583 | e=11 |
| 1012 | 9850.150 | 9078.713 | 1908.622 | e=12 |
| 1013 | 9783.869 | 9023.946 | 1910.964 | e=13 |
| 1014 | 9639.577 | 8952.931 | 1909.872 | e=14 |
| 1015 | 9563.492 | 8624.058 | 1910.181 | e=15 |
| 1016 | 9511.253 | 8491.531 | 1911.993 | e=16 |
| 1017 | 9411.573 | 8320.904 | 1913.994 | e=17 |
| 1018 | 9991.830 | 10023.029 | 1770.721 | ac |
| 1019 | 10009.281 | 10021.511 | 1770.712 | ac |
| 1020 | 10000.176 | 10021.390 | 1771.008 | ac |
| 1021 | 10002.449 | 10015.676 | 1771.224 | ac |
| 1022 | 10010.198 | 10020.666 | 1770.921 | banqueta |
| 1023 | 10011.008 | 10020.510 | 1771.645 | tapia |
| 1024 | 10001.332 | 10002.938 | 1771.787 | ac |
| 1025 | 10007.430 | 10003.283 | 1771.591 | ac |
| 1026 | 9998.847 | 10002.774 | 1771.834 | ac |
| 1027 | 10008.830 | 10003.258 | 1771.505 | cuneta |
| 1028 | 9991.387 | 10003.131 | 1771.612 | ac |
| 1029 | 10008.843 | 10003.164 | 1771.299 | cuneta |
| 1030 | 10010.111 | 10003.082 | 1772.145 | tapia |
| 1031 | 9988.196 | 10002.280 | 1773.095 | tapia |
| 1032 | 9991.075 | 10001.136 | 1771.549 | cuneta |
| 1033 | 9990.971 | 10001.121 | 1771.150 | cuneta |
| 1034 | 9990.662 | 10001.237 | 1771.139 | cuneta |
| 1035 | 9990.546 | 10001.181 | 1771.609 | cuneta |
| 1036 | 9990.455 | 10021.114 | 1771.050 | pl |
| 1037 | 9990.637 | 9985.750 | 1772.496 | ac calle per |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Coordenadas de topografía original**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1038 | 9999.773 | 9985.102 | 1772.664 | ac |
| 1039 | 10005.743 | 9984.600 | 1772.525 | ac |
| 1040 | 9997.855 | 9985.218 | 1772.696 | ac |
| 1041 | 10006.187 | 9981.714 | 1772.846 | pl |
| 1042 | 9990.243 | 9970.818 | 1773.341 | ac |
| 1043 | 9998.428 | 9969.601 | 1773.543 | ac |
| 1044 | 10004.255 | 9967.799 | 1773.520 | ac calle per |
| 1045 | 10003.419 | 9957.811 | 1774.182 | ac calle per |
| 1046 | 9996.911 | 9969.402 | 1773.562 | ac |
| 1047 | 9996.951 | 9954.410 | 1774.608 | ac |
| 1048 | 9996.585 | 9954.204 | 1774.630 | ac |
| 1049 | 9996.243 | 9954.402 | 1774.622 | ac |
| 1050 | 9989.711 | 9945.627 | 1775.187 | ac |
| 1051 | 10001.937 | 9944.521 | 1775.207 | ac |
| 1052 | 9996.043 | 9945.295 | 1775.333 | eje central |
| 1053 | 9989.474 | 9945.611 | 1775.011 | cuneta |
| 1054 | 9989.418 | 9945.711 | 1774.638 | cuneta |
| 1055 | 9989.016 | 9945.824 | 1775.032 | cuneta |
| 1056 | 9989.174 | 9945.810 | 1774.605 | cuneta |
| 1057 | 9986.616 | 9945.713 | 1776.290 | pl |
| 1058 | 9984.490 | 9945.206 | 1777.204 | tapia |
| 1059 | 10003.335 | 9942.718 | 1775.519 | tapia |
| 1060 | 9999.435 | 9925.214 | 1776.735 | ac |
| 1061 | 9989.210 | 9926.060 | 1776.904 | ac |
| 1062 | 9988.924 | 9925.856 | 1776.770 | cuneta |
| 1063 | 9988.858 | 9925.813 | 1776.369 | cuneta |
| 1064 | 9988.442 | 9925.765 | 1776.805 | cuneta |
| 1065 | 9988.506 | 9925.767 | 1776.369 | cuneta |
| 1066 | 9999.747 | 9925.177 | 1776.520 | cuneta |
| 1067 | 9999.803 | 9925.145 | 1776.101 | cuneta |
| 1068 | 10000.096 | 9925.252 | 1776.520 | cuneta |
| 1069 | 10000.050 | 9925.137 | 1776.092 | cuneta |
| 1070 | 9984.980 | 9914.398 | 1779.077 | tapia |
| 1071 | 10002.044 | 9921.800 | 1777.099 | tapia |
| 1072 | 9992.760 | 9916.616 | 1777.673 | ac |
| 1073 | 9989.983 | 9915.078 | 1777.985 | hombro |
| 1074 | 9999.757 | 9917.618 | 1777.231 | hombro |
| 1075 | 9999.371 | 9917.535 | 1777.237 | ac |
| 1076 | 9987.080 | 9908.035 | 1779.246 | tapia |
| 1077 | 10002.391 | 9917.832 | 1777.693 | tapia |
| 1078 | 9998.592 | 9900.640 | 1779.271 | ac |
| 1079 | 9998.057 | 9899.423 | 1779.470 | hombro |
| 1080 | 9996.750 | 9912.082 | 1778.101 | eje c |
| 1081 | 10000.619 | 9903.026 | 1778.959 | eje c |
| 1082 | 9996.021 | 9896.320 | 1779.878 | tapia |
| 1083 | 9996.170 | 9896.680 | 1779.608 | cuneta |
| 1084 | 9996.581 | 9897.395 | 1779.707 | cuneta |
| 1085 | 10004.695 | 9905.145 | 1778.458 | hombro |
| 1086 | 10003.811 | 9904.634 | 1778.616 | ac |
| 1087 | 10006.534 | 9906.255 | 1778.848 | tapia |
| 1088 | 9993.747 | 9904.545 | 1779.199 | inicio barda |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12 Ampliación de carretera ingreso a San José Pínula

# PROYECTO: AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA

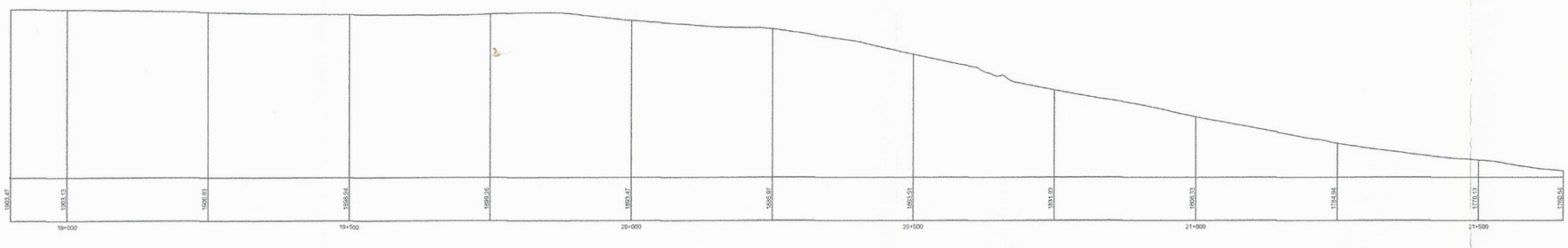
| | |
|---|---|
| UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS FACULTAD DE INGENIERIA | |
| PROYECTO: | AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA |
| CONTIENE: | HOJA TITULO |
| DISEÑO: OSWIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES FECHA | REVISO: OSWIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES FECHA |
| ESCALA: SIN ESCALA | HOJA 1 / 8 |

| INDICE DE HOJAS | | |
|---|---|---|
| HOJA No. | DESCRIPCION | OBSERVACIONES. |
| 1 | TITULO E INDICE | HOJA No. 1/8 |
| 2 | PLANTA Y PERFIL GENERAL | HOJA No.2/1 |
| 3 | SECCIONES TIPICAS DE PAVIMENTO | HOJA No. 3/8 |
| 4-8 | PLANTA Y PERFIL | HOJA No. 4/8-8/8 |

PROYECTO: AMPLIACION DE CARRETERA
INGRESO A SAN JOSE PINULA

| | |
|---|---|
| UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS<br>FACULTAD DE INGENIERIA | |
| PROYECTO: | AMPLIACION DE CARRETERA<br>INGRESO A SAN JOSE PINULA |
| CONTIENE: | PLANTA PERFIL GENERAL |
| DISEÑO: OSMIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES FECHA | REVISO: OSMIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES FECHA |
| ESCALA: HORIZONTAL: 4000<br>VERTICAL: 2000 | HOJA 2/8 |

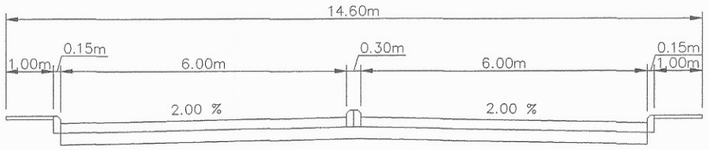
PLANTA GENERAL




PERFIL GENERAL

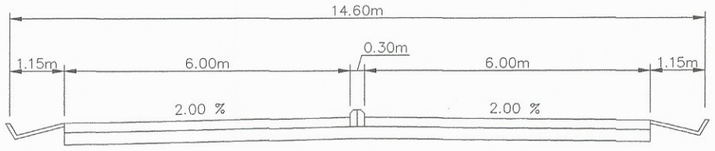
# PROYECTO: AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA

| | |
|---|---|
| UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS FACULTAD DE INGENIERIA | |
| PROYECTO: | AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA |
| CONTIENE: | SECCIONES TIPICAS |
| DISEÑO: OSWIN DAVID JOSE SOUS SOLARES FECHA | REVISO: OSWIN DAVID JOSE SOUS SOLARES FECHA |
| ESCALA: SIN ESCALA | HOJA 3/8 |



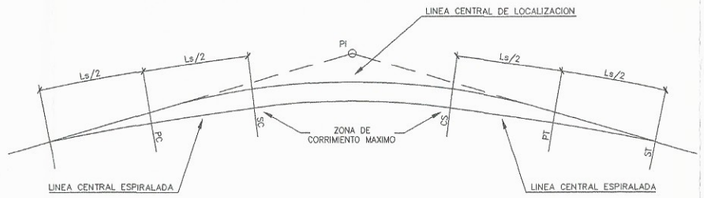

SECCION TIPICA 19+000 - 20+480

SIN ESCALA



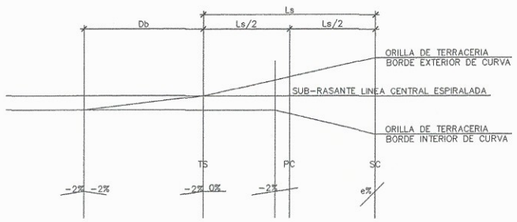

SECCION TIPICA 20+480 - 21+680

SIN ESCALA



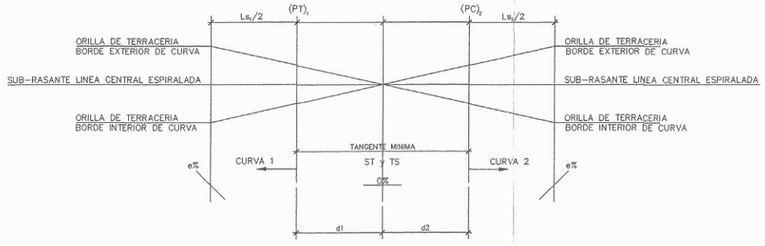

DETALLE DE APLICACION DE CORRIMIENTOS

FIGURA 1.- SIN ESCALA




DETALLE DEL GIRO DEL PERALTE
CUANDO LA TANGENTE ES LARGA

FIGURA 2.- SIN ESCALA




CONDICIONES DE TANGENTE MINIMA

$d_1/d_2 = Ls_1/Ls_2$ ; $d_1/Tg = Ls_1/(Ls_1+Ls_2)$ $d_1+d_2=Tg$

$d_2/Tg = Ls_2/(Ls_1+Ls_2)$

Cuando: $Ls_1/2 + Ls_2/2 + Db$ (mayor) o mas, puede trabajarse con tangente larga.

DETALLE DEL GIRO DEL PERALTE
CUANDO LA TANGENTE ES CORTA

FIGURA 3.- SIN ESCALA

NOTAS:

1. EN LA LINEA CENTRAL DE LOCALIZACION SE HAN USADO CURVAS CIRCULARES SIMPLES, CUYO GRADO DE CURVATURA SE DEFINE COMO EL ANGULO CENTRAL SUBTENDIDO POR UN ARCO DE 20 METROS.-

2. LA LINEA CENTRAL ESPIRALADA SE FORMA APLICANDO CORRIMIENTOS A LA LINEA CENTRAL DE LOCALIZACION HACIA EL INTERIOR DE LAS CURVAS CIRCULARES PREVIAMENTE DETERMINADOS EN LOS GRAFICOS CORRESPONDIENTES.- ( VER FIGURA 1 ).-

3. LA SUBRASANTE FUE CALCULADA CONFORME AL ESTACIO-NAMIENTO DE LA LINEA CENTRAL DE LA LOCALIZACION Y SERA TAMBIEN DE LA LINEA CENTRAL ESPIRALADA.-

4. EL PERALTE MAXIMO (e%) Y LA LONGITUD DE ESPIRAL (Ls) SE OBTENDRAN DE LA TABLA CORRESPONDIENTE SEGUN EL GRADO DE CURVATURA Y LA VELOCIDAD DEL DISEÑO.-

5. EL PERALTE MAXIMO SE REPARTIRA PROPORCIONAL A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC o PT DE LA CURVA CIRCULAR, EL PUNTO MEDIO DE DICHA LONGITUD.-

6. EL GIRO NECESARIO PARA PRODUCIR EL PERALTE DEBERA SER HECHO ALREDEDOR DE LA LINEA CENTRAL ESPIRALADA.- ( VER FIGURAS 2 Y 3 ).-

7. LA DISTANCIA PARA DESARROLLAR EL BOMBEO DEL LADO EXTERIOR DE LA CARRETERA, (Db) DE LA FIGURA 2, VARIA CONFORME A LA VELOCIDAD.-

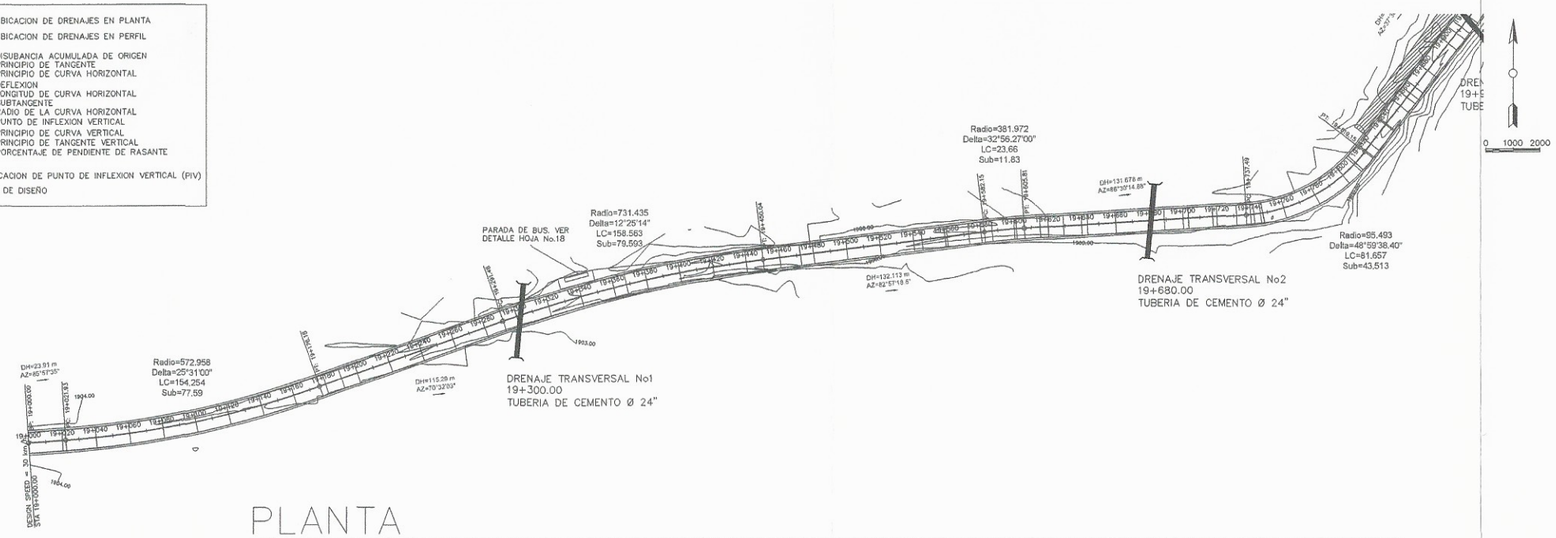
| | 30KPH | 40KPH | 50KPH | 60KPH | 70KPH | 80KPH | 90KPH | 100KPH | 110KPH | 120KPH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Db | 27 | 30 | 33 | 37 | 40 | 43 | 46 | 50 | 53 | 56 |

8. EL SOBREANCHO MAXIMO EN CURVA (Sa) SE OBTENDRA DE LA TABLA CORRESPONDIENTE, SEGUN EL ANCHO DE PAVIMENTO, GRADO DE CURVATURA Y VELOCIDAD DE DISEÑO.-

9. EL SOBREANCHO MAXIMO SE REPARTIRA PROPORCIONAL A LA LONGITUD DE ESPIRAL DEBIENDO SER EL (PC) O (PT) DE LA CURVA CIRCULAR EL PUNTO MEDIO DE DICHA LONGITUD.-

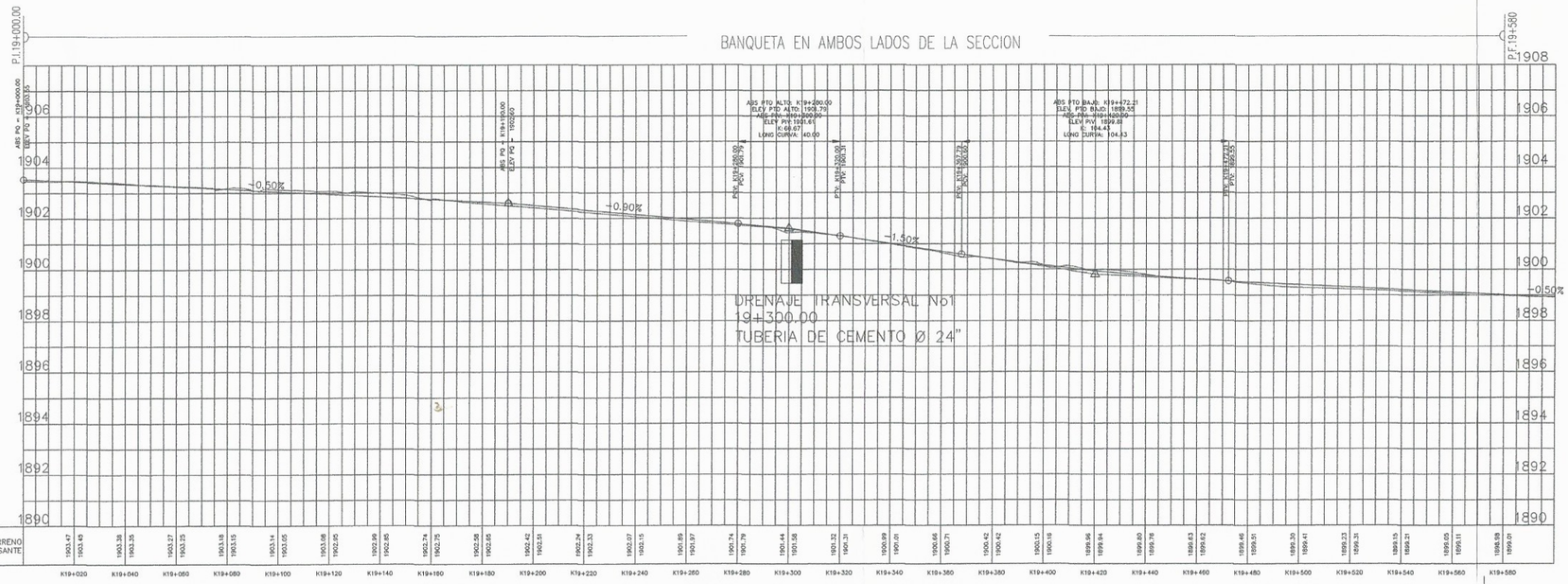
## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| | UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA |
| | UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL |
| 0+560 | DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN |
| PT | PRINCIPIO DE TANGENTE |
| PC | PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL |
| Delta | DEFLEXION |
| Lc | LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL |
| Sub | SUBTANGENTE |
| R | RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL |
| PIV | PUNTO DE INFLEXION VERTICAL |
| PCV | PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL |
| PTV | PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL |
| -7.50% | PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE |
| | UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV) |
| | EJE DE DISEÑO |




# PLANTA

ESCALA 1:1,000




# PERFIL

ESCALA HOR 1:1,000 / VER 1:100

ANOTACIONES:

| No. | Revision/Issue | Fecha |
|---|---|---|
| | | |

OSWIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES

Nombre del Proyecto:

AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA GUATEMALA.-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

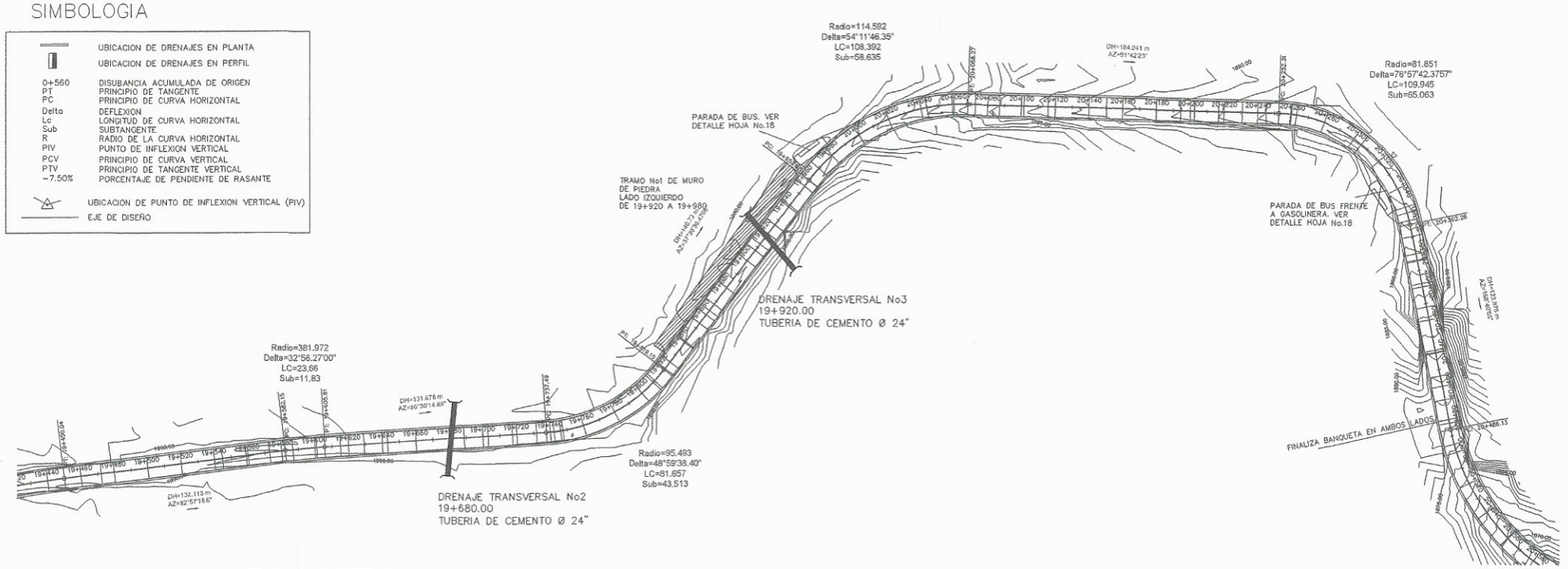
Fecha: NOVIEMBRE/2015

Escala: 1:1000

Hoja: 4

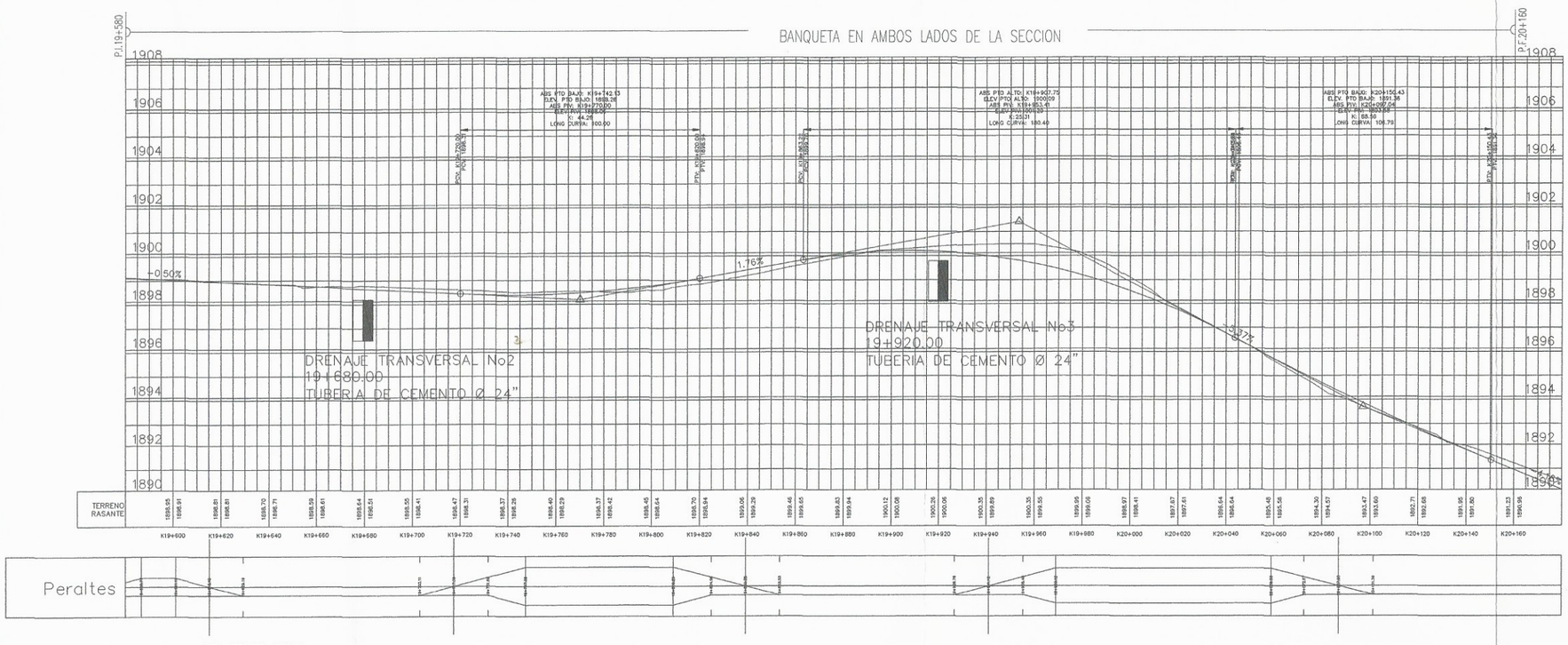
## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| | UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA |
| | UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL |
| 0+560 | DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN |
| PT | PRINCIPIO DE TANGENTE |
| PC | PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL |
| Delta | DEFLEXION |
| Lc | LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL |
| Sub | SUBTANGENTE |
| R | RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL |
| PIV | PUNTO DE INFLEXION VERTICAL |
| PCV | PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL |
| PTV | PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL |
| -7.50% | PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE |
| | UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV) |
| | EJE DE DISEÑO |




# PLANTA

ESCALA 1:1,000




# PERFIL

ESCALA HOR 1:1,000 / VER 1:100

ANOTACIONES:

| No. | Revision/Issue | Fecha |
|---|---|---|
| | | |
| | | |

OSWIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES

Nombre del Proyecto:

AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA GUATEMALA.-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

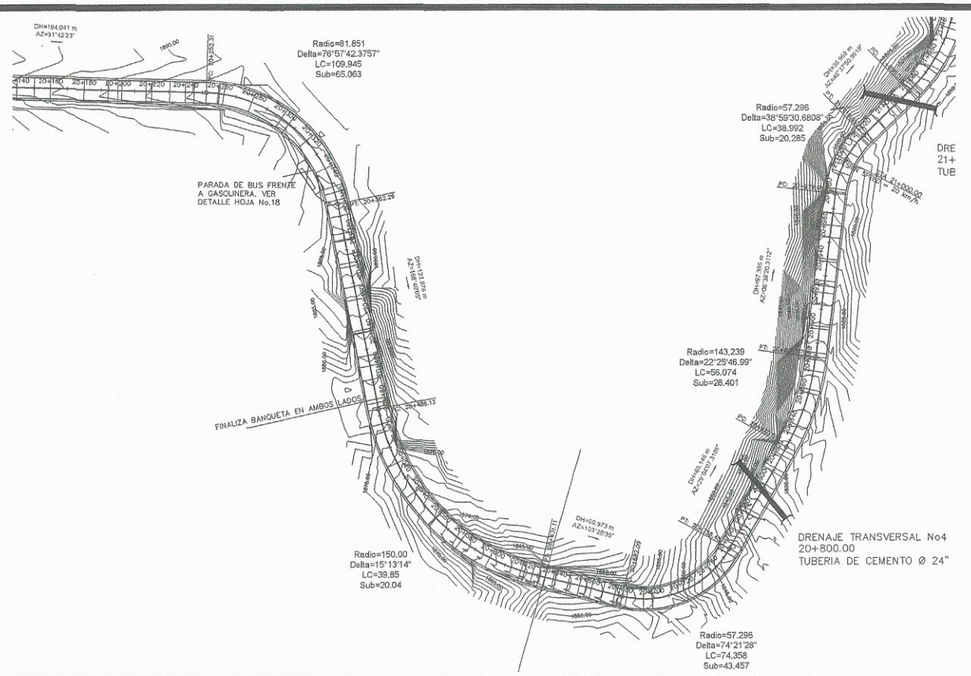
Fecha: NOVIEMBRE/2015

Escala: 1:1000

Hoja: 5

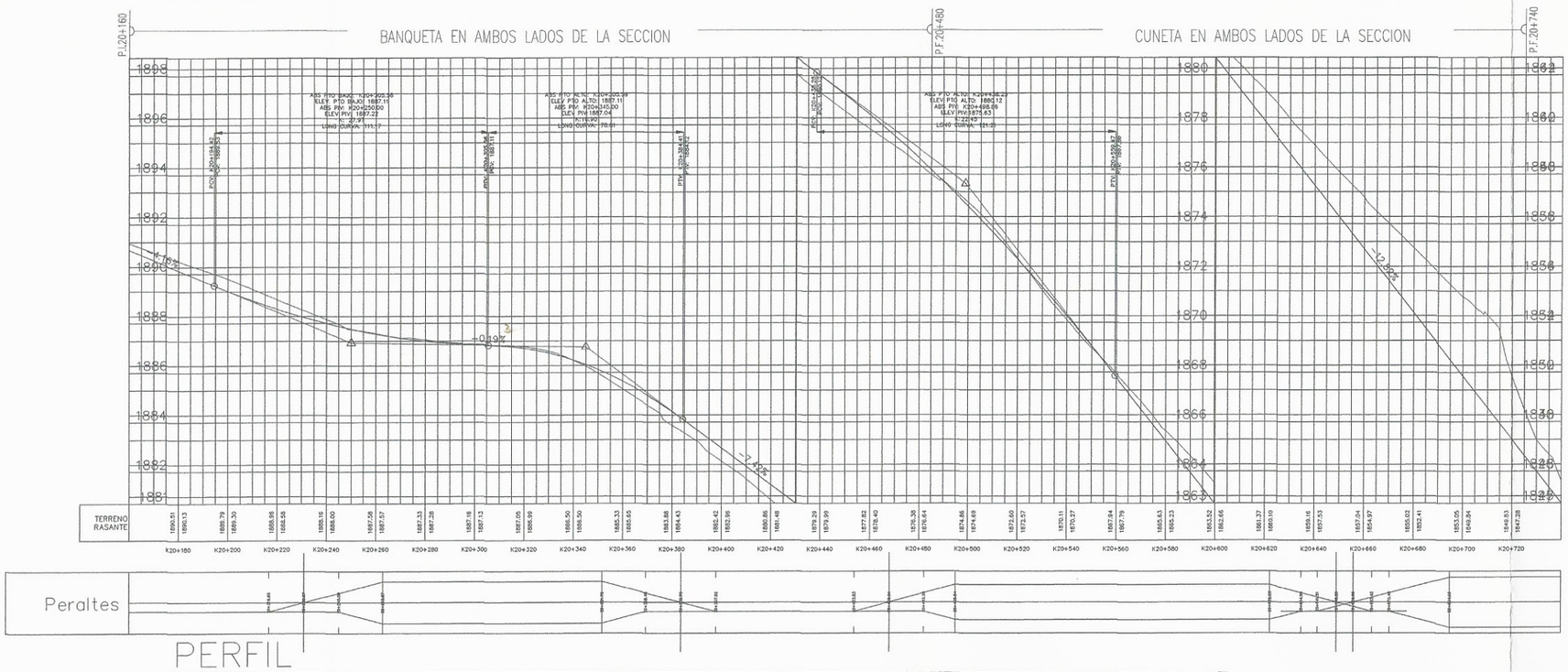
## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| | UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA |
| | UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL |
| 0+560 | DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN |
| PT | PRINCIPIO DE TANGENTE |
| PC | PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL |
| Delta | DEFLEXION |
| Lc | LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL |
| Sub | SUBTANGENTE |
| R | RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL |
| PIV | PUNTO DE INFLEXION VERTICAL |
| PCV | PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL |
| PTV | PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL |
| -7.50% | PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE |
| | UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV) |
| | EJE DE DISEÑO |




# PLANTA

ESCALA 1:1,000




# PERFIL

ESCALA HOR 1:1,000 / VER 1:100

0 1000 2000

ANOTACIONES:

| No. | Revision/Issue | Fecha |
|---|---|---|
| | | |

OSWIN DAVID JOSE SOUS SOLARES

Nombre del Proyecto:

AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA GUATEMALA.-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

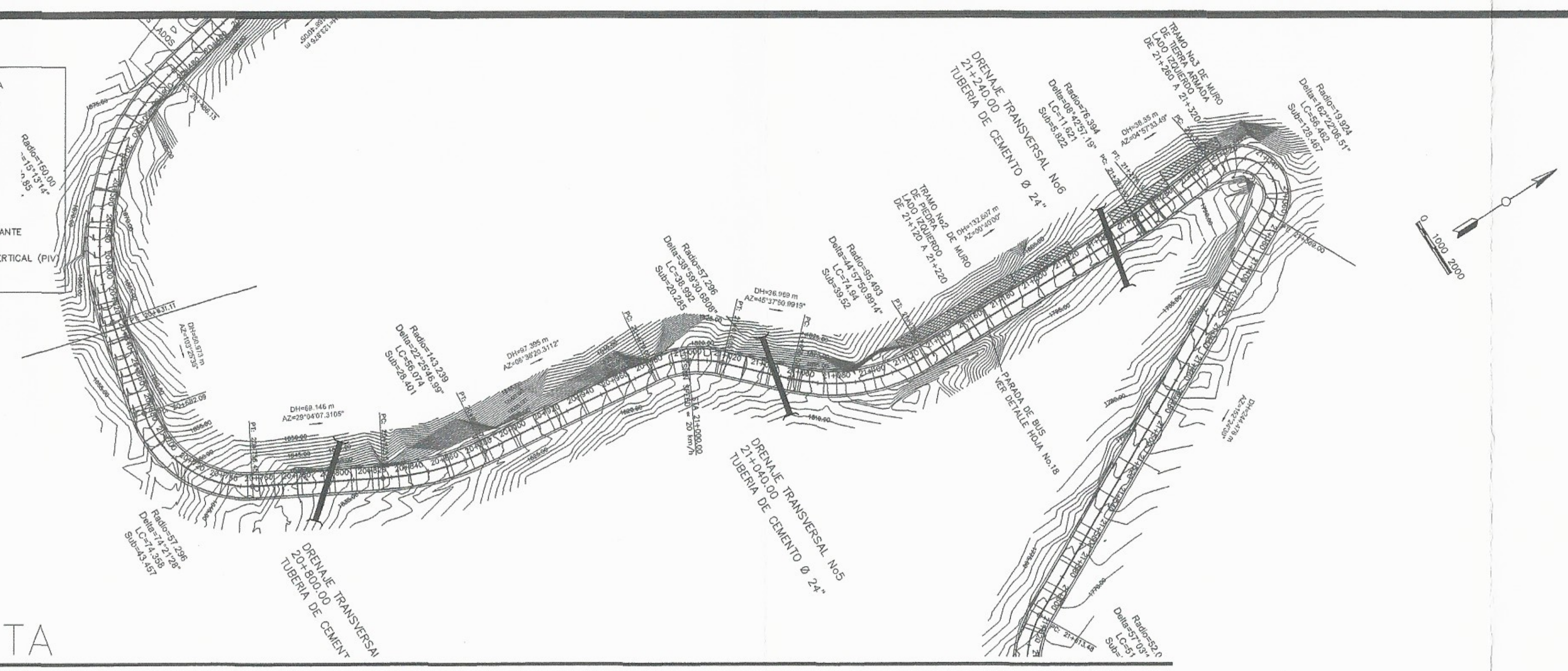
Fecha: NOVIEMBRE/2015

Escala: 1:1000

Hoja: 6

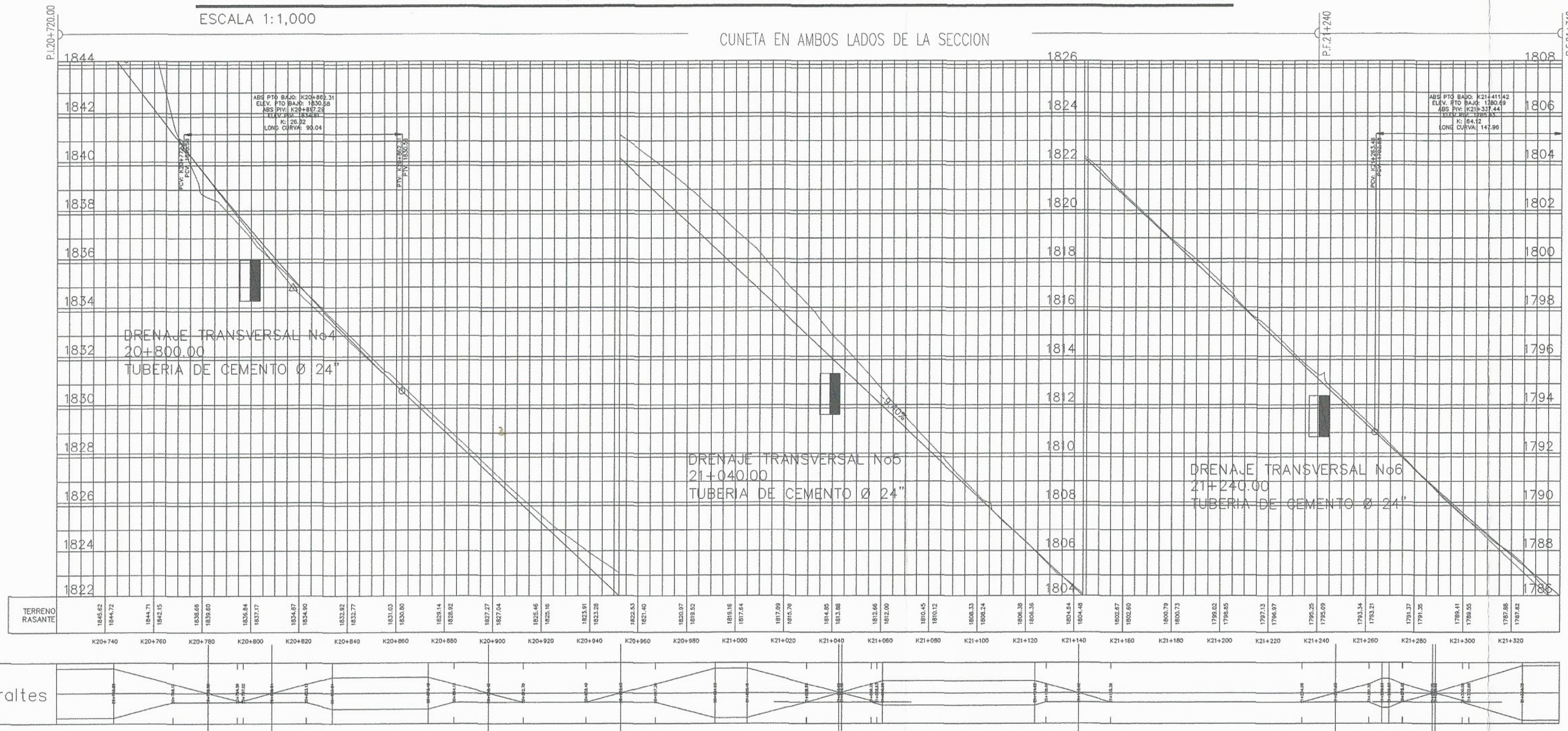
## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| (line symbol) | UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA |
| (bar symbol) | UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL |
| 0+560 | DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN |
| PT | PRINCIPIO DE TANGENTE |
| PC | PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL |
| Delta | DEFLEXION |
| Lc | LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL |
| Sub | SUBTANGENTE |
| R | RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL |
| PIV | PUNTO DE INFLEXION VERTICAL |
| PCV | PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL |
| PTV | PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL |
| -7.50% | PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE |
| (triangle symbol) | UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV) |
| (line) | EJE DE DISEÑO |




# PLANTA

ESCALA 1:1,000




# PERFIL

ESCALA HOR 1:1,000 / VER 1:100

ANOTACIONES:

| No. | Revision/Issue | Fecha |
|---|---|---|
| | | |
| | | |


OSWIN DAVID JOSE SOLIS SOLARES


Nombre del Proyecto:

AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA GUATEMALA.–


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

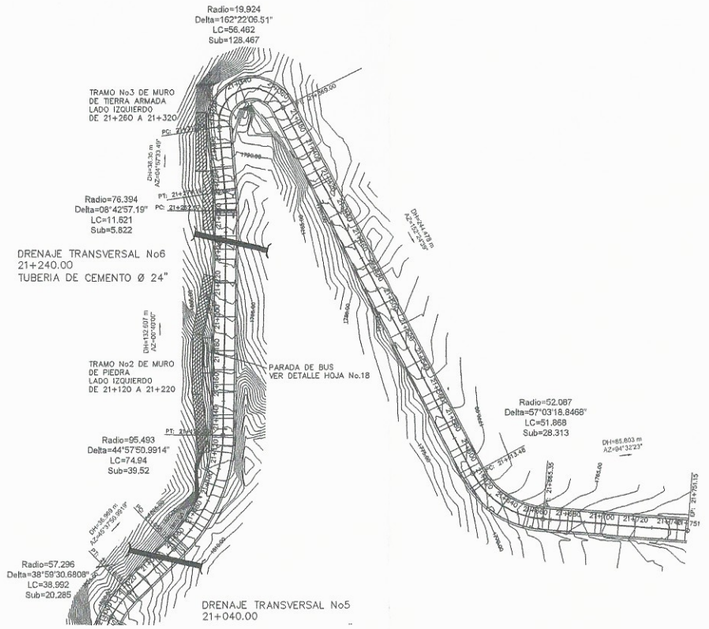
Fecha: NOVIEMBRE/2015

Escala: 1:1000

Hoja: 7

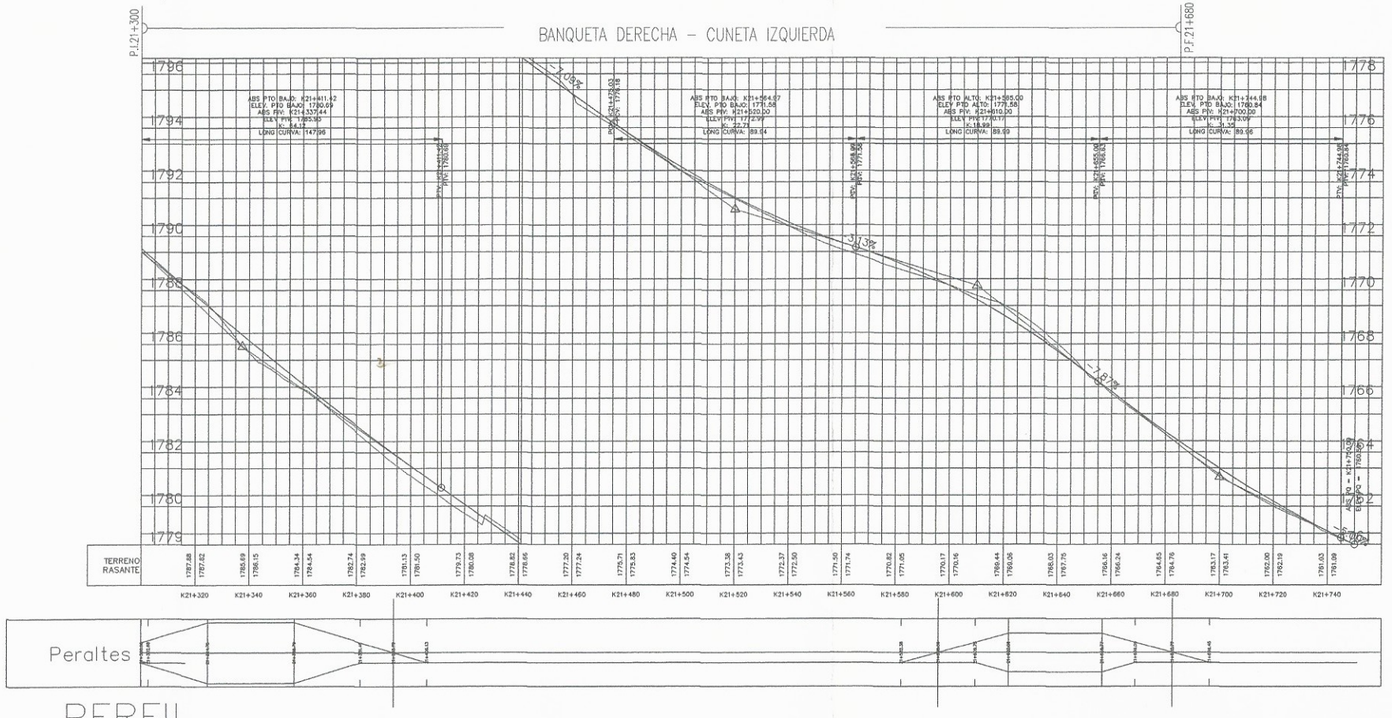
## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| | UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA |
| | UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL |
| 0+560 | DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN |
| PT | PRINCIPIO DE TANGENTE |
| PC | PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL |
| Delta | DEFLEXION |
| Lc | LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL |
| Sub | SUBTANGENTE |
| R | RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL |
| PIV | PUNTO DE INFLEXION VERTICAL |
| PCV | PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL |
| PTV | PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL |
| -7.50% | PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE |
| | UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV) |
| | EJE DE DISEÑO |




# PLANTA

ESCALA 1:1,000




# PERFIL

ESCALA HOR 1:1,000 / VER 1:100

0 1000 2000

ANOTACIONES:

| No. | Revision/Issue | Fecha |
|---|---|---|
| | | |
| | | |

OSWIN DAVID JOSE SOUS SOLARES

Nombre del Proyecto:

AMPLIACION DE CARRETERA INGRESO A SAN JOSE PINULA GUATEMALA.-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

Fecha: NOVIEMBRE/2015

Escala: 1:1000

Hoja: 8