

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Anteproyecto de Diseño Vial de Calle Portones, Calle Loma Linda y Calle Nazareth en  
San Rafael de Alajuela

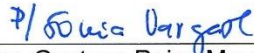
Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Dennise Alejandra Alvarez Castillo

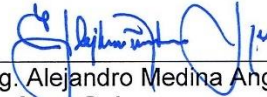
Cartago, Agosto 2019.

### CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

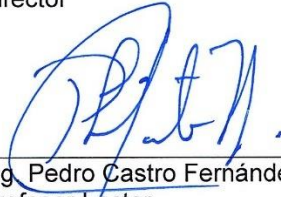
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Alejandro Medina Angulo, Ing. Pedro Castro Fernández, Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director



Ing. Alejandro Medina Angulo.  
Profesor Guía



Ing. Pedro Castro Fernández.  
Profesor Lector



Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.  
Profesor Observador

# **Anteproyecto de Diseño Vial de Calle Portones, Calle Loma Linda y Calle Nazareth en San Rafael de Alajuela**

# Abstract

This project consists of the preparation of a blueprint for the geometric design of three streets located in the community of San Rafael de Alajuela, where road sections are established for Portones Street of 1.5 km in length, Nazareth Street 1.25 km in length and finally for Loma Linda Street which is 1.10 km long.

At present the streets mentioned above are in poor condition, the rights of way are not well defined; there are missing drains, or they are in poor condition; In addition, the specifications established in the Central American Manual of Standards for the Geometric Design of Regional Roads are not met.

The respective horizontal and vertical alignments were defined from the technological tools used to carry out the topographic survey and the vehicle counting performed in the area, in order to improve the geometry of the roads. Investigating about the CBR that occurs in the subgrade of the study area, a value of 3 was obtained, with this information the structural design of the pavements is made. An improvement in the drainages is proposed.

The design proposals consisted of two lanes of 3.65 m for Portones Street and Nazareth Street, while for Loma Linda Street two lanes of 3.30 m were considered, as well as the design of ditches and sidewalks.

**Keywords:** *Highway, pavement, TPDa, basin, design speed, horizontal alignment, vertical alignment, drainage, CBR.*

# Resumen

Este proyecto consiste en la elaboración de un anteproyecto para el diseño geométrico de tres calles ubicadas en la comunidad de San Rafael de Alajuela, en las que se establecen tramos de vía para Calle Portones de 1.50 km de longitud, Calle Nazareth 1.25 km de longitud y, por último, para Calle Loma Linda de 1.10 km de longitud.

En la actualidad, las calles mencionadas anteriormente se encuentran en mal estado y los derechos de vía no están bien definidos. Se presentan faltantes de drenajes o están en malas condiciones, además, no cumplen con las especificaciones establecidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.

A partir de herramientas tecnológicas usadas en el levantamiento topográfico y el conteo vehicular realizado en la zona, se definieron los alineamientos horizontales y verticales respectivos, para mejorar la geometría de las vías. Al investigar acerca del CBR que se presenta en la subrasante de la zona de estudio, se obtuvo un valor de 3, con esta información se realizó el diseño estructural de pavimentos. Se propuso una mejora en los drenajes.

Las propuestas de diseño consistieron en dos carriles de 3.65 m para Calle Portones y Calle Nazareth, mientras que para Calle Loma Linda se consideraron dos carriles de 3.30 m, además al diseño se le agregan cunetas y aceras.

**Palabras clave:** *Carretera, pavimento, TPDa, cuenca, velocidad de diseño, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, drenajes, CBR.*

# **Anteproyecto de Diseño Vial de Calle Portones, Calle Loma Linda y Calle Nazareth en San Rafael de Alajuela**

# **Anteproyecto de Diseño Vial de Calle Portones, Calle Loma Linda y Calle Nazareth en San Rafael de Alajuela**

DENNISE ALEJANDRA ÁLVAREZ CASTILLO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen Ejecutivo .....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico .....	6
Metodología .....	11
Resultados .....	13
Presupuesto .....	43
Análisis de los Resultados .....	45
Conclusiones.....	49
Recomendaciones .....	51
Apéndices .....	52
Anexos .....	81
Referencias .....	94





# Prefacio

En este proyecto se aplicaron diferentes métodos que se encuentran relacionados con el diseño vial y se toman en cuenta todas las normas vigentes en Costa Rica. Por ejemplo, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos y otras normativas empleadas.

La recopilación de los datos necesarios para la ejecución del proyecto proviene de fuentes confiables, por parte de los procesos de investigación realizados. Estos cumplen con los requerimientos necesarios para efectuar el proyecto. Se toma en cuenta que se pretende intervenir 3.85 km del Distrito de San Rafael de Alajuela.

El planteamiento del anteproyecto de diseño vial consiste en una mejora de la infraestructura vial en la comunidad de San Rafael de Alajuela. Se intervendrán tres rutas: Calle Portones, Calle Nazareth y Calle Loma Linda, para mejorar la movilidad vehicular en la zona. Por lo tanto, es necesario conocer las necesidades de la población involucrada, además estas calles servirán como rutas alternas para disminuir el congestionamiento vial en el centro del Distrito Octavo del Cantón Central de Alajuela, el cual presenta una población aproximada de 30866 habitantes.

Para esto, fue necesario considerar una velocidad de diseño adecuada para las diferentes calles. Se previó la realización de una mejora en el diseño geométrico presentando un alineamiento horizontal y alineamiento vertical para las calles en estudio. Además, se consideraron los drenajes, alcantarillas y cunetas, determinando la cantidad mínima que se ocuparan en las vías considerando una distancia de separación razonable entre ellas.

Del mismo modo, se prevé la elaboración de un diseño estructural de pavimento que cumpla con todas las normas establecidas, según la normativa vigente en Costa Rica.

Para alcanzar los objetivos presentes se pretende realizar un estudio que muestre las condiciones y necesidades actuales de los sitios.

De esta forma, es importante la investigación acerca de todos los métodos y herramientas empleados para la ejecución del diseño vial.

## Agradecimientos

Principalmente a Dios, porque sin su ayuda nada de esto hubiese sido posible.

A mi padre Santiago Álvarez Morún por haber sido mi inspiración para cumplir esta meta a pesar de las adversidades, por ser un ejemplo de lucha y esfuerzo constante. A pesar de que solo prevalece su recuerdo, siempre será un gran ejemplo para mi vida.

A mi madre Danys Castillo Soto, una mujer valiosa, que siempre me ha apoyado para alcanzar cada una de mis metas.

A mi familia por la colaboración con este proyecto y motivación para realizarlo. En especial por la ayuda efectuada para el conteo de vehículos en la zona a Ana Castillo y María Bolaños.

A mi profesor guía el Ing. Alejandro Medina por su confianza al permitirme realizar el proyecto.

A todas las personas que me brindaron su apoyo durante mi carrera universitaria.

# Resumen Ejecutivo

En Costa Rica se presentan gran cantidad de problemas en la red vial, la mayor parte de la infraestructura vial del Distrito de San Rafael en la provincia de Alajuela presenta falta de mantenimiento, diseños geométricos inexistentes o mal elaborados, falta de drenajes e invasión del derecho de vía. Se realizó el anteproyecto de diseño vial de tres rutas en esta comunidad para mejorar la red vial del distrito.

Esta consta de 3.85 km distribuidos de la siguiente manera, en Calle Portones se analizará un tramo de 1.50 km, Calle Nazareth un tramo de 1.25 km y, por último, Calle Loma Linda con una longitud de 1.10 km.

La intervención de las rutas mencionadas tendrá la función de servir de rutas alternas para disminuir el congestionamiento vial que se presenta en el centro de la comunidad, también busca que ayude en el desarrollo económico del distrito. Por esto, se buscó plantear un diseño geométrico que cumpliera con los alineamientos horizontales y verticales mediante el uso de las normas establecidas para el diseño de las carreteras.

Primero se analizaron las necesidades que se presentan en la zona y se buscó la opinión de la población acerca de una mejora en estas carreteras. Asimismo, se realizó una medición de la longitud de las carreteras con un odómetro, para conocer la longitud de los tramos por diseñar y los derechos de vía para cada calle. Se realizaron conteos vehiculares en diferentes puntos de las carreteras donde se presentará la mayor movilidad del tránsito vehicular. Esto, con el fin de obtener el valor de tránsito promedio diario (TPDa) para estas calles, ya que no se presenta ninguna investigación previa de este tipo.

Seguidamente, se realizó el levantamiento topográfico utilizando el *software* de Google Earth Pro, sin embargo, esta información topográfica no es confiable, ya que puede presentar problemas

en planimetría y altimetría, por lo que el proyecto a desarrollar solo será de referencia para el proyecto definitivo. Este es un anteproyecto sobre los diferentes diseños viales.

A partir de la información topográfica obtenida se empleó AutoCAD Civil 3D. En este se realizó el diseño geométrico de las carreteras. Se tomaron en consideración todos los parámetros que se presentan en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, en éste se estableció el tipo de terreno, ancho de carriles, niveles de servicio en la vía y la determinación de la velocidad de diseño a usar. En este caso y debido a las opiniones de la población, se escogió una velocidad menor a la que indicaba el manual. Además, se consideraron los radios de giro de las curvaturas, se analizaron las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento permitidas.

Asimismo, se procedió a definir el nivel de rasante, para que el movimiento de tierra que se presentara fuera el mínimo posible. A partir de lo anterior, se crearon los alineamientos horizontales y verticales para las tres calles en estudio.

Posteriormente, se determinaron los cálculos de los ejes equivalentes de carga para realizar el diseño estructural de pavimentos. Para cada una de las calles se propone un diseño de pavimento flexible y otro diseño de pavimento rígido. Por lo que para el diseño estructural de pavimento se emplea la metodología AASHTO 1993.

En el diseño de pavimento flexible se procedió a realizar el cálculo de los espesores de las capas que conforman la estructura. Para esto, se plantea el tipo de materiales a usar, por ejemplo, la subbase presentará un CBR de 50 y la base granular un CBR de 100, que considera la capa asfáltica convencional. A partir de esto y con el cálculo de los ejes equivalentes de carga,

siguiendo las especificaciones y el uso de monogramas que indica la metodología AASHTO 1993 para el diseño de pavimento flexible, se calcularon los espesores de cada una de las capas mencionadas anteriormente.

En el caso del diseño de pavimento rígido es necesaria la suposición de un espesor de losa y un espesor de la subbase. De la misma forma, se siguieron cada uno de los pasos que se presentan en la metodología AASHTO 1993 para el diseño de pavimento rígido y así obtener los espesores de la estructura de pavimento para cada una de las calles.

Para el cálculo de los drenajes se realizaron mediciones de las cuencas en las que se encuentran ubicadas cada una de las estructuras de drenaje. Para esto, se determinó cada una de las áreas, por lo que se usó el *software* de Google Earth Pro y la hoja cartográfica ABRA, se usó el método racional para la determinación de los caudales para alcantarillas y cunetas en cada una de las carreteras. Al conocer los caudales que se presentaron en cada una de las zonas, se escogieron los diámetros de las alcantarillas y se calcularon las dimensiones de las cunetas, para esto, se propuso un estilo de cuneta tipo triangular.

Posteriormente, se realizó una estimación del costo de las calles, según tipo de trabajo que se quería realizar, considerando también obras complementarias y la superficie de ruedo. Para cumplir con lo anterior, se tomó en cuenta un costo aproximado de una investigación del LanammeUCR, en la que indica el precio por costo de km de carretera en Costa Rica, en las que se considera la superficie de ruedo y el trabajo realizado.

# Introducción

El propósito del diseño vial es hacer una mejora en el trazado de la carretera y el dimensionamiento de sus componentes. Además, sirve como impulso para el desarrollo económico y social de la zona. En el presente proyecto se diseña a nivel de anteproyecto el mejoramiento geométrico de vías por medio de alineamientos horizontales y alineamientos verticales, además de estructuras de pavimentos, drenajes superficiales y obras complementarias que cumplan con las necesidades planteadas por la población, por iniciativa del Concejo Distrito de San Rafael de Alajuela.

El proyecto consta en la elaboración del mejoramiento vial de tres rutas en la comunidad de San Rafael de Alajuela, partiendo de malas condiciones geométricas, estructuras de pavimentos inexistentes o en mal estado y faltante de drenajes en la vía, estas calles a intervenir son Calle Portones, Calle Nazareth y Calle Loma Linda.

Se logró recopilar información necesaria para iniciar con el diseño vial, se realizaron conteos vehiculares, una visita al sitio donde se determinaron los derechos de vía de cada una de las calles en estudio y sus longitudes. El levantamiento topográfico se obtuvo a partir del *software* Google Earth Pro. Otras investigaciones realizadas permitieron, obtener información relevante que se empleó en el desarrollo del proyecto. Se identifica un periodo de diseño para las vías de 20 años.

A partir de todos los parámetros requeridos para el diseño se procede al uso del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, se definen las características propias de cada uno de los tres diseños, se establece el tipo de zona y las restricciones que se encuentren en el diseño.

Por otra parte, el diseño estructural de pavimentos está planteado bajo la metodología empleada para diseños de pavimentos, de

acuerdo con AASHTO; también se complementa con el uso del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos. Se plantea un diseño de pavimento flexible y otro diseño de pavimento rígido.

Se determinaron los dimensionamientos en los drenajes con el método racional para el cálculo de los caudales presentes en la zona. A partir de lo anterior se definieron las características de la carretera, con el fin de obtener una mejor funcionalidad en la vía.

## Objetivo General

Desarrollar una propuesta de diseño vial en Calle Portones – Barrio Los Ángeles – Occidente, Calle Loma Linda y Calle Nazareth para la intervención de la infraestructura vial de la comunidad, que cumpla con las especificaciones y normas establecidas en Costa Rica.

## Objetivos Específicos

1. Realizar el diseño geométrico horizontal y vertical.
2. Diseñar la estructura de pavimento.
3. Elaborar el diseño hidrológico e hidráulico.
4. Obtener un presupuesto aproximado de las propuestas del diseño vial.

## Alcances y Limitaciones

La descripción del proyecto se limita a tener un enfoque de anteproyecto en el diseño vial de cada una de las calles en estudio, donde se empleó el

uso del *software* Google Earth Pro para realizar el levantamiento topográfico, por lo que este método empleado puede presentar errores de planimetría y altimetría.

Cabe mencionar la faltante de un estudio de suelos actualizado en la zona, que considere el tipo de suelo que se presentará en los proyectos y el valor de CBR en la subrasante, por lo que esto limita a conocer a fondo las condiciones del sitio.

Otra de las limitantes en el desarrollo del proyecto fue la falta de información sobre los costos de materiales que se usan en la construcción de las carreteras, por lo que se asignó un costo aproximado por km de construcción de carreteras, según una investigación realizada en la que se consideraba la superficie de ruedo y el tipo de obra a construir.

El desarrollo adecuado del enfoque inicial del proyecto estuvo limitado por la falta de compromiso y responsabilidad que presentaron los miembros del Concejo Distrito de San Rafael de Alajuela.

# Marco Teórico

En el diseño de las carreteras es fundamental tener en cuenta los tres elementos que conforman el sistema de tránsito los cuales son: el factor humano (ser humano), el factor vehicular (vehículo) y el factor ambiental (vía). Estos factores hacen referencia al triángulo de la seguridad, lo que se le conoce como la trilogía vial.

Las carreteras se dividen de acuerdo con la zona de ubicación en rural o urbana, por lo que se clasifican según su funcionalidad y volúmenes de tránsito respecto a su diseño. Esto se puede observar en la Tabla 1.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

**Tabla 1.** Clasificación de las carreteras. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.

Es necesario tomar en cuenta que las carreteras son diseñadas para funcionar, según los volúmenes horarios, por debajo de la capacidad. Para esto, se establecen los diferentes niveles de servicio de acuerdo con el flujo vehicular presente en las carreteras, en esta clasificación se utiliza la tabla 2.

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de "pare y siga", congestión de tránsito.

**Tabla 2.** Niveles de servicio. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.

## Características del Tránsito

### Tránsito Promedio Diario Anual

Es el volumen de tránsito total en un periodo determinado, es de suma importancia para el diseño de los elementos estructurales de la carretera.

### Velocidad

La velocidad en las carreteras depende de los rasgos físicos de la carretera, condiciones climáticas, presencia o interferencia de otros vehículos y limitaciones de velocidad, por lo que se encuentran tres tipos de velocidades que se consideran en el diseño: velocidad de operación, velocidad de ruedo y velocidad de diseño.

## Velocidad de Operación

Es la velocidad a la que los conductores tienen permitido viajar en una carretera en condiciones favorables.

## Velocidad de Ruedo

Es la velocidad en la que un vehículo viaja en un tramo de la carretera. Esta velocidad se usa para realizar la medida en la evaluación de los niveles de servicio y costos de los usuarios en carretera.

## Velocidad de Diseño

Es la velocidad seleccionada, con el fin de establecer las características geométricas de la carretera, esta velocidad debe ser consistente de acuerdo con la topografía, uso de la tierra, condiciones ambientales, volúmenes de tránsito, tipo de área (rural o urbana) y la clasificación de la carretera.

## Elementos de Diseño

Los elementos fundamentales para efectuar el diseño geométrico en una carretera son: distancias de visibilidad, sobreelevación o peralte, ancho de calzada, alineamiento horizontal y vertical entre otros. Estos elementos tienen la función de servir al tránsito, de manera eficiente y con seguridad.

## Distancia de Visibilidad en Carreteras

Es la distancia que recorre un conductor a cierta velocidad que requiere de un tiempo de percepción y reacción para ejecutar una maniobra y llevarla a cabo. Para el diseño de carreteras se pueden considerar cinco tipos de visibilidad: visibilidad de parada, visibilidad de decisión, visibilidad de rebase, visibilidad de intersecciones y visibilidad para cruzar una carretera.

## Distancia de Visibilidad de Parada

Es la distancia que necesita un conductor para detener su vehículo en una situación de peligro delante de su recorrido. Es la distancia mínima con la que debe diseñarse la geometría de la carretera. Es la suma de dos distancias, la distancia de percepción – reacción y la distancia de frenado.

## Distancia de Visibilidad de Decisión

Es la distancia que tiene un conductor para detectar algo inesperado en el entorno de una carretera, para maniobrar con eficiencia y seguridad.

## Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

Es la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar un vehículo que se desplaza a una velocidad inferior a la velocidad del proyecto. En la Tabla 3 se observa la distancia de visibilidad de adelantamiento, según la velocidad de diseño.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad De Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

**Tabla 3.** Distancia de visibilidad de adelantamiento. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

## Alineamiento Horizontal

Es necesario considerar diversos elementos, con el fin de que el resultado del diseño de la carretera sea el más seguro y económico, además de que se complemente con el entorno natural y su funcionalidad. Entre los principales elementos están: categoría de la carretera, topografía del

área, velocidad del proyecto, distancia de visibilidad, coordinación con el perfil y costos de construcción, mantenimiento y operación.

## Alineamiento Vertical

Al alineamiento vertical se conoce también como perfil de eje de la carretera. A partir de un plano vertical se obtienen las distintas elevaciones del eje en la carretera, en este se representa el perfil de terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera. Se le conoce como rasante o el perfil del eje terminado de la terracería, se le conoce como subrasante.

El alineamiento vertical se caracteriza por presentar los siguientes elementos: clasificación funcional del camino y composición del tránsito, topografía del área, diseño del alineamiento horizontal y su velocidad de diseño, distancia de visibilidad, drenaje, valores estéticos y ambientales y costos de construcción.

## Derecho de vía

El derecho de vía es la franja de tierra disponible propiedad del Estado, cuyo ancho está definido por las cercas de los colindantes.

## Elementos de la Sección Transversal

La sección transversal de una carretera presenta las características geométricas. Esta sección transversal varía de un punto a otro en la carretera y está formada por diferentes elementos, por ejemplo: plataforma o corona, cunetas, taludes, entre otros.

### Plataforma o Corona

Es la superficie visible de una carretera que se encuentra entre los bordes del relleno y los interiores de las cunetas. El ancho de la corona comprende la rasante, la pendiente transversal, ancho de calzada, sobre ancho, aceras, mediana,

entre otros. A continuación, se describirán algunos de estos:

### Rasante

Es la elevación del pavimento, según la línea de centro en carreteras bidireccionales. En la sección transversal se representa como un punto.

### Pendiente Transversal

Es la pendiente que presenta la calzada en dirección perpendicular al eje de la calle.

### Ancho de Calzada

Es el ancho de la superficie por donde circulan los vehículos, permite el desplazamiento seguro y cómodo del tránsito. Se le conoce también como la sumatoria de los carriles que tenga una carretera.

### Carril

Es lugar por donde circula una sola fila de vehículos, el ancho de carril anda alrededor de los 2.75 m a 3.60 m.

### Aceras o Banquetas

Las aceras pueden variar entre 1.0 a 2.0 metros de ancho.

### Mediana

Es la franja de terreno que separa los carriles en carreteras divididas.



## **Subcorona**

Es la superficie en la cual se apoyan todas las distintas capas del pavimento, está compuesta por los planos horizontales que delimitan el movimiento de tierra. La subcorona comprende la subrasante y el drenaje superficial, entre otros. A continuación, se describirán algunos de los mencionados anteriormente:

## **Subrasante**

Es la elevación en la última capa de la terracería en la línea de centro de la carretera con tránsito en ambos sentidos.

## **Drenaje Superficial**

Es el encargado de evacuar las aguas en la superficie del pavimento y evita que las aguas se infiltren dentro de la estructura de pavimento. El drenaje superficial se compone de diferentes elementos: cunetas, contracunetas, subdrenaje, entre otros. Seguidamente, se describirá los diversos elementos:

## **Cunetas**

Es el canal de conducto abierto para el manejo de aguas, se construyen a ambos lados de la carretera, tiene el objetivo de drenar el agua de la lluvia que cae sobre la carretera.

## **Contracunetas**

Son los canales que se construyen a uno o ambos lados de la calle fuera de los límites de construcción, tiene el fin de drenar el agua de las lluvias que cae sobre las áreas limítrofes.

## **Subdrenaje**

Es el drenaje de las aguas subterráneas, estas aguas provienen de taludes o debajo de la terracería.

## **Diseño de Pavimento**

Los métodos de diseño consideran las siguientes capas para el diseño estructural de pavimento: subrasante, subbase, base, bases estabilizadas con cemento.

## **Subrasante**

Este suelo puede ser natural, debidamente perfilado y compactado; también se pueden aplicar materiales granulares en el caso de que el suelo natural sea deficiente o sea requerido por el diseño de la vía (préstamo o sustitución).

## **Subbase**

Es la capa que se encuentra apoyada sobre la subrasante, ésta debe perfilarse y compactarse entre el 95 % y 100 % de su máxima densidad seca según el ensayo de Proctor Estándar, está formada por materiales granulares.

## **Base**

Es la capa intermedia entre la subbase y la carpeta asfáltica, se utiliza, para construirla materiales granulares de excelente gradación y siempre producto de trituración.

## **Carpeta de Rodadura**

Es la capa más superficial, proporciona una superficie segura, cómoda y estable para el tránsito vehicular, además actúa como capa impermeable al impedir la infiltración de agua en la

estructura de pavimento.

## Pavimento Flexible

El pavimento flexible es aquella estructura que se deflecta o flexiona, según las cargas que transitan en él. El uso de este tipo de pavimento se presenta en vías, aceras o parqueos. Se caracteriza por estar conformada por una capa bituminosa que se apoya en otras capas inferiores como la base y subbase. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, por lo que se extienden las cargas a la siguiente capa inferior de manera controlada, que los esfuerzos y deflexiones en las capas inferiores no induzca a la falla antes del cumplimiento del período de diseño.

## Pavimento Rígido

Este tipo de pavimento tiene como material principal el hormigón, en su superficie de ruedo; tiene una distribución de las cargas sobre una mayor área en la subrasante, la mayoría de las cargas es absorbida por la losa de hormigón.

# Metodología

En el diseño vial se hace un análisis sobre los diversos factores que afectan cada proyecto en específico, de acuerdo con el tipo de topografía del terreno, actividades económicas, crecimiento demográfico, entre otras.

Por medio de la información recopilada se plantean los requerimientos específicos del proyecto. Este se desarrolló en el distrito de San Rafael de Alajuela, principalmente en las comunidades de Portones, Occidente, Barrio Los Ángeles, Barrio Nazareth y Loma Linda. Como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Openstreetmap.

A partir de conteos vehiculares realizados en la zona para cada una de las carreteras en estudio, se logró establecer el tránsito promedio diario anual que se presenta en los sitios, este es el primer dato para iniciar con el desarrollo del proyecto. Para realizar el levantamiento topográfico se utilizó la herramienta Google Earth Pro, con el fin de obtener una poligonal abierta con diferentes coordenadas y altitudes presentes en la zona. Se escogió el tipo de terreno en la zona, para este caso, es ondulado.

Para el diseño geométrico se usaron las especificaciones del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales. Primero, se clasificaron las carreteras según el tránsito promedio diario (TPDa), estas fueron subdivididas en suburbanas o rurales,

además, se definió el nivel de servicio que presentan las calles en estudio. Se hizo una clasificación funcional para las carreteras que considera el TPDa y el tipo de carretera por lo que indica la cantidad de carriles y el tipo de superficie a utilizar.

Se determinó la velocidad de diseño, según TPDa y el tipo de terreno, con base en preguntas que se le realizaron a la población. Una de sus preocupaciones era utilizar altas velocidades por lo que se propusieron velocidades de 40 km/h y 50 km/h, según la carretera y se establecieron los radios de giro para las curvas, según su velocidad. A partir de todos los datos anteriores se realizó el alineamiento horizontal para cada una de las calles con AutoCAD Civil 3D.

Se determinaron las distancias de frenado y las distancias de visibilidad de adelantamiento permitidas, según lo que indica el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales. Seguidamente, se desarrollaron los alineamientos verticales utilizando el programa de AutoCAD Civil 3D, por lo cual se calcularon los movimientos de tierra para cada una de las calles.

En el diseño estructural de pavimento se emplea la metodología AASHTO 1993 y el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, por lo tanto, es necesario establecer los diferentes factores equivalentes de carga, según el tipo de vehículo. Es de suma importancia escoger el índice de servicio inicial y el índice de servicio terminal para el tipo de pavimento en específico. Con base en lo anterior y a partir del tránsito diario promedio, se realizaron los cálculos de los ejes equivalentes para cada una de las carreteras.

Es de suma importancia considerar el tipo de material de la subrasante y escoger los tipos de materiales para las diferentes capas en la estructura del pavimento. Posteriormente, se siguen los pasos que se presentan en la

metodología de la AASHTO 1993 que consideran cada uno de los parámetros necesarios establecidos para la realización de un buen diseño de pavimento, para determinar los espesores, tanto en pavimento flexible como en pavimentos rígidos. En el caso del pavimento rígido se propone un espesor de losa de 25.4 cm (10 in) y un espesor de la subbase de 25.4 cm (10 in) con un módulo elástico de 15000 psi (CBR 30 %), esto iniciará al desarrollo del diseño de este pavimento. Mientras que para el pavimento flexible es de suma importancia escoger el material de subbase y presentara un valor de CBR de 50, para la base granular se escoge un valor de CBR de 100, ya que estos son más comunes en el mercado costarricense.

pavimento flexible como para el diseño de pavimento rígido en las diferentes calles.

Para el diseño hidrológico e hidráulico se usó el método racional y el libro *Trazado y diseño geométrico de vías de Miguel Dobles Umaña*, para el diseño de los sistemas de drenaje. Primero se determinaron las áreas de las cuencas en las que se encuentran ubicada cada alcantarilla, considerando sus elevaciones máximas y mínimas, con la herramienta Google Earth Pro y la hoja cartográfica ABRA. Se establecieron los diferentes tiempos de concentración para determinar la intensidad de lluvia en las cuencas. Para este último valor es de suma importancia considerar el período de retorno de la carretera en años, se utilizan monogramas acerca de la intensidad de lluvia para la zona de Alajuela. Se escogieron los coeficientes de escorrentías, según el tipo de zona y vegetación que se presenta.

A partir de lo anterior, se determinaron los caudales necesarios para alcantarillas y cunetas y, seguidamente, se escogieron los diámetros para las alcantarillas, con el fin de que cumplan con las necesidades presentadas.

Para determinar el dimensionamiento de las cunetas se hace referencia al Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros, por lo que se proponen, principalmente, secciones triangulares.

Por otro lado, se determinaron los presupuestos de las calles, por medio de un estudio realizado por el LanammeUCR, en el que se propone un costo por km de carretera, según la carpeta de ruedo que se utiliza, por lo que se plantearon presupuestos, tanto para el diseño de

# Resultados

## Diseño Geométrico

Según los datos obtenidos a partir de los conteos vehiculares realizados en campo se logró determinar el TPDa de diseño para las calles respectivas que se observan en el cuadro 1 para calle Portones con un valor de 1792 vehículos por día (Vpd), cuadro 2 para calle Nazareth con un valor de 5067 vehículos por día (Vpd) y, por último, en el cuadro 3 para calle Loma Linda con un valor de 53 vehículos por día (Vpd).

Livianos	1184
Motos	302
Carga Liviana	131
Buses	89
C-2	71
C-3	8
C-4	1
T3-S3	6
<b>Vpd</b>	<b>1792</b>

Fuente: elaboración propia.

Livianos	3667
Motos	910
Carga Liviana	300
Buses	48
C-2	87
C-3	17
C-4	4
T3-S3	34
<b>Vpd</b>	<b>5067</b>

Fuente: elaboración propia.

Livianos	12
Motos	15
Carga Liviana	24
Buses	0
C-2	2
C-3	0
C-4	0
T3-S3	0
<b>Vpd</b>	<b>53</b>

Fuente: elaboración propia.

Según el tipo de zona y el tránsito promedio diario y con base en la clasificación de carreteras, según el Manual Centroamericano se tiene que, para calle Portones y calle Loma Linda será una carretera colectora suburbana y para calle Nazareth será una carretera troncal rural como se indica en la tabla 4.

A partir de la clasificación de las carreteras y el tipo de topografía se designa para cada calle el nivel de servicio correspondiente, para calle Portones y calle Loma Linda, se escoge tipo D, en el caso de calle Nazareth, se designa tipo C, como se presenta en la tabla 5.

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES		TRONCALES			COLECTORAS			
				Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales	
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000		20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500			
2	VHD, vehículos por hora	>2,000		2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75			
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92		0.92	0.95-0.91	0.92	0.85			
4	Vehículo de Diseño	WB-20		WB-20	WB-20	WB-15	WB15			
5	Tipo de Terreno	P	O	M	P	O	M	P	O	M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110	90	70	90	80	70	70	60	50
7	Número de Carriles	4 a 8		2 a 4	2 a 4	2	2			
8	Ancho de Carril, metros	3.6		3.6	3.6	3.3-3.6	3.3			
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5		Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5			
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.		Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava			
11	Dist. de Visibilidad de Parada, metros	110-245		110-170	85-140	65-110	65-110			
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670		480-600	410-540	350-480	350-480			
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560		195-335	135-250	90-195	90-195			
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'		5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'			
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6		8	8	10	10			
16	Sobreelevación, porcentaje	10		10	10	10	10			
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3		1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3			
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5		2-5	2-5	2-5	2-5			
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable		Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1			
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%		HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44			
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90		40-50	40-50	20-30	20-30			
22	Ancho de Mediana, metros	4-12		4-10	2-6	-	-			
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C		C-D	C-D	C-D	C-D			
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total		Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control			
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS		AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR			

**Tabla 4.** Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Tipo de carretera	Tipo de Area y Nivel de Servicio Apropriado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano Suburbano
Autopista Especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

**Tabla 5.** Guía para seleccionar el Nivel de Servicio para Diseño. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Según la clasificación funcional de las carreteras, las vías deben presentar como mínimo dos carriles y la superficie de ruedo debe pavimentarse, como se muestra en la tabla 6.

Además, se considera la velocidad de diseño para la carretera, según el TPD y el tipo de terreno. Para las diferentes calles en estudio se escoge un terreno tipo ondulado, lo cual da un valor en la velocidad de diseño de 70 km/h en calle Nazareth, 60 km/h en calle Portones y calle Loma Linda, como se muestra en la tabla 7.

En el cuadro 4 se presenta un resumen de la clasificación funcional de las carreteras con sus principales parámetros, según lo indica el SIECA; se obtiene el valor del ancho de carril para cada caso, en calle Nazareth y calle Portones de 3.65 m; mientras que para calle Loma Linda se escoge un ancho de carril de 3.30 m.

Cabe mencionar que, en la realización del diseño geométrico se establece un rango en la velocidad de diseño entre 40 km/h y 50 km/h.

TPDA Clasificación funcional	>20,000		20,000-10,000		10,000-3,000		3,000-500	
	No. C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav.	4-6	Pav.				
TS- Troncales Suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR- Troncales Rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS- Colectoras Suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR- Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

**No.C** : Número de carriles; **Superf.** : Superficie de rodamiento; **Pav** : Pavimento asfáltico o de cemento Portland.

**Tabla 6.** Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

**Tabla 7.** Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y topografía del terreno. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Cuadro 4. Clasificación de las carreteras	
Calle Partones	
Tipo de carretera	Colectoras Suburbanas
Nivel de servicio	D
Ancho carril	3.65 m
Velocidad de diseño según figura 7	60 km/h
Velocidad de diseño a usar	40 km/h
Calle Nazareth	
Tipo de carretera	Troncales Rurales
Nivel de servicio	C
Ancho carril	3.65 m
Velocidad de diseño según figura 7	70 km/h
Velocidad de diseño a usar	50 km/h
Calle Loma linda	
Tipo de carretera	Colectoras Suburbanas
Nivel de servicio	D
Ancho carril	3.3 m
Velocidad de diseño según figura 7	60 km/h
Velocidad de diseño a usar	40 km/h

Fuente: elaboración propia

Después de determinar las velocidades de diseño para las carreteras se escogen los radios de giro para las curvas, de acuerdo con los mínimos establecidos como se indica en la tabla 8.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

**Tabla 8.** Radios mínimos y grados máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Una vez establecida la velocidad de diseño y radios de giro para cada curva en las diferentes calles, se realiza el cálculo de los radios de giro para cada curva presente en las carreteras

como se muestra en el cuadro 5 para calle Portones, en el cuadro 6 para calle Nazareth y cuadro 7 para calle Loma Linda.

<b>Cuadro 5. Curvas horizontales propuestas para Calle Portones</b>				
Curva	Radio (m)	PC	PI	PT
1	55.00	0+079.60m	0+087.13m	0+094.57m
2	55.00	0+185.82m	0+186.65m	0+187.48m
3	55.00	0+314.67m	0+314.92m	0+315.17m
4	55.00	0+390.51m	0+422.12m	0+447.89m
5	55.00	0+577.81m	0+593.38m	0+608.16m
6	55.00	0+632.87m	0+640.35m	0+647.73m
7	55.00	0+670.45m	0+745.66m	0+773.78m
8	55.00	0+777.96m	0+784.48m	0+790.95m
9	55.00	0+889.64m	0+904.22m	0+918.14m
10	55.00	0+936.69m	0+949.86m	0+962.53m
11	55.00	1+026.20m	1+031.47m	1+036.70m
12	55.00	1+114.56m	1+119.96m	1+125.33m
13	55.00	1+160.86m	1+167.35m	1+173.78m
14	55.00	1+231.90m	1+234.91m	1+237.92m
15	55.00	1+279.63m	1+285.68m	1+291.68m
16	55.00	1+330.60m	1+333.39m	1+336.18m

Fuente: elaboración propia.



<b>Cuadro 6. Curvas horizontales propuestas para Calle Nazareth</b>				
Curva	Radio (m)	PC	PI	PT
1	90.00	0+043.31m	0+051.72m	0+060.08m
2	90.00	0+062.12m	0+154.26m	0+205.61m
3	90.00	0+210.95m	0+220.24m	0+229.45m
4	90.00	0+363.48m	0+366.54m	0+369.61m
5	90.00	0+472.37m	0+472.56m	0+472.76m
6	90.00	0+560.39m	0+562.94m	0+565.49m
7	90.00	0+616.64m	0+619.95m	0+623.25m
8	90.00	0+688.97m	0+690.16m	0+691.34m
9	90.00	0+801.93m	0+804.32m	0+806.71m
10	90.00	0+902.24m	0+903.08m	0+903.92m

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 7. Curvas horizontales propuestas para Calle Loma Linda</b>				
Curva	Radio (m)	PC	PI	PT
1	55.00	0+073.60m	0+080.53m	0+087.38m
2	55.00	0+196.73m	0+197.85m	0+198.96m
3	55.00	0+214.41m	0+253.88m	0+282.88m
4	55.00	0+324.14m	0+331.96m	0+339.68m
5	55.00	0+410.07m	0+414.90m	0+419.71m
6	55.00	0+495.33m	0+530.94m	0+558.55m
7	55.00	0+650.62m	0+659.87m	0+668.94m
8	55.00	0+745.85m	0+748.89m	0+751.93m
9	55.00	0+850.10m	0+860.82m	0+871.27m
10	55.00	0+906.36m	0+920.97m	0+934.92m
11	55.00	0+969.28m	0+979.87m	0+990.20m

Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo, se verifican las distancias de frenado permitidas en las carreteras, según lo establece el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, como se presenta en la tabla 9, para terreno plano y pendientes en bajada y subida.

Además, se muestra la distancia de adelantamiento permitida. Según la velocidad de diseño que se presenta en la tabla 10, es necesario indicar que al ser tramos tan cortos no se permitirán adelantamientos durante el recorrido por estas calles.

a) En Terreno Plano

Velocidad de Diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Parada para
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	30 - 30
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	45 - 45
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57 - 63
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74 - 85
70	67 - 70	2.5	43.8 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94 - 111
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.6	0.30	64.2 - 83.9	113 - 139
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.4	0.30	77.7 - 106.2	131 - 169
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157 - 205
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	180 - 246

b) En Pendiente de Bajada y Subida

Velocidad de Diseño	Distancia de Parada en Bajadas (m)			Distancia de Parada en Subidas (m)		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

Tabla 9. Distancia de visibilidad de parada. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Tabla 10. Distancia de visibilidad de adelantamiento. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

De acuerdo con los cálculos realizados con base en las ecuaciones que se presentan en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, se definen las longitudes mínimas de las curvas

verticales como se muestra en el cuadro 8. A partir de esto, se determinó el cálculo de movimiento de tierra en cada una de las carreteras, se definió el material de corte y el material de relleno (ver apéndices 1, 2 y 3).

Con base en los resultados se presentan las características geométricas de las curvas verticales, como se muestra en el cuadro 9 para calle Portones, cuadro 10 para calle Nazareth y cuadro 11 para calle Loma Linda.

<b>Cuadro 8. Cálculo de longitudes mínimas de curvas verticales</b>					
Curva	Tipo	V km/h	S (m)	G	L (m)
Calle Portones					
1	Convexo	40	31	0.76%	3.196
2	Cóncavo	40	31	0.69%	2.902
3	Cóncavo	40	31	3.22%	13.542
4	Cóncavo	40	31	3.21%	13.500
5	Convexo	40	31	11.62%	48.870
6	Cóncavo	40	31	7.74%	32.552
7	Cóncavo	40	31	0.27%	1.136
8	Cóncavo	40	31	0.70%	2.944
9	Convexo	40	31	2.16%	9.084
10	Cóncavo	40	31	2.76%	11.608
Calle Nazareth					
1	Cóncavo	50	32	0.78%	3.443
2	Cóncavo	50	32	0.05%	0.221
3	Convexo	50	32	1.33%	5.870
4	Cóncavo	50	32	0.87%	3.840
5	Convexo	50	32	1.12%	4.943
6	Cóncavo	50	32	1.32%	5.826
Calle Loma Linda					
1	Cóncavo	40	31	2.13%	8.958
2	Convexo	40	31	4.53%	19.052
3	Cóncavo	40	31	5.88%	24.729
4	Convexo	40	31	10.47%	44.034
5	Cóncavo	40	31	9.01%	37.893
6	Convexo	40	31	9.72%	40.879
7	Cóncavo	40	31	10.22%	42.982

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 9. Características geométricas de curvas verticales para Calle Portones**

Curva	Tipo	Estación PIV	Elevación PIV	g1	g2	K	L	Radio
1	Convexo	0+095.00m	831.860m	-1.20%	-1.96%	198.002	150.000m	19800.157m
2	Cóncavo	0+190.00m	830.000m	-1.96%	-1.27%	55.340	38.000m	5534.017m
3	Cóncavo	0+270.00m	828.983m	-1.27%	1.95%	35.973	115.900m	3597.335m
4	Cóncavo	0+527.17m	834.000m	1.95%	5.16%	41.939	134.646m	4193.856m
5	Convexo	0+598.04m	837.658m	5.16%	-6.46%	0.579	6.732m	57.931m
6	Cóncavo	0+685.00m	832.040m	-6.46%	1.28%	19.376	150.000m	1937.587m
7	Cóncavo	0+785.38m	833.327m	1.28%	1.55%	180.811	48.224m	18081.128m
8	Cóncavo	0+976.73m	836.289m	1.55%	2.25%	214.131	150.000m	21413.100m
9	Convexo	1+085.00m	838.724m	2.25%	0.09%	29.244	63.204m	2924.438m
10	Cóncavo	1+274.79m	838.891m	0.09%	2.85%	54.274	150.000m	5427.422m

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 10. Características geométricas de curvas verticales para Calle Nazareth**

Curva	Tipo	Estación PIV	Elevación PIV	g1	g2	K	L	Radio
1	Cóncavo	0+120.00m	878.614m	-2.17%	-1.40%	19.317	15.000m	1931.744m
2	Cóncavo	0+220.67m	877.208m	-1.40%	-1.35%	196.707	10.000m	19670.690m
3	Convexo	0+365.62m	875.257m	-1.35%	-2.68%	35.975	47.884m	3597.459m
4	Cóncavo	0+435.00m	873.399m	-2.68%	-1.81%	17.327	15.037m	1732.738m
5	Convexo	0+713.18m	868.366m	-1.81%	-2.93%	30.862	34.603m	3086.216m
6	Cóncavo	0+819.68m	865.245m	-2.93%	-1.61%	13.710	18.114m	1371.005m

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 11. Características geométricas de curvas verticales para Calle Loma Linda**

Curva	Tipo	Estación PIV	Elevación PIV	g1	g2	K	L	Radio
1	Cóncavo	0+085.00m	888.000m	0.00%	2.13%	70.477	150.000m	7047.669m
2	Convexo	0+262.87m	891.786m	2.13%	-2.40%	7.345	33.243m	734.505m
3	Cóncavo	0+370.77m	889.199m	-2.40%	3.49%	9.935	58.464m	993.525m
4	Convexo	0+545.16m	895.280m	3.49%	-6.98%	7.085	74.165m	708.469m
5	Cóncavo	0+750.77m	880.925m	-6.98%	2.02%	16.657	150.000m	1665.685m
6	Convexo	0+860.98m	883.155m	2.02%	-7.69%	6.902	67.065m	690.226m
7	Cóncavo	0+980.00m	874.000m	-7.69%	2.53%	14.670	150.000m	1467.048m

Fuente: elaboración propia.

# Diseño de Pavimento

## Pavimento Flexible

Para el diseño del pavimento flexible se emplea la metodología AASHTO 1993, para esto, es necesario establecer la cantidad de los ejes equivalentes de carga, a partir del número de vehículos que se obtuvo mediante el conteo.

Primero se realiza el cálculo de los ejes equivalentes para pavimento flexible. Para determinar el peso de los ejes se emplea el Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga, según Decreto Ejecutivo No. 31363-MOPT. Se usa un valor de conversión de toneladas a KIPS para determinar el peso los vehículos (1 ton = 2.2046 Kip) del mismo modo su factor equivalente de carga (ver anexo 3), este último valor se obtiene mediante interpolación como se presenta a continuación.

<b>Cuadro 12. Factores equivalentes de carga</b>			
Tipo Vehículo	Ton	Kips	Factor camión
Livianos			
Eje	1.5	3.3069	0.001376
C-2+			
Delantero	1.5	3.3069	0.001376
Trasero	1.5	3.3069	0.001376
Σ (total)			0.002752
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.285505
Trasero	10	22.046	2.333460
Σ (total)			2.618965
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.285505
Trasero	16.5	36.3759	1.443903
Σ (total)			1.729408
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.285505
Trasero	23	50.7058	1.277638
Σ (total)			1.563143
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.285505
Trasero	16.5	36.3759	1.443903
Arrastre	16.5	36.3759	1.443903
Σ (total)			3.173311

Fuente: elaboración propia.

Se determinó que utilizará una vida útil de 20 años con una tasa de crecimiento del 4 %, por lo que se establece un factor de crecimiento de 29.78 como se muestra en la tabla 11.

Periodo de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)							
		2	4	5	6	7	8	10	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10	
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31	
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64	
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11	
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72	
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49	
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44	
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58	
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94	
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53	
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38	
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52	
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97	
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77	
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95	
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55	
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60	
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16	
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28	
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35	
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49	
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02	

**Tabla 11.** Factores de crecimiento de tránsito. Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

En el diseño del pavimento flexible se considera un índice de servicio inicial y terminal; el inicial ( $P_o$ ) es en función al diseño de la estructura del pavimento para flexible es de 4.2 y el terminal ( $P_t$ ) depende de la categoría de la carretera en este caso se considera como calles y arterias menores con un valor de 2.0. Asimismo, con un índice de la pérdida de servicio ( $\Delta PSI$ ) de 2.2.

Por medio de las características de la carretera por diseñar se separan los vehículos que transitan por esta, en sus respectivos tipos, a partir de esto se obtienen los ejes equivalentes de diseño (ESAL'S), como se muestra en el cuadro 13 para calle Portones, en el cuadro 14 para calle Nazareth y cuadro 15 para calle Loma Linda.

Cuadro 13. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Portones								
Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño
Livianos	1184	0.0014	1.629	594.652	20	4%	29.78	17708.741
C-2+	131	0.0028	0.361	131.587			29.78	3918.657
C-2	160	2.6190	419.034	152947.556			29.78	4554778.218
C-3	8	1.7294	13.835	5049.871			29.78	150385.169
C-4	1	1.5631	1.563	570.547			29.78	16990.895
T3-S3	6	3.1733	19.040	6949.551			29.78	206957.631
Total	1490		453.833	165649.113				
							Factor direccional	1.0
							Factor carril (2 sentido)	1.0
							ESAL'S diseño	4950739.312

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Nazareth								
Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño
Livianos	3667	0.0014	5.046	1841.714	20	4%	29.78	54846.2453
C-2+	300	0.0028	0.826	301.344			29.78	8974.02432
C-2	135	2.6190	353.560	129049.500			29.78	3843094.121
C-3	17	1.7294	29.400	10730.977			29.78	319568.4843
C-4	4	1.5631	6.253	2282.189			29.78	67963.58187
T3-S3	34	3.1733	107.893	39380.790			29.78	1172759.912
Total	4157		497.931	181744.799				5467206.369
Factor direccional								1.0
Factor carril (2 sentido)								1.0
ESAL'S diseño								5467206.369

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 15. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Loma Linda								
Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño
Livianos	12	0.0014	0.017	6.027	20	4%	29.78	179.480
C-2+	24	0.0028	0.066	24.108			29.78	717.922
C-2	2	2.6190	5.238	1911.844			29.78	56934.728
C-3	-	1.7294	-	-			29.78	-
C-4	-	1.5631	-	-			29.78	-
T3-S3	-	3.1733	-	-			29.78	-
Total	38		5.304	1935.952				57832.130
Factor direccional								1.0
Factor carril (2 sentido)								1.0
ESAL'S diseño								57832.130

Fuente: elaboración propia.

Se establece un nivel de confianza de 90% con un valor de desviación estándar (So) de 0.45. Se obtuvieron los datos necesarios de los materiales para el diseño, según se indica en el cuadro 16.

Cuadro 16. Datos de materiales	
Material	CBR
Base granular	100
Subbase	50
Subrasante	3

Fuente: elaboración propia.

El CBR o California Bearing Ratio de la subrasante se obtiene mediante un informe donde se describen las capas de la estructura de pavimento existente (ver anexo 5), en el cual se muestra la clasificación de la subrasante. El cual presenta una clasificación del material, según la AASHTO de A-7-6, a partir de esto se escoge el CBR de la subrasante con base en lo que se muestra la tabla 12; por lo que se le asigna un valor de 3. A partir de esto se calcula el módulo de resiliencia de la subrasante como se presenta en el cuadro 17.

<b>CBR</b>	<b>Calificación</b>	<b>Uso</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
0-3	Muy pobre	Subrasante	CH, MH	A5,A6,A7
3-7	Pobre - Regular	Subrasante	CH, MH	A4,A5,A6,A7
7-20	Regular	Subrasante	CL, ML,SC, SM, SP	A2,A4,A6,A7
20-50	Bueno	Base-Subbase	GM, GC, SW,SM, SP, GP	A1b, A2-5,A3,A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

**Tabla 12.** Clasificación del suelo en función de la subrasante. Fuente: Manual de laboratorio de suelo para Ingeniería Civil. Bowles J. 1980.

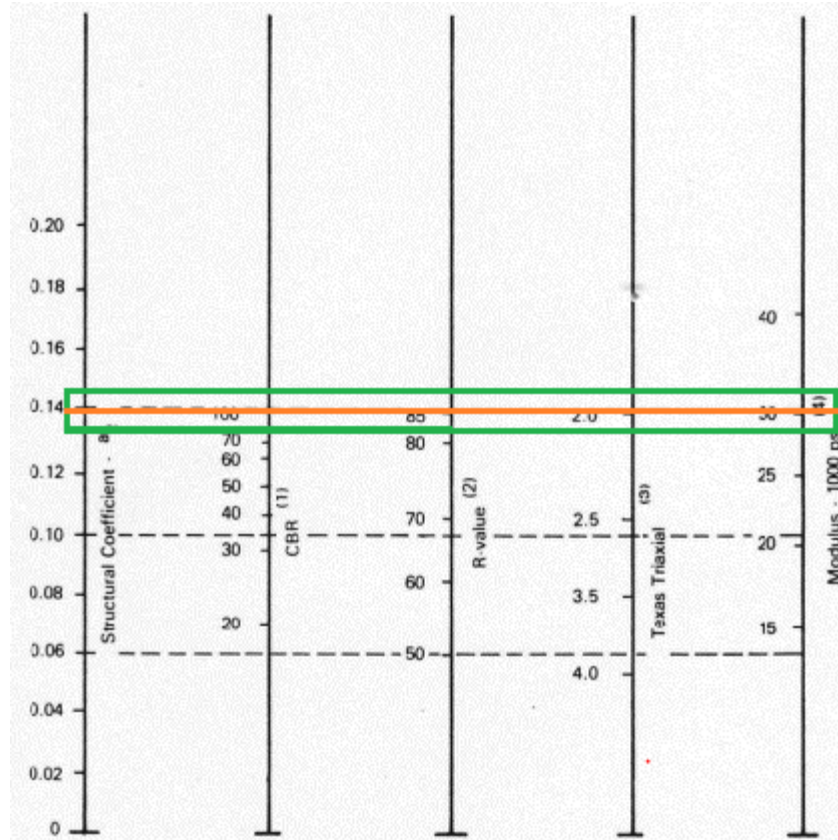
<b>Cuadro 17. Material Subrasante</b>	
Clasificación AASHTO	A-7-6
CBR	3
$M_R (1500 \cdot CBR)$	4500

Fuente: elaboración propia.

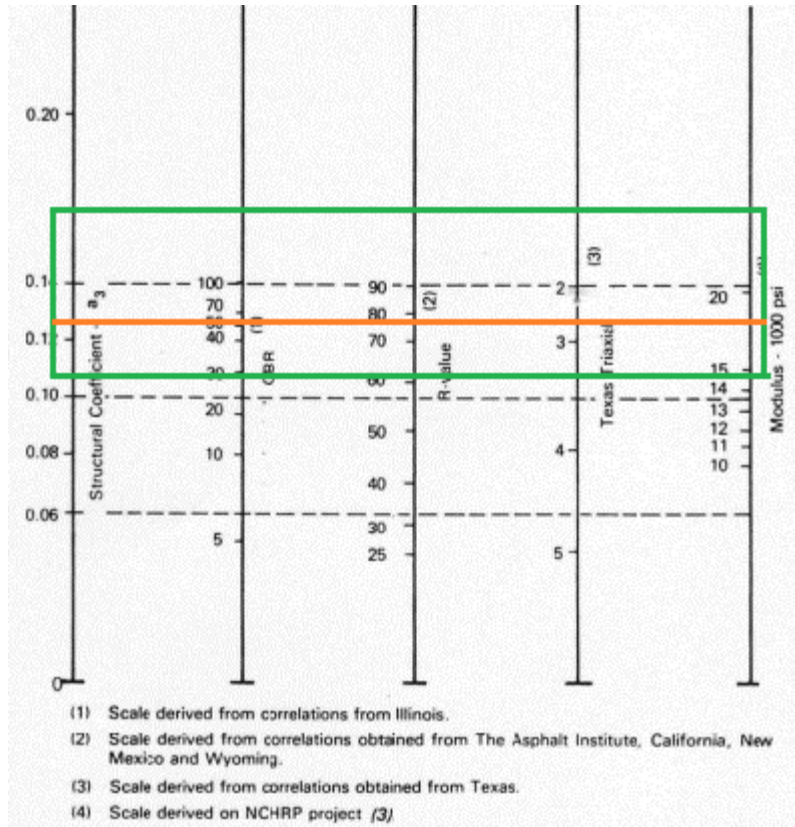
El CBR para base y subbase se determinan de acuerdo con lo establecido en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2010 de acuerdo con las especificaciones mínimas de los materiales por usar en la estructura de una carretera son CBR de 30 para subbase y

CBR de 80 para base granular. Por esto, se propone usar un CBR de 50 para subbase y un CBR de 100 para base granular, ya que estos valores son los más comunes de conseguir en el mercado costarricense. A partir de los datos propuestos, se usan monogramas para determinar el módulo de resiliencia y coeficiente estructural para cada capa de material, como se muestra en la figura 2 y 3.





**Figura 2.** Determinación del módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de la base granular a partir del CBR. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.



**Figura 3.** Determinación el Módulo de Resiliencia y el coeficiente estructural de la subbase a partir del CBR de la misma. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Por último, se define la estabilidad Marshall y el coeficiente estructural para el concreto asfáltico, según se muestra en la figura 4. A partir de los monogramas mencionados, se obtienen los datos de los materiales para usar en el cálculo de espesores como se presenta en el cuadro 18.

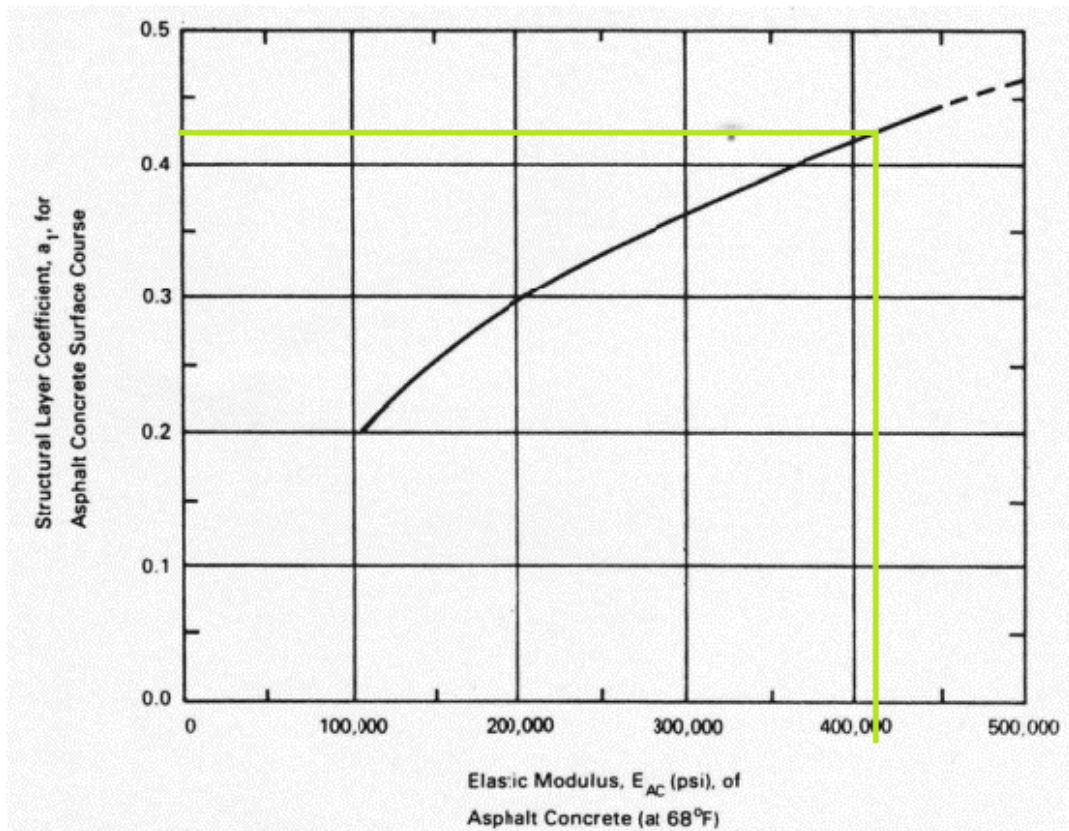


Figura 4. Módulo de elasticidad vs. coeficiente estructural. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Cuadro 18. Datos de materiales			
Material	Calidad	$a_n$	$M_R$
Capa asfáltica	Mezcla conveccional	0.420	400000
Base granular	CBR - 100	0.140	29999
Subbase	CBR - 50	0.127	17885
Subrasante	CBR - 3	uf = 0,39	4500

Fuente: elaboración propia.

Con base en los datos obtenidos, según el cuadro 18, se realiza el cálculo de los espesores de la estructura de pavimentos, con el método de la AASHTO, como se muestra en la figura 5. Es importante considerar que para la base se tienen requerimientos de espesores mínimos, a partir de 500.000 ejes equivalentes es 15.0 cm; mientras que por debajo de los 500.000 ejes equivalentes es de 10.0 cm por lo que es necesario verificar estos espesores en la base. En el cuadro 19 se puede observar una verificación de los espesores que se presentan en la base.

Cuadro 19. Verificación de la base			
Carretera	$h_n$ (cm)	ESAL's	$h_n$ real (cm)
Calle Portones	11.0	4950739	15.0
Calle Nazareth	12.5	5467206	15.0
Calle Loma Linda	8.0	57832	10.0

Fuente: elaboración propia.

A partir de esto se presentan los resúmenes con los espesores correspondientes para cada carretera en estudio. como se indica en el cuadro 20 para calle Portones, cuadro 21 para calle Nazareth y cuadro 22 para calle Loma Linda respectivamente.

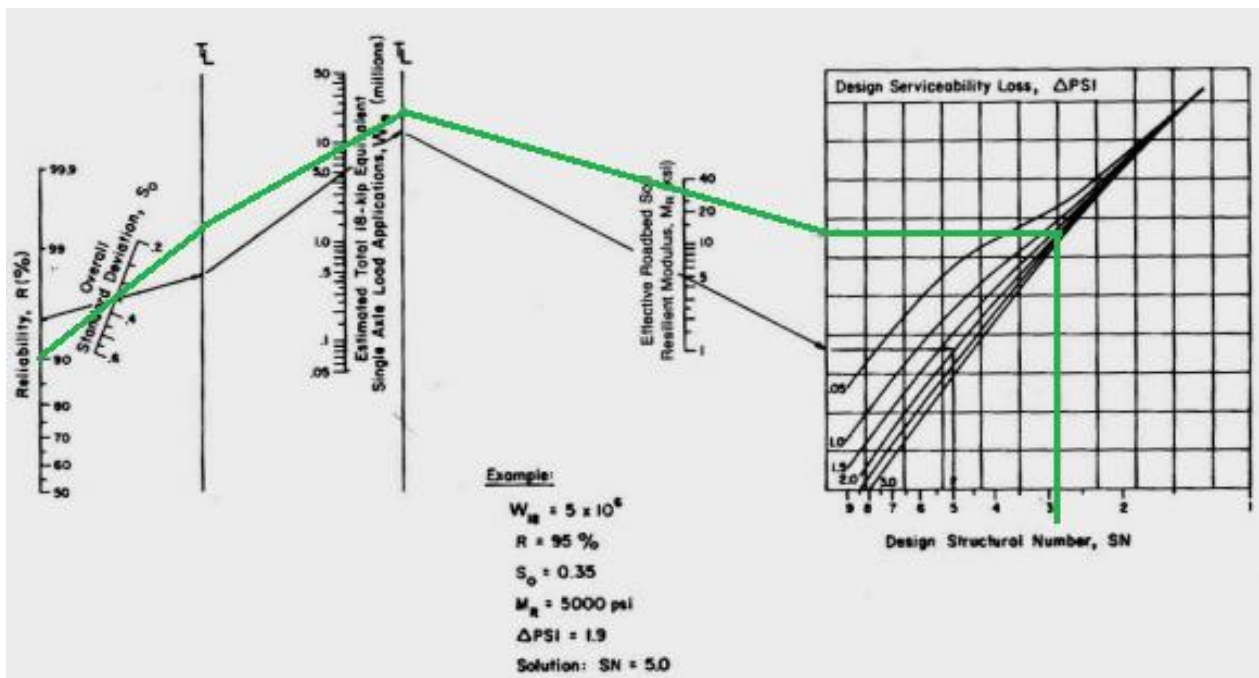


Figura 5. Nomograma para la determinación del número estructural. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Cuadro 20. Cálculo de espesores Calle Portones									
Material	Entrada de datos					Resultado	$h_n$ (in)	$h_n$ (cm)	$h_n$ real (cm)
	R (%)	$S_o$	ESAL'S	$\Delta PSI$	MR				
Capa asfáltica	90%	0.45	4950739	2.2	29999	2.670	6.357	16.1	16.0
Base granular					17885	3.270	5.905	15.0	15.0
Subbase					4500	4.733	9.739	24.7	25.0

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 21. Cálculo de espesores Calle Nazareth									
Material	Entrada de datos					Resultado	$h_n$ (in)	$h_n$ (cm)	$h_n$ real (cm)
	R (%)	$S_o$	ESAL'S	$\Delta psi$	MR				
Capa asfáltica	90%	0.45	5467206	2.2	29999	2.709	6.450	16.4	16.5
Base granular					17885	3.389	5.905	15.0	15.0
Subbase					4500	4.800	9.960	25.3	25.5

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 22. Cálculo de espesores calle Loma Linda									
Material	Entrada de datos					Resultado	$h_n$ (in)	$h_n$ (cm)	$h_n$ real (cm)
	R (%)	$S_o$	ESAL'S	$\Delta psi$	MR				
Capa asfáltica	90%	0.45	57832	2.2	29999	1.357	3.231	8.2	8.5
Base granular					17885	1.787	3.937	10.0	10.0
Subbase					4500	2.583	5.317	13.5	13.5

Fuente: elaboración propia.

## Pavimento Rígido

Para el diseño del pavimento rígido, se empieza con el cálculo de los ejes equivalentes, en este caso se propone usar un espesor de losa con un valor de 10 in (25.4 cm). Se realiza la conversión de toneladas a KIPS usando el peso de los vehículos, así como su factor equivalente de carga (ver anexo 4) por medio de la interpolación, como se presenta en el cuadro 23.

<b>Cuadro 23. Factores equivalentes de carga</b>			
Tipo Vehículo	Ton	Kips	Factor camión
Livianos			
Eje	1.5	3.3069	0.001376
C-2+			
Delantero	1.5	3.3069	0.001376
Trasero	1.5	3.3069	0.001376
$\Sigma$ (total)			0.002752
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.274049
Trasero	10	22.046	2.42553
$\Sigma$ (total)			2.699579
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.274049
Trasero	16.5	36.3759	2.634047
$\Sigma$ (total)			2.908096
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.274049
Trasero	23	50.7058	3.267624
$\Sigma$ (total)			3.541673
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.274049
Trasero	16.5	36.3759	2.634047
Arrastre	16.5	36.3759	2.634047
$\Sigma$ (total)			5.542143

Fuente: elaboración propia.

Se establece una tasa de crecimiento del 4 % y una vida útil de 20 años para el pavimento rígido. Por lo que se establece un factor de crecimiento de 29.78 como se muestra en la tabla

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

**Tabla 13.** Factores de crecimiento anual. Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

En el diseño del pavimento rígido se considera un índice de servicio inicial y terminal; el inicial ( $P_o$ ) es de 4.5 y el terminal ( $P_t$ ) es de 2.0. Asimismo, con un índice de la pérdida de servicio (DPSI) de 2.5.

A partir de las características de la carretera por diseñar se separan los vehículos que transitan por ésta en sus respectivos tipos, a partir de esto se obtienen los ejes equivalentes de diseño (ESAL'S), como se muestra en el cuadro 24 para calle Portones, en el cuadro 25 para calle Nazareth y cuadro 26 para calle Loma Linda.

**Cuadro 24. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Portones (PR)**

Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño (años)	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño	
Livianos	1184	0.0014	1.629	594.652	20	4%	29.78	17708.741	
C-2+	131	0.0028	0.3605	131.587			29.78	3918.657	
C-2	160	2.6996	431.9326	157655.414			29.78	4694978.217	
C-3	8	2.9081	23.2648	8491.640			29.78	252881.049	
C-4	1	3.5417	3.5417	1292.711			29.78	38496.923	
T3-S3	6	5.5421	33.2529	12137.293			29.78	361448.591	
<b>Total</b>	<b>1490</b>		<b>492.3525</b>	<b>179708.645</b>				<b>5369432.178</b>	
								Factor direccional	1.0
								Factor carril (2 sentido)	1.0
								ESAL'S diseño	5369432.178

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 25. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Nazareth (PR)**

Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño (años)	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño	
Livianos	3667	0.0014	5.046	1841.714	20	4%	29.78	54846.245	
C-2+	300	0.0028	0.826	301.344			29.78	8974.024	
C-2	135	2.6996	364.443	133021.755			29.78	3961387.871	
C-3	17	2.9081	49.438	18044.736			29.78	537372.229	
C-4	4	3.5417	14.167	5170.843			29.78	153987.692	
T3-S3	34	5.5421	188.433	68777.995			29.78	2048208.680	
<b>Total</b>	<b>4157</b>		<b>617.306</b>	<b>225316.672</b>				<b>6764776.741</b>	
								Factor direccional	1.0
								Factor carril (2 sentido)	1.0
								ESAL'S diseño	6764776.741

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 26. Cálculo de ejes equivalentes para Calle Loma Linda (PR)**

Tipo de vehículo	Tránsito promedio diario	Factor Camión	EEQ diarios	EEQ anuales	Periodo de diseño (años)	Crecimiento anual	Factor Crecimiento	EEQ periodo de diseño	
Livianos	12	0.0014	0.0165	6.0269	20	4%	29.78	179.480	
C-2+	24	0.0028	0.066	24.108			29.78	717.922	
C-2	2	2.6996	5.399	1970.693			29.78	58687.228	
C-3	0	2.9081	-	-			29.78	-	
C-4	0	3.5417	-	-			29.78	-	
T3-S3	0	5.5421	-	-			29.78	-	
<b>Total</b>	<b>26</b>		<b>5.465</b>	<b>1994.800</b>				<b>59584.630</b>	
								Factor direccional	1.0
								Factor carril (2 sentido)	1.0
								ESAL'S diseño	59584.630

Fuente: elaboración propia.



Para realizar el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento rígido es necesario establecer los diferentes factores que se tomarán en cuenta para este diseño. Se considera un nivel de confianza (R) de 90 %, como se muestra en la tabla 14, también se establece la desviación estándar, según el desempeño (So) para un pavimento rígido con un valor de 0.35. Se escoge un espesor de la subbase de 25.4 cm (10 in), con un módulo elástico de 15000 psi, el cual corresponde a un CBR de 30%, se escoge este valor por ser representativo de las condiciones típicas de lastre para subbase en Costa Rica.

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85-99.9	80-99.9
Principal Arterials	80-99	75-95
Collectors	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

**Tabla 14.** Niveles de confianza en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Se considera un coeficiente de drenaje de 1.0 y un coeficiente de transferencia de carga de 2.8 como se presenta en las siguientes tablas.

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Good	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

**Tabla 15.** Recomendación de valores de coeficiente de drenaje. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

En el cuadro 27 se presenta un resumen con los datos obtenidos necesarios para el diseño de pavimento rígido.

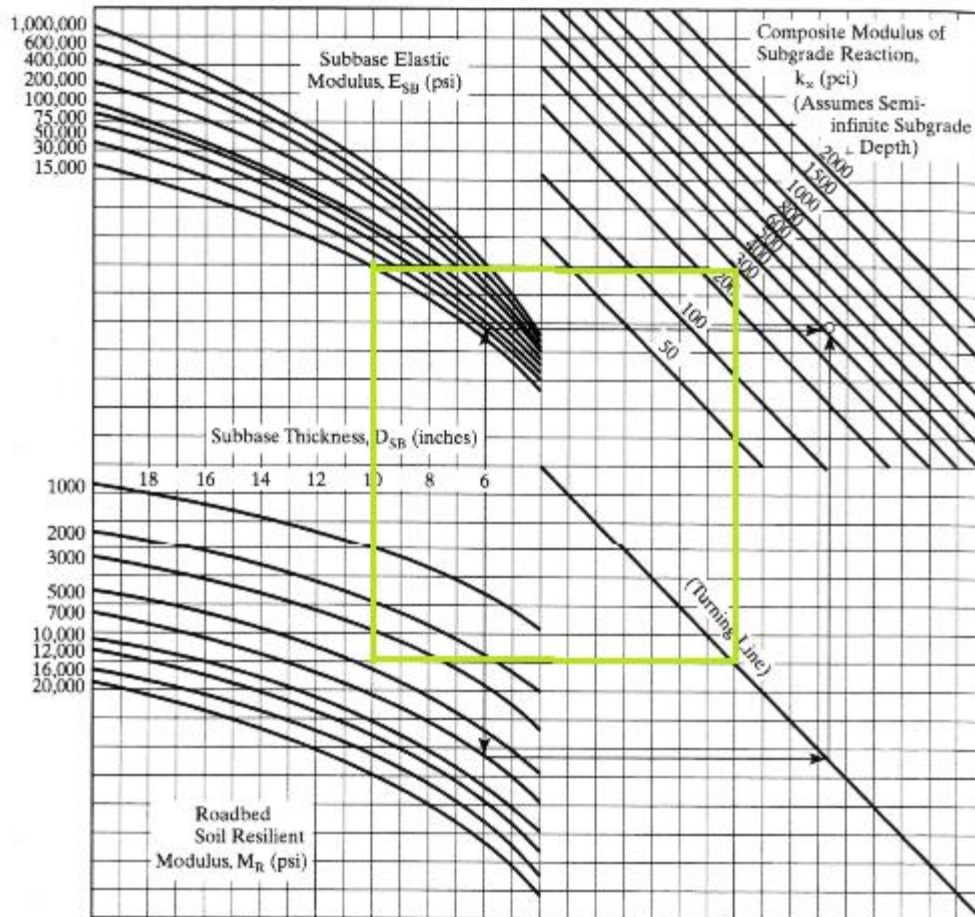
Load Transfer Devices	Asphalt		Tied P.C.C.	
	Yes	No	Yes	No
<b>Pavement Type</b>				
1. Plain jointed and jointed reinforced	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
2. CRCP	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

**Tabla 16.** Recomendación de valores de coeficiente de transferencia de carga. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

<b>Cuadro 27. Datos Obtenidos Pavimento Rígido</b>	
Po	4.5
Pt	2.0
Δpsi	2.5
Nivel de confianza ®	90%
So	0.35
m	1.0
Subrasante MR (psi)	4500
LS	2.0
fc (280 kg/cm <sup>2</sup> )	280
MRc	3.6x10 <sup>6</sup>

Fuente: elaboración propia.

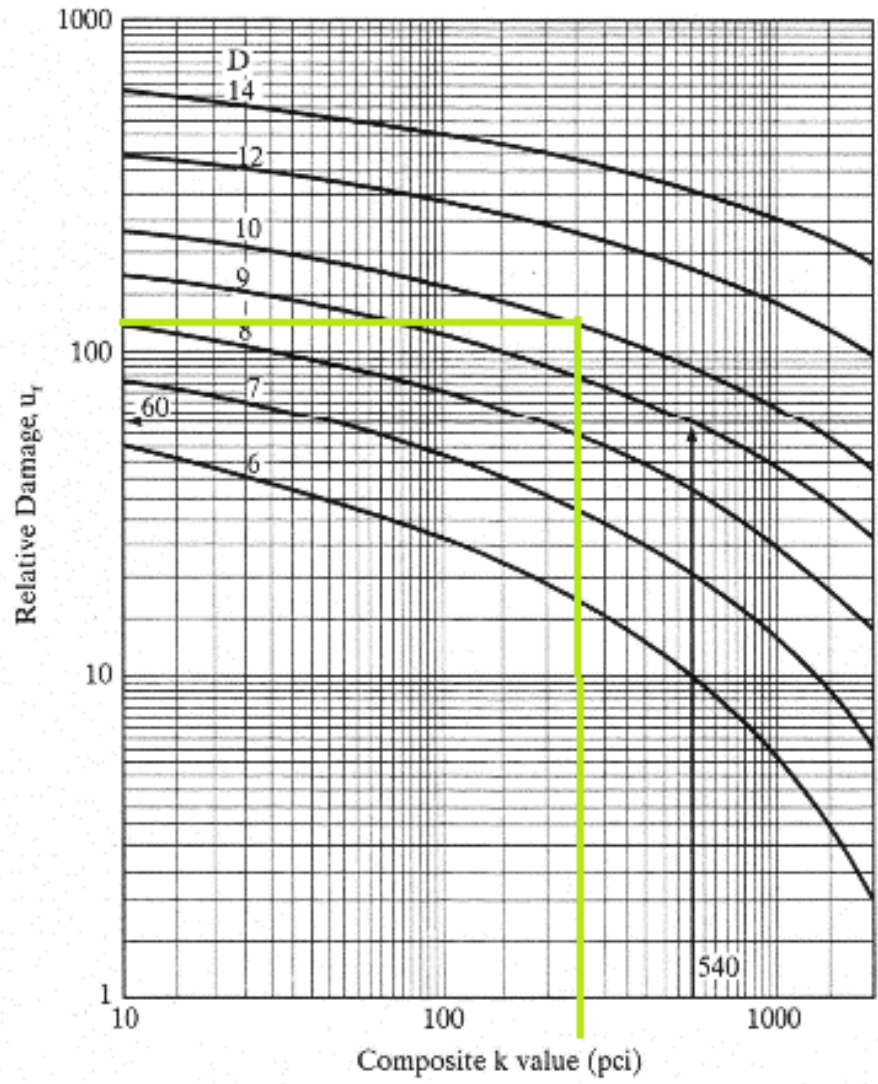
Con base en todos los valores obtenidos, se determina el módulo de reacción compuesta de la subrasante, como se indica en la figura 6.



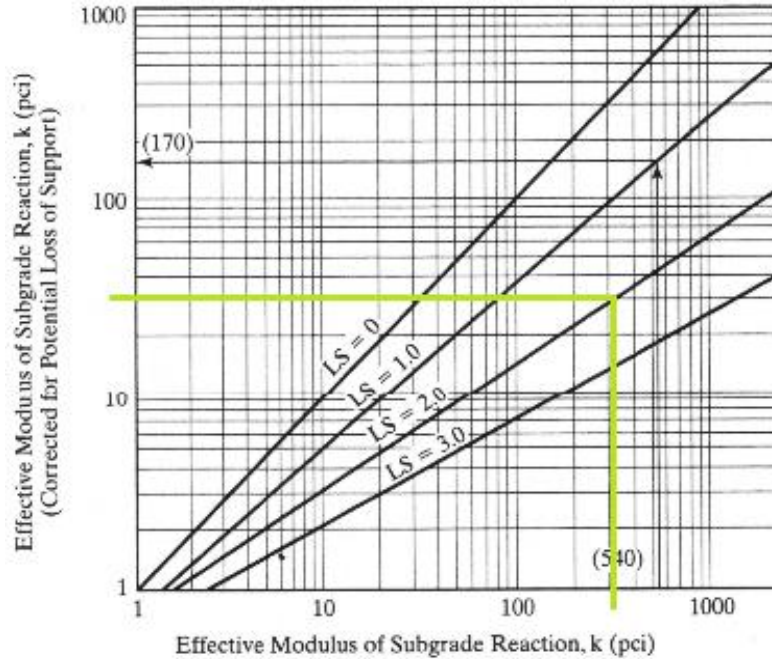
**Figura 6.** Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Como se muestra en la figura anterior, el módulo de reacción compuesto de la subrasante ( $k_{\text{value}}$ ) arrojó un valor de 312.5 pci. A partir de esto se determina el daño relativo ( $U_r$ ) con un valor de 125, como se muestra en la figura 7. Con base en lo anterior, se hace una corrección por pérdida potencial de soporte al módulo de reacción compuesto de la subrasante ( $k_{\text{diseño}}$ ) con un valor de 28.6 como se indica en la figura 8.



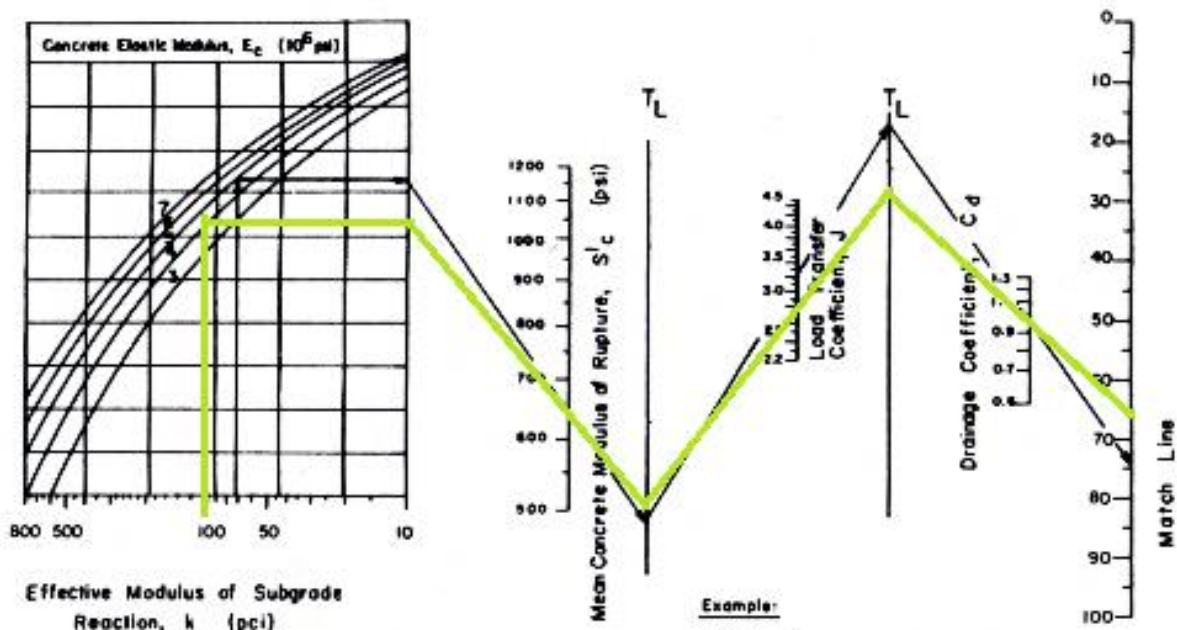


**Figura 7.** Estimación del daño relativo en pavimentos rígidos. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.



**Figura 8.** Nomograma para corregir el módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se procede al diseño y a la verificación de los espesores de la losa de concreto y en general de la estructura de pavimento como se muestra en la figura 9 y figura 10 respectivamente.



**Figura 9.** Nomograma para la determinación del espesor de la losa parte 1. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

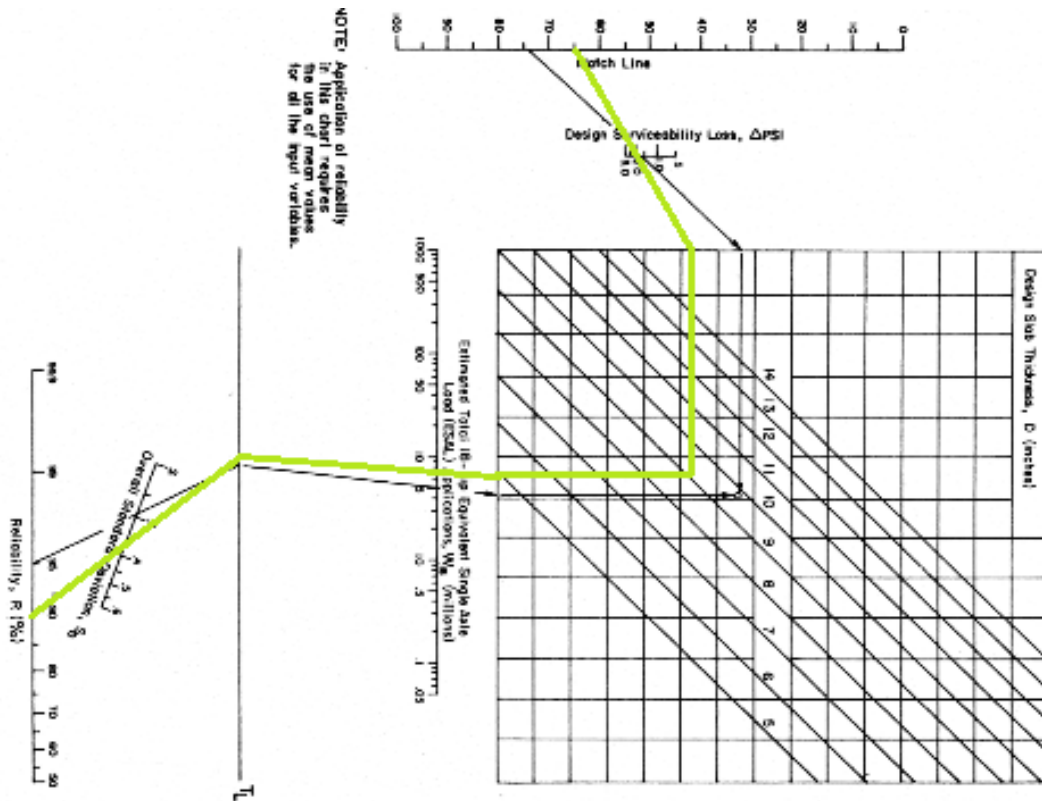


Figura 10. Nomograma para la determinación del espesor de la losa parte 2. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

A partir de los datos obtenidos se generaron los diferentes espesores de la losa de concreto y la estructura del pavimento, según corresponda a cada carretera a diseñar, como se muestra en el cuadro 28 para calle Portones con un espesor de losa de 22.61 cm (8.9 in) y una estructura de pavimento de 48.26 cm (19.0 in), en el cuadro 29 para calle Nazareth con un espesor de losa de 23.37 cm (9.2 in) y una estructura de pavimento de 49.53 cm (19.5 in) y en el cuadro 30 para calle Loma Linda con un espesor de losa de 12.7 cm (5 in) y una estructura de pavimento de 38.10 cm (15 in).

<b>Cuadro 28. Espesor de la estructura y losa de concreto para Calle Portones.</b>	
ESAL'S	5358782
$\Delta\psi$	2.5
Nivel de confianza (R)	90%
$S_o$	0.35
$C_d$	1.0
Subrasante $M_R$ (psi)	4500
LS	2.0
$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	280
$M_{Rc}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.6 \times 10^6$
Subbase $M_R$ (psi)	15000
$D_{SB}$ (in)	10
$k_{diseño}$ (pci)	28.6
D (in)	8.9
D a utilizar (in)	9.0
Espesor de la estructura (in)	19.0
Espesor de la estructura (cm)	48.3

**Cuadro 29. Espesor de la estructura y losa de concreto para Calle Nazareth.**

ESAL'S	6734073
$\Delta$ psi	2.5
Nivel de confianza (R)	90%
So	0.35
Cd	1.0
Subrasante $M_R$ (psi)	4500
LS	2.0
$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	280
$M_{Rc}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.6 \times 10^6$
Subbase $M_R$ (psi)	15000
$D_{SB}$ (in)	10
$k_{\text{diseño}}$ (pci)	28.6
D (in)	9.2
D a utilizar (in)	9.5
Espesor de la estructura (in)	19.5
Espesor de la estructura (cm)	49.5

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 30. Espesor de la estructura y losa de concreto para Calle Loma Linda.**

ESAL'S	58988
$\Delta$ psi	2.5
Nivel de confianza (R)	90%
So	0.35
Cd	1.0
Subrasante $M_R$ (psi)	4500
LS	2.0
$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	280
$M_{Rc}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.6 \times 10^6$
Subbase $M_R$ (psi)	15000
$D_{SB}$ (in)	10
$k_{\text{diseño}}$ (pci)	28.6
D (in)	menor a 5
D a utilizar (in)	5
Espesor de la estructura (in)	15
Espesor de la estructura (cm)	38.1

Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo, se hace una recomendación para la escogencia de las dovelas, según su tamaño y longitud, de acuerdo con el espesor de la losa de concreto, como se muestra en la tabla 17, esto para un espesor de 5 in, 9 in y 10 in respectivamente.

Slab thickness (in.)	Dowel diameter (in.)	Dowel length (in.)
5	$\frac{5}{8}$	12
6	$\frac{3}{4}$	14
7	$\frac{7}{8}$	14
8	1	14
9	$1\frac{1}{8}$	16
10	$1\frac{1}{4}$	18
11	$1\frac{3}{8}$	18
12	$1\frac{1}{2}$	20

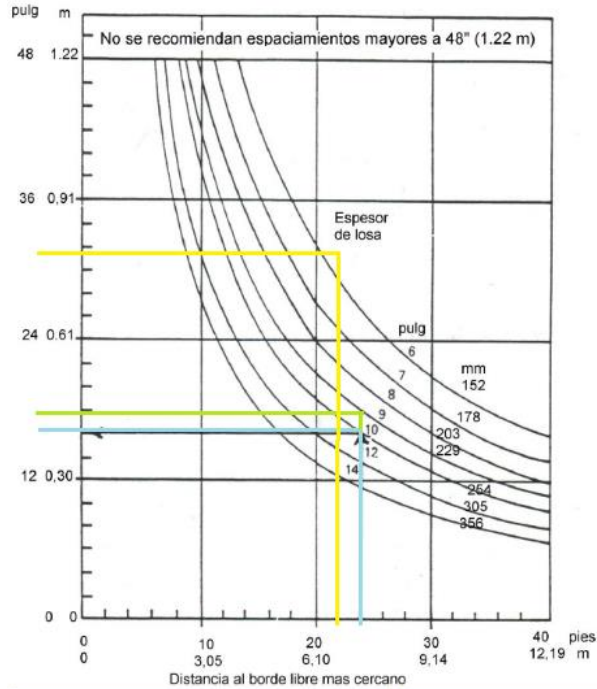
Note. All dowels spaced at 12 in. on centers, 1 in. = 25.4 mm.

Source. After PCA (1975).

**Tabla 17.** Recomendación del tamaño y longitud de las dovelas. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Considerando un espacio entre las dovelas de 30.0 cm (12 in), para un espesor de losa de 12.7 cm (5 in) indica un diámetro de la dovela de  $\frac{5}{8}$  in (15.9 mm); para un espesor de losa de 23.0 cm (9 in) tiene un diámetro de la dovela de  $1\frac{1}{8}$  in (25.56 mm); mientras que para un espesor de losa de 25.4 cm (10 in) presenta un diámetro de la dovela de  $1\frac{1}{4}$  in (31.80 mm).

Del mismo modo, se hace una recomendación para la escogencia del acero de amarre longitudinal como se muestra en la figura 11, donde se asigna el uso de varilla # 4 (12.7 mm).



**Figura 11.** Espaciamientos máximos recomendados para barras de unión de 12 mm en pavimentos de hormigón simple. Acero Grado 40. Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO 93).

A partir de lo anterior, se tiene que el espaciamiento máximo permitido para el acero de amarre longitudinal en una losa de 25.4 cm es de 40 cm, mientras que para la losa de 23.0 cm es de 45 cm; por otro lado, para la losa de 12.7 cm es de 65 cm.



## Diseño Hidrológico e Hidráulico

Se define la ubicación de cada una de las calles en estudio, para esto, se utiliza la hoja cartográfica Abra, Costa Rica. Empleando el método racional, a partir de esto se determina el cálculo de los caudales teóricos que se presentaran en las carreteras, para esto, se usa la ecuación 1.

$$Q = CiA/3.6$$

**Ecuación 1.** Cálculo del caudal de escorrentía.

Donde Q = caudal en m<sup>3</sup>/s

C= coeficiente de escorrentía.

i = intensidad de lluvia en mm/hora.

A = área tributaria en km<sup>2</sup>.

Se definen los tiempos de concentración de la lluvia, por lo que se emplea la fórmula de Kirpich lo cual determina el tiempo de recorrido en el terreno, como se muestra en la ecuación 2.

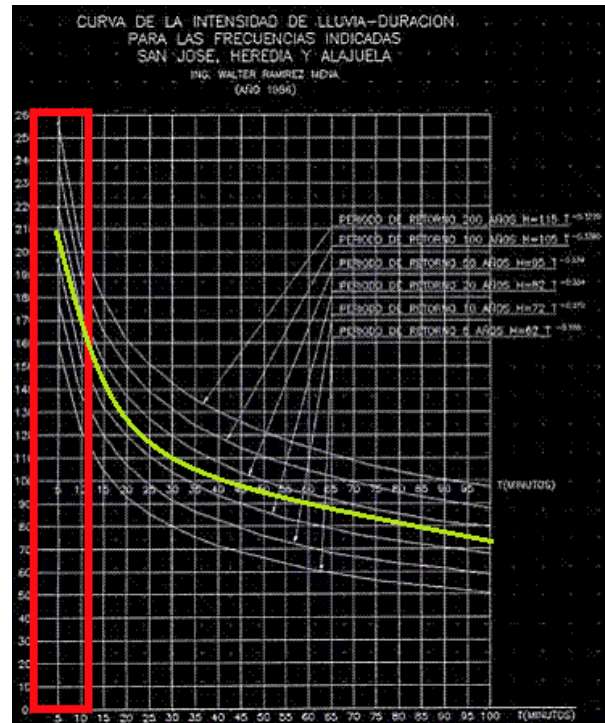
$$tc = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

**Ecuación 2.** Tiempo de Concentración.

Donde, L = longitud de la cuenca.

H = diferencia de elevaciones.

Seguidamente, se determina la intensidad de la lluvia, para esto, se utiliza el monograma que se muestra en la figura 12. Este monograma hace referencia a la intensidad de lluvia en las zonas de Alajuela, San José y Heredia. Es necesario determinar un periodo de retorno para las carreteras, este se definió en 35 años. Se toma en cuenta una vida útil del pavimento de 20 años, 10 años más para rehabilitación y 5 años en la gestión y rehabilitación de la obra.



**Figura 12.** Determinación de la intensidad de la lluvia. Fuente: Ing. Walter Ramirez. AyA. La Gaceta, Alcance #8, Gaceta #55 del 19 de marzo del 2007, República de Costa Rica.

A continuación, se presentan los caudales teóricos, con el fin de determinar el diámetro de las alcantarillas propuestas, como se indica en el cuadro 31 para calle Portones, cuadro 32 para calle Nazareth y cuadro 33 para calle Loma Linda con los diferentes parámetros mencionados anteriormente (ver apéndice 7). Es importante mencionar que se considera un coeficiente de escorrentía para zonas urbanas de 0.45 y zonas de pasto, vegetación entre un rango de 0.39 - 0.41 para las diferentes calles.

<b>Cuadro 31. Cálculo de caudales para alcantarillas Calle Portones</b>							
Alcantarilla	Estación	Elevación (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Tc (min)	Intensidad de lluvia (i)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
		Máx	Min				
1	0+002	843	833	54250	6.9732	180	1.2016
2	0+210	840	829	57538	7.1676	179	1.2574
3	0+440	838	834	28698	5.1991	198	0.6992
4	0+675	838	834	28915	3.7293	198	0.7045
5	0+950	838	834	28753	3.7293	198	0.7006
6	1+190	842	837	28993	3.4223	198	0.7008
7	1+390	843	839	18721	3.7293	198	0.4021

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 32. Cálculo de caudales para alcantarillas Calle Nazareth</b>								
Alcantarilla	Tramo	Estación	Elevación (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Tc (min)	Intensidad de lluvia (i)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
			Máx	Min				
1	Largo	0+001	890	884	80567	10.9119	168	1.6806
2		0+250	881	877	46005	3.7293	198	1.1234
3		0+565	879	870	41661	2.7292	198	1.0174
4		0+800	879	866	61449	4.3328	198	1.3586
5		0+990	872	862	39674	5.0569	198	0.8772
6	Corto	0+002	882	871	43488	8.2976	178	0.9547
7		0+225	880	869	38623	8.7556	178	0.8479

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 33. Cálculo de caudales para alcantarillas Calle Loma Linda</b>							
Alcantarilla	Estación	Elevación (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Tc (min)	Intensidad de lluvia (i)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
		Máx	Min				
1	0+002	904	888	71062	9.0905	171	1.3755
2	0+265	904	892	43809	3.8023	198	0.9879
3	0+515	895	894	23958	2.4207	198	0.5370
4	0+715	891	884	73164	7.2912	179	1.4733
5	1+005	884	876	54980	8.3559	178	1.1146

Fuente: elaboración propia.

En la determinación del diámetro de las alcantarillas, se establece que la relación de Y/D esté entre un rango de 0.62 – 0.76, a partir de esto se hace una comprobación con diferentes diámetros de tubería hasta encontrar el diámetro adecuado por medio de la iteración. Para esto, se

empleó la fórmula de Manning y la correlación de la ecuación de Manning, donde se establece un valor de n de Manning de 0.012 para elementos de concreto (ver anexo 6), con un valor de la pendiente de diseño S de 1.5 % para las

alcantarillas propuestas. Estas fórmulas se muestran en la ecuación 3 y ecuación 4, según corresponda.

$$Q = \left[ A * R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right] / n$$

**Ecuación 3.** Ecuación de Manning.

$$[Q * n] / \left[ S^{\frac{1}{2}} * d^{8/3} \right] = \left[ A * R^{\frac{2}{3}} \right] / d^{8/3}$$

**Ecuación 4.** Correlación de ecuación de Manning.

Donde, A = rea hidráulica.

S = pendiente de la alcantarilla.

R = radio hidráulico.

n = coeficiente de rugosidad.

d = diámetro del tubo.

A continuación, se presentan los cálculos de los caudales y diámetros de las tuberías para el diseño en las diferentes calles por lo que se muestra la comprobación de que los diámetros propuestos se encuentran entre el rango de 0.62 - 0.76 de acuerdo con la relación de Y/D, según se presenta en la tabla 18. Se puede observar en el cuadro 34 para calle Portones, cuadro 35 para calle Nazareth y cuadro 36 para calle Loma Linda.

<b>Cuadro 34. Diámetro de alcantarilla para Calle Portones</b>		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro alcantarilla (m)	Comprobación
1.202	0.75	0.2536
1.257	0.75	0.2653
0.699	0.60	0.2675
0.705	0.60	0.2695
0.701	0.60	0.2680
0.701	0.60	0.2681
0.402	0.50	0.2501

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 35. Diámetro de alcantarilla Calle Nazareth</b>		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro alcantarilla (m)	Comprobación
1.681	0.85	0.2540
1.123	0.70	0.2849
1.017	0.70	0.2580
1.359	0.75	0.2867
0.877	0.65	0.2711
0.955	0.70	0.2421
0.848	0.65	0.2621

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 36. Diámetro de alcantarilla para Calle Loma Linda</b>		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro alcantarilla (m)	Comprobación
1.375	0.80	0.2444
0.988	0.70	0.2506
0.537	0.55	0.2591
1.473	0.80	0.2617
1.115	0.70	0.2827

Fuente: elaboración propia.



$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD1/2}{d^5/2}$	$\frac{AR2/3}{d^8/3}$	$\theta$
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1248	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

**Tabla 18.** Valores de Y/d en base a las propiedades geométricas de tubería de concreto. Fuente: Manual de tubos de concreto. Holcim.

Para el dimensionamiento de las cunetas se realiza el cálculo de los caudales, según corresponde, a partir de esto se hace una verificación de los tirantes para estas cunetas como se muestra en el cuadro 37 para calle Portones, cuadro 38 para calle Nazareth y cuadro 39 para calle Loma Linda. Se propone la ubicación de los tramos de la carretera a los que corresponde cada cuneta (ver apéndice 5 y 6).

Se emplea la ecuación 5 para el cálculo del tirante este siendo despejado, con el fin de utilizar el valor del caudal teórico ya establecido.

$$Q_o = 0.375 \cdot \sqrt{i} \cdot \left(\frac{z}{n}\right) \cdot y_o^{8/3}$$

**Ecuación 5.** Cálculo de  $y_o$  para cunetas triangulares.

Donde,  $i$  = pendiente de la alcantarilla.

$Q$  = caudal  $m^3/s$

$n$  = coeficiente de rugosidad.

$z$  = inversa de la pendiente transversal.

$y_o$  = altura máxima del agua.

<b>Cuadro 37. Dimensionamiento de cunetas Calle Portones</b>							
Cunetas	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente de cuneta	n	Sección Triángular			
				z	x (m)	y (m)	y ajustado (m)
1	0.481	5%	0.012	1.500	0.500	0.315	0.350
2	0.599	5%	0.012	1.500	0.500	0.342	0.350
3	0.613	5%	0.012	1.500	0.500	0.345	0.350
4	0.626	5%	0.012	1.500	0.500	0.348	0.350
5	0.526	5%	0.012	1.500	0.500	0.326	0.350
6	0.591	5%	0.012	1.500	0.500	0.340	0.350
7	0.238	5%	0.012	1.500	0.500	0.242	0.250

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 38. Dimensionamiento de cunetas Calle Nazareth</b>							
Cunetas	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente de cuneta	n	Sección Triángular			
				z	x (m)	y (m)	y ajustado (m)
1	0.544	5%	0.012	1.500	0.500	0.330	0.350
2	0.560	5%	0.012	1.500	0.500	0.333	0.350
3	0.500	5%	0.012	1.500	0.500	0.320	0.350
4	0.365	5%	0.012	1.500	0.500	0.284	0.300
5	0.457	5%	0.012	1.500	0.500	0.309	0.300

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 39. Dimensionamiento de cunetas Calle Loma Linda</b>							
Cunetas	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente de cuneta	n	Sección Triángular			
				z	x (m)	y (m)	y ajustado (m)
1	0.410	5%	0.012	1.500	0.500	0.297	0.300
2	0.510	5%	0.012	1.500	0.500	0.322	0.350
3	0.380	5%	0.012	1.500	0.500	0.288	0.300
4	0.535	5%	0.012	1.500	0.500	0.328	0.350
6	0.243	5%	0.012	1.500	0.500	0.244	0.250

Fuente: elaboración propia.

# Presupuesto

Con base en el estudio realizado por Picado “Costo de Carreteras en Costa Rica” a mando del LanammeUCR, se asigna un monto global promedio del costo de carreteras en Costa Rica. Esto según el tipo de trabajo realizado y del tipo de superficie de ruedo, como se muestra en la tabla 19. Cabe mencionar que este estudio se elaboró en el año 2017, por lo que al valor escogido se le asignó un 2 % de incremento, con el fin de llegar al valor real en el 2019.

Considerando para el incremento anterior el costo de materiales a precios unitarios para la cuantificación efectuada para las solicitudes de materiales realizados por las municipalidades indicada por la División de Obras Públicas del MOPT donde por diferencia de un año surge un 1 % de incremento en dichos materiales.

A partir de lo anterior se realiza el presupuesto global aproximado para cada una de las calles en estudio como se indica en el cuadro

40 para pavimento flexible y cuadro 41 para pavimento rígido. Es importante mencionar que la escogencia sobre el tipo de pavimento a seleccionar es de acuerdo con el menor costo esto por efecto del presupuesto disponible. En este caso el pavimento a escoger para cada una de las carreteras es el pavimento flexible.

		Monto/km	Monto/Área (\$/m <sup>2</sup> )	Número de Proyectos*
Construcción	Concreto	\$1.147.379,77	\$81,01	2
	Asfalto	\$716.206,81	\$69,92	4
Mejoramiento	Concreto	\$411.932,08	\$56,04	4
	Asfalto	\$191.264,15	\$28,74	18
Mant. Periódico	Concreto	\$181.368,01	\$12,42	1
	Asfalto	\$78.295,76	\$12,32	3
Reconstrucción	Concreto	\$668.860,04	\$53,08	3
	Asfalto	\$149.140,25	\$23,07	3
Rehabilitación	Concreto	-	-	-
	Asfalto	\$129.517,28	\$18,49	4

**Tabla 19.** Monto promedio de los proyectos de carreteras en Costa Rica, según el tipo de trabajo realizado y superficie de ruedo. Fuente: Costos de Carreteras en Costa Rica, LanammeUCR.

<b>Cuadro 40. Presupuesto aproximado usando Pavimento Flexible</b>					
Carretera	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total \$	Precio Total ¢
Calle Portones	km	1.50	\$ 730,530.95	\$ 1,095,796.42	¢ 655,976,610
Calle Nazareth	km	1.25	\$ 730,530.95	\$ 913,163.68	¢ 546,647,175
Calle Loma Linda	km	1.10	\$ 730,530.95	\$ 803,584.04	¢ 481,049,514

Fuente: elaboración propia.

<b>Cuadro 41. Presupuesto aproximado usando Pavimento Rígido</b>					
Carretera	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total \$	Precio Total ¢
Calle Portones	km	1.50	\$ 1,170,327.37	\$ 1,755,491.05	¢ 1,050,889,606
Calle Nazareth	km	1.25	\$ 1,170,327.37	\$ 1,462,909.21	¢ 875,741,338
Calle Loma Linda	km	1.10	\$ 1,170,327.37	\$ 1,287,360.10	¢ 770,652,378

Fuente: elaboración propia.

# Análisis de los Resultados

Para la elaboración del levantamiento topográfico se utilizó la herramienta de Google Earth Pro donde se generaron curvas de nivel y se determinan los puntos por donde pasarán las carreteras en estudio, esto, con el fin de elaborar el proyecto propuesto, pero a un nivel de anteproyecto, ya que presenta errores de altimetría y planimetría.

El diseño vial está compuesto por una serie de pasos, por lo que se da una secuencia lógica para su elaboración. En el diseño, los datos acerca de los flujos de tránsito que se presentan en las zonas son sumamente importantes, por esto se realiza un conteo manual vehicular en las calles propuestas considerando 12 horas del flujo vehicular presente en la zona de 6:00 am a 6:00 pm, con el fin de obtener el valor promedio de vehículos que transitan por estas carreteras durante dos días en cada una de las calles en estudio.

Para calle Portones se obtuvo un TPDa de 1792 vehículos diarios, en calle Nazareth se presentó un TPDa de 5067 vehículos diarios y para calle Loma Linda esta última muy poco transitada con un TPDa de 53 vehículos diarios. Así mismo, se realizó una visita al sitio para medir la longitud de cada una de las calles y sus derechos de vía, con esto se determinó que calle Portones tiene una longitud de 1.50 km con un derecho de vía de 12.50 m. En calle Nazareth se da una longitud de 1.25 km con un derecho de vía de 12.50 m, mientras que calle Loma Linda presenta una longitud de 1.10 km con un derecho de vía de 10.00 m. Como los derechos de vía para calle Loma Linda es tan estrecho, no se considera el espacio para espaldones. Mientras que para calle Portones y Calle Nazareth si se considera la utilización de espaldones estos a ambos lados de la vía con un ancho de 0.50 m.

Una vez determinada la cantidad de vehículos, es necesario escoger el periodo de diseño, esto según diversos factores que afecten

la zona. Para las tres calles se considera un periodo de diseño de veinte años, se toma en cuenta que son zonas colectoras suburbanas y troncales rurales que pueden presentar cambios en el crecimiento demográfico o en las actividades económicas.

Para el diseño geométrico de las carreteras se cumplen los parámetros establecidas por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, por lo que se escogieron los niveles de servicio para las diferentes calles. Por ejemplo, para calle Portones y calle Loma Linda se asignó un valor de D, lo que indica que la vía tiene un flujo inestable por lo que los conductores tienen poca libertad para maniobrar. Para calle Nazareth se escogió un valor de C lo que muestra que se mantiene en una zona estable, pero los conductores sienten restricciones en la libertad para escoger la velocidad.

A partir de esto se indican las velocidades de diseño a utilizar, según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales son de 60 km/h y 70 km/h.

Al realizar un sondeo en la población sobre sus necesidades, se escogió una velocidad de diseño de 40 km/h para calle Portones y calle Loma Linda y 50 km/h para calle Nazareth esto, con el fin de brindar seguridad entre la población, para que estos lugares no sean transitados a altas velocidades. A partir de esto se diseñan los alineamientos horizontales y verticales.

En el diseño horizontal se trabajó con radios de giro para las curvas de 55.0 m y 90.0 m como mínimos; esto respeta las velocidades propuestas. Del mismo modo, se verificó que se cumpliera con las distancias de visibilidad y paradas permitidas. Los anchos de carril se establecieron según una distribución del derecho de vía que se presenta en cada una de las

carreteras, en el caso de calle Portones y calle Nazareth el ancho de carril es de 3.65 m, mientras que para calle Loma Linda el ancho de carril es de 3.30 m aproximadamente, además, se considera una pendiente de bombeo para los carriles de 2.50%.

El alineamiento vertical presenta curvas convexas y cóncavas. Tomando en cuenta también las normas establecidas por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales se calcularon las longitudes mínimas para las curvaturas verticales para cada una de las calles, donde para calle portones las longitudes mínimas permitidas van desde los 3.0 m a 33.0 m, en calle Nazareth se presentan longitudes mínimas desde 0.2 m a 6.0 m; mientras que para calle Loma Linda los valores van desde los 8.5 m a 44.0 m.

Por lo anterior, se realiza una verificación de que las longitudes que se generaron para las curvas verticales de cada una de las calles y que cumplan con sus longitudes mínimas establecidas. Por lo que para calle Portones se obtuvieron valores que van desde 6.5 m a 150.0 m, en calle Nazareth de 10.0 m a 47.8 m y para calle Loma Linda se generan longitudes mínimas desde los 33.2 m a 150.0 m, por lo que cumplen con las longitudes mínimas calculadas. Estas consideraciones de diseño buscan incrementar la seguridad del conductor al circular por la vía.

Se realizaron los cálculos sobre el movimiento de tierra, donde para calle Portones se presentó un volumen de 2089.73 m<sup>3</sup> en el material de corte y 2070.14 m<sup>3</sup> en el material de relleno, en calle Nazareth se presentó un volumen de 1082.77 m<sup>3</sup> en el material de corte y 1088.57 m<sup>3</sup> para el material de relleno, mientras que para calle Loma Linda se obtuvo un volumen de 1597.67 m<sup>3</sup> en el material de relleno y 1600.50 m<sup>3</sup> para el material de corte. Respecto a lo anterior, la cantidad de material de relleno y material de corte para cada una de las carreteras es similar, por lo que se indica que sería un diseño balanceado.

Para el diseño de pavimento se emplea la metodología AASHTO 1993 y uso del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, para las diferentes calles se generaron diseños de pavimento flexible y pavimento rígido.

Para determinar el CBR de la subrasante

se analizó mediante un informe donde se describen las capas de la estructura de pavimento existente donde se indicaba la zona de San Rafael de Alajuela, donde se encuentran ubicadas las calles en estudio, en el cual se desarrolló una descripción de las capas de la estructura del pavimento existente en el sitio. Se presentó una clasificación del material, según las AASHTO de A-7-6, a partir de esto se escoge un valor de CBR de 3% para la subrasante, de acuerdo con la clasificación del suelo en función de la subrasante.

En el diseño de pavimento flexible se consideró un nivel de servicio inicial de 4.2 y un nivel de servicio terminal de 2.0 para este último se determinaron las vías como calles y arterias menores. A partir de esto y del tránsito promedio diario establecido para cada una de las calles, se determinaron los ejes equivalentes de diseño para cada carretera, para este cálculo no se consideran las motocicletas que transitan en la vía. Para calle Portones el ESAL'S de diseño es de 4.9 millones, en calle Nazareth se obtuvo un ESAL'S de diseño de 5.4 millones; mientras que en calle Loma Linda se presentó un ESAL'S de diseño de 0.057 millones.

Se determinaron las características de los materiales para usar, se escogieron de acuerdo con la calidad, por ejemplo, para subbase se indicó un CBR - 50, en la base granular se escoge un CBR - 100 y para la capa asfáltica se propuso una mezcla tipo convencional. Estos parámetros se eligieron porque son más fáciles de encontrar en el mercado costarricense.

A partir de lo anterior se proponen los siguientes espesores de las diferentes capas que conforman el diseño de pavimento flexible. Por ejemplo, para calle Portones la capa asfáltica tiene un espesor de 16.0 cm, la base granular presenta un espesor de 15.0 cm y la subbase con un espesor de 25.0 cm. En calle Nazareth la capa asfáltica tiene un espesor de 16.5 cm, la base granular presenta un espesor de 15.0 cm y la subbase con un espesor de 25.5 cm. Por último, para calle Loma Linda se obtuvo que para la capa asfáltica tiene un espesor de 8.5 cm, la base granular presenta un espesor de 10.0 cm y la subbase con un espesor de 13.5 cm.

En el diseño de pavimento rígido, se consideró un nivel de servicio inicial de 4.5 y un nivel de servicio terminal de 2.0. A partir de esto y

del tránsito promedio diario establecido para cada una de las calles, se determinaron los ejes equivalentes de diseño para cada carretera, para este cálculo no se consideran las motocicletas que transitan en la vía. Por lo tanto, para calle Portones el ESAL'S de diseño es de 5.3 millones, en calle Nazareth se obtuvo un ESAL'S de diseño de 6.7 millones, mientras que en calle Loma Linda se presentó un ESAL'S de diseño de 0.059 millones aproximadamente.

Seguidamente, se proponen los siguientes espesores de las diferentes capas que conforman el diseño de pavimento rígido. Por ejemplo, para calle Portones la losa de concreto tiene un espesor de 23.0 cm y la subbase presenta un espesor de 25.4 cm. En calle Nazareth para la losa de concreto se obtuvo un espesor de 24.0 cm y la subbase indica un espesor de 25.4 cm. Por último, para calle Loma Linda se generó un espesor en la losa de concreto de 12.7 cm y para la subbase se presenta un espesor de 25.4 cm.

Se recomiendan las siguientes dovelas para los diferentes espesores de losas con un espaciamiento de 30.0 cm (12 in) entre ellas; para la losa de concreto de 23.0 cm se propone utilizar una varilla # 9 (28.58 mm); para la losa de concreto de 25.4 cm se propone usar una varilla # 10 (31.80 mm); mientras que para la losa de concreto de 12.7 cm se propone usar una varilla # 5 (15.90 mm).

Seguidamente se recomienda usar varillas # 4 (12.70 mm) para el acero de amarre longitudinal; a partir de esto se considera tomar en cuenta la distancia al borde libre as cercano por lo que para calle Portones y calle Nazareth es de 7.3 m; mientras que para calle Loma Linda es de 6.6 m, donde se obtienen los siguientes espaciamientos máximos para los diferentes espesores de las losas, para la losa de concreto de 23.0 cm se propone 45.0 cm; para la losa de concreto de 25.4 cm se propone 40.0 cm; mientras que para la losa de concreto de 12.7 cm se propone 65.0 cm aproximadamente.

Para el diseño hidrológico e hidráulico se emplea el uso del método racional. Para la escogencia de las áreas de influencia se utilizaron hojas cartográficas en especial la hoja cartográfica ABRA, pero también se usó la herramienta Google Earth Pro, ya que es más eficiente para conocer la determinación de la dirección del flujo y presenta

una mayor facilidad para la determinación de las cuencas, al hacer una verificación con las curvas de nivel que se muestran en la hoja cartográfica.

Uno de los factores que se encuentra en el diseño hidrológico es la intensidad de lluvia que se presenta en las zonas de estudio, para esto, se utilizó un monograma que indica la intensidad de la lluvia en las zonas de Alajuela, San José y Heredia, para un periodo de retorno para las carreteras de 35 años.

En la asignación de las alcantarillas se escogió un espaciamiento entre estas que va desde los 200 m a 300 m. Para calle Portones las alcantarillas obtuvieron valores de diámetro entre los 0.50 m y 0.75 m, mientras que en calle Nazareth su obtuvieron diámetros que van desde los 0.65 m a los 0.85 m. Por último, para calle Loma Linda los diámetros están dentro de 0.55 m a 0.80 m aproximadamente.

Para la propuesta de cunetas se establece una sección tipo triangular esto, según el Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros. Para calle portones se proponen dimensiones de 50.0 cm de ancho con una profundidad 35.0 cm y otra de una profundidad de 25.0 cm manteniendo el mismo ancho. Para calle Nazareth se proponen dimensiones de 50.0 cm de ancho con una profundidad 30.0 cm y otra profundidad de 35.0 cm manteniendo el mismo ancho. En calle Loma Linda se proponen dimensiones de 50.0 cm de ancho con profundidades variadas, con valores de 25.0 cm, 30.0 cm y 35.0 cm respectivamente.

Se propone utilizar aceras que cumplan con el ancho mínimo que establece la Ley 7600 en Costa Rica, por lo que se consideró para calle Portones y calle Nazareth usar un ancho de 1.50 m con un espesor de 0.10 m y un concreto con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para calle Loma Linda se considera un ancho de acera de 1.20 m con un espesor de 0.10 m y un concreto con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

La determinación del presupuesto para las calles propuestas se hace de manera iterativa, se considera una investigación realizada por el LanammeUCR ("Costo de carreteras en Costa Rica, Picado"), en la que se establece un precio por kilómetro para la construcción de carreteras en Costa Rica. Se toma en cuenta el tipo de la

superficie de ruedo y el tipo de trabajo realizado, a partir de esto y por medio de un análisis acerca del costo para las carreteras, se observó que es más económico construir las vías utilizando un pavimento flexible, ya que se presenta una variación importante el en precio final en comparación con el diseño de pavimento rígido.

En este caso se considera utilizar el diseño de pavimento flexible ya que presenta las siguientes ventajas en comparación con el pavimento rígido; menor costo de inversión, mayor facilidad de rehabilitación / reconstrucción y mayor facilidad para trabajos diferidos.



# Conclusiones

- a) Por medio de los conteos vehiculares realizados en cada una de las carreteras, se logró determinar el tránsito promedio diario para calle Portones de 1792 vehículos diarios, en calle Nazareth se presentaron 5067 vehículos diarios y para calle Loma Linda 53 vehículos diarios. Realizando conteos manuales y un horario de 6:00 am a 6:00 pm durante dos días, considerando 12 horas diarias donde se presentó mayor movilidad vial en las zonas.
- b) Según el tránsito promedio diario anual, se establecieron las clasificaciones de las carreteras por lo que en calle Portones y calle Loma Linda es una carretera tipo colectoras suburbana, mientras que calle Nazareth se clasifica como carretera tipo troncal rural, esto según el rango establecido por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.
- c) En la realización del levantamiento topográfico de cada una de las carreteras se usa el *software* Google Earth Pro, importando las coordenadas, elevaciones de la zona y así sus respectivas curvas de nivel para cada una. Tomando esto como un levantamiento topográfico previo, por lo que es de suma importancia realizar un levantamiento topográfico completo.
- d) Las velocidades de diseño se plantearon dependiendo el tipo de zona y las necesidades de la población que se ve afectada, por lo que se establece una velocidad de diseño de 40 km/h para calle Portones y calle Loma Linda, mientras que para calle Nazareth se establece una velocidad de diseño de 50 km/h.
- e) Se emplearon los radios mínimos de giro permitidos, según las velocidades de diseño con un peralte máximo del 6 %, como lo indica el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.
- f) Se consideraron anchos de espaldones para calle Portones y calle Nazareth de 0.50 m; mientras que en calle Loma Linda no se consideró el uso de espaldón, ya que el derecho de vía en la carretera es muy reducido, pero se establecieron anchos de aceras para cada una de las calles, por ejemplo; para calle Nazareth y calle Portones de 1.5 m. mientras que para calle Loma Linda de 1.2 m. Cumpliendo con el mínimo de ancho para aceras que establece la Ley 7600 en Costa Rica.
- g) Se calcularon las cantidades pertinentes al material del movimiento de tierras considerando material de corte y relleno.
- h) En el cálculo de los ejes equivalentes de carga para los diferentes diseños de pavimentos, de acuerdo con el tránsito promedio diario no se consideran las motocicletas que transitan por la vía.
- i) Para determinar el valor de CBR de la zona se consideró un informe donde se describen las capas de la estructura de pavimento existente, el cual mostraba la clasificación AASHTO de la subrasante en la zona, la cual es A-7-6, por lo que, se considera usar un CBR de 3%. Es de gran importancia realizar un estudio de suelo actualizado para conocer el valor exacto de CBR que presenta la subrasante.
- j) Para el diseño de pavimento flexible se usaron valores de CBR para subrasante de 3 %, para base de 100 % y subbase de 50 %.

- k) En el diseño de pavimento rígido se propusieron espesores de losa de 25.4 cm y un módulo resiliente de la subbase de 15000 psi respectivamente.
- l) Se obtuvieron los diferentes espesores para las diferentes capas estructurales en el diseño de pavimento flexible, para calle Portones se presenta lo siguiente: capa asfáltica de 16.0 cm, la base de 15.0 cm y la subbase es de 25.0 cm. Para calle Nazareth se presenta lo siguiente: capa asfáltica de 16.5 cm, la base de 15.0 cm y la subbase es de 25.5 cm. Mientras que para calle Loma Linda se presenta lo siguiente: capa asfáltica de 8.5 cm, la base de 10.0 cm y la subbase es de 13.5 cm.
- m) Se obtuvieron los diferentes espesores para las diferentes capas estructurales en el diseño de pavimento rígido, para calle Portones se presenta lo siguiente: losa de concreto de 22.61 cm, la subbase de 25.4 cm. Para calle Nazareth se presenta lo siguiente: losa de concreto de 23.37 cm, la subbase de 25.4 cm. Mientras que para calle Loma Linda se presenta lo siguiente: losa de concreto de 12.7 cm, la subbase de 25.4 cm.
- n) Se establecieron las áreas de influencia respectivas para determinar los caudales empleando el *software* de Google Earth Pro para el cálculo de las dimensiones en las estructuras de drenaje que se usarán.
- o) Para las cunetas se propusieron anchos de 0.50 m para calle Portones, calle Nazareth y calle Loma Linda, considerando a ambos lados de la vía. Para esto se empleó el método racional en el cálculo de los caudales y se consideran cunetas de forma triangular.
- p) Para determinar el dimensionamiento de las alcantarillas, se emplea el uso del método racional para el cálculo de los caudales, a partir de esto se realiza una comprobación para el diámetro propuesto para las alcantarillas considerando la relación Y/D y que esta se encuentre entre un rango de 0.62 – 0.76.
- q) Para calle Portones se determinaron diámetros de alcantarillas de 0.50 m, 0.60 m y 0.75 m, considerando en esta vía el uso de siete alcantarillas en el diseño de drenajes.
- r) Para calle Nazareth se establecieron diámetros de alcantarillas de 0.65 m, 0.70 m, 0.75 m y 0.85 m, se tomó en cuenta la longitud de la vía y se propuso el uso de siete alcantarillas para el diseño de drenajes.
- s) Para calle Loma Linda se determinaron diámetros de alcantarillas de 0.55 m, 0.70 m, 0.80 m, considerando a lo largo de la vía el uso de cinco alcantarillas para el diseño de drenajes.
- t) A partir del tipo de trabajo a realizar y según la superficie de rueda a usar se tiene que para el diseño de pavimento flexible se obtuvieron los siguientes costos aproximados para las carreteras en estudio. Para calle Portones 656 millones de colones, para calle Nazareth 547 millones de colones y para calle Loma Linda 482 millones de colones.
- u) Considerando el tipo de trabajo a realizar y la superficie de rueda a usar se tiene que para el diseño de pavimento rígido se obtuvieron los siguientes costos aproximados para las carreteras en estudio. Para calle Portones 1051 millones de colones, para calle Nazareth 876 millones de colones y para calle Loma Linda 771 millones de colones.
- v) Se escogió el diseño de pavimento flexible, ya que presenta un menor costo de inversión en comparación con el pavimento rígido, según el análisis propuesto. También considerando que tiene ventajas en una mayor facilidad de rehabilitación / reconstrucción y mayor facilidad para trabajos diferidos.

# Recomendaciones

- a) Es de suma importancia que la municipalidad vele porque los derechos de vía de las carreteras se cumplan y así evitar encontrarse derechos de vía que han sido invadidos por la población y así evitar el proceso de expropiación.
- b) Procurar que se les dé un mantenimiento adecuado a las estructuras de drenaje, con el fin de garantizar el buen funcionamiento de estas.
- c) Considerar la realización de un inventario que indique el estado actual de cada una de las carreteras del distrito de San Rafael de Alajuela, con el fin de presentarlo a la municipalidad correspondiente, para tomar medidas en las carreteras que necesitan una intervención urgente.
- d) Es de suma importancia realizar un estudio de suelos en los que se presenten todas las características del terreno en donde estará el proyecto, para saber sobre qué se trabajará y cuáles serán las limitantes que presente el terreno.
- e) Dar un mantenimiento adecuado al pavimento de las carreteras.
- f) Utilizar señalamiento vertical y señalamiento horizontal, con el fin de que se promueva la seguridad en cada una de las carreteras y que se cumpla con las normas de tránsito requeridas.
- g) Para el diseño estructural de pavimento flexible es recomendable realizar un análisis empleando una base estabilizada con cemento con el fin de disminuir el tamaño de la carpeta asfáltica.

# Apéndices

Apéndice 1: Movimiento de tierra para calle Portones.

Apéndice 2: Movimiento de tierra para calle Nazareth.

Apéndice 3: Movimiento de tierra para calle Loma Linda.

Apéndice 4: Parámetros del diseño geométrico.

Apéndice 5: Características de cunetas.

Apéndice 6: Ubicación y características de las cunetas.

Apéndice 7: Características de las alcantarillas.

Apéndice 8: Planta calle Portones.

Apéndice 9: Perfil calle Portones.

Apéndice 10: Planta calle Nazareth.

Apéndice 11: Perfil calle Nazareth.

Apéndice 12: Planta calle Loma Linda.

Apéndice 13: Perfil calle Loma Linda.

Apéndice 14: Sección Típica de la carretera.

## Apéndice 1: Movimiento de Tierra para Calle Portones

<b>Apéndice 1. Algunos volúmenes de corte y relleno para calle Portones</b>						
Station (m)	Fill Area (m <sup>2</sup> )	Cut Area (m <sup>2</sup> )	Fill Volume (m <sup>3</sup> )	Cut Volume (m <sup>3</sup> )	Cumulative Fill Vol (m <sup>3</sup> )	Cumulative Cut Vol (m <sup>3</sup> )
0+000.00	0.00	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00
0+050.00	0.00	2.53	0.01	122.34	0.01	122.34
0+100.00	0.00	2.04	0.01	13.58	0.03	276.30
0+150.00	1.72	0.00	43.07	50.92	43.10	327.22
0+200.00	0.01	1.18	0.14	16.52	74.30	370.40
0+250.00	3.55	0.00	89.09	26.04	163.39	399.33
0+300.00	0.00	2.18	0.00	54.51	252.13	453.85
0+350.00	0.02	0.21	0.41	70.05	252.54	559.42
0+400.00	4.10	0.00	34.57	0.00	352.49	573.65
0+450.00	6.01	0.00	185.68	0.00	644.62	573.65
0+500.00	8.20	0.00	374.30	0.00	1031.68	573.65
0+550.00	0.29	1.15	229.87	28.80	1261.36	802.48
0+600.00	0.00	2.11	0.01	17.77	1266.36	828.83
0+650.00	0.00	1.01	0.00	2.22	1265.51	897.71
0+700.00	0.99	0.09	14.84	13.33	1280.39	920.08
0+750.00	0.00	3.20	21.57	43.83	1330.14	964.01
0+800.00	0.01	0.49	1.24	2.88	1335.99	1012.00
0+850.00	0.00	3.60	0.30	108.78	1338.28	1121.79
0+900.00	0.00	1.28	0.02	109.14	1336.30	1230.93
1+000.00	0.00	1.53	78.36	28.63	1601.65	1285.90
1+050.00	0.00	4.83	0.00	75.15	1601.69	1521.21
1+100.00	1.25	0.06	31.45	124.85	1633.14	1646.06
1+150.00	4.49	0.00	108.30	0.00	1820.22	1648.49
1+200.00	0.87	0.00	82.98	0.00	1888.68	1648.50
1+250.00	0.00	1.18	0.02	21.63	2002.66	1723.23
1+300.00	0.31	0.21	9.14	9.87	2065.41	1741.54
1+350.00	0.00	5.55	0.00	82.89	2070.12	1952.25
1+400.00	0.00	2.57	0.02	137.48	2070.14	2089.73

**Apéndice 1.** Movimiento de tierra para calle Portones. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

## Apéndice 2: Movimiento de Tierra para Calle Nazareth

<b>Apéndice 2. Algunos volúmenes de corte y relleno para calle Nazareth</b>						
Station (m)	Fill Area (m2)	Cut Area (m2)	Fill Volume (m3)	Cut Volume (m3)	Cumulative Fill Vol (m3)	Cumulative Cut Vol (m3)
0+000.00	0.06	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
0+050.00	0.02	0.34	0.13	2.46	1.80	16.58
0+100.00	0.00	3.09	2.24	62.76	4.71	82.88
0+150.00	0.11	0.49	1.63	10.28	7.90	158.66
0+200.00	0.02	0.34	3.16	21.27	11.05	179.93
0+250.00	0.01	1.22	0.56	20.23	12.28	211.54
0+300.00	0.00	3.14	0.32	109.01	12.60	320.55
0+350.00	0.01	1.26	0.29	109.83	12.89	430.38
0+400.00	1.80	0.04	32.51	16.92	47.18	471.94
0+450.00	5.74	0.00	188.52	1.01	235.70	472.95
0+500.00	1.66	0.13	194.27	1.72	640.06	474.89
0+550.00	0.01	2.70	42.19	70.77	682.24	545.45
0+600.00	0.07	2.05	1.52	79.05	683.98	693.97
0+650.00	1.03	1.89	0.16	6.48	685.71	707.08
0+700.00	2.90	0.00	30.43	0.00	841.12	743.73
0+750.00	0.01	1.23	72.78	30.65	913.91	774.37
0+800.00	3.05	0.00	78.73	30.65	990.64	805.02
0+850.00	0.01	1.82	69.51	39.38	1082.09	844.40
0+900.00	0.00	3.14	0.35	123.92	1082.45	966.32
0+950.00	0.01	0.81	0.26	97.19	1082.71	1078.53
1+100.00	0.00	1.73	0.06	10.04	1082.77	1088.57

**Apéndice 2.** Movimiento de tierra para calle Nazareth. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

### Apéndice 3: Movimiento de Tierra para Calle Loma Linda

<b>Apéndice 3. Algunos volúmenes de corte y relleno para calle Loma Linda</b>						
Station (m)	Fill Area (m2)	Cut Area (m2)	Fill Volume (m3)	Cut Volume (m3)	Cumulative Fill Vol (m3)	Cumulative Cut Vol (m3)
0+000.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00
0+050.00	0.00	0.69	0.00	54.17	0.00	54.17
0+100.00	0.18	0.62	5.18	4.58	25.37	89.75
0+150.00	0.00	1.24	4.57	48.81	29.94	116.36
0+200.00	1.09	0.00	1.03	0.00	67.49	145.38
0+250.00	0.00	3.38	0.00	4.47	75.37	242.86
0+300.00	1.37	0.00	12.37	3.08	90.31	301.84
0+350.00	3.55	0.00	47.62	0.00	327.33	304.94
0+400.00	0.00	2.48	85.79	82.11	418.12	367.08
0+450.00	4.11	0.00	62.18	32.67	479.31	458.15
0+500.00	0.01	0.77	0.18	2.89	572.88	472.06
0+550.00	0.00	1.02	0.00	52.98	573.05	530.75
0+600.00	0.00	5.55	0.95	121.84	574.22	711.21
0+650.00	0.00	8.29	0.00	295.89	547.22	1007.10
0+700.00	3.01	0.00	46.71	77.27	620.93	1200.27
0+750.00	12.03	0.00	13.50	0.00	1022.67	1200.27
0+800.00	0.02	1.00	281.85	23.93	1306.57	1224.21
0+850.00	0.00	4.77	0.54	144.24	1307.12	1368.45
0+900.00	1.45	0.00	20.90	39.11	1328.02	1509.43
0+950.00	2.28	0.00	32.58	0.00	1435.55	1509.43
1+000.00	0.54	0.13	14.63	0.62	1584.11	1510.04
1+050.00	0.00	2.71	13.56	70.67	1597.67	1580.91
1+100.00	0.00	1.85	0.00	19.59	1597.67	1600.50

**Apéndice 3.** Movimiento de tierra para calle Loma Linda. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

## Apéndice 4: Parámetros del Diseño Geométrico

### ANCHOS MÍNIMOS DE HOMBROS Y ACERAS

Tipo de Carretera	Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)	
			Internos	Externos		
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	1.2 - 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 - 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 - 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2

\* Solamente con mediana

**Tabla 20.** Anchos mínimos de hombros y aceras. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.

Tasa de Sobre elevación, "e" en (%)	Tipo de Area
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

**Tabla 21.** Tasa de sobre elevación e en (%). Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales.



## Apéndice 5: Características de las Cunetas

Apéndice 5. Características de las cunetas								
Cunetas	Elevación (m)		Área (m <sup>2</sup> )	$\Delta H$ (m)	Distancia (m)	Tc (min)	Intensidad de lluvia (i)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
	Máx	Min						
Calle Portones								
1	834	832	21843	2	210	7.183	179	0.481
2	838	832	24591	6	230	5.227	198	0.599
3	838	831	25349	7	235	5.050	198	0.613
4	835	833	31341	2	275	9.808	171	0.626
5	836	833	27086	3	240	7.169	179	0.526
6	840	836	27272	4	200	5.199	198	0.591
7	843	839	9771	4	250	6.728	198	0.238
Calle Nazareth								
1	882	877	24521.6	5	250	6.174	180	0.544
2	877	871	25392.2	6	316	7.544	180	0.560
3	871	867	22851.2	4	234	6.233	180	0.500
4	867	863	15260.7	4	190	4.900	198	0.365
5	872	870	20692.8	2	224	7.739	179	0.457
Calle Loma Linda								
1	893	889	19188.2	4	265	7.196	179	0.410
2	894	890	24746	4	250	6.728	180	0.510
3	896	884	17057.9	12	200	3.406	198	0.380
4	885	877	26601	8	290	6.115	180	0.535
6	877	876	10694.9	1	75	2.856	198	0.243

**Apéndice 5.** Características de cunetas. Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6: Ubicación y Características de las Cunetas

Apéndice 6. Ubicación y características de las cunetas a usar								
Cunetas	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Estacion Inicial (m)	Estacion Final (m)	Proyección uso de suelo		Área proyectada (m <sup>2</sup> )		Ce
				% Urbanizaciones	% Zona verde			
Calle Portones								
1	0.481	0+000	0+200	90%	10%	19658.30	2184.26	0.44
2	0.599	0+210	0+440	90%	10%	22132.09	2459.12	0.44
3	0.613	0+440	0+675	85%	15%	21546.26	3802.28	0.44
4	0.626	0+675	0+950	60%	40%	18804.70	12536.47	0.42
5	0.526	0+950	1+190	15%	85%	4062.94	23023.32	0.39
6	0.591	1+190	1+390	20%	80%	5454.33	21817.34	0.39
7	0.238	1+390	1+500	90%	10%	8794.32	977.15	0.44
Calle Loma Linda								
1	0.410	0+000	0+265	60%	40%	11512.93	7675.29	0.43
2	0.510	0+265	0+515	25%	75%	6186.50	18559.49	0.41
3	0.380	0+515	0+715	10%	90%	1705.79	15352.13	0.41
4	0.535	0+715	1+005	5%	95%	1330.05	25270.91	0.40
5	0.243	1+005	1+100	25%	75%	2673.71	8021.14	0.41
Calle Nazareth								
1	0.544	0+000	0+250	90%	10%	22069.46	2452.16	0.44
2	0.560	0+250	0+565	85%	15%	21583.33	3808.82	0.44
3	0.500	0+565	0+800	80%	20%	18280.98	4570.25	0.44
4	0.365	0+800	1+000	75%	25%	11445.53	3815.18	0.44
5	0.457	0+000	0+225	90%	10%	18623.56	2069.28	0.44

**Apéndice 6.** Ubicación y Características de las cunetas. Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 7: Características de las Alcantarillas

Apéndice 7. Características de las alcantarillas					
Alcantarilla	Proyección uso de suelo		Área proyectada (m <sup>2</sup> )		Ce
	% Urbanizaciones	% Zona verde			
Calle Portones					
1	90%	10%	48824.80	5424.98	0.44
2	85%	15%	48907.30	8630.70	0.44
3	90%	10%	25828.20	2869.80	0.44
4	90%	10%	26023.10	2891.46	0.44
5	90%	10%	25877.77	2875.31	0.44
6	85%	15%	24644.00	4348.94	0.44
7	15%	85%	2808.09	15912.53	0.39
Calle Loma Linda					
1	15%	85%	10659.25	60402.44	0.41
2	20%	80%	8761.75	35046.98	0.41
3	15%	85%	3593.71	20364.38	0.41
4	10%	90%	7316.44	65847.92	0.41
5	20%	80%	10995.97	43983.87	0.41
Calle Nazareth					
1	95%	5%	76538.69	4028.35	0.45
2	90%	10%	41404.08	4600.45	0.44
3	90%	10%	37494.94	4166.10	0.44
4	20%	80%	12289.87	49159.49	0.40
5	20%	80%	7934.85	31739.38	0.40
6	90%	10%	39138.76	4348.75	0.44
7	90%	10%	34761.07	3862.34	0.44

**Apéndice 7.** Características de las alcantarillas. Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 8: Planta Calle Portones



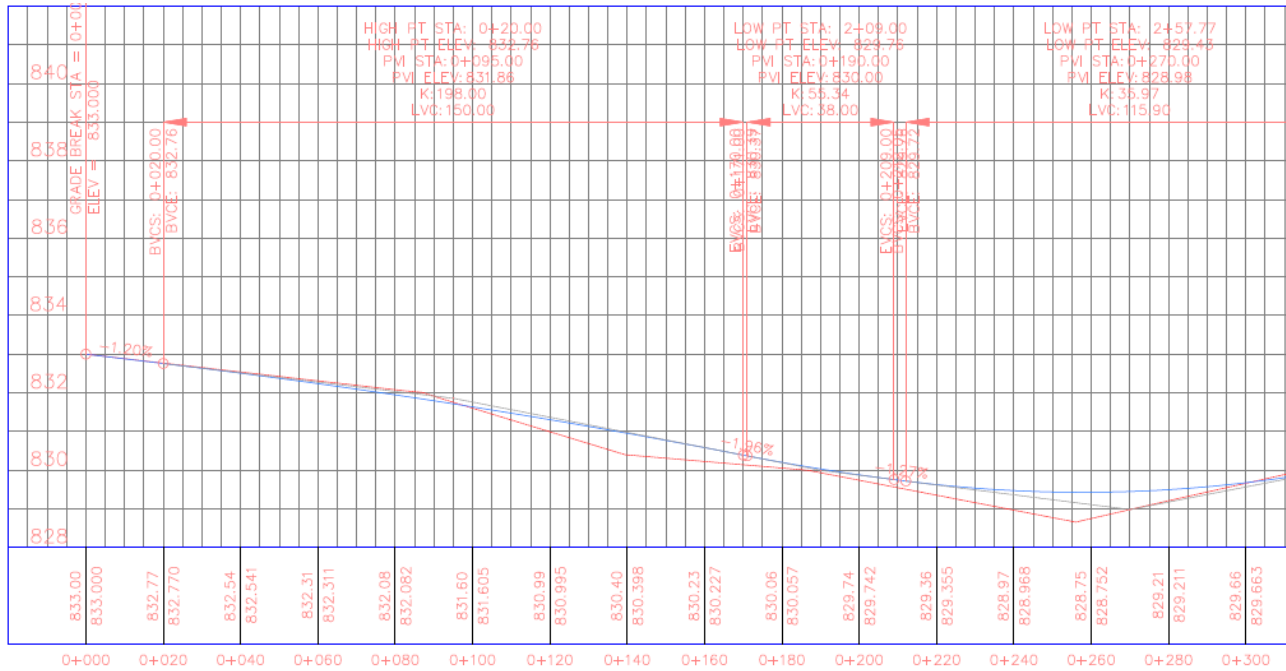
**Apéndice 8.** Planta Calle Portones parte 1 y parte 2. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



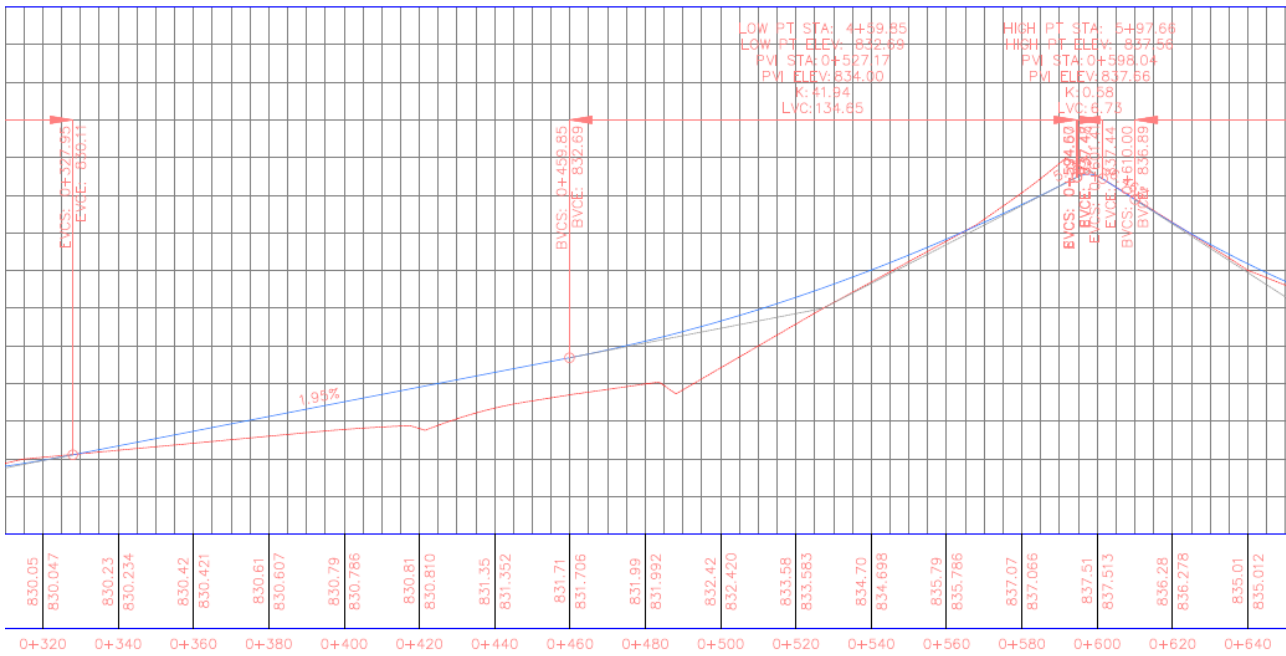


**Apéndice 8.** Planta Calle Portones completa. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

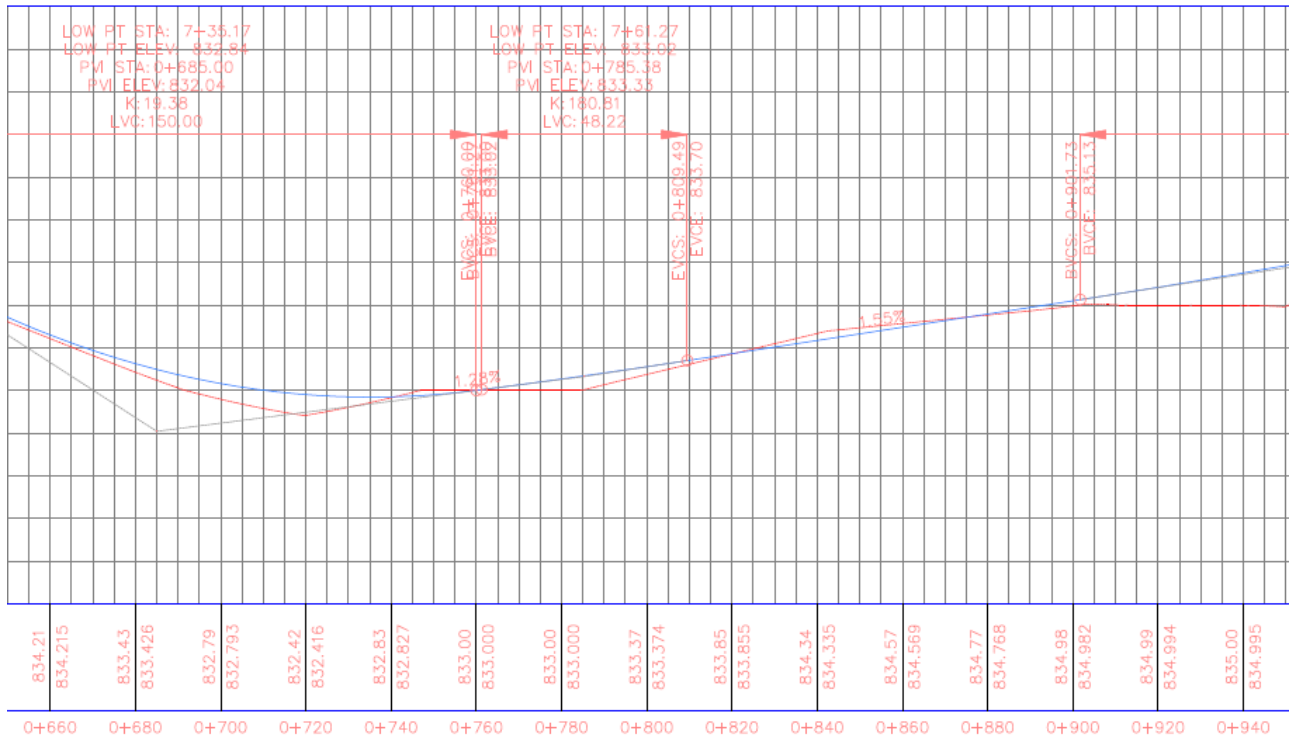
# Apéndice 9: Perfil Calle Portones



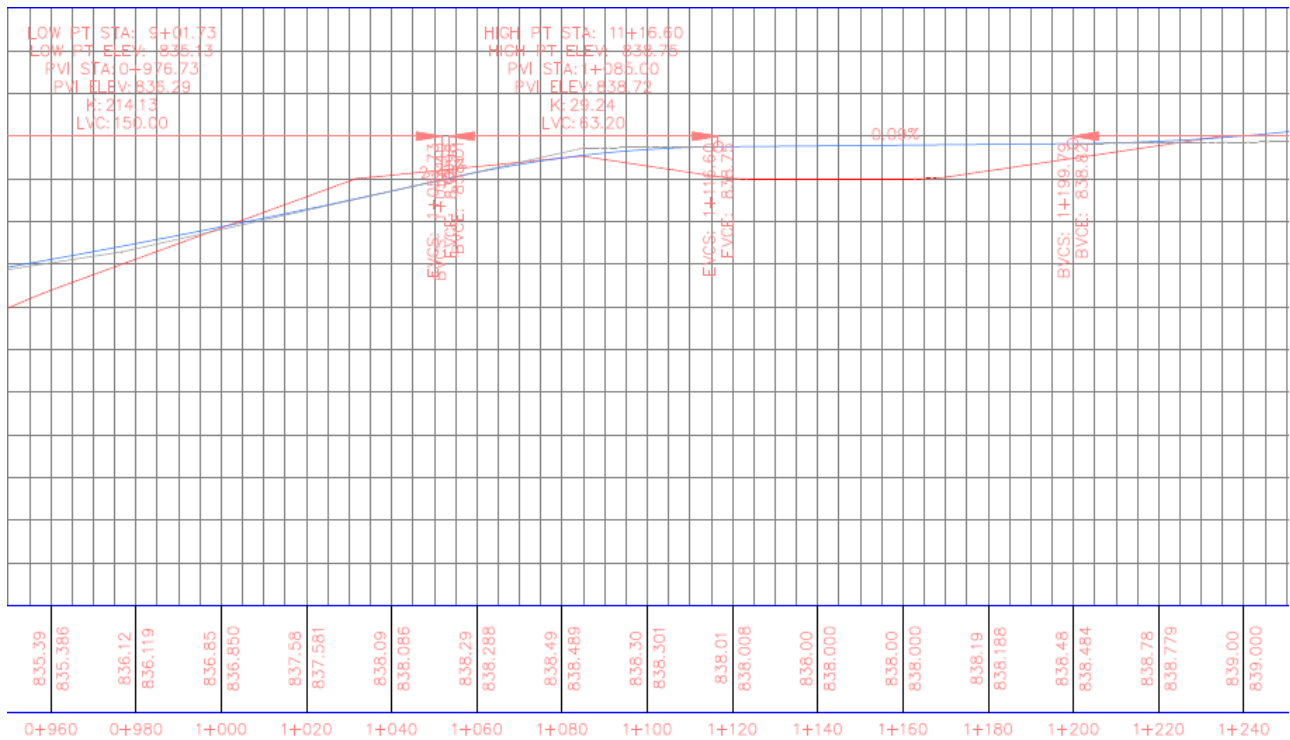
Apéndice 9. Perfil Calle Portones parte 1. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



Apéndice 9. Perfil Calle Portones parte 2. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

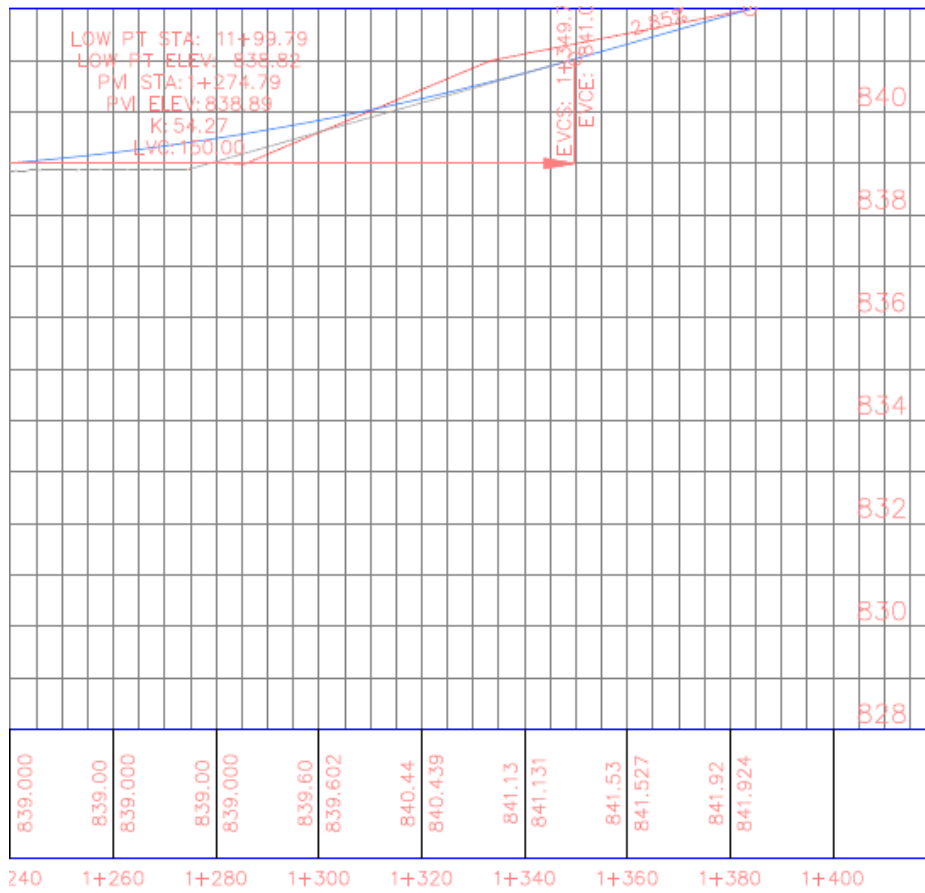


Apéndice 9. Perfil Calle Portones parte 3. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



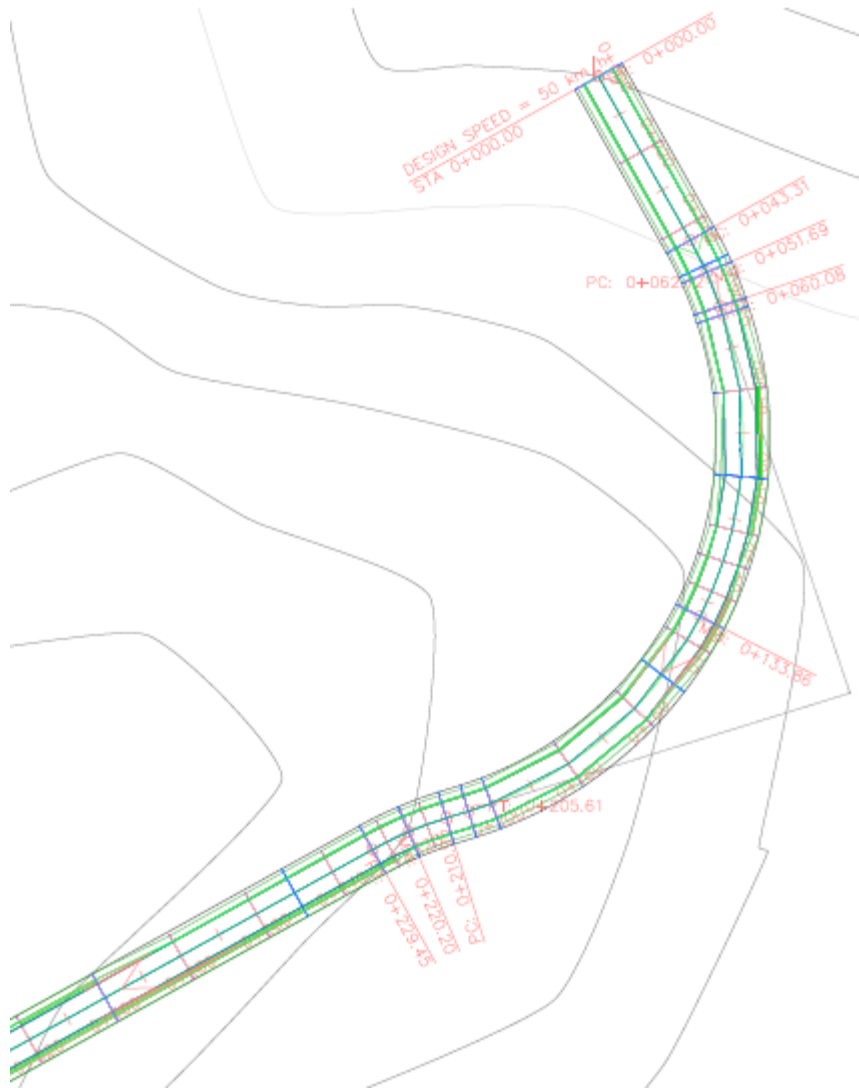
Apéndice 9. Perfil Calle Portones parte 4. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.





**Apéndice 9.** Perfil Calle Portones parte 5. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

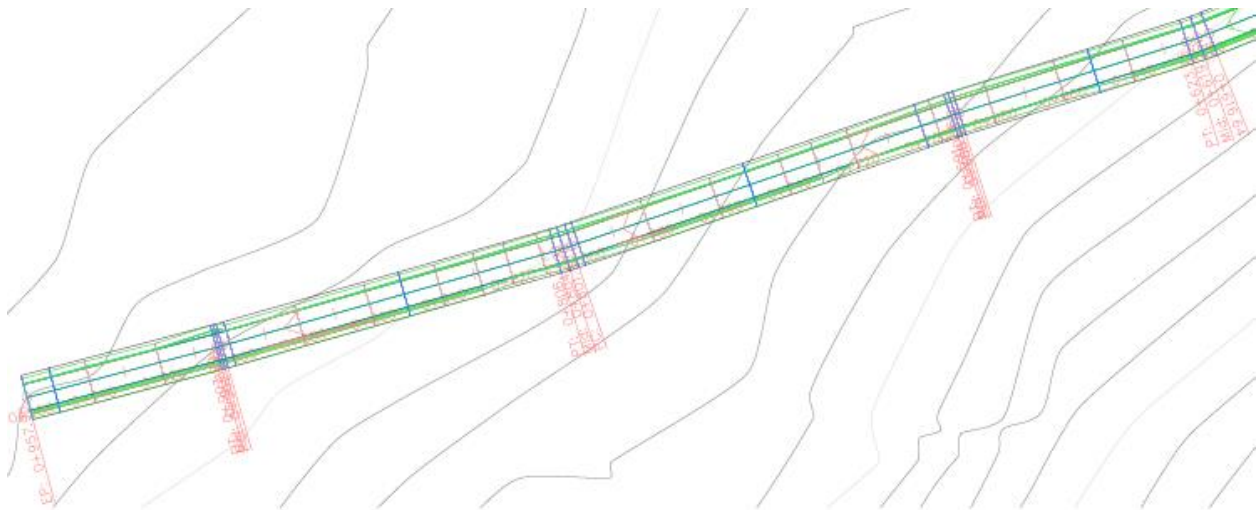
## Apéndice 10: Planta Calle Nazareth



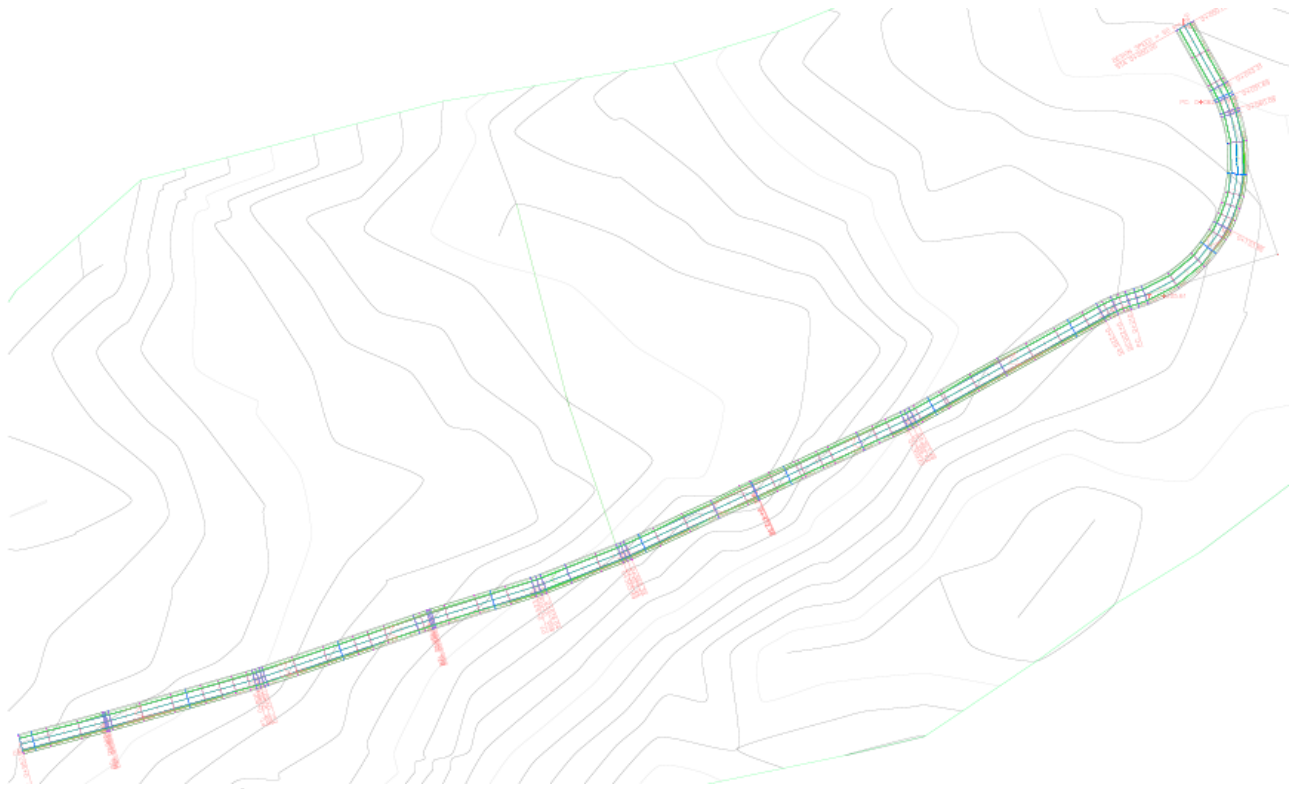
**Apéndice 10.** Planta Calle Nazareth parte 1. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



**Apéndice 10.** Planta Calle Nazareth parte 2. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

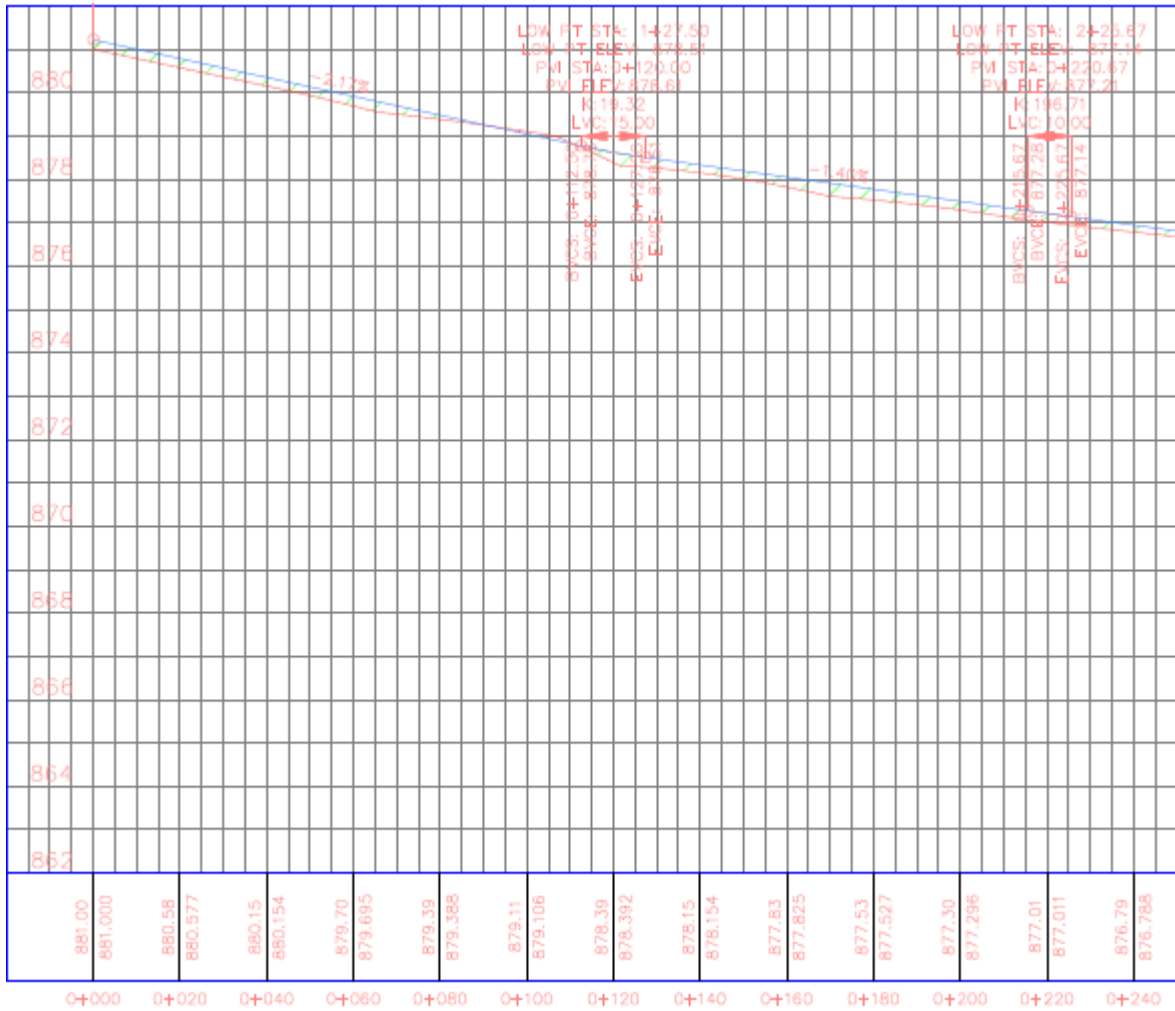


**Apéndice 10.** Planta Calle Nazareth parte 3. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

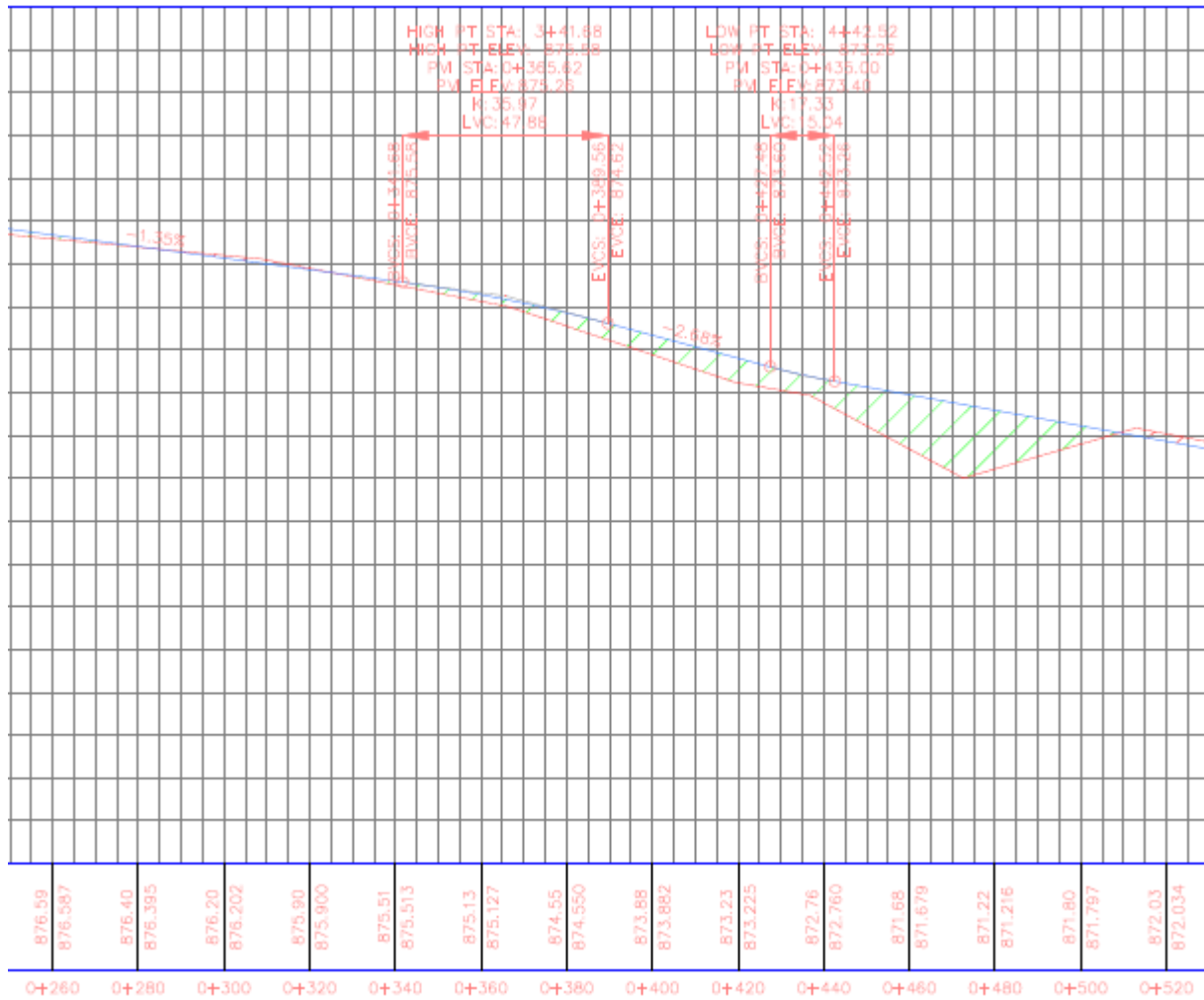


**Apéndice 10.** Planta Calle Nazareth completa. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

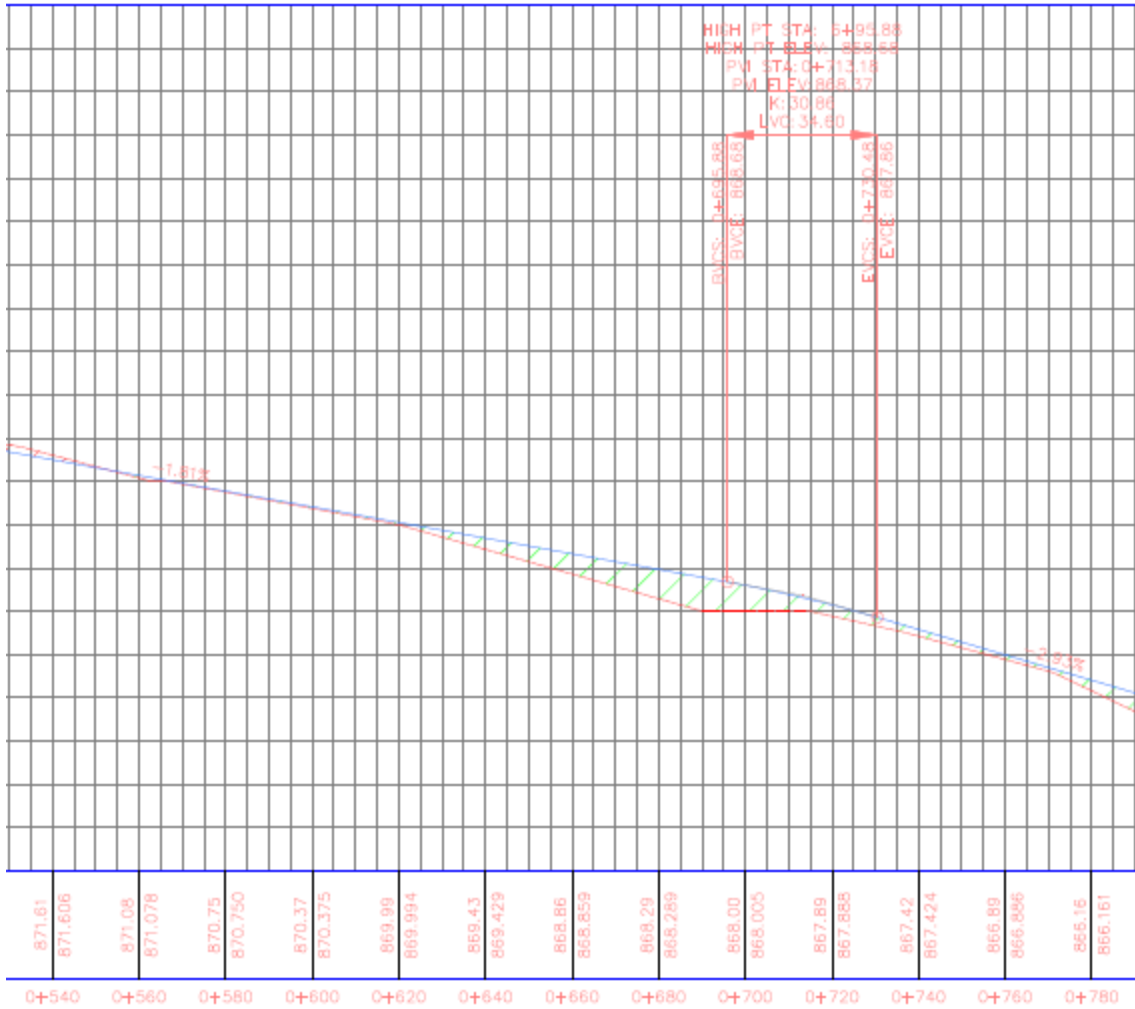
# Apéndice 11: Perfil Calle Nazareth



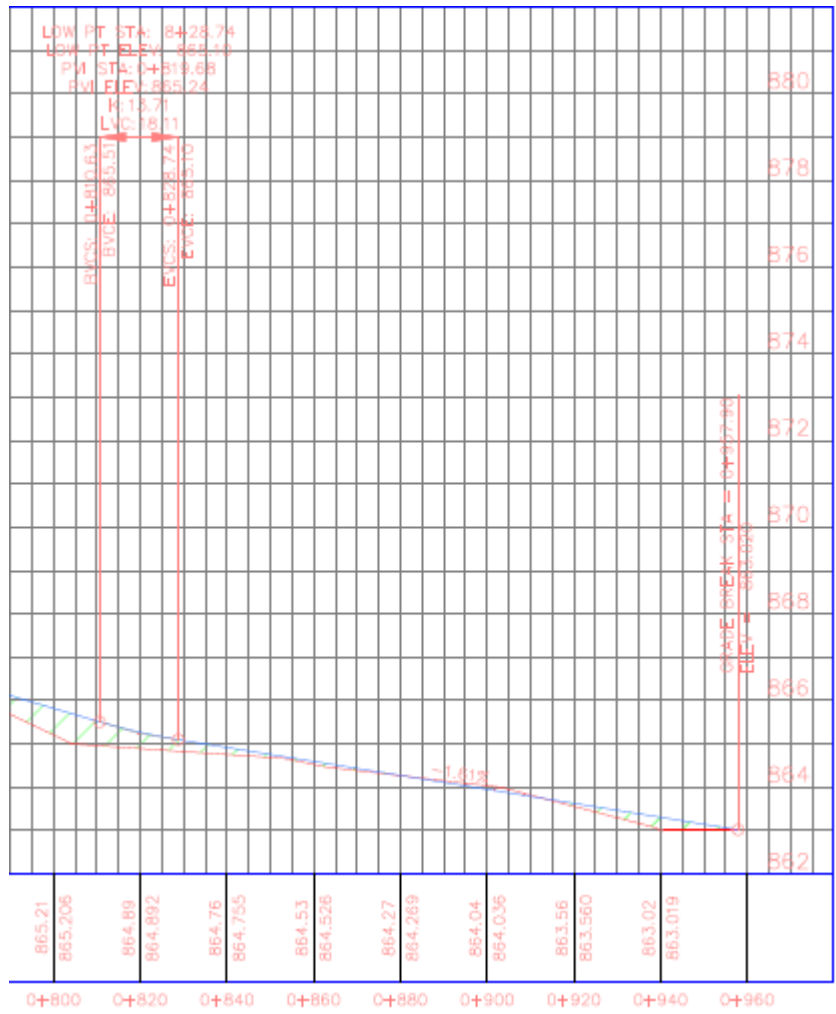
Apéndice 11. Perfil Calle Nazareth parte 1. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



Apéndice 11. Perfil Calle Nazareth parte 2. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



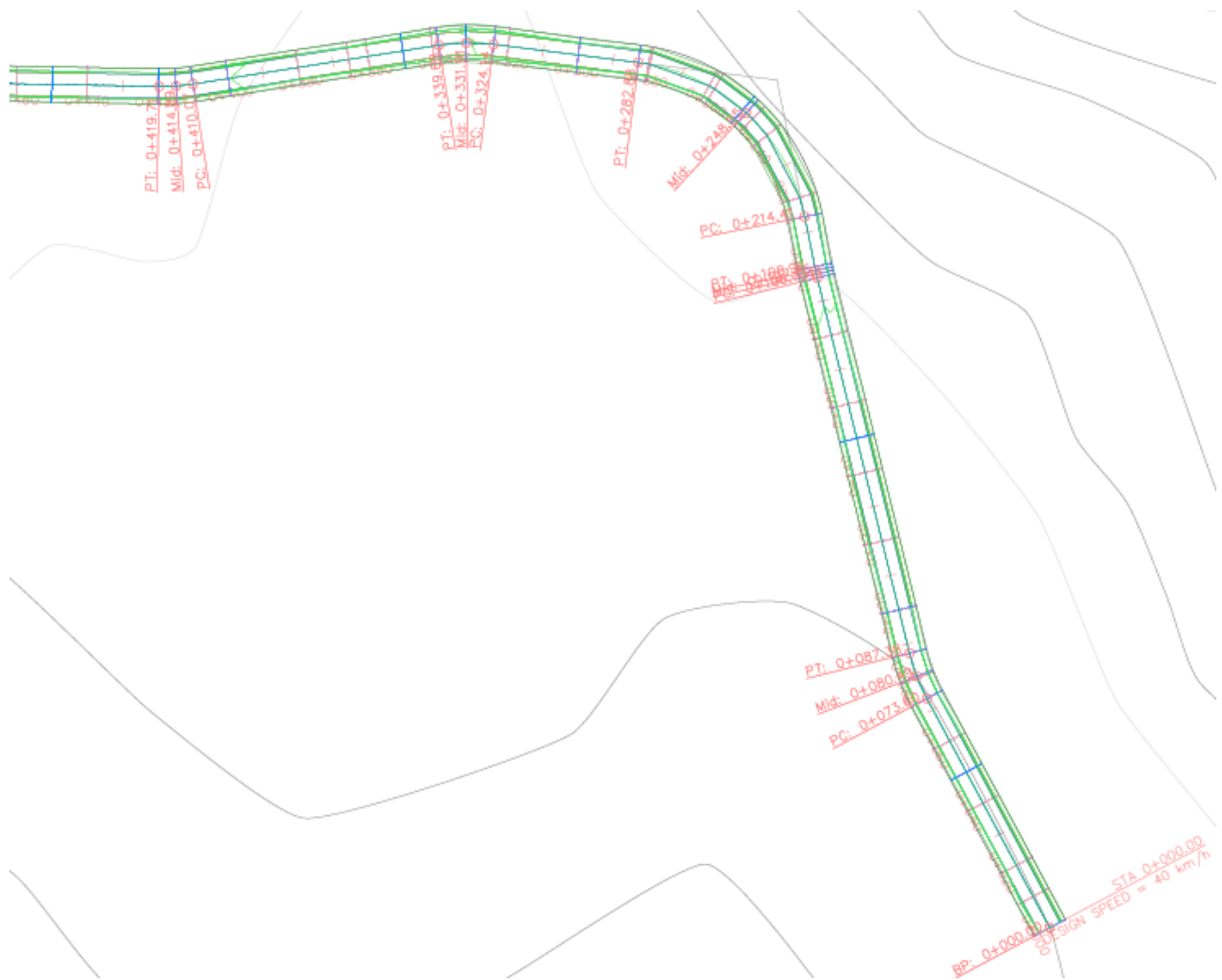
**Apéndice 11.** Perfil Calle Nazareth parte 3. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



**Apéndice 11.** Perfil Calle Nazareth parte 4. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



## Apéndice 12: Planta Calle Loma Linda

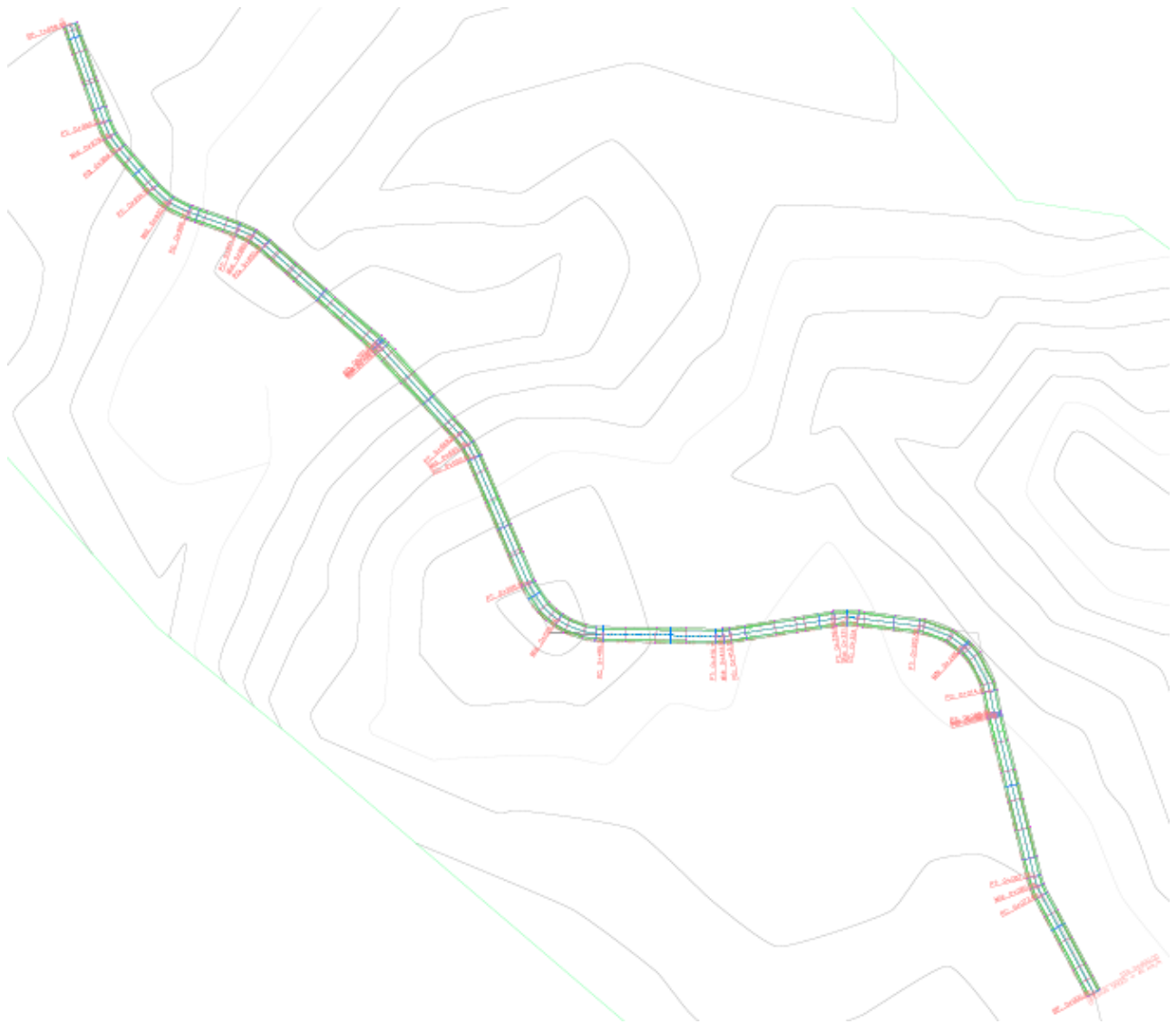


Apéndice 12. Planta Calle Loma Linda parte 1. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.



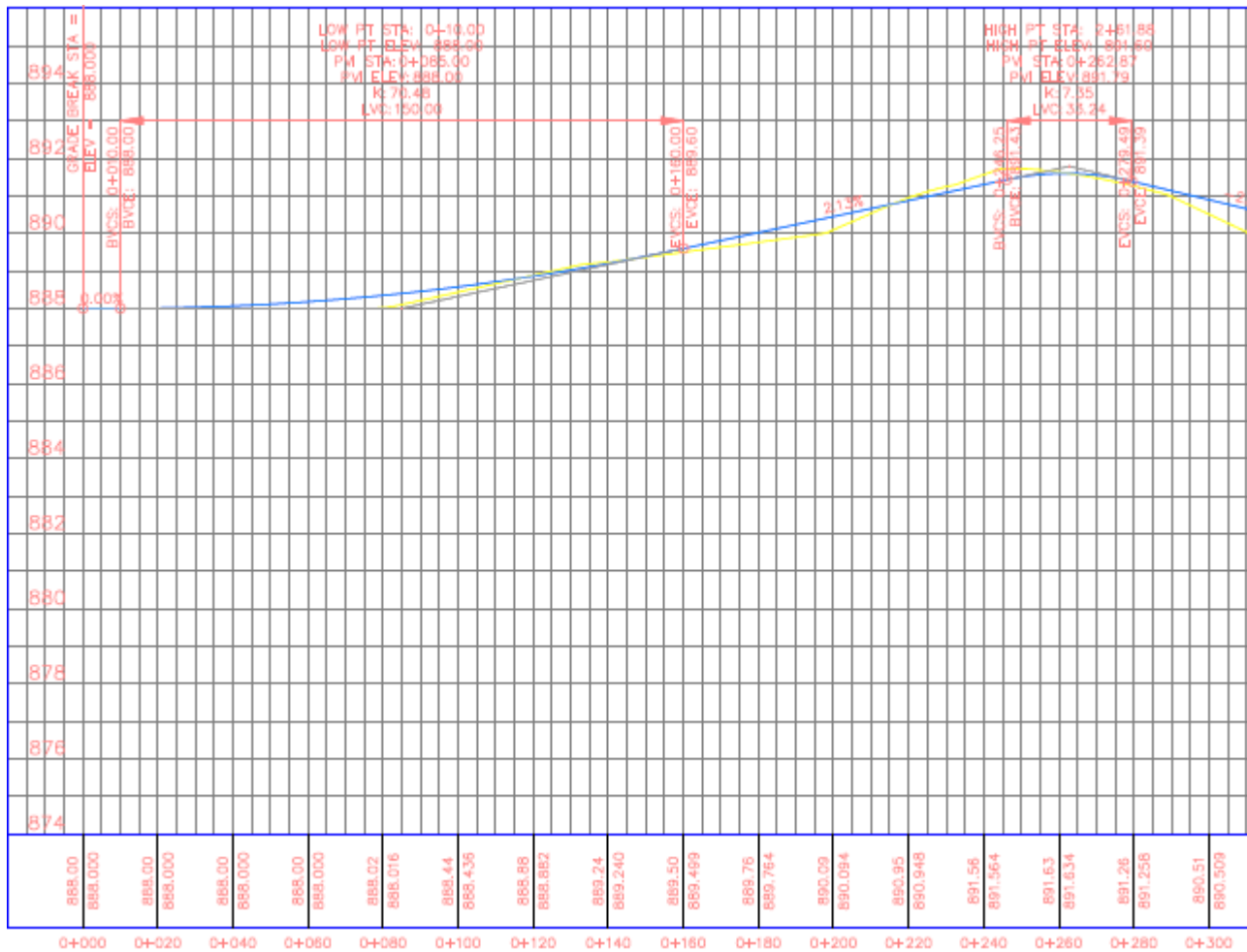


**Apéndice 12.** Planta Calle Loma Linda parte 3. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

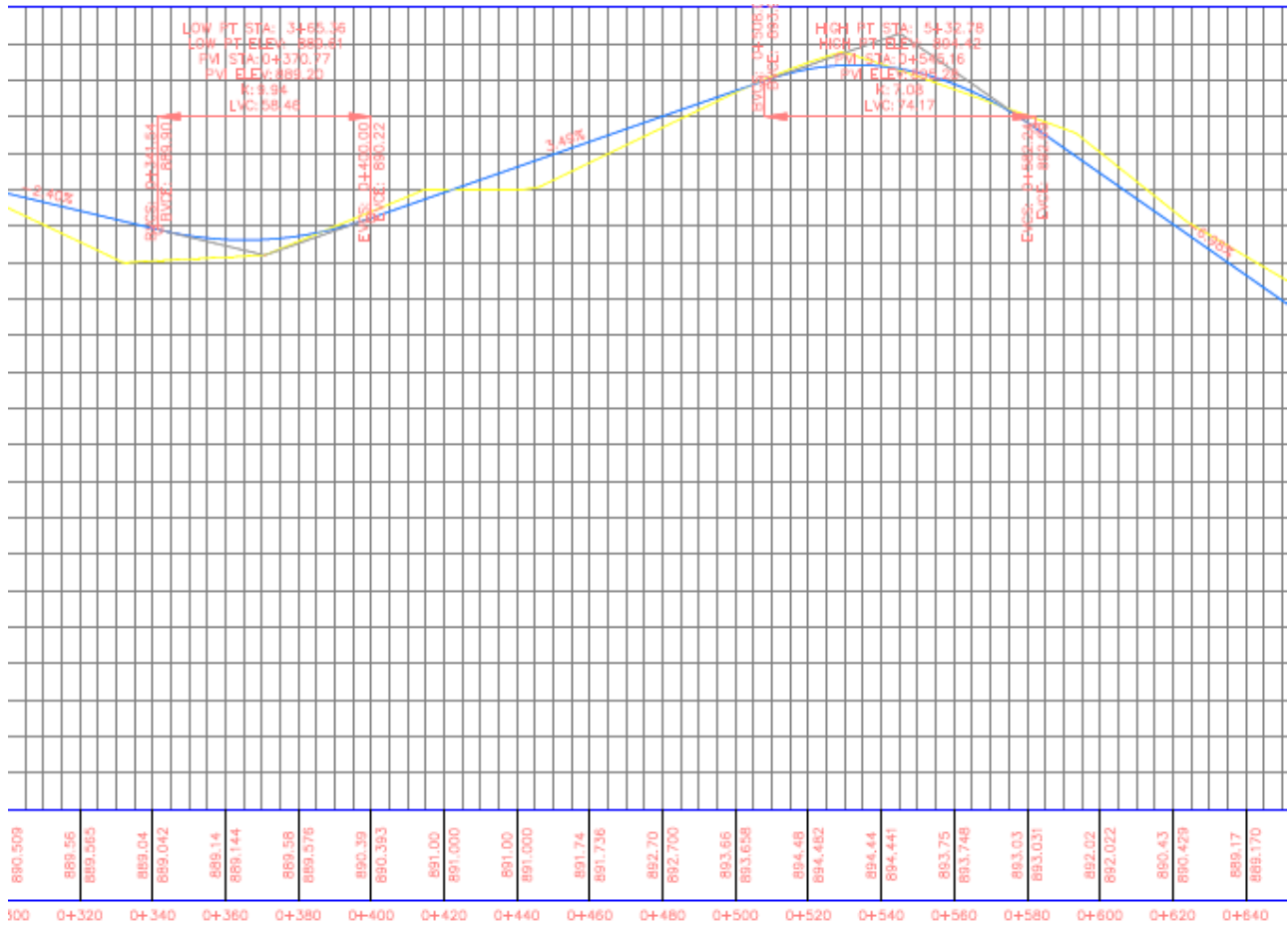


**Apéndice 12.** Planta Calle Loma Linda completa. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

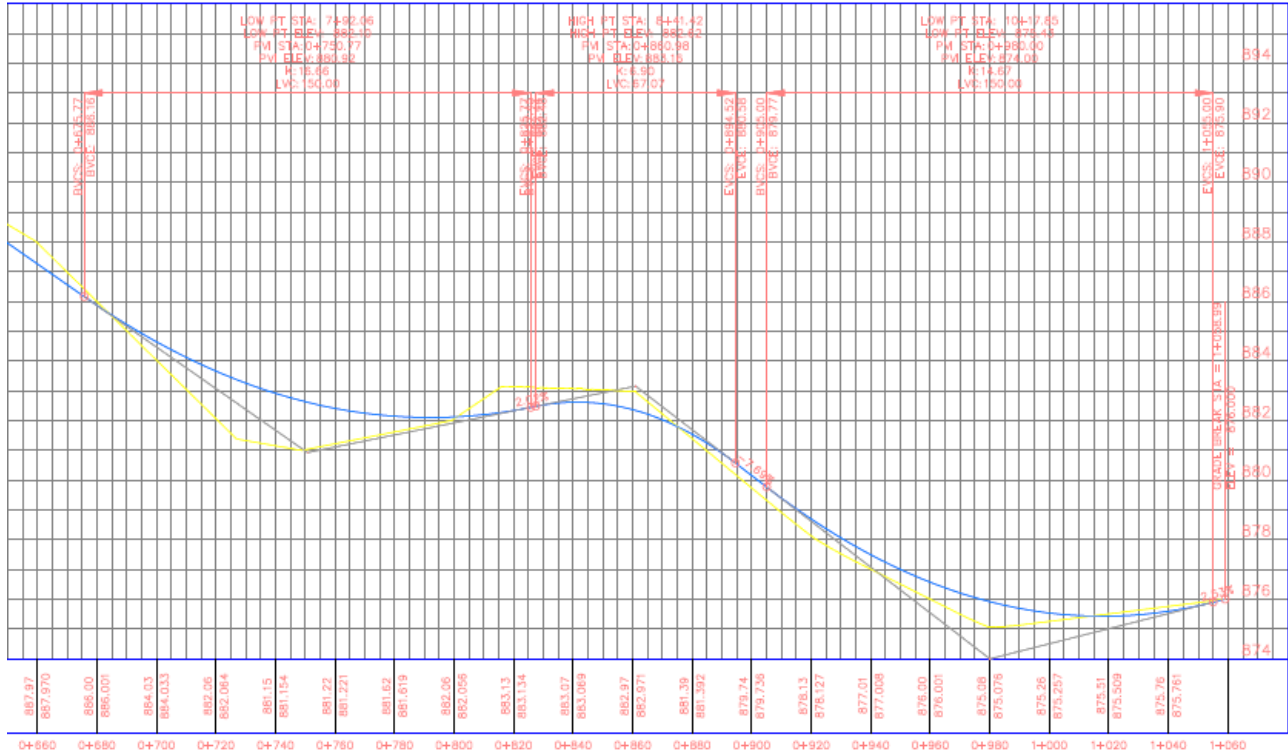
# Apéndice 13: Perfil Calle Loma Linda



Apéndice 13. Perfil Calle Loma Linda parte 1. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

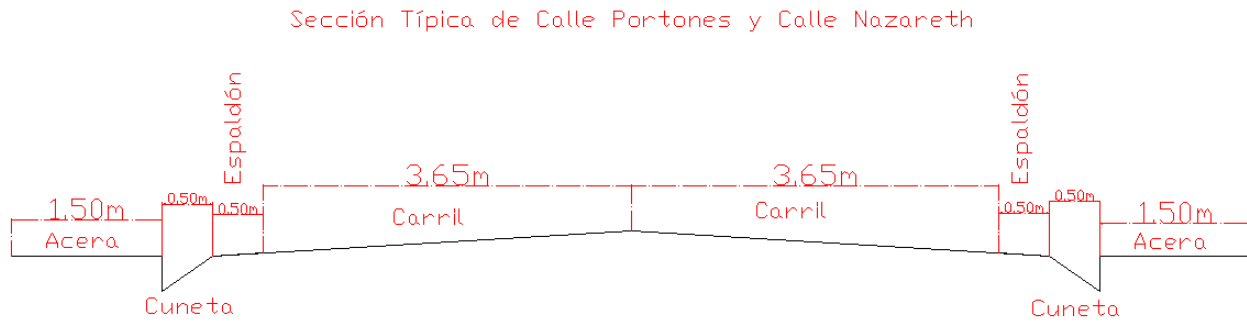


**Apéndice 13.** Perfil Calle Loma Linda parte 2. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

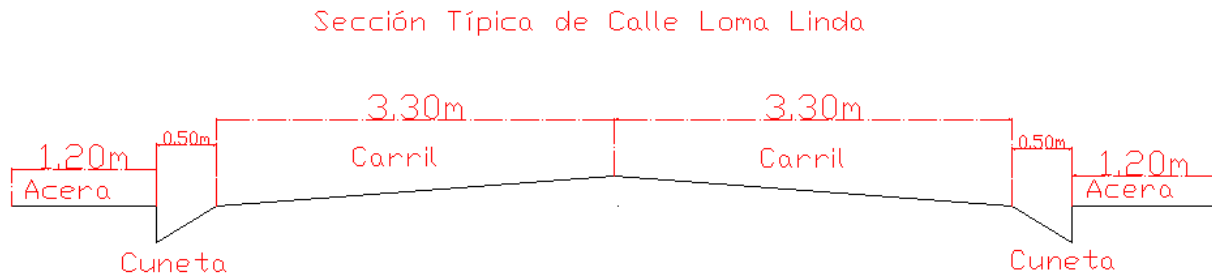


**Apéndice 13.** Perfil Calle Loma Linda parte 3. Fuente: elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

## Apéndice 14: Sección Típica de la carretera



**Apéndice 14.** Sección Típica de Calle Portones y Calle Nazareth. Fuente: elaboración propia, AutoCAD.



**Apéndice 14.** Sección Típica de Calle Loma Linda. Fuente: elaboración propia, AutoCAD.



# Anexos

Anexo 1: Hoja de conteo vehicular.

Anexo 2: Hoja cartográfica ABRA.

Anexo 3: Factores equivalentes de carga para pavimento flexible.

Anexo 4: Factores equivalentes de carga para pavimento rígido.

Anexo 5: Estudio de suelo para determinar el CBR de la subrasante en la zona.

Anexo 6: Valor de Manning.

Anexo 7: Ubicación de las zonas de las carreteras.

Anexo 1

Mañana → Calle Nazareth

Hora	Vehículos	Cantidad + 12
	Automóvil	767
	Buses	18
	Motos	265
	Carga Liviana	113

Anexo 1. Hoja conteo vehicular. Fuente: elaboración propia.

(1) Mañana → Calle Nazareth

	Camiones 2 ejes		25
	Camiones 3 ejes		7
	Camiones 4 ejes		1
	Camiones 5 ejes		12
	Maquinaria pesada		2

2 2000 1  
6 pes 3

Anexo 1. Hoja conteo vehicular. Fuente: elaboración propia.



## Anexo 3

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0**

Carga p/eje (kips) <sup>6</sup>	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

**Anexo 3.** Factores equivalentes de carga para pavimento flexible, ejes simples, Pt = 2.0. Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem,  $P_t = 2,0$**

Carga p/eje (kíps)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

**Anexo 3.** Factores equivalentes de carga para pavimento flexible, ejes tándem,  $P_t = 2.0$ . Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem,  $P_t = 2,0$**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

**Anexo 3.** Factores equivalentes de carga para pavimento flexible, ejes tridem,  $P_t = 2.0$ . Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.



## Anexo 4

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,  $P_t = 2,0$**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.48	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

**Anexo 4.** Factores equivalentes de carga para pavimento rígido, ejes simples,  $P_t = 2.0$ . Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.



**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  $P_t = 2,0$**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.210	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.319	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.449	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439	0.439
26	0.629	0.626	0.622	0.620	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
28	0.852	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849	0.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131	134.	137.	141.

**Anexo 4.** Factores equivalentes de carga para pavimento rígido, ejes tándem,  $P_t = 2.0$ . Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem,  $P_t = 2,0$**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.270	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.600	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.80	2.60	2.61	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.10	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16	9.16
66	9.76	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9	40.9

**Anexo 4.** Factores equivalentes de carga para pavimento rígido, ejes tridem,  $P_t = 2.0$ . Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Pavimentos.

# Anexo 5

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES														
DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE														
PROYECTO: Variación estacional de módulos RUTA: 122 ó 124		FECHA DE MUESTREO: 07/01/97 Sentido: Guácima - San Rafael Oeste.												
UBICACIÓN: 200 m Este de la National San Rafael, tramo La Guácima - San Rafael Oeste.														
ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN												
5,0	Capa asfáltica													
10,0	Base granular	Lastre gris. Tamaño máximo: 2,5 cm.												
25,0	Sub-base	Lastre gris - café, con plasticidad. Tamaño máximo: 3,8 cm.												
20,0	Relleno	Cama de piedra porosa y de apariencia de toba. De gran tamaño (15,0 cm).												
	Subrasante	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <th>Nº10</th> <th>Nº40</th> <th>Nº200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>95,8</td> <td>91,3</td> <td>84,8</td> </tr> </tbody> </table> <p>LIMITES DE ATTERBERG</p> <p>LL: 54,6%                      LP: 27,0%                      IP: 27,6%</p> <p>CLASIFICACIÓN AASHTO                      A-7-6</p>	Granulometría (% pasando)			Abertura (mm)			Nº10	Nº40	Nº200	95,8	91,3	84,8
Granulometría (% pasando)														
Abertura (mm)														
Nº10	Nº40	Nº200												
95,8	91,3	84,8												

**Anexo 5.** Clasificación AASHTO de la subrasante. Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

## Anexo 6

Tipo de superficie	"n"
Cuneta de homigón con buen acabado	0,012
Revestimiento de asfalto con textura lisa	0,013
Revestimiento de asfalto con textura áspera	0,016
Revestimiento con lechada de cemento	
a) Acabado con frotachado	0,014
b) Acabado manual alisado	0,016
c) Acabado manual áspero	0,020
Revestimiento con adoquines	0,020
Cunetas con pequeñas pendientes longitudinales (hasta 2 %) sujetas a la acumulación de sedimentos, los valores "n" indicados deben ser incrementados en + 0,002 a 0,005	n

**Anexo 6.** Coeficientes de rugosidad de Manning. Fuente: Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

**Anexo 7**



**Anexo 7.** Ubicación calle Portones. Fuente: (Google Earth Pro).



**Anexo 7.** Ubicación calle Nazareth. Fuente: (Google Earth Pro).



**Anexo 7.** Ubicación calle Loma Linda. Fuente: (Google Earth Pro).

# Referencias

- Dobles, M. 2013. **TRAZADO Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS**. Costa Rica: Editorial UCR, 194 p.
- Coronado, J. 2002. **MANUAL CENTROAMERICANO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**. Guatemala.
- Leclair, R. 2001. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala.
- MOPT. 2010. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES**. Costa Rica.
- AASHTO. 1993. **GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES**.
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. 2017. **REGLEMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE CUNETAS Y SUMIDEROS**. Bolivia.
- MOPT. 2015. **NORMAS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**. Costa Rica.
- Ureña, A. 2010. **MEJORAMIENTO GEOMÉTRICO DE LA RUTA CANTONAL 041 COMPRENDIDA ENTRE DULCE NOMBRE Y PARAISO DE CARTAGO**. Proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 79 p.
- Zeledón, E. 2010. **DISEÑO GEOMÉTRICO, DRENAJES Y PAVIMENTOS DE LA RUTA CANTONAL 3-01-033**. Proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 88 p.
- Holcim. 2018. **MANUEL DE TUBOS DE CONCRETO**.
- Picado, M. et al. 2017. **COSTOS DE CARRETERAS EN COSTA RICA**. LanammeUCR. Costa Rica.
- Araujo, W. 2014. **ECUACIONES DE CORRELACIÓN DEL CBR CON PROPIEDADES ÍNDICE DE SUELOS PARA LA CIUDAD DE PIURA**. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Civil. Facultad Ingeniería. Universidad de Piura. Piura, Perú.