



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES**

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE GRADUACIÓN

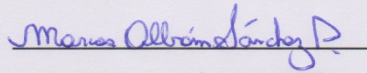
**DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL
JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA, SECCIÓN
DESVÍO COOPESA**

Elaborado por: Jordan Vásquez Mora

HEREDIA, 30. DE ABRIL DEL 2019

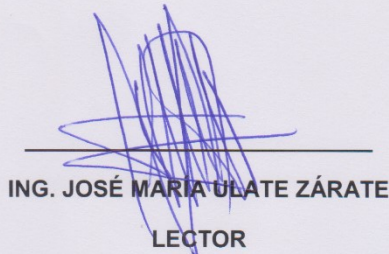
TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA, SECCIÓN DESVÍO COOPESA.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



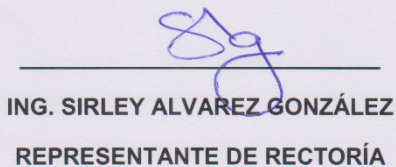
ING. MARCOS SÁNCHEZ PÉREZ

TUTOR



ING. JOSÉ MARIA ULATE ZÁRATE

LECTOR



ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. MARCOS SÁNCHEZ PÉREZ

TUTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 30 de abril, de 2019

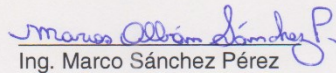
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título **DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA, SECCIÓN DESVÍO COOPESA** por parte del estudiante: Jordan Vásquez Mora, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,


Ing. Marco Sánchez Pérez

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 30 de abril, de 2019

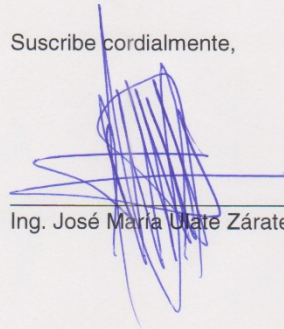
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título **DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA, SECCIÓN DESVÍO COOPESA** por parte del estudiante: Jordan Vásquez Mora, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,


Ing. José María Ulate Zárte

CARTA DE REVISIÓN DEL FILÓLOGO

San José, 3 de mayo del 2019.

SEÑORES
UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES
FACULTAD INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL

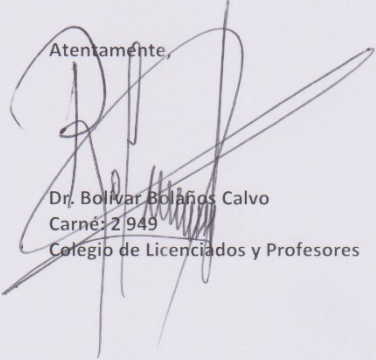
Estimados señores:

Hago constar que he revisado el TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, del estudiante JORDAN ANTONIO VÁSQUEZ MORA denominado DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA, SECCIÓN DESVÍO COOPESA por el grado académico de LICENCIATURA en INGENIERÍA CIVIL.

He revisado errores gramaticales, de puntuación, ortográficos y de estilo que se manifiestan en el documento escrito, y verificado que estos fueron corregidos por el autor.

Con base en lo anterior, se considera que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos por la UNIVERSIDAD para ser presentado como requerimiento final de graduación.

Atentamente,



Dr. Bolívar Bolaños Calvo
Carné: 2949
Colegio de Licenciados y Profesores



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Vásquez Mora, Jordan Antonio

De la Carrera / Programa: Licenciatura Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Proyecto de graduación
titulado:

DESARROLLO SUR EN AEROPUERTO INTERNACIONAL JUAN SANTAMARÍA, CALLE LA CANDELA,
SECCIÓN DESVÍO COOPESA.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) martes 30 del mes abril del año 2019 a las 2:00pm. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

Resumen

En el presente trabajo se pretende aportar una modificación al trazado de la calle la Candela por ampliaciones del nuevo hangar de Coopesa en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaria, para que los conductores que transitan por esta zona puedan desplazarse hacia El Coco y Río Segundo de Alajuela.

Para el diseño propuesto, a partir de curvas de la topografía brindada por la compañía a cargo del proyecto AERIS HOLDING, se logra determinar detalles importantes del nuevo trazado de calle, y con ello, elaborar una propuesta diseño geométrico por medio de un diseño horizontal y vertical, para que los conductores transiten por esta zona lo hagan de una manera segura. También, se diseñaron las estructuras de alcantarillado pluvial necesarias para el desfogue, en donde a partir de un estudio hidrológico que se realizó para determinar las cuencas hidrográficas para crear una red, la cual sea capaz de abastecer la demanda en la zona en que se desarrolla el proyecto. Seguidamente se diseñó la estructura del pavimento a partir del TPD, y estudio de suelos brindado por AERIS HOLDING.

Considerando para todo el diseño las normas internacionales tales como el Manual Centroamericano de diseño geométrico en carreteras, la Reglamentación para el diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), normativa ASSTHO 93 y el CR 2010.

Una vez finalizada la propuesta se entregarán los planos detallados para que queden a disposición de la compañía AERIS HOLDING y así poder tomarlos en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Summary

In the present work it is intended to contribute modifying the layout of “La Candela” Street because of enlargement of the new hangar of Coopesa, at Juan Santamaria, International Airport, in order that drivers who travel through this area can move to El Coco and Rio Segundo, Alajuela.

For the proposed design, from curves of the topography provided by the company in charge of the AERIS HOLDING Project, it was determined important details from new Street layout, and with that, elaborate a geometric design proposal through a horizontal and vertical design, with the purpose that drivers pass through this area do so in a safe manner.

The pluvial sewage structures necessary for the vent were also designed, where from a hydrological study that was conducted in order to determine watersheds to create a network which is able to supply the demand in the area where the project is developed. Next, the pavement structure was designed from the TPD, and the floor study provided by AERIS HOLDING.

Considering for all the design the international standards such as the Central American Manual of geometric design on roads, the Regulation for the design and construction of urbanizations, condominiums and subdivisions of the Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), ASSTHO 93 normative and the CR 2010.

Once the proposal is finished, the detailed plans will be delivered so that they are available to the company AERIS HOLDING, so that they can be taken into account for the development of the project.

Agradecimiento

Primordialmente, a Dios por acompañarme en esta gran travesía y permitir llenarme de fortaleza y sabiduría para sacar adelante una gran carrera.

A mi familia, por el gran apoyo brindado durante toda la carrera, sin ellos no hubiera sido posible salir avante y forjarme como profesional. Será la mejor herencia que me puedan dar por todos estos años de esfuerzo para cumplir esta gran meta.

Seguidamente a todos mis compañeros quienes con su apoyo y amistad hicieron que, en los momentos más difíciles de la carrera compitiéramos buenos grupos de trabajo.

A todos los profesores de la Universidad Latina de Costa Rica, por el conocimiento aportado y la ayuda brindada a lo largo de la carrera.

A mi tutor el Ing. Marcos Sánchez, por guiarme en todo este trayecto con su gran experiencia y conocimiento. También por su sacrificio para atender siempre mis dudas para sacar adelante este proyecto.

¡Muchas gracias!

Dedicatoria

Quiero dedicarle este proyecto principalmente a mi padre, quien siempre soñó con verme convertido en ingeniero y le doy gracias por su apoyo, ya que con él, logré cumplir ese sueño.

Tabla de Contenido

Resumen.....	9
Summary	10
Agradecimiento.....	11
Dedicatoria.....	12
Introducción General	19
Antecedentes	19
1. Planteamiento del Problema	20
2. Objetivos General.....	20
2.1 Objetivos Específicos.....	21
3. Justificación.....	21
4. Alcances y Limitaciones.....	21
5. Impacto	22
6. Marco Teórico	22
6.1 Marco Situacional.....	22
6.2 Generalidades del proyecto	22
6.3 Fundación del cantón de Alajuela	22
6.4 Extensión del cantón, distrito y limites	23
6.5 Población del distrito	23
6.6 Institución donde se realizará el trabajo final de graduación.....	23
6.6.1 Características y condición actual	24
7. Marco Teórico Conceptual	25
7.1 Clasificación de las carreteras	25
7.2 Red vial nacional.....	25
7.3 Red vial cantonal	26
7.4 Clasificación de transitabilidad.....	26
7.5 Clasificación según características.....	26
7.5.1 Autopistas.....	26
7.5.2 Carreteras multicarriles.....	27
7.5.3 Carreteras de dos direcciones.....	27
7.6 Clasificación por ancho de vía.....	27
7.6.1 Estrechas	27
7.6.2 Medias.....	27

7.6.3 Anchas	27
7.7 Especificaciones para el diseño del alineamiento vertical.....	27
7.8 Clasificación según su velocidad del diseño	28
7.9 Existen diferentes términos de velocidad	29
7.9.1 Velocidad de operación.....	29
7.9.2 Velocidad de ruedo	29
7.9.3 Velocidad de diseño	30
7.9.4 Clasificación vehicular oficial en Costa Rica	30
7.10 Diseño Geométrico.....	31
7.10.1 Diseño geométrico vertical	31
7.10.2 Curvas verticales Simétrica	31
7.10.2.1 Curva vertical asimétrica.....	33
7.10.2.2 Curvas verticales en cresta.....	35
7.10.2.3 Curvas verticales en columpio	36
7.10.2.4 Pendientes para el diseño vertical	38
7.10.2.5 Diseño geométrico horizontal o alineamiento horizontal	40
7.10.2.6 Radio mínimo	40
7.10.2.7 Curvas circulares simples	41
7.10.2.8 La espiral de Euler o clotoide como curva de transición.....	44
7.10.2.9 Diseño geométrico transversal	45
7.11 Drenajes en carreteras	47
7.12 Drenajes superficiales	48
7.13 Cunetas.....	48
7.14 Alcantarillas.....	48
7.15 Análisis Hidrológico	50
7.16 Método racional.....	50
7.17 Caudal de diseño	51
7.18 Coeficiente de escorrentía	52
7.19 Período de retorno.....	55
7.20 Tiempo de concentración (Tc).....	56
7.21 Intensidad de lluvia	57
Lugar.....	57
Intensidades de precipitación en mm/hora.....	57

Alajuela.....	57
$i = 209.844 - 38.7305 \times \ln tc + [42.614 - 24.6041 \times \ln(\ln tc)] \times \ln T$	57
En donde:	57
tc = Tiempo de concentración (minutos).	57
T = Período de retorno (años).	57
Debe notarse que en el caso de Alajuela la fórmula indica el logaritmo del logaritmo	57
Numero	57
Estación	57
Latitud	57
Norte	57
Longitud.....	57
este.....	57
Elev (m).....	57
5 min.....	57
10 min.....	57
15 min.....	57
30 min.....	57
60 min.....	57
81.....	57
84021.....	57
J. Santamaría	57
10°00'	57
84°12'	57
932.....	57
266.4.....	57
177.0.....	57
156.0.....	57
105.8.....	57
76.6.....	57
7.22 Pavimento	58
7.23 Subrasante.....	58
7.24 Sub base granular.....	58
7.25 Base	58

7.25 Carpeta Asfáltica	58
7.27 Señalización vial	60
7.28 Señalamiento vertical.....	60
7.29 Señales de reglamentación	61
7.30 Señales de prevención	61
7.31 Señales de información	62
7.32 Señalamiento Horizontal.....	63
7.33 Señales luminosas	64
8. Marco Metodológico.....	64
Instrumentación de recolección de datos.....	64
8.1 Topografía del terreno.....	64
8.2 Análisis hidrológico	64
8.3 Criterios de diseño	64
8.4 Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA)	66
8.5 Normativa AASHTO 1993	66
8.6 Instrumentos para el procesamientos y análisis de los datos	66
8.7 Ejes Equivalentes (ESAL).....	67
8.8 Espesor de la capa asfáltica.....	70
8.9 Instrumentación de Variables	71
9. Análisis de resultados.....	74
9.1 Diseño Geométrico.....	74
9.2 Velocidad diseño	74
9.3 Curvas Horizontales.....	74
9.3.1 Radio mínimo	74
9.4 Curvas verticales	75
9.5 Pendiente mínima y máxima para las curvas verticales	76
9.6 Ancho carril	76
9.7 Ancho Acera	76
9.8 Propuesta para el alineamiento vertical y horizontal	77
9.9 Análisis para el diseño pavimento.....	77
9.10 Análisis hidrológico	79
9.11 Periodo de retorno.....	82

9.12 Tiempo concentración.....	82
9.13 Intensidad de lluvia	83
9.14 Coeficiente escorrentía (c)	84
9.15 Diseño de caudales.....	85
9.16 Diseño hidráulico.....	86
9.17 Señalización.....	89
9.18 Estimación de preliminar de costos	91
10. Conclusiones	97
11. Recomendaciones	98
Bibliografía	99

INDICE TABLAS

Tabla 1.Tipo de Tipografía.....	28
Tabla 2. Clasificación de carreteras según su velocidad de diseño.....	29
Tabla 3.Características según los vehículos de diseño.....	30
Tabla 4. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de adelantamiento	35
Tabla 5. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de parada.....	36
Tabla 6.Control de Diseño para curva vertical columpio.	38
Tabla 7.Máxima pendiente para calles colectoras urbanas.....	39
Tabla 8.Máxima pendiente para carreteras rurales.....	39
Tabla 9. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 8\%$ y fricción máxima	40
Tabla 10. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 6\%$ y fricción máxima	41
Tabla 11.Diseño periodo de retorno	55
Tabla 12. Intensidades máximas de las tormentas sobre centros urbanos más importantes de Costa Rica, en función tiempo de concentración y periodo de retorno.	57
Tabla 13.Intensiones de precipitación máxima (mm/h) por duración y periodo de diseño.	57
Tabla 14.Altura y distancia para señalamiento vertical	63
Tabla 15. Sistema de clasificación funcional	65
Tabla 16. Anchos mínimos de espaldones y aceras	65
Tabla 17. Periodo de diseño (años)	68
Tabla 18. Factor de distribución por carril	68
Tabla 19.Factores camión Costa rica.....	69
Tabla 20. Variables	71

Tabla 21.Elementos de curva horizontal	75
Tabla 22.Elementos de curva vertical.....	76
Tabla 23.Cálculo de ejes Equivalentes.....	77
Tabla 24.Valores para el cálculo número Estructural SN1, SN2, SN3	78
Tabla 25.Valores SN1, SN2, SN3	78
Tabla 26.Propuesta de estructura de pavimento.....	79
Tabla 27.Informacion de las sub cuencas.....	81
Tabla 28.Tiempos de Concentración	82
Tabla 29.Intensidad de lluvia.....	83
Tabla 30.Cálculo coeficiente ponderado escorrentía para el diseño alcantarillado pluvial	84
Tabla 31.Caudales de diseño	85
Tabla 32. Área de fluencia de pozos.....	87
Tabla 33.Resumen de tuberías	88
Tabla 34.Señalamiento vertical	89
Tabla 35.Sumario de cantidades calle la Candela sección desvió COOPESA	91

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Ubicación Desarrollo Sur Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, calle La Candela, sección desvío COOPESA.	25
Ilustración 2. Parábola de curva vertical simétrica	33
Ilustración 3 Curva vertical asimétrica	33
Ilustración 4.Curvas verticales convexas y curvas verticales cóncavas.....	34
Ilustración 5.Elementos geométricos de una curva circular simple.....	42
Ilustración 6. Elementos geométricos de una curva circular compuesta	44
Ilustración 7. Elementos geométricos de la espiral de Euler o Clotoide.....	45
Ilustración 8. Sección típica transversal	46
Ilustración 9.Estructura de Pavimento Flexible.....	59
Ilustración 10. Estructura de Pavimento Rígido	59
Ilustración 11.Señales de reglamentación	61
Ilustración 12 Señales de reglamentación.....	62
Ilustración 13. Señales de información	62
Ilustración 14.Área de cuenca	80

Introducción general

Una carretera o ruta es una vía de dominio y uso públicos, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. Existen diversos tipos de carreteras, por ejemplo, convencionales y autopistas o carreteras de circunvalación, entre otras.

Un diseño geométrico es el trazado de una carretera en un terreno específico, que ayude a los vehículos a moverse de un lado a otro de manera rápida y segura, también debe ser funcional de acuerdo con su tipo de geometría que tenga, segura con un diseño simple, uniforme, consistente en los cuales se puedan evitar accidentes, cómoda con el fin de disminuir cambios en las aceleraciones y económica con el menor costo en la construcción y el mantenimiento.

Antecedentes

El 30 de abril de 1937, el Gobierno resolvió construir el Aeropuerto Internacional de La Sabana. El 7 de abril de 1940, al final de la Administración de don León Cortés, este aeropuerto quedó inaugurado oficialmente. Debido a las deficiencias que presentaban las instalaciones del aeropuerto de La Sabana, principalmente para la operación de las nuevas generaciones de aviones que servían las rutas internacionales, obligaron al Gobierno en 1949 a crear una comisión, que se encargaría de la ubicación y planificación de las mejoras requeridas. Los estudios determinaron que solo existían dos alternativas: mejorar y ampliar las instalaciones de La Sabana, o construir un nuevo aeropuerto en El Coco, al sur de la Ciudad de Alajuela. El 27 de julio de 1952, al final de la Administración de Otilio Ulate Blanco, se empezó a construir el Aeropuerto Internacional El Coco, con fondos del Presupuesto Nacional y con la participación de ingenieros nacionales, la mayoría de ellos egresados del entonces recientemente abierta Escuela de Ingeniería. (MOPT, 2016)

En diciembre del 2011, con la publicación del cartel licitatorio, para la construcción del hangar de la Cooperativa Autogestionaria de Servicios Aero industriales (Coopesa), el Consejo Técnico de Aviación Civil (CETAC), avanzó en el proceso para concretar el traslado de esta cooperativa al sector Sur-Oeste del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría,

necesario para liberar espacio en el Oeste del Aeropuerto, de manera que el Gestor Interesado (AERIS), pueda seguir en el futuro con ampliaciones de la terminal aérea. (MOPT, 2016)

Con la construcción del nuevo hangar de la cooperativa Autogestionaria de Servicios Aero industriales (Coopesa), es donde surge la idea de realizar el diseño y propuesta del tramo sur del aeropuerto internacional Juan Santamaria ya que se necesita hacer un rediseño de la calle la Candela hacia el Coco.

1. Planteamiento del problema

Por más de 20 años la carretera conocida como La Candela, ubicada al costado este de la pista del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, ha sido el punto que comunica Alajuela con Ojo de Agua, San Antonio del Tejar y la comunidad del Coco. Debido a los proyectos que tiene Aeris Holding como gestor del aeropuerto Internacional Juan Santamaria, se requiere un realineamiento y expansión de la calle debido a mejoras en ampliaciones del aeropuerto.

Para dicho proceso, se requiere de un diseño geométrico, hidráulico y adaptaciones de carretera, lo que obliga a tomar medidas para lograr adaptar el sitio ya que la carretera cuenta con un flujo alto de vehículos pesados y además es el principal acceso que poseen los alajuelenses a estas zonas.

La calle la candela, actualmente es una trocha donde el diseño se comenzara desde cero a partir de la topografía asignada por la compañía Aeris Holding, en los cuales se va proponer la rasante y pendientes indicadas así como los radios de giro de cada curva y velocidad adecuada para los conductores que transitan por esta vía.

2. Objetivo general

Proponer el diseño de realineamiento y expansión de la calle la Candela hacia la comunidad del Coco al sur del Aeropuerto Juan Santamaria.

2.1 Objetivos Específicos

- Elaborar una propuesta de diseño geométrico y señalización vertical, horizontal de la carretera.
- Realizar una propuesta de diseño alcantarillado pluvial para la carretera.
- Diseñar el pavimento flexible para el tramo de carretera.
- Determinar el costo preliminar de la propuesta planteada.

3. Justificación

El proyecto a desarrollar consiste en el diseño de la carretera que comunica la calle de la Candela ubicada en el sector sur del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, con la comunidad de El Coco, esto debido ampliaciones del aeropuerto por acomodos de pista de rodaje y el hangar nuevo de COopesa, lo que se propone es un realineamiento de la calzada para que las personas que transitan hacia la zona de El Coco en la provincia de Alajuela no tengan mayor inconveniente.

La condición de la carretera es una trocha, se rediseñará el tramo nuevo, con desfogues pluviales adecuados, la calzada con sus diferentes complementos (base, sub base, carpeta asfáltica) si se requiera de cunetas, aceras también ira incluido dentro del diseño geométrico.

El tramo que comunica con la comunidad del Coco será de gran beneficencia ya que muchas personas transitan por este sector, y es una de las rutas principales tanto de acceso como salida para dicha comunidad.

4. Alcances y Limitaciones

El proyecto constará de un diseño geométrico y señalamiento tanto horizontal como vertical en base al “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales” publicado por la Sieca en el año 2011, también se realizará los desfogues pluviales de la carretera y el presupuesto preliminar de dicho tramo de carretera.

El diseño geométrico se va elaborar a base del levantamiento topográfico brindado por la empresa Aeris Holding, la cual está a cargo de dicha restructuración del tramo por diseñar, lo cual se hará desde el software AutoCAD Civil 3D 2018 ya que es una herramienta muy versátil en instancias de diseño infraestructura.

La empresa Aeris Holding brindará el estudio de suelos correspondiente para el diseño del pavimento flexible, así como las pruebas de laboratorio de los agregados y mezcla asfáltica con sus respectivos valores, de los ensayos CBR.

Parte de las limitaciones propuesta al tramo diseñar, quedará a disposición de la compañía AERIS Holding si su desarrollo se efectúa. También los niveles de rasante serán propuestos los cuales se diseñarán cumpliendo con un mejor diseño.

5. Impacto

Se espera que los resultados producidos con esta propuesta vengán a afectar positivamente a los usuarios de las carreteras que se incluyen en el diseño del tramo principalmente los conductores que se dirigen o transitan siempre por la ruta de la candela hacia la comunidad del Coco.

6. Marco Teórico

6.1 Marco situacional

6.2 Generalidades del proyecto

6.3 Fundación del cantón de Alajuela

La Constitución Política de 22 de noviembre de 1848 en el artículo octavo estableció por primera vez las denominaciones de provincia, cantón y distrito parroquial. De conformidad con la anterior disposición, por Ley No 36, del 7 de diciembre del mismo año, el artículo 8, se creó Alajuela como Cantón número uno de la Provincia del mismo nombre, con seis distritos parroquiales. Alajuela cuenta con su propia bandera la cual es de color completamente blanco y con el escudo de la provincia en medio, contrario a lo que muchos ciudadanos creen, el rojo y negro no tiene nada que ver con ella. (Municipalidad de Alajuela , 2017)

6.4 Extensión del cantón, distrito y límites

El cantón número uno de Costa Rica es Alajuela, se encuentra localizado en el valle central, el cual posee un área de 388.43km² y se encuentra dividido en 14 distritos, los cuales. Fue fundado el 7 diciembre de 1848, su cabecera principal es la ciudad de Alajuela.

El distrito principal para dicha investigación es la Guácima, en el que cuenta con un área de extensión 27.92km² lo cual equivale a un 7,2% del área cantonal, por lo que es conocido por uno de los distritos más extensos que tiene la provincia de Alajuela, donde limita al norte con San Antonio, al sur con Colon al este con Rio Segundo y San Rafael y al oeste con Turrucares.

Está constituido por varios poblados donde se extiende como referencia hacia la comunidad del Coco, ya que es parte del diseño, en la siguiente imagen se adjunta parte del nuevo realineamiento donde limita al sur con la calle La Candela.

6.5 Población del distrito

Según los datos preliminares del Censo de población de 2011, Guácima cuenta con 20.1833 habitantes, los que representan el 7,9% de la población del cantón de Alajuela, En comparación con el Censo del 2000, la población creció en 4.733 personas, lo que significa que en once años aumentó un 30.6%.

6.6 Institución donde se realizará el trabajo final de graduación

Aeris Holding Costa Rica, S.A., es mayoritariamente propiedad de dos grandes grupos empresariales representados en el CGI por sus casas matrices HAS Development Corporation y Companhia de Participaciones em Concesores – Grupo CCR-, los que combinados operan al menos 13 aeropuertos en 3 diferentes continentes y son responsables por más de 56 millones de pasajeros por año, aportando al AIJS una experiencia excepcional en el desarrollo, financiamiento, construcción y operación de proyectos aeroportuarios.

Como parte de las obligaciones de Aeris Holding Costa Rica, S.A. en el CGI, ésta debe llevar a cabo un intenso programa de inversiones, cubrir todos los gastos operativos y las obligaciones financieras y de acuerdo con los objetivos establecidos en el CGI, además la

empresa está comprometida a mejorar la operación aeroportuaria y la eficiencia del servicio, mediante el desarrollo de la infraestructura del aeropuerto, en coordinación con las entidades del Estado y las empresas privadas que operan en el AIJS. (Aeropuerto Internacional Juan Santamaria, 2018)

6.6.1 Características y condición actual

El proyecto denominado Calle La Candela, sección desvío COOPESA en el distrito de la Guácima, se encuentra actualmente entre las prioridades de la compañía Aeris Holding para el año 2019, la idea es hacer una restructuración del nuevo tramo de carretera, ya que ahorita esto debido ampliaciones y acomodo del nuevo hangar de COOPESA, para ello se hará un desvío en el cual se propone un nuevo diseño geométrico y pluvial para el nuevo tramo de calle.

El estado actual de la calle es una trocha, la cual cuenta con cunetas, y pozos de drenajes nuevos, los cuales a partir del diseño que se genera se tomará en cuenta los caudales y el abastecimiento de aguas de dicho tramo.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación del proyecto al costado sur del Aeropuerto Internacional Juan Santamaria, en el sector conocido como calle la candela y culmina con la comunidad del Coco, el tramo consta de 1 200 m.

Ilustración 1. Ubicación Desarrollo Sur Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, calle La Candela, sección desvío Coopesa.



Fuente: Google Maps, 2018

7. Marco teórico-conceptual

7.1 Clasificación de las carreteras

Para el criterio de diseño funcional en una carretera, la red vial, tanto rural como urbana debe clasificarse de tal manera en funciones específicas a diferentes carreteras y calles para así atender las necesidades de movilidad de las personas, de una manera más eficiente, confortable y segura hacia las distintas propiedades o usos de áreas colindantes.

Según la ley 5050 de caminos públicos las carreteras se clasifican en:

7.2 Red vial nacional

Corresponde a su administración al ministerio de obras públicas y transportes, esto se subdivide en las siguientes clasificaciones:

1. Carreteras primarias: Red de rutas troncales se distinguen por carreteras de largas distancias, por lo general tienen altos volúmenes de tránsito.

2. Carreteras secundarias: Son rutas que conectan con las cabeceras cantonales importantes, tomando en cuenta que no son servidas como carreteras primarias ya que generan una cantidad considerable de viajes interregionales o intercantonales.
3. Carreteras terciarias: Rutas que sirven de colectoras del tránsito para las carreteras primarias y secundarias, y que constituyen las vías principales para los viajes dentro de una región, o entre distritos importantes.

7.3 Red vial cantonal

Para la red vial cantonal, los gobiernos cantonales son los que le corresponde a su administración y se clasifican de la siguiente manera:

1. Caminos vecinales: Son los caminos públicos que suministren acceso directo a fincas y a otras actividades económicas en zonas rurales, poseen bajo volumen de tránsito diario y viajes de corta distancia.
2. Calles locales: Son incluidas dentro del cuadrante de un área urbana, no clasificadas como travesías urbanas de la Red vial nacional.
3. Caminos no clasificados: Tales caminos de herradura, sendas, veredas, que proporcionen acceso a muy pocos usuarios.

7.4 Clasificación de transitabilidad

1. Carretera de tierra: Se le conocen también como terracerías superficie de rodamiento es la tierra.
2. Carretera revestida: Son aquellas a cuya superficie se le ha aplicado un tipo de revestimiento diferente a una capa de pavimento, generalmente tratamientos superficiales.
3. Carretera pavimentada: Aquellas carreteras cuya superficie de rodamiento es una capa de asfalto o concreto.

7.5 Clasificación según características

7.5.1 Autopistas

Las autopistas son vías en la cuales los vehículos pueden circular en una dirección determinada, separados por algún tipo de elemento físico de los autos que viajan en otra

dirección, en dos o más carriles. No se interrumpe el tránsito con entradas y salidas que obliguen a los vehículos a cambiar la velocidad ni con señales de pare. (INVIAS, 2008)

7.5.2 Carreteras multicarriles

Vías divididas, con dos o más carriles por sentido, con un control parcial o total de acceso y salidas.

7.5.3 Carreteras de dos direcciones

Vías de dos carriles, uno por sentido de dirección, con intersecciones a nivel y accesos directos desde sus márgenes.

7.6 Clasificación por ancho de vía

7.6.1 Estrechas

Vías en las cuales la sección de circulación tiene un ancho inferior a los 5 m.

7.6.2 Medias

Vías en las que los vehículos circulan por una sección con un ancho que va de 5 a 6 m.

7.6.3 Anchas

Vías que pueden tener más de dos carriles y cada uno de ellos tiene más de 3,5 m de ancho.

7.7 Especificaciones para el diseño del alineamiento vertical

El manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras y caminos, está asociado algunas especificaciones propuestas las cuales son necesarias a considerar, por ejemplo, en el diseño vertical de una carretera, se debe realizar una proyección de las elevaciones del terreno que contiene el eje principal de la misma, a esa proyección se le conoce como perfil longitudinal y al alineamiento vertical se le llama rasante.

También según dicho manual se debe considerar factores tales como, topografía, velocidad del diseño, alineamiento vertical, distancia de visibilidad, los manejos de las aguas pluviales, todo esto con el objetivo de que se diseñe de forma funcional, segura y cómoda para los que transiten por cualquier vía.

Se debe considerar el tipo de topografía según el terreno que posee el corredor atravesado, con el fin de determinar el valor de la pendiente máxima por utilizar, en la siguiente tabla se presenta su clasificación y pendientes de acuerdo al manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras y caminos (SIECA, 2011)

Tabla 1. Tipo de Tipografía.

Tipo del terreno	RANGO DE PENDIENTES P (%)
LLANO O PLANO	$P \leq 5$
ONDULADO	$5 > P \leq 15$
MONTAÑOSO	$15 > P \geq 30$

Fuente: (SIECA, 2011)

Donde el terreno plano cuenta con pendientes por debajo del 5% por lo general tiene distancias de visibilidad extensas, permite a los vehículos pesados mantener la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

En el terreno ondulado son pendientes más significativas lo que provoca que los vehículos más pesados tengan que reducir su velocidad, ya que esto genera irregularidades en el terreno de forma ascendente y descendente por lo general tienen un rango de 5% a 15%.

Por último, se obtienen las pendientes del terreno montañoso, las cuales obliga que los vehículos pesados operen a velocidades sostenidas ya que son pendientes muy significativas que rondan entre 15% hasta un 75%, esto genera también fuertes limitaciones a la hora del diseño geométrico tanto horizontal como vertical, también altos costos de construcción y movimientos de tierra.

7.8 Clasificación según su velocidad del diseño

Elementos geométricos como los alineamientos verticales, de perfil y transversales, como lo son los radios mínimos de curvas, pendientes máximas, peraltes, anchos de carriles, dependen de la velocidad de diseño, por lo que al proyectar un tramo de carretera es fundamental conocer los rangos de velocidades de diseño según su definición y el tipo de terreno.

En la siguiente tabla se puede mostrar los rangos de diseño según el tipo de topografía de terreno a utilizar:

Tabla 2. *Clasificación de carreteras según su velocidad de diseño*

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Primaria de una calzada	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Secundaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Terciaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											

Fuente: (INVIAS, 2008)

7.9 Existen diferentes términos de velocidad

7.9.1 Velocidad de operación

Es la velocidad a la que los conductores son observados operando su vehículo bajo condiciones favorables.

7.9.2 Velocidad de ruedo

La velocidad de ruedo es la longitud del tramo dividida entre el tiempo que dura el vehículo en hacer el recorrido.

7.9.3 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente.

7.9.4 Clasificación vehicular oficial en Costa Rica

Se debe considerar el tipo de vehículo que van a transitar sobre la calzada, tomando en cuenta un escenario más crítico que esperan que circulen grandes camiones ya que es una zona industrial donde hay grandes bodegas de almacenaje, esto debe ser tomado en cuenta para garantizar que los radios e intersecciones y giros logren un flujo adecuado de vehículos tanto livianos como pesados.

La clasificación oficial que maneja la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica consiste en:

1. Livianos: automóviles para personas, jeeps.
2. Carga liviana: pick-ups, carros acondicionados para cargas pequeñas, esto en cuanto a la clasificación usada, no necesariamente a vehículos con placa de carga liviana.
3. Autobuses: todos los buses que poseen doble llanta en la parte trasera.
4. 2 ejes (tándem): Son todos los camiones de dos ejes, doble llanta en parte trasera.
5. 3 ejes (trídem): Son todos los camiones de tres ejes, dos ejes de doble llanta en la parte trasera.
6. 5 ejes: Son furgones, dos parejas de dos ejes con doble llanta.

En la siguiente tabla muestran las características de diseño según el tipo de vehículo propuesto:

Tabla 3. Características según los vehículos de diseño

Vehículos de diseño	Símbolo	Radio de giro mínimo de diseño (m)	Radio de la línea central RMG (m)	Radio interior mínimo (m)
----------------------------	----------------	---	--	----------------------------------

Vehículo liviano	P	7,30	6,40	4,40
Camión	SU	12,80	11,60	8,60
Bus	BUS-14	13,70	12,40	7,80
Bus articulado	A-BUS	12,10	10,80	6,50.
Cabezal con semirremolque	WB-15	13,70	12,50	5,20
Cabezal con semirremolque	WB-19	13,70	12,50	2,40
Cabezal con semirremolque	WB-20	13,70	12,50	1,30

Fuente: (SIECA, 2011)

7.10 Diseño Geométrico

Para el diseño geométrico de una carretera se debe contemplar con los mejores estándares de diseño adecuado, para ello con el fin que tenga la funcionalidad, poniendo en prioridad la seguridad y movilización del usuario que transite por la vía.

Según Garber & Hoel (2005), el diseño geométrico de las vías comprende el dimensionamiento de sus elementos físicos, como curvas verticales y horizontales, anchos de carriles, secciones transversales y bahías de estacionamiento y su objetivo principal es producir una instalación que tenga flujo continuo y seguro que satisfaga las características de los conductores y vehículos.

7.10.1 Diseño geométrico vertical

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento de un perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía, a ese eje se le conoce como rasante o sub rasante.

7.10.2 Curvas verticales simétrica

Una curva vertical es aquel elemento del diseño de perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de la longitud se efectúa el cambio

gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de la salida. (Cárdenas Grisales, 2013)

Elementos que componen una curva vertical simétrica:

B= PCV= Principio de curva vertical

C=PTV= Principio de tangente vertical: punto donde termina la curva.

BC=Lv= Longitud de la curva vertical medida en proyección horizontal.

VA=Ev= Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva.

VD=f= Flecha vertical.

P (X1, Y1) = Punto sobre la curva de coordenadas.

Q (X1, Y2) = Punto sobre la tangente de coordenadas, situado sobre el mismo vertical de P.

QP=y= Corrección de pendiente. Desviación vertical respecto de la tangente de un punto de la curva P.

BE=x= Distancia horizontal entre el PCV y el punto P de la curva.

α = Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.

β = Ángulo de pendiente de la tangente de salida.

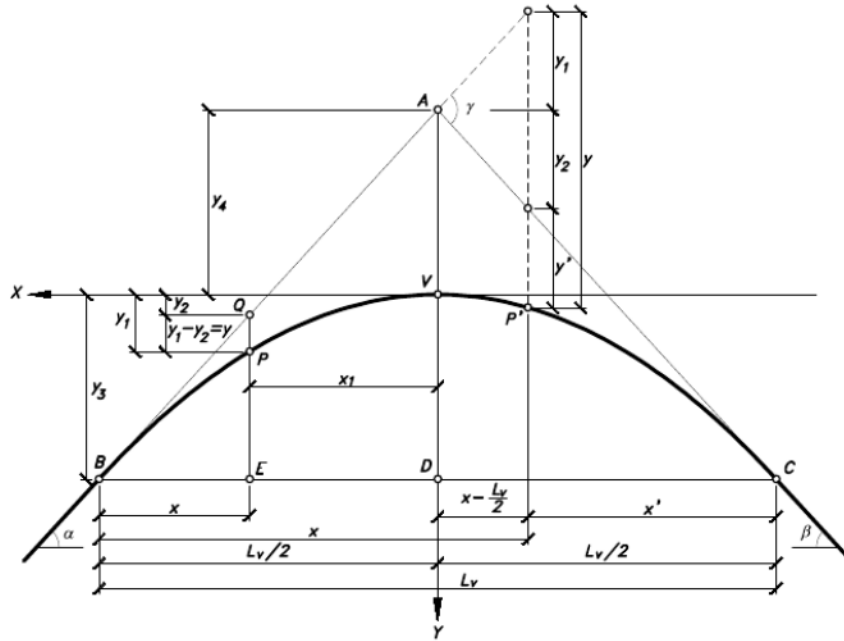
ϕ = Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.

m= tan (α) = Pendiente de la tangente de entrada.

n= tan (β) = Pendiente de la tangente de salida.

i= tan (ϕ) = Diferencia algebraica entre las pendientes de entrada y de salida.

Ilustración 2. **Parábola de curva vertical simétrica**

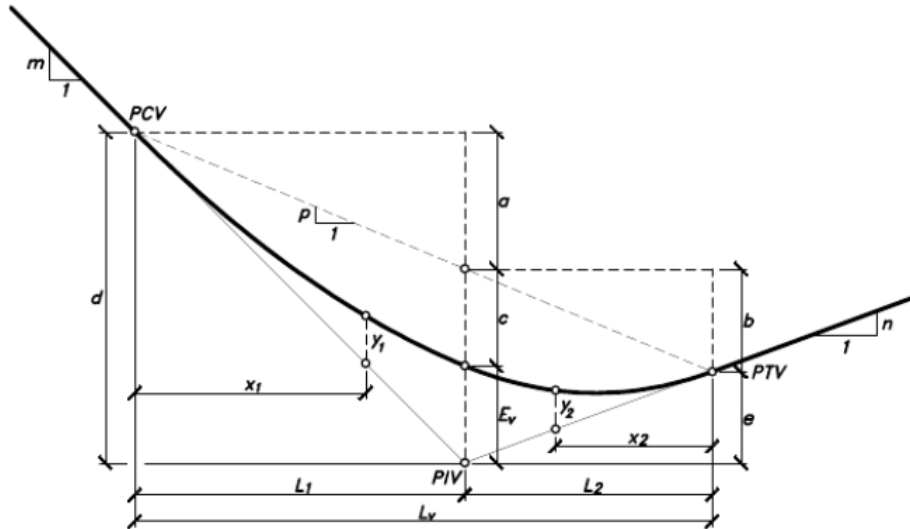


Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

7.10.2.1 Curva vertical asimétrica

Una curva vertical asimétrica es cuando las proyecciones horizontales de sus tangentes son de distinta longitud.

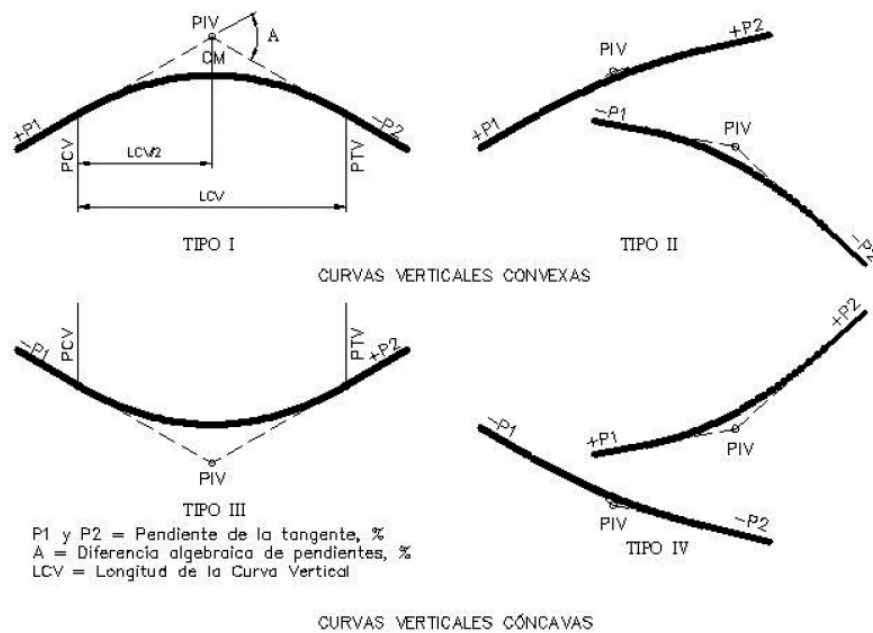
Ilustración 3 **Curva vertical asimétrica**



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Existen dos tipos de curvas verticales, en la siguiente imagen se describe cada una:

Ilustración 4. **Curvas verticales convexas y curvas verticales cóncavas**



Fuente: (SIECA, 2011)

7.10.2.2 Curvas verticales en cresta

Estas curvas se basan en el criterio de distancias de visibilidad, que se les conoce como (S), son satisfactorias ya que generan seguridad, confort y apariencia

Hay dos ecuaciones básicas para calcular la longitud de curvas verticales en una cresta, las cuales se describen de la siguiente manera:

Cuando S es menor a L:

Ecuación 1

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Cuando S es mayor a L:

Ecuación 2

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

L= Longitud de la curva vertical en metros.

S= Distancia de visibilidad en metros.

A= Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1= Altura del ojo sobre la superficie del camino en metros.

h2= Altura del ojo sobre la superficie en metros.

En la siguiente tabla se muestra el control de diseño para la curva vertical en cresta para distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento:

Tabla 4. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de adelantamiento

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de adelantamiento	Tasa de curvatura vertical (K)
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	51
80	245	69
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181
130	440	224

Fuente: (AASTHO, 2011)

Tabla 5. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de parada

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada	Tasa de curvatura vertical (K)	
		Calculado	para diseño
20	20	0,6	1
30	35	1,9	2
40	50	3,8	4
50	65	6,4	7
60	85	11	11
70	105	16,8	17
80	130	25,7	26
90	160	38,9	39
100	185	52	52
110	220	73,6	74
120	250	95	95
130	285	123,4	124

Fuente: (AASTHO, 2011)

7.10.2.3 Curvas verticales en columpio

Para las curvas verticales en columpio existen varios criterios para el cálculo de la longitud de la curva, entre ellos son:

1. El primero se basa en la distancia de iluminación de los faros delanteros del vehículo.
2. La comodidad de conducción, cambio de pendiente.
3. Requerimientos adecuados del drenaje en la carretera.
4. Se basa en las consideraciones estéticas de la carretera.

Según los criterios explicados se desglosan algunos cálculos a considerar.

Cuando la longitud de curva (L) es mayor a la distancia de visibilidad iluminada (S), se utiliza la siguiente formula:

Ecuación 3

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3,5 S}$$

Donde:

L: Longitud de curva vertical columpio en metros.

S: Distancia de visibilidad iluminada en metros.

A: Diferencia algebraica entre porcentaje y pendientes de la curva.

Cuando S es mayor que L:

Ecuación 4

$$L = 2 S - \left(\frac{120 + 3,5 S}{A} \right)$$

Parte del segundo criterio, tiene como principal fundamento la comodidad, en el rodaje en la calzada, ya que esta operación se le reconoce como confortable de vehículos en curvas en columpio y se logra cuando la aceleración centrífuga alcanza $0,3 \text{ m/seg}^2$, lo cual incorporando en la siguiente formula resulta:

Ecuación 5

$$L = \left(\frac{AV^2}{395} \right)$$

En el tercer criterio las necesidades de drenaje en las curvas en columpio, consiste en dotar una pendiente de 0,5% dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno.

Cuando se trata de aspectos de estética en curvas verticales o columpio existe una formula empírica lo cual desglosa L es la longitud mínima y A la diferencia algebraica de las pendientes siendo esta:

Ecuación 6

$$L = 30 * A$$

El manual SIECA ha preparado una tabla de control para el diseño de curvas verticales en columpio:

Tabla 6. Control de Diseño para curva vertical columpio.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de curvatura vertical K	
		Calculada	Para diseño
20	20	2,1	3
30	35	5,1	6
40	50	8,5	9
50	65	12,5	13
60	85	17,3	8
70	105	22,6	23
80	130	29,4	30
90	160	37,6	38
100	185	44,6	45
110	220	54,4	55
120	250	62,8	63

Fuente: (SIECA, 2011)

7.10.2.4 Pendientes para el diseño vertical

Las tangentes de la rasante están limitadas por el PTV (punto final de curva vertical) de la curva anterior y el PCV (punto de inicio de curva vertical) de la curva siguiente. La longitud

de estas se mide de forma horizontal en el perfil y la pendiente que se expresa en valores porcentuales. Esta última es la relación entre la diferencia entre las elevaciones de la tangente con la longitud de la misma.

Para las carreteras se debe ser lo más a nivel posible, teniendo en cuenta que las pendientes a utilizar tengan un mínimo de 0.30% y 0.50%, con el propósito de facilitar el manejo de aguas pluviales.

En las siguientes imágenes describen las pendientes máximas de calles colectoras urbanas y carreteras rurales, siempre tomando en cuenta el tipo de topografía de terreno y la velocidad de la carretera a diseñar:

Tabla 7. Máxima pendiente para calles colectoras urbanas

TIPO DE TERRENO	MÁXIMA PENDIENTE (%) PARA LA VELOCIDAD DE DISEÑO ESPECIFICADA, km/h							
	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	9	9	9	9	8	7	7	6
LOMERÍO	12	12	11	10	9	8	8	7
MONTAÑOSO	14	13	12	12	11	10	10	9

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla 8. Máxima pendiente para carreteras rurales

TIPO DE TERRENO	MÁXIMA PENDIENTE (%) PARA LA VELOCIDAD DE DISEÑO ESPECIFICADA, km/h							
	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	7	7	7	7	7	6	6	5
LOMERÍO	10	10	9	8	8	7	7	6
MONTAÑOSO	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: (SIECA, 2011)

7.10.2.5 Diseño geométrico horizontal o alineamiento horizontal

Garber & Hoel (2005) dice que el alineamiento horizontal se puede describir como tangentes, unidas por dos curvas horizontales, generalmente son de círculos, que tienen radios que proveen un flujo continuo de tránsito a lo largo de la curva.

El diseño geométrico horizontal se compone de los siguientes términos en el diseño en planta de una carretera:

7.10.2.6 Radio mínimo

El radio mínimo en una curva se da para una velocidad de diseño ya establecida, la cual se relaciona con el peralte máximo y la fricción lateral, esto para cuando un vehículo se sale de una curva, ya sea por peralte o sobreelevación, de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad por eso es un valor limitante de la curvatura a diseñar.

En la siguiente tabla se muestran los radios mínimos y fricción máxima para diseñar:

Tabla 9. Radios mínimos para peralte máximo emáx = 8 % y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

Fuente: (INVIAS, 2008)

Tabla 10. *Radio s mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 6\%$ y fricción máxima*

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6,0	0,35	0,41	7,7	15 ⁽¹⁾
30	6,0	0,28	0,34	20,8	21
40	6,0	0,23	0,29	43,4	43
50	6,0	0,19	0,25	78,7	79
60	6,0	0,17	0,23	123,2	123

Fuente: (INVIAS, 2008)

7.10.2.7 Curvas circulares simples

Las curvas circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales (Cárdenas Grisales, 2013)

A continuación, se muestran elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple:

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

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

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

O= Centro de la curva circular.

Δ = Ángulo de deflexión de las tangentes.

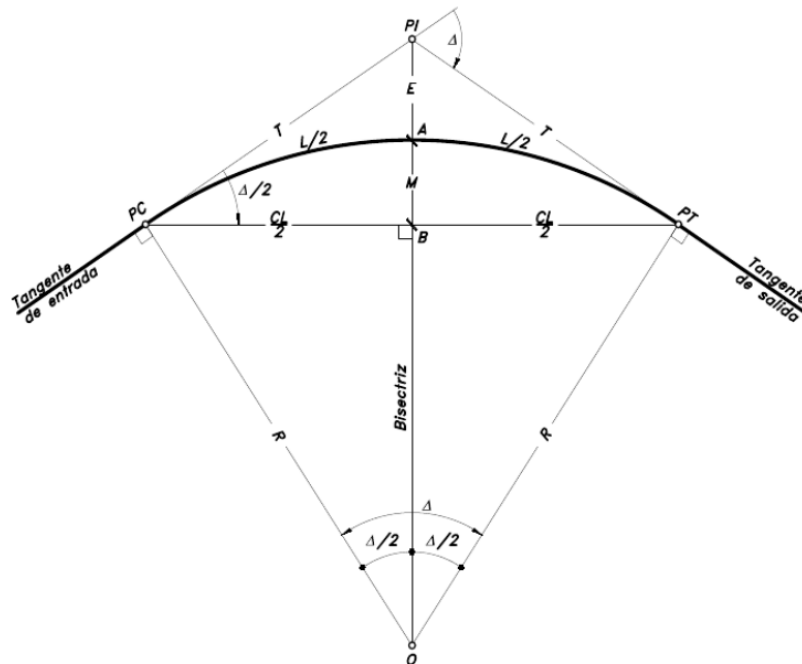
R= Radio de la curva simple.

T= Tangente: distancia desde el PI al PC o el PI al PT.

L= Longitud de curva circular: longitud desde el PC al PT a lo largo del arco circular.

M= Ordena media: Distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

Ilustración 5. *Elementos geométricos de una curva circular simple*



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Curvas circulares compuestas

Las curvas circulares compuestas son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples, se pueden emplear en terrenos montañosos cuando se requiere que la carretera quede lo más ajustada posible a la forma del terreno o topografía. (Cárdenas Grisales, 2013).

Elementos que componen las curvas circulares compuestas:

PI= Punto de intersección de las tangentes.

PC= Principio de la curva compuesta.

PT= Fin de la curva compuesta o principio de tangente.

PCC= Punto común de curvas o punto de curvatura compuesta.

R1= Radio de la curva de mayor radio o de menor curvatura.

R2= Radio de la curva de menor radio o de mayor curvatura.

O1= Centro de la curva de mayor radio.

O2= Centro de la curva de menor radio.

Δ = Ángulo de deflexión principal.

Δ_1 = Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.

Δ_2 = Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.

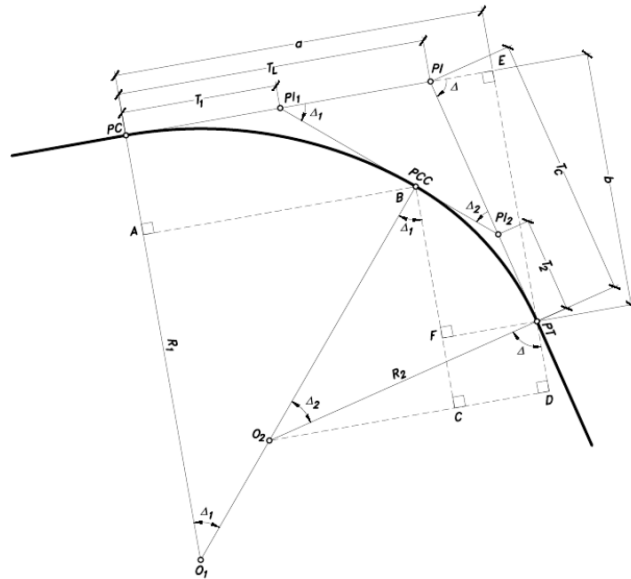
T1= Tangente de la curva de mayor radio.

T2= Tangente de la curva de menor radio.

TL= Tangente larga de la curva circular compuesta.

TC = Tangente corta de la curva circular compuesta.

Ilustración 6. **Elementos geométricos de una curva circular compuesta**



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

7.10.2.8 La espiral de Euler o clotoide como curva de transición

La espiral de Euler o clotoide también conocida como la espiral de Arquímedes, consiste en una curva plana la cual se desarrolla a partir de un punto dando vueltas, alejándose del punto central y disminuyendo su radio.

Se muestran los elementos que componen la espiral de Euler o clotoide como curva de transición:

TE= Punto de empalme entre la recta y la espiral.

EC= Punto de empalme entre el arco circular y la espiral.

CE= Punto de empalme entre el arco circular y la espiral.

ET= Punto de empalme entre la espiral y la recta.

Δ = Deflexión de la curva.

RC= Radio curva circular.

Le= Longitud curva espiral

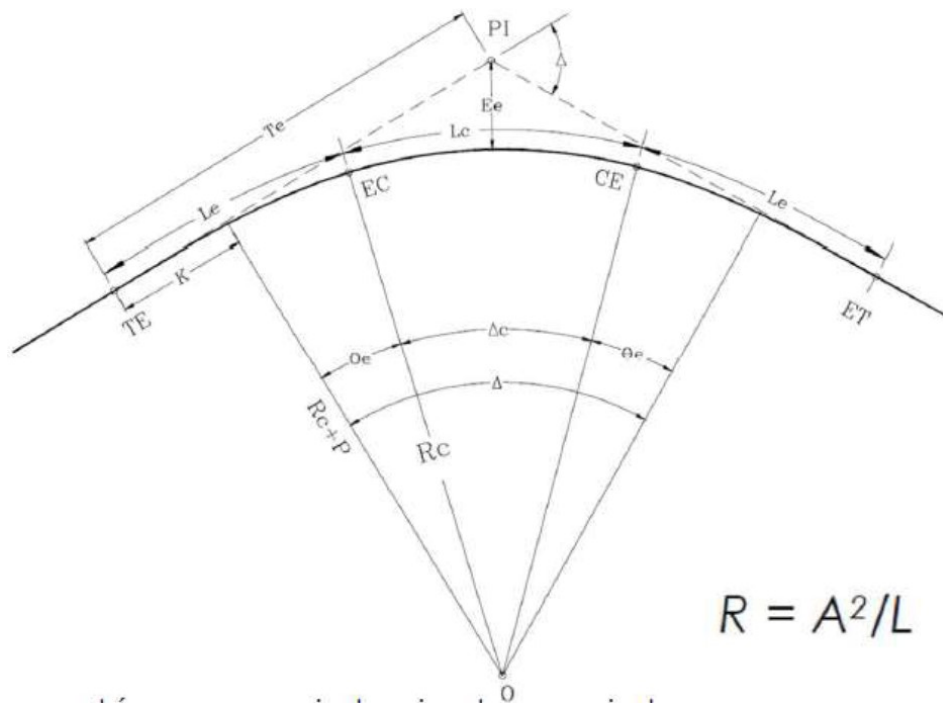
Δ_e = Deflexión curva espiral.

XC= Coordenada X de la espiral en los puntos EC y CE.

YC= Coordenada Y de la espiral en los puntos EC y CE.

P= Disloque: Desplazamiento del arco circular con respecto a la tangente.

Ilustración 7. *Elementos geométricos de la espiral de Euler o Clotoide*



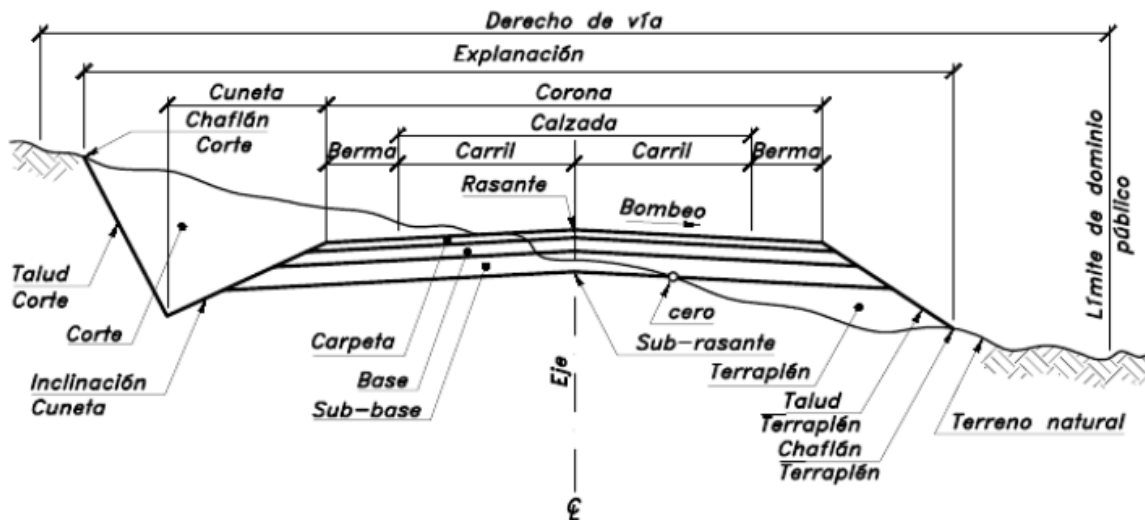
Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

7.10.2.9 Diseño geométrico transversal

El diseño geométrico de una carretera consiste según (Cárdenas Grisales, 2013) en la definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera, y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal.

En la siguiente imagen se puede apreciar los elementos que componen el diseño geométrico transversal:

Ilustración 8. *Sección típica transversal*



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Con base en la ilustración 8, se procede a describir cada uno de los componentes de una sección típica transversal de una carretera. Los autores Cal y Mayor & Cárdenas (2013)

- A. Calzada o superficie de rodamiento: Es la sección de rodamiento para los vehículos, normalmente está diseñado por un pavimento rígido o flexible.
- B. Carril: Parte de la superficie de rodamiento o calzada, de ancho suficiente para la circulación de una sola fila de vehículos. Por lo general se recomienda un ancho de carril 3.6 metros, sin embargo, estas distancias pueden variar, dependiendo el derecho de vía que se presente.
- C. Derecho de vía: Es la faja de vía de un terreno destinada a la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación para el cuidado de la vía.
- D. Acotamientos (Espaldón): Fajas laterales que sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento y que eventualmente pueden utilizarse de estacionamiento provisional para alojar vehículos en caso de emergencias.
- E. Corona: Es la superficie de la carretera que comprende calzada más acotamientos.

- F. Hombro: Punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén y la corona.
- G. Cunetas: Es un canal o conducto abierto para la conducción de aguas.
- H. Contracunetas: Son canales que se diseñan y construyen paralelamente ambos lados de la carretera con el fin de drenar agua de lluvia que cae sobre las aéreas contiguas de dichos límites.
- I. Taludes: Son superficies laterales de terreno natural inclinado.
- J. Pendiente transversal: Es la pendiente que se le da a la corona, normal a su eje.
- K. Subcorona: Es la superficie que limita a las terracerías y sobre las que se apoyan las capas de pavimento.
- L. Terracería: Volumen del material que hay que cortar o terraplenar para formar la carretera hasta al subcorona.
- M. Pavimento: Capa o capas de material seleccionado y/o tratado, comprendidas entre la subcorona y la corona, que tiene por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de tal manera que los esfuerzos transmitidos a la capa de terracerías subyacente a la subcorona no sufran deformaciones permanentes.
- N. Bombeo: Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua.

7.11 Drenajes en carreteras

En una carretera, es indispensable que el diseño vial tenga un buen sistema de drenaje en el cual permita un adecuado manejo de los fluidos, con el fin de que no afecte los suelos o la estructura de una carretera y con ello considerar los procesos de captación, conducción, y evacuación del agua.

Los sistemas de evacuación y canalización de las aguas son de gran valor para lograr que una vía atienda con eficiencia la circulación del tránsito, independientemente de las condiciones adversas que se presenten a lo largo de su vida útil.

Muchas de las carreteras de nuestro país poseen un mal drenaje, o un inadecuado diseño lo cual produce serios daños a la calzada, y puede provocar serios accidentes por pérdida de visibilidad por efecto salpicado y rociado del agua.

El alineamiento mínimo en las vías debe ser 0,5% y 3% la pendiente transversal, en casos donde la zona es propensa a inundaciones se podría diseñar con pendientes menores, esto con el fin permitir un adecuada serviciabilidad de la carretera y la seguridad del tránsito.

7.12 Drenajes superficiales

El drenaje superficial se construye de forma paralela al eje de la carretera, con el fin en que la zona donde va pasar el agua sea adecuada. El drenaje superficial en una carretera está compuesto por cunetas.

7.13 Cunetas

Las cunetas son canales construidos a los extremos de las carreteras, su principal objetivo es captar el agua de la calzada, evitando el encharcamiento en la vía lo cual disminuyen el nivel de servicio y podrían causar problemas de infiltración en las capas de la estructura del pavimento, así como las laderas y taludes de corte.

7.14 Alcantarillas

Las alcantarillas son estructuras de evacuación de las aguas de escorrentía. Generalmente un conducto que cruza por debajo de la vía, por lo tanto, su sección geométrica puede ser circular, rectangular o cuadrada según (Perez Carmona, 2014).

Los elementos que componen una alcantarilla son los siguientes:

- A. Encole: Estructura que reduce la velocidad y disipa la energía del agua en la entrada de las obras de drenaje.
- B. Estructura de entrada: Son todas las estructuras destinadas a conducir el agua las cuales son: muro de cabezal, solado, aletas etcétera.
- C. Aletas: Son utilizadas para contener los taludes que conformen un terraplén en la vía.

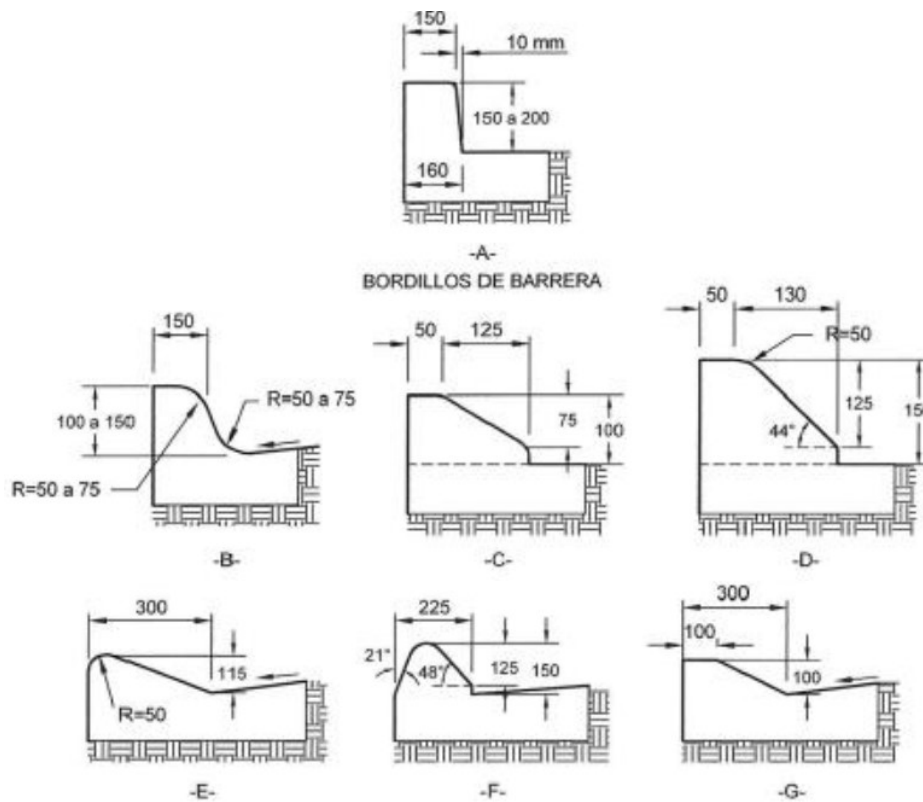
- D. Tubería: Garantizan la conducción del flujo de un lado a otro, evitando infiltraciones que puedan dañar el pavimento.
- E. Estructura de salida: Obras que entregan el agua al sitio de vertido.

Algunos criterios que se deben considerar para la construcción de una alcantarilla son los siguientes:

- El caudal máximo que pueda evacuar una alcantarilla no puede exceder los $15m^3/s$.
- La sección transversal no debe superar el área equivalente de una tubería de diámetro de 72 pulgadas.
- No superar un claro de 6m de longitud.

En la siguiente ilustración se muestran algunos tipos de bordillos o cunetas en carretera:

Ilustración9. Sección típica transversal bordillos o cunetas



Fuente: (SIECA, 2011)

7.15 Análisis Hidrológico

Es importante a la hora de realizar un estudio previo hidrológico a la hora diseñar las estructuras de drenaje de las carreteras, ya que sino se toman en cuenta los determinados caudales pueden afectar las infraestructuras o al entorno, algunos especialistas en hidrología se interesan en tres propiedades de la lluvia, la intensidad de lluvia que cae sobre la zona o el terreno, tiempo transcurrido conocido también como duración de lluvia y el número de años que va transcurrir en una combinación de intensidad y duración, a este término se le conoce como frecuencia.

7.16 Método racional

Según el Manual de consideraciones técnicas, hidrológicas e hidráulicas, indica que la relación que utiliza el método racional toma en cuenta los siguientes factores:

- Área cuenca
- Altura o intensidad de precipitación
- Las características del terreno

Con esos datos mencionados se calcula la descarga máxima asumiendo que la lluvia es uniforme en toda la cuenca y que el caudal máximo se tomara en su totalidad una vez que toda la superficie este drenando, es decir, el escurrimiento en la parte baja, de la parte media y de la parte más lejana de la cuenca se acumulan a la salida y con esto se establece un volumen de agua máximo para el diseño.

El método se limita a cuencas de superficies de hasta 2.5 km^2 y de las condiciones que rige el proyecto según su país, normativas locales y de la validez de los resultados obtenidos.

Según lo indicado el método racional se desglosa de la siguiente formula:

Ecuación 7

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

Donde

Q= Caudal máximo para un periodo de retorno T (m^3/seg).

C= Coeficiente de escorrentía que representa el porcentaje de la precipitación que se convierte en escurrimiento.

i= Tasa de precipitación máxima para un periodo de retorno T y un tiempo de concentración $t_c(mm/hr)$.

A= Área de la cuenca o zona de drenaje (km²)

t_c = Tiempo de concentración (minutos)

T= Periodo de retorno (años)

:

Ecuación 8

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} 7.17 \text{ Caudal de diseño}$$

Es el caudal de agua que se selecciona para diseñar un canal o una alcantarilla en función de tamaño y forma de la cuenca según las características del terreno e intensidad de lluvia (Gamboa, 1969).

La manera para calcular el caudal máximo proviene de la siguiente fórmula

Donde:

Q= Caudal de diseño (m^3 / s).

C= Coeficiente de escorrentía.

I= Intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

A= Área de la cuenca (Ha)

7.18 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se define como la cantidad de agua que escurre y la precipitación, va depender de las condiciones del terreno, capa vegetal, topografía y las características de duración e intensidad de las lluvias.

En la siguiente tabla de la Norma técnica para diseño y construcción de sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento pluvial del AyA, se dan los siguientes valores recomendados para los coeficientes de escorrentía:

Ilustración10. Coeficiente de escorrentía por tipo área o desarrollo

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 – 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 – 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de Cultivo							
Plano, 0 – 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 – 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0 – 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2 – 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: (AyA, 2017)

Ilustración 11. Coeficiente de esorrentía para áreas no desarrolladas o rurales.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA ÁREAS NO DESARROLLADAS O RURALES (1)				
TIPOS DE CUENCAS				
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
Relieve	0.28 – 0.35 Empinado, terreno escarpado con pendientes promedios por encima del 30%	0.20 – 0.28 Montañoso, con pendientes promedios del 10 al 30%	0.14 – 0.20 Ondulado con pendientes promedio del 5 al 10%	0.08 – 0.14 Tierras relativamente planas, con pendientes promedio del 0 al 5%
Infiltración del suelo	0.12 – 0.16 Cubierta de suelo ineficiente, con cualquiera de los dos roca o manto de suelo delgado de capacidad de infiltración despreciable	0.08 – 0.12 Lento para tomar agua, arcilla o tierra negra, suelos superficiales de baja capacidad de infiltración, imperfecta o pobremente drenados	0.06 – 0.08 Normal, suelos con textura de suelos ligeros a medianamente bien drenados, arenas arcillosas, limos y llimos arcillosos	0.04 – 0.06 Altos, arenas profundas u otros suelos que guardan agua rápidamente, suelos muy ligeros bien drenados
Cobertura vegetal	0.12 – 0.16 Cubierta de plantas ineficiente, desnudo o muy dispersa	0.08 – 0.12 De malo a regular,, cultivos limpios, o cubierta natural pobre, menos que el 20% del área de drenaje con buena cubierta	0.06 – 0.08 De regular a bueno, alrededor del 50% del área con tierras cubiertas de grama o bosques, no más del 50% con áreas en la producción de cosechas	0.04 – 0.06 Buena a excelente, acerca del 90% del área de drenaje co buenos pastizales, bosques o alboledas o cubiertas equivalentes
Almacenaje superficial	0.10 – 0.12 Depresiones superficiales despreciables pocas y planas; drenajes empinados y cortos, sin pantanos	0.08 – 0.10 Bajo sistenas cortos de drenajes bien definidos, sin lagunas ni pantanos	0.06 – 0.08 Normal, considerables depresiones superficiales, lagos y lagunas y pantanos	0.04 – 0.06 Alta, superficie de almacenaje alta, sistema de drenaje no bruscamente definido, grandes planicies de inundación o gran número de lagunas o pantanos
Ejemplo	Dado: Una cuenca rural consistente de 1) terreno ondulado con pendientes promedios del 5%, 2) tipos de suelos arcillas,, 3) Área de pastizales, y 4) depresiones superficiales normales. Encuente: el coeficiente de escurrimiento, C, para la cuenca señalada arriba		Solución 0.14	Relieve: Infiltración del suelo: 0.08 Cubierta vegetal: 0.04 Superficie de almacenaje: 0.06 C = 0.32

Fuente: (AyA, 2017)

Mediante la siguiente fórmula se puede calcular el coeficiente de escorrentía promedio:

Ecuación 9

$$Cep = \frac{ci_1 xA_1 + ci_2 xA_2 + ci_n xA_n}{\sum A}$$

Donde:

Ce= Coeficiente de escorrentía promedio.

Ci= Coeficiente de escorrentía según su uso de suelos.

A= Área de la subcuenca.

7.19 Período de retorno

Según (Gamboa, 1969) afirma que la estadística hidrológica del periodo de retorno es la cantidad de años entre el suceso de una tormenta de determinada intensidad y la ocurrencia de otra de igual o mayor intensidad, también afirma algunos posibles efectos de drenajes según el tipo de carretera:

- Carretera urbana principal: Es de suma importancia un adecuado drenaje de aguas para una carretera principal por el importante flujo vehicular que surge, ya que, al poseer un volumen tan alto de vehículos, el desgaste en el pavimento es muy notorio. Se considera para este tipo de carreteras diseñar con valores de aproximadamente 20 a 50 años.
- Carreteras rurales: De igual manera en estos diseños serán basados en inundaciones de periodos de 5 a 25 años.

En la siguiente tabla se recomiendan para efectos de diseño en el periodo de retorno se ha establecido según la importancia de la vía y cada tipo de drenaje en obra. (Gamboa, 1969).

Tabla 11. Diseño periodo de retorno km

Tipo de drenaje	Período de diseño (años)			
	Autopistas		Carreteras	
	Avenidas urbanas	Rurales	Velocidad de diseño	
			40-100 km/h	25-60 Km/h
Pontones	50	50	50	25
Alcantarillas de sección transversal mayor a 4 m ²	50	25	25	10
Alcantarillas de sección transversal menor a 4 m ²	25	25	15	10

Fuente: (Gamboa, 1969)

7.20 Tiempo de concentración (Tc)

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida de esta. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante; el punto hidrológicamente más alejado es aquel desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida. Puede obtenerse a través de observaciones experimentales o utilizar ecuaciones para calcularlo.

La siguiente formula de Kirpich- Ramser es la común mente utilizada:

Ecuación 10

$$tc = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Donde:

tc= Tiempo de concentración (minutos).

L= Longitud del cauce principal (m)

ΔH = Diferencia de altura (m)

Según el manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas, se recomienda usar un tiempo mínimo de concentración de 10 minutos.

7.21 Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se puede definir como la tasa de precipitación que cae por unidad de tiempo en una zona establecida durante una época definida se expresa generalmente en mm/h.

Para fines de trabajo se utilizarán las Intensidades máximas de las tormentas sobre los centros urbanos más importantes de Costa Rica, en función del tiempo de concentración y del Período de Retorno (Vahrson, 1992)

Tabla 12. *Intensidades máximas de las tormentas sobre centros urbanos más importantes de Costa Rica, en función tiempo de concentración y periodo de retorno.*

Lugar	Intensidades de precipitación en mm/hora
Alajuela	$i = 209,844 - 38,7305 \times \ln tc + [42,614 - 24,6041 \times \ln(\ln tc)] \times \ln T$
En donde:	$tc =$ Tiempo de concentración (minutos).
	$T =$ Período de retorno (años).
	Debe notarse que en el caso de Alajuela la fórmula indica el logaritmo del logaritmo

Fuente: (Vahrson, 1992)

Tabla 13. *Intensiones de precipitación máxima (mm/h) por duración y periodo de diseño.*

	Numero	Estación	Latitud Norte	Longitud este	Elev (m)	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
81	84021	J. Santamaría	10°00'	84°12'	932	266,4	177,0	156,0	105,8	76,6

Fuente: (Vahrson, 1992)

Según (Vahrson, 1992) Intensidades de lluvia para tiempos de concentración de 5, 10, 15, 30 y 60 minutos. Para períodos de retorno T=10 años.

7.22 Pavimento

Se define como una estructura integrada por diferentes espesores definidos, con características específicas para cumplir con las funciones de base de apoyo, entre ellas las capas que conforman la estructura del pavimento según (Garber, 2005) son las siguientes:

7.23 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera la cual soporta toda la estructura del pavimento, suele ser un material natural ubicado a lo largo del alineamiento horizontal. Esta puede también estar compuesta de materiales adecuados, o bien compactados para resistir cargas a las que serán sometidas, generadas por los ejes equivalentes según el tránsito que pasan por el sector.

7.24 Sub base granular

Esta capa se encuentra entre la base y la subrasante, debido a que esta sometida a menores esfuerzos que la base. Por lo general es un material extraído en canteras, ya que es un material muy superior a la subrasante, su CBR es de 28-51%.

7.25 Base

La base granular es capa del pavimento la cual queda arriba de la subbase y por debajo de la carpeta asfáltica, una de sus principales características es que la conforman materiales granulares, como piedra triturada, escorio triturado o no tritura, grava y arena, todos estos materiales son debidamente procesados y estabilizados. La conformación es un pilar importante ya que por dicha capa es un excelente medio drenante

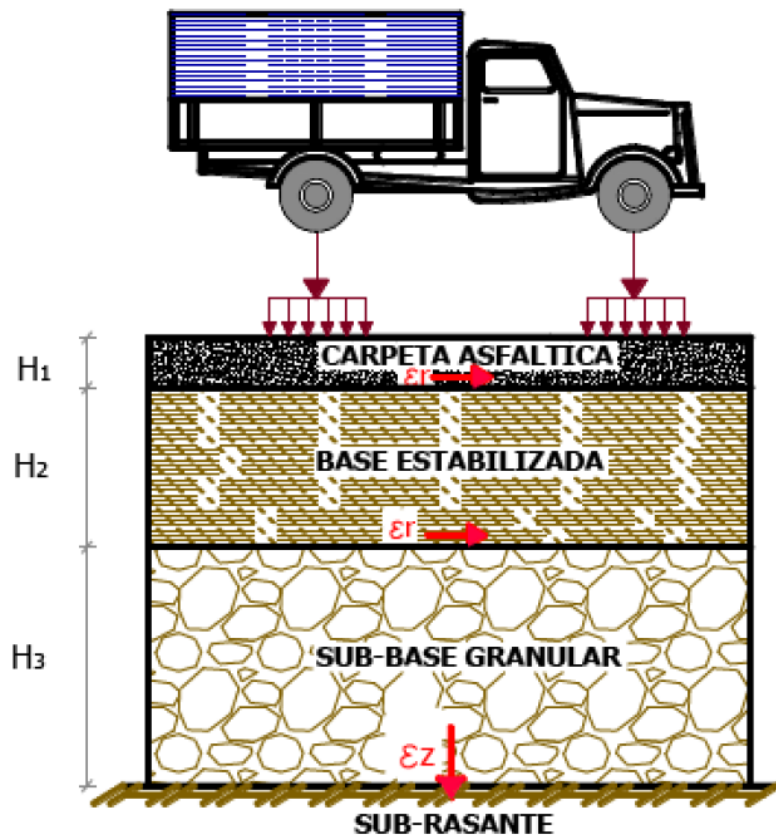
7.25 Carpeta Asfáltica

Esta es la capa de la estructura del pavimento, en la que debe ser capaz de resistir altas presiones y proporcionar una superficie resistente a los derrapes y confort para los conductores, además debe ser impermeable.

Esta capa o conocida también como capa superficial puede consistir en pavimentos flexibles, los cuales son mezclas asfálticas de agregados minerales y emulsiones asfálticas o para pavimentos rígidos que son común mente de concreto con altas resistencias.

En la siguiente ilustración se muestra las capas que conforman la estructura de un pavimento flexible, tanto como, subrasante, sub base, base granular y carpeta asfáltica:

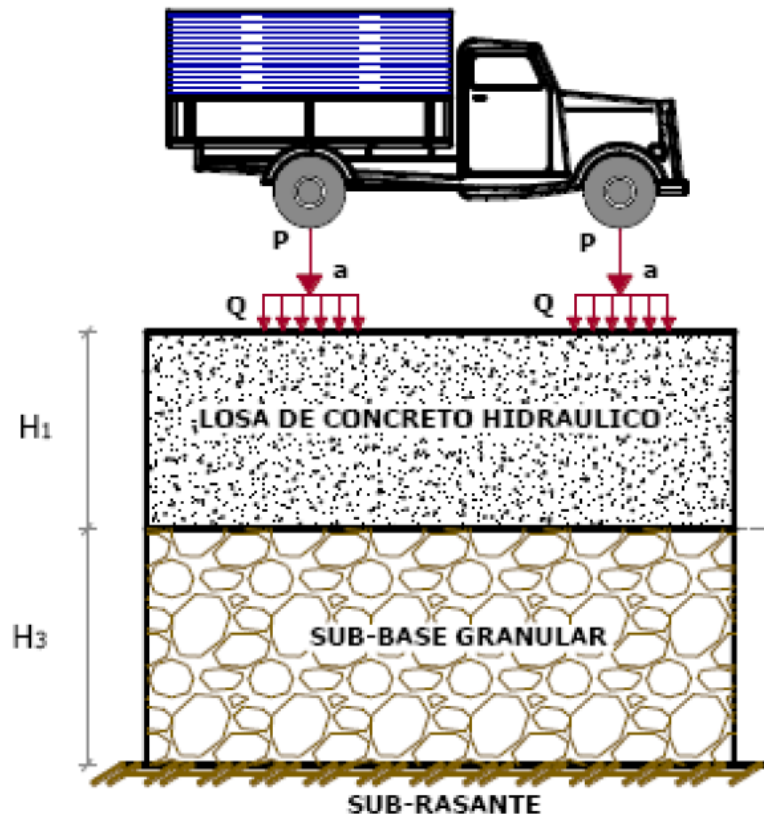
Ilustración 9. *Estructura de Pavimento Flexible*



Fuente: Apuntes de clases Diseño Pavimentos, 2018

En la siguiente ilustración se muestra las capas que conforman la estructura de un pavimento rígido, tanto como, subrasante, sub base granular y losa de concreto hidráulico de alta resistencia:

Ilustración 10. *Estructura de Pavimento rígido*



Fuente: Apuntes de clases Diseño Pavimentos, 2018

7.27 Señalización vial

La señalización vial son elementos que se utilizan para la regulación del flujo vehicular, ya sea para mantener la seguridad entre las vías, como para guiarlos con indicaciones. En Costa Rica existen principalmente tres tipos de señalamientos viales los cuales son:

1. Señalamiento vertical
2. Señalamiento horizontal
3. Señalamiento luminoso

7.28 Señalamiento vertical

Son laminas ubicadas en postes y lugares elevados que informan al peatón y conductor mediante símbolos o leyendas, según el manual del conductor existen 3 tipos de señalamiento vertical los cuales son:

7.29 Señales de reglamentación

Indican al peatón o conductor, las obligaciones o normativas que necesariamente deben cumplir. Estas señales se caracterizan por ser rectangulares, con algunas excepciones, también la parte superior lleven un disco o círculo rojo, en la cual indica una restricción reglamentaria. El fondo de estas señales es blanco, la leyenda y los bordes son negros.

Ilustración 11. *Señales de reglamentación*



Fuente: (Manual oficial de educación y seguridad , 2016)

7.30 Señales de prevención

Son señales que advierten al usuario de la existencia de un peligro u obstáculo en la vía, sea por situaciones imprevistas o por naturaleza en sus zonas adyacentes. Por lo general este tipo de señalización son flechas grandes y posición de cruce, tienen forma cuadrada, esquinas redondeadas, fondo color amarillo, leyendas y bordes negros.

Ilustración 12. **Señales de reglamentación**



Fuente: (Manual oficial de educación y seguridad , 2016)

7.31 Señales de información

Las señales de información orientan al conductor o peatón, facilitándole de tal manera la información o interés al lugar o destino que deseen. La mayoría de estas señales tienen fondo blanco, con leyenda y bordes negros. En las vías tránsito rápido y autopistas, se usan diseños más grandes, en fondo verde y letras blancas.

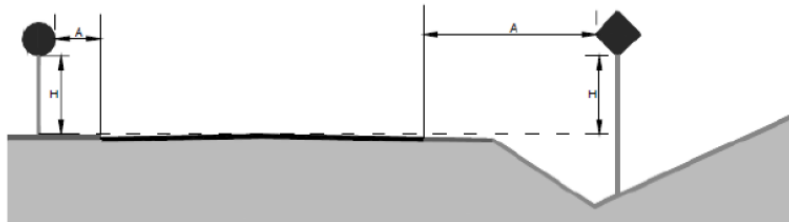
Ilustración 13. **Señales de información**



Fuente: (Manual oficial de educación y seguridad , 2016)

Explicado cada tipo de señalamiento vertical, debe colocarse de manera que sea visible, pero a su vez seguro para el tránsito vehicular y peatonal, en la siguiente tabla se muestra las alturas y distancias recomendadas:

Tabla 14. *Altura y distancia para señalamiento vertical*



	A (m)		H (m)	
	Mín.	Mín.	Mín.	Máx.
Autopistas y Autovías	3,5	1,5	1,5	2,2
Vía Convencional Rural con velocidad máxima ≥ 90 km/h	3	1,5	1,5	2,2
Vía Convencional Rural con velocidad máxima ≤ 80 km/h	2,5*	1,5	1,5	2,2
Vía Convencional Urbana con Solera	0,3	1,8	1,8	2,2
Vía Convencional Urbana sin Solera	1,5	1,8	1,8	2,2

Fuente: (CONASET, 2015)

7.32 Señalamiento Horizontal

Se trata de la señal que se traza sobre la calzada, borde del espaldón. Son básicamente señales para regulación de tránsito, así como limitar las zonas de paso de vehículos, restringiendo maniobras peligrosas en zonas no adecuadas.

Este tipo de señalización se divide en 3 grandes grupos los cuales son:

1. Pintura amarilla: Este color indica que se separan carriles con sentidos opuestos de circulación, como la línea centro, línea de barrera y carril central con giro a la izquierda.
2. Pintura blanca: Se utiliza para todo aquello que implica que el tránsito se mueve en un solo sentido de circulación. Asimismo, se utiliza para la demarcación de señales específicas como: ALTO, CEDA, velocidad máxima.
3. Pintura azul: Se utiliza para reservar espacios para las personas discapacitadas que requieren de espacios preferenciales.

7.33 Señales luminosas

Estas son utilizadas principalmente para regular el tránsito de vehículos y peatones, su principal función es minimizar los accidentes en las carreteras. Algunos tipos son:

1. El semáforo vehicular
2. El semáforo peatonal
3. Señalamiento preventivo

8. Marco Metodológico

Instrumentación de recolección de datos

8.1 Topografía del terreno

La compañía Aeris Holding proporcionó un AutoCAD dwg con los puntos de nivel que se utilizarán con AutoCAD CIVIL 3D 2018, en el cual podrá iniciar con el diseño alineamientos y alcantarillado.

En el proyecto lo que existe actualmente es un camino del lastre, en el cual su diseño base, sub base y carpeta asfáltica serán nuevas.

8.2 Análisis hidrológico

Se utiliza como referencia para el cálculo de la intensidad de las precipitaciones las Intensidades máximas de las tormentas sobre los centros urbanos más importantes de Costa Rica, en función del tiempo de concentración y del Período de Retorno (Vahrson, 1992) .

8.3 Criterios de diseño

En la elaboración del diseño geométrico es necesario aplicar lo que para ello dictan las leyes o reglamentos, en este caso el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, del SIECA, el cual fue preparado por consultores y regionales Centroamericanos seleccionados a base de un concurso internacional y fueron acompañados por funcionarios técnicos y la secretaria ejecutiva de la Cepredenac, quienes conformaron un grupo técnico y regional para el avalúo y diseño geométrico en carreteras.

Tabla 15. *Sistema de clasificación funcional*

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011)

Tabla 16. *Anchos mínimos de espaldones y aceras*

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras
(2011)

8.4 Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA)

Otro reglamento a desarrollar en la propuesta es la Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos del instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA), como principal propósito de esta reglamentación lo cual rige, se pretende utilizar de referencia conceptual y metodológica de los principales proyectos de infraestructura de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.

8.5 Normativa AASHTO 1993

Esta normativa es una de las antiguas para el diseño del pavimento a nivel internacional, fue desarrollada en los años 60 en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real en una carretera de prueba, con el objetivo de desarrollar tablas, gráficos y formulas donde se representen las relaciones deterioro por la repetición de cargas de las secciones ensayadas.

Al pasar los años se produjo en 1972 una guía conocida como “AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos”, y con el desarrollo de nuevas ideas o metodologías se incorporaron consideraciones en el diseño, como módulos de elasticidad de la subrasante, capas del pavimento, factores de humedad y temperatura, drenaje de la carretera.

Para el diseño del pavimento flexible, se realizó una proyección vehicular por un periodo de 20 años, esto debido a que la vía presenta bajo volumen vehicular, y se define como carretera pavimentada de bajo tráfico, esta información se obtuvo de un conteo vehicular la cual fue brindada por la compañía Aeris Holding.

8.6 Instrumentos para el procesamientos y análisis de los datos

En este caso se utilizará la herramienta Autodesk Civil 3D, a la cual se le introducirán los parámetros de diseño, obtenidos del manual, de manera que se pueda representar la

calzada, aceras, cordón y caño, entre otros planos en 3D, la propuesta. De esta forma se tendrá una idea clara del diseño en sitio que se desea.

Para el proyecto solo se tomará en consideración únicamente las normas de diseño de alcantarillado pluvial, ya que es lo que se encuentra dentro del alcance del proyecto el diseño de tuberías pluviales, pozos y desfuegos de la carretera. Igualmente se utilizará la hoja de Excel de diseño de alcantarillado pluvial de Acueductos y Alcantarillados, ya que las Municipalidades se rigen en el reglamento de esta institución para los diseños pluviales.

8.7 Ejes Equivalentes (ESAL)

Los ejes equivalentes corresponden a la conversión de las cargas (de cada uno de los vehículos de diseño) a un número de repeticiones de cargas equivalentes de un eje de ruedas duales de carga estándar de 8,2 toneladas, que se utiliza como parámetro para el diseño de pavimentos.

La metodología utilizada para obtener los ejes equivalentes en este estudio se basa en la Guía AASHTO y en los datos establecidos para Costa Rica del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Para obtener los ejes equivalentes es necesario establecer ciertos parámetros de diseño:

TPD = Tránsito promedio diario.

T = Composición vehicular.

T_f = Factor camión.

D = Factor de distribución por dirección.

L = Factor de distribución por carril.

GT = Tasa de crecimiento total para la cantidad de años de diseño.

Período de diseño: en la siguiente imagen se presentan los parámetros a tomar en cuenta para definir el período de diseño para un pavimento nuevo.

Tabla 17. *Periodo de diseño (años)*

Condición de la carretera	Período análisis (años)
Vías urbanas de alto tráfico	30-50
Carreteras rurales de alto tráfico	20-50
Carreteras pavimentadas de bajo tráfico	15-25
Carreteras con revestimiento de grava de bajo tráfico	10-20

Fuente: (CONSULTORES VIALES, S.A, 2017)

Factor de distribución por dirección: Se debe considerar el tráfico que utiliza el carril de diseño, si los datos se toman del Anuario de Información de Tránsito se debe considerar que los conteos se realizan en ambos sentidos de la vía.

Factor de distribución por carril: Este factor se considera como aquel que recibe el mayor número de ejes equivalentes. En la siguiente imagen se muestran los aspectos a tener en cuenta al determinar el factor de distribución por carril.

Tabla 18. *Factor de distribución por carril*

Factor de distribución por carril	
# carriles en una sola dirección	Porcentaje ESAL en un carril de diseño (%)
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50

Fuente: (CONSULTORES VIALES, S.A, 2017)

Tasa de crecimiento anual: La tasa de crecimiento anual se define según la estación y ruta más cercana al proyecto o zona donde se vaya a realizar el estudio.

Composición vehicular: Corresponde al porcentaje de vehículos que transitan la zona donde se realiza el aforo, teniendo en consideración la clasificación vehicular (Livianos, carga liviana, buses, dos ejes, tres ejes, cuatro y cinco ejes).

Factores camión: El factor camión se describe en la siguiente imagen según la clasificación vehicular.

Tabla 19. **Factores camión Costa rica**

Factor Camión			
Vehículo	Mínimo	Máximo	Promedio
Livianos	0,005	0,005	0,005
Carga liviana	0,01	0,02	0,01
C2-eje simple trasero	0,01	0,07	0,26
C2-eje tandem trasero	0,26	0,63	0,47
C3	0,99	1,28	1,1
Bus	1,25	2,29	1,71
4 -5 ejes	1,51	2,38	1,71

Fuente: (CONSULTORES VIALES, S.A, 2017)

Tránsito Promedio Diario: El TPD corresponde a la cantidad de vehículos que transitan por día en la zona de estudio. Se pueden utilizar los datos del Anuario de Información de Tránsito o bien realizar aforos vehiculares en el sitio de interés.

Tasa de crecimiento total: Para obtener la tasa de crecimiento total (GT) se utiliza la siguiente formula, donde “r” corresponde a la tasa de crecimiento anual y “Y” “corresponde al período de diseño en años.

Ecuación 11.

$$GT = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

Fórmula para obtener los ejes equivalentes (ESAL):

Ecuación 12

$$ESAL = TPD \times T \times T_f \times D \times L \times GT \times 365$$

TPD = Tránsito promedio diario.
T = Composición vehicular.
Tf = Factor camión.
D = Factor de distribución por dirección.
L = Factor de distribución por carril.
GT = Tasa de crecimiento total para la cantidad de años de diseño.

8.8 Espesor de la capa asfáltica

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

D1: Espesor de la capa asfáltica

SN1: número estructural requerido de la capa asfáltica

a1: Coeficiente estructural de la capa asfáltica

Espesor de la capa de base granular

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$$

Dónde:

D2: Espesor de la capa de base granular

SN2: número estructural requerido de la capa de base granular

SN1: número estructural requerido de la capa asfáltica

a2: Coeficiente estructural de la capa de base granular

m2: Coeficientes de drenaje para base granular

Espesor de la capa de subbase granular

Se basa con la siguiente formula:

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN^*_2 - SN^*_1}{a_3 m_3}$$

Dónde:

D3= Espesor de la capa de subbase granular.

SN3= Número estructural requerido de la capa de subbase granular.

SN2: Número estructural requerido de la capa de base granular.

SN1: Número estructural requerido de la capa asfáltica.

a3: Coeficiente estructural de la capa de subbase granular.

m3: Coeficientes de drenaje para subbase granular.

También se elaborará el presupuesto considerando los metros a tener en cuenta para la ejecución de la carretera, es la parte más importante donde se obtendrá el costo total del tramo de calle a ejecutar.

8.9 Instrumentación de Variables

Para el desarrollo del proyecto de investigación será necesario el uso de distintas variables numéricas, o etapas para ir paso a paso con los objetivos del proyecto, las cuales van hacer analizadas mediante softwares y fuentes bibliográficas. A continuación, se detalla cada elemento.

Tabla 20. *Variables*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE	HERRAMIENTAS	RESULTADOS ESPERADOS
Elaborar un diseño geométrico horizontal y vertical para la carretera, utilizando la topografía brindada por la compañía	<ul style="list-style-type: none">• Topografía.• Velocidad de diseño.• Derecho de vía.	<ul style="list-style-type: none">• AutoCAD Civil 3D.• Topografía brindada por la compañía Aeris Holding.• Manual Centroamerica no de dispositivos uniformes para	<ul style="list-style-type: none">• Elaboración del diseño geométrico, confección y presentación de planos.

Aeris Holding.		<p>el tránsito.</p> <ul style="list-style-type: none"> Manual Centroamerica no para el diseño geométrico de carreteras regionales. 	
Realizar una propuesta de diseño alcantarillado pluvial para la carretera.	<ul style="list-style-type: none"> Pendientes del terreno a diseñar Caudal de la zona. Áreas. Cuencas hidrológicas. Diámetro de tuberías, cajas de registro de aguas. 	<ul style="list-style-type: none"> Microsoft Excel. AutoCAD Civil 2018. Reglamento técnico para diseño de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 	<ul style="list-style-type: none"> Diseño de alcantarillado pluvial Calle La Candela sección, desvió de Coopesa.
Determinar el costo preliminar de la propuesta planteada.	<ul style="list-style-type: none"> Resultados obtenidos del diseño geométrico con la 	<ul style="list-style-type: none"> Microsoft Excel 	<ul style="list-style-type: none"> Presupuesto paramétrico del diseño.

	<p>herramienta AutoCAD Civil 2018.</p> <ul style="list-style-type: none">• Resultados de diseño Hidráulico.• Precios unitarios de maquinaria y materiales.• Resultados demarcación vial tanto horizontal como vertical.		
--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2018

9. Análisis de resultados

9.1 Diseño Geométrico

Se debe tomar en cuenta que es importante seleccionar el tipo de carretera de acuerdo a su clasificación y características que represente, como parte del diseño es regenerar un nuevo tramo de vía, como parte del encargado de infraestructura de Aeris Holding, recomendó proporcionar un nuevo tramo de vía a la antigua calle la candela, esta idea surge por cambios de expansión al Aeropuerto Internacional Juan Santamaria.

Para el diseño geométrico, se tomaron ciertos parámetros de diseño utilizando la herramienta AutoCAD CIVIL 3D 2018.

9.2 Velocidad diseño

Para la velocidad de diseño, según la clasificación de carreteras, se cataloga como una colectora rural, tomándose en cuenta una velocidad de 40 km/h.

9.3 Curvas Horizontales

9.3.1 Radio mínimo

Para el diseño geométrico horizontal de la calle, se aplicó la tabla 8, en el cual se considera un radio de 41 metros mínimo para la velocidad de diseño de 40 km/h, teniendo en cuenta una pendiente de 8% máximo. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de cada curva, así como los radios, PI Este, PI Norte y longitudes.

Tabla 21. *Elementos de curva horizontal*

TABLA DE ELEMENTOS CURVA HORIZONTAL						
N° CURVA	LONGITUD	RADIO	DIRECCIÓN	DELTA	ESTE PI	NORTE PI
C1	23.31 m	74.946 m	183° 42' 49.66"	017.82	514747.154	219173.604
C2	195.72 m	656.506 m	166° 15' 45.47"	017.08	514760.260	219029.501
C3	38.05 m	77.184 m	171° 50' 46.76"	028.25	514833.700	218850.241
C4	47.56 m	52.751 m	211° 47' 56.80"	051.66	514823.019	218748.116
C5	25.50 m	41.000 m	255° 26' 52.26"	035.64	514787.178	218725.395
C6	71.72 m	149.258 m	259° 30' 08.88"	027.53	514660.676	218732.618
C7	75.41 m	42.249 m	296° 52' 03.26"	102.26	514564.759	218689.384
C8	1.17 m	41.000 m	347° 10' 58.65"	001.63	514553.416	218742.742
C9	97.40 m	42.819 m	281° 11' 59.63"	130.34	514468.083	219094.592

Fuente: Elaboración propia, 2019

9.4 Curvas verticales

Los principales criterios de adelantamiento y parada son para las curvas verticales, en los cuales se consideran los factores mínimos K según la normativa AASHTO 1933, según cada tipo de curva, sea cresta o columpio.

Para curvas tipo cresta, teniendo en cuenta la velocidad de diseño de 40 km/h la distancia de visibilidad de adelantamiento el factor K es de 23 según la tabla 4.

Según la tabla 4 manteniendo igual forma una velocidad de diseño 40 km/h, la distancia de visibilidad de parada el factor K es de 9 según la tabla 5.

Para garantizar una mayor longitud de curva, se propone un factor de K mínimo para el diseño de 23, garantizando una mejor visualización a lo largo de la curva para los conductores.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de cada curva vertical, con sus respectivos radios, K diseño, cada tipo de curva, así como los componentes que caracterizan si son curvas de cresta o columpio.

Tabla 22. *Elementos de curva vertical*

CURVA	ESTACIÓN PVI	ELEVACIÓN PVI	TIPO CURVA	LONGITUD CURVA	K DISEÑO	K min DISEÑO	K min ADELANTAMIENTO	RADIO (m)
1	0+090,28	896,192	COLUMPIO	28,464	145,735	9	23	14573,524
2	0+386,26	886,898	CRESTA	177,508	62,147	9	23	6214,739
3	0+577,47	875,433	COLUMPIO	175,013	20,618	9	23	2061,836
4	0+760,00	879,982	COLUMPIO	139,93	21,122	9	23	2112,192
5	0+949,03	897,215	CRESTA	233,379	25,615	9	23	2561,522

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.5 Pendiente mínima y máxima para las curvas verticales

Por recomendación del manual SIECA, la pendiente mínima que se utilizara es de 0,5% para garantizar el adecuado escurrimiento de las aguas en la superficie de rodamiento, y en cuanto la pendiente máxima se utilizó 8% para emplear los criterios de diseño de la AASTHO 1993 programados en el AutoCAD Civil 3D.

9.6 Ancho carril

Se propone un ancho de carril 3,30 metros ya que es una carretera de bajo volumen de tránsito. Según el manual de SIECA para carreteras rurales o urbanas, el ancho recomendado de carril 3,6 metros, pero de acuerdo al diseño que se solicita por el Aeris Holding se establece el ancho indicado.

9.7 Ancho Acera

Para el ancho de acera se va mantener lo recomendado por el SIECA, el cual se asigna un valor de 1,2 metros, por ser una zona colectora rural.

9.8 Propuesta para el alineamiento vertical y horizontal

Se desarrolla un alineamiento desde la estación 0+000 hasta la estación 1+190, con la topografía ya existente con un terreno poco ondulado, por lo que se considera definir una rasante con el fin de empatar la sección de tramo a desarrollar con la calle existente.

En la siguiente tabla se muestra las curvas verticales propuestas en el diseño:

9.9 Análisis para el diseño pavimento

Para el diseño del pavimento, se realizó con la metodología ASSHTO 1993, ya que es la metodología que se utiliza comúnmente en Costa Rica, la cual brinda todos los requerimientos en casos máximos o mínimos.

Con el estudio de suelos aportado por la Aeris Holding, se determinó una subrasante con un CBR de 6,5%, obteniendo un módulo de resiliencia de 8466 psi. (Anexos se adjunta el estudio de suelos).

Previamente para el diseño de toda estructura de pavimento se debe determinar Tránsito Promedio Diario en el cual se adjunta en los anexos, la compañía Aeris Holding solicitó un estudio conteo vehicular con una proyección de 20 años a Consultores viales, S.A, el cual se utiliza como beneficio para el desarrollo de análisis en el diseño del pavimento.

Tabla 23. *Cálculo de ejes Equivalentes*

Calculo Ejes Equivalentes (ESAL)					
Clasificación vehículos	TPD	Gt	Composición Vehicular	Factor Camión	Ejes
Livianos	4711	0,331	82,47	0,005	117 226
Carga liviana	4711	0,331	6,18	0,01	17 569
Buses	4711	0,331	1,23	1,71	597 941
Dos ejes (C2)	4711	0,331	5,57	0,47	784 319
Tres ejes (C3)	4711	0,331	2,37	1,1	741 136
4-5 ejes (T3-S2)	4711	0,331	1,89	1,71	918 787
ESAL					3 176 978

Fuente: (VIALES, 2017)

Al verificar los resultados obtenidos por la compañía Consultores viales S.A, se determina que la carga para diseño es de 3.176.978 ejes equivalentes.

Seguidamente para el cálculo del número estructural (SN) se utilizaron los siguientes valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 24. Valores para el cálculo número Estructural SN1, SN2, SN3

Numero ejes Equivalentes	3.E+06
Nivel de confianza (R)	95
Índice de servicialidad inicial	4,2
Índice de servicialidad final	2
Diferencias índices de servicio ΔPSI	2,2
Desviación estándar total (So)	0,45
Mr Subrasante (psi)	8466
Mr Sub base (psi)	22529
Mr Base (psi)	42205
Mr Asfalto (psi)	450000
Coefficiente estructural del asfalto (a1)	0,44
Coefficiente estructural de la base (a2)	0,138
Coefficiente estructural de la sub base (a3)	0,118
Coefficiente de drenaje de la base (m^2)	0,8
Coefficiente de drenaje de la subbase (m^3)	0,8

Fuente: Elaboración propia, 2019

A partir de la tabla 16, se obtienen los valores SN1 asfalto, SN2 base granular y SN3 Sub base granular para el cálculo del espesor del pavimento, con el fin seguidamente de verificar si cumple con la norma ASSHTO 1993.

Tabla 25. Valores SN1, SN2, SN3

SN1 Base	1,8
SN2 Sub Base	2,5
SN3 Subrasante	4,2

Fuente: Elaboración propia, 2019

Al utilizar los valores anteriores de la tabla 16 y 17 se obtienen los espesores para cada capa de pavimento seleccionado:

Tabla 26. *Propuesta de estructura de pavimento*

Estructura Pavimento		
	Pulgadas	cm
Asfalto	4	10
Base	6	16
Sub Base	18	46

Fuente: Elaboración propia, 2019

Cada uno de los espesores de pavimento por recomendación de la norma ASSTHO 1993, todos cumplen,

9.10 Análisis hidrológico

Para el análisis hidrológico se empleó el método racional, ya que la cuenca cuenta con un área tributaria dentro de los parámetros del Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas de la SIECA en el cual rige que su área debe ser menor a 2,5 Km^2 .

Mediante la herramienta de Google Earth se trazó finalmente la cuenca principal, cuya área total es de 19,522 m^2 , en la siguiente ilustración se aprecia la cuenca delimitada:

Ilustración 14. *Área de cuenca*



Fuente: Google Earth, 2019

Seguidamente a partir del área total de la cuenca, se subdivide en sub cuencas para tener mayor precisión a la hora del diseño tuberías y generar más exacto la capacidad de los caudales.

En la siguiente tabla se expone cada sub cuenca, aparece cada área, así como las diferencias de altura entre el punto más alto y bajo de la cuenca, también la longitud en entre cada una de ellas.

Tabla 27. Información de las sub cuencas

SUB CUENCA	ÁREA (m2)	ΔH	L
1	756,19	1,72	52,79
2	884,29	2,23	63,98
3	863,13	0,98	61,76
4	837,62	0,55	61,83
5	1155,97	2,35	77,04
6	1177,32	3,77	77,1
7	284,01	0,87	24,44
8	964,43	3,25	72,06
9	12,88	0,67	31,66
10	337,15	1,27	27,32
11	634,09	0,76	44,55
12	743,97	0,59	45,95
13	767,85	2,58	49,37
14	581,27	1,58	45,08
15	402,53	2,96	31,38
16	361,81	2,77	30,621
17	532,36	1,80	34,4
18	829,59	0,35	44,48
19	687,77	2,13	37,41
20	2105,31	0,18	87,96
21	2925,82	2,52	118,96
22	477,59	4,34	29,53
23	558,06	3,88	35,83

Fuente: Elaboración propia, 2019

9.11 Periodo de retorno

Se propone un periodo de retorno a utilizar de 25 años, utilizando la tabla 10 por recomendación de la tesis Gamboa 1969 para tramos de carretas que no exceden los límites de velocidad entre 40 a 100 km/h.

9.12 Tiempo concentración

Mediante la ecuación de Kirpich-Ramser, se determinan los valores del TC, tomando en cuenta la especificación del AyA 2007, donde el TC mínimo para el diseño debe ser de 10 min, en este caso todos los tiempos de concentración están muy por debajo del mínimo.

En la siguiente tabla se adjunta cada cálculo, así como los tiempos de concentración:

Tabla 28. *Tiempos de Concentración*

SUB CUENCA	TC (minutos) Calculado
1	1,54
2	1,75
3	2,30
4	2,88
5	2,12
6	1,77
7	0,83
8	1,73
9	1,23
10	0,81
11	1,74
12	1,98
13	1,22
14	1,33
15	0,69
16	0,69
17	0,93
18	2,33
19	0,96
20	6,70
21	3,41
22	0,55
23	0,72

Fuente: Elaboración propia, 2019

Con los resultados obtenidos de los tiempos de concentración para cada sub cuenca según la tabla 28 ninguno cumple, ya que todos están por debajo de los 10min, por ende, para cada una de las sub cuencas se utilizará un TC de 10min el cual rige según las especificaciones del AYA.

9.13 Intensidad de lluvia

Para el cálculo de intensidad de lluvia se determinó con el uso de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría la cual se adjunta en el documento en la tabla 12, utilizando un periodo de retorno de 25 años. La información se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 29. *Intensidad de lluvia*

SUB CUENCA	PERIODO RETORNO (años)	INTENSIDAD (mm/h)
1	25	191,78 mm/h
2	25	191,78 mm/h
3	25	191,78 mm/h
4	25	191,78 mm/h
5	25	191,78 mm/h
6	25	191,78 mm/h
7	25	191,78 mm/h
8	25	191,78 mm/h
9	25	191,78 mm/h
10	25	191,78 mm/h
11	25	191,78 mm/h
12	25	191,78 mm/h
13	25	191,78 mm/h
14	25	191,78 mm/h
15	25	191,78 mm/h
16	25	191,78 mm/h
17	25	191,78 mm/h
18	25	191,78 mm/h
19	25	191,78 mm/h
20	25	191,78 mm/h
21	25	191,78 mm/h
22	25	191,78 mm/h
23	25	191,78 mm/h

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como resultado de la intensidad de lluvia se determina 191,78 mm/h para el diseño pluvial, manteniendo un periodo de 25 años.

9.14 Coeficiente escorrentía (c)

El valor de coeficiente escorrentía se calculó de manera a ponderada para facilitar el diseño, así como la utilidad de la tabla 10 de coeficientes de escorrentía recomendados para el cálculo con el método racional.

El proceso se llevo a cabo en el cual se determina inicialmente el área total de la cuenca y luego es dividido por cada una de las superficies, seguidamente se le brinda un coeficiente de escorrentía a ponderado a cada una de las secciones de área, ya sea calles y aceras, zona verde, cordón y caño.

En la siguiente tabla se muestra las siguientes sub cuencas en las cuales fueron divididas para obtener un coeficiente de escorrentía promedio principal.

Tabla 30. Cálculo coeficiente ponderado escorrentía para el diseño alcantarillado pluvial

COEFICIENTE PONDERADO ESCORRENTÍA				
Área de la cuenca en m²		17 343,181		
Cobertura	Área de cada sector en m2	Área en %	C	A *C
CALLES Y ACERAS	13334,781	0,77	0,86	0,66
ZONA VERDE	1904,288	0,11	0,49	0,05
CORDON Y CAÑO	2104,112	0,12	0,88	0,11
TOTAL	17343,181	1,00		0,82

Fuente: Elaboración propia, 2019

Dado el resultado del coeficiente global escorrentía es correcto al realizar el análisis en la zona indicada.

9.15 Diseño de caudales

Para el cálculo de caudal se utilizó el método racional. En la siguiente tabla se muestran los caudales de diseño, según cada sub cuenca.

Tabla 31. *Caudales de diseño*

SUB CUENCA	CAUDAL DISEÑO (m ³ /s)
1	0,03
2	0,04
3	0,038
4	0,037
5	0,051
6	0,052
7	0,012
8	0,042
9	0,001
10	0,015
11	0,028
12	0,033
13	0,034
14	0,025
15	0,018
16	0,016
17	0,023
18	0,036
19	0,030
20	0,092
21	0,128
22	0,021
23	0,024

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.16 Diseño hidráulico

Para el diseño de alcantarillado pluvial se procedió a la realización del diseño de cada uno de los tramos de tuberías con la hoja de Excel de Acueductos y Alcantarillados (AYA), ya que con dicha hoja abarca la norma vigente para el diseño de alcantarillados pluviales. Para el diseño de alcantarillado se realizó en el AutoCAD Civil 3D y AutoCAD 2015 para el trazado de las tuberías y la ubicación de cada tragante.

Cada pozo deberá colocarse a una distancia máxima de 120 metros, y los tragantes de tal manera que puedan absorber las áreas de influencia de forma correcta, ya que los tragantes son los que transportan el escurrimiento de las aguas.

Para un diseño óptimo utilizando la hoja del AyA, se efectuaron diferentes métodos del diseño alcantarillado:

1. Los valores de intensidad de lluvia determinados en la tabla 29.
2. Caudales que se deben ingresar a la hoja de cálculo del AyA.
3. Se ajustaron los pozos de tal manera que ninguno exceda los 4m de profundidad.
4. Las velocidades de flujo en la tubería no deben exceder 5 m/s a tubo lleno y un tirante máximo permisible de todas las tuberías no deben superar el 85%.

En la siguiente tabla se muestran las áreas de influencia de cada pozo por diseñar

Tabla 32. *Área de fluencia de pozos*

ÁREA INFLUENCIA POZOS	
PP N°01	756,19
PP N°02	884,29
PP N°03	863,13
PP N°04	837,62
PP N°05	1 155,97
PP N°06	1 177,32
PP N°07	284,01
PP N°08	964,43
PP N°09	12,88
PP N°10	337,15
PP N°11	634,09
PP N°12	743,97
PP N°13	767,85
PP N°14	581,27
PP N°15	402,53
PP N°16	361,81
PP N°17	532,36
PP N°18	829,59
PP N°19	687,77
PP N°20	2105,31
PP N°21	2925,82
PP N°22	477,59
PP N°23	558,06

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Previamente en el diseño del alcantarillado circular, los diámetros de la tubería se mantienen de 800 mm para todo el tramo por sugerencia de la compañía a cargo del proyecto, igual se revisan las pendientes máximas las cuales no deben exceder los 3,60%.

En la siguiente tabla se muestran todos los diámetros de tubería circular, así como las pendientes correspondientes:

Tabla 33. Resumen de tuberías

Nombre	Diámetro tubería (mm)	Longitud (m)	Pendiente (%)
TPP1	800 mm	51,67	3,01
TPP2	800 mm	62,06	2,57
TPP3	800 mm	59,83	2,15
TPP4	800 mm	59,83	2,11
TPP5	800 mm	75,12	3,01
TPP6	800 mm	74,95	3,41
TPP7	800 mm	20,37	3,1
TPP8	800 mm	70,31	2,67
TPP9	800 mm	30,60	3,24
TPP10	800 mm	24,84	2,14
TPP11	800 mm	45,08	3,34
TPP12	800 mm	45,12	2,65
TPP13	800 mm	43,44	3,33
TPP14	800 mm	41,86	3,6
TPP15	800 mm	30,47	2,36
TPP16	800 mm	27,73	3,05
TPP17	800 mm	32,59	2,55
TPP18	800 mm	38,94	2,74
TPP19	800 mm	31,06	2,08
TPP20	800 mm	84,90	3,6

TPP21	800 mm	117,41	3,46
TPP22	800 mm	21,05	2,8
TPP23	800 mm	21,77	2,82

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.17 Señalización

Al tratarse de un tramo carretera nuevo carece de señalización vial lo cual se utiliza como referencia las recomendaciones del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el control del tránsito, Sieca 2014, con el fin de mantener orden y seguridad a todos los usuarios que transiten por esta vía.

En la siguiente tabla muestra la señalización vertical recomendada a utilizar:

Tabla 34. Señalamiento vertical

Código de señalización	Descripción	Estación	Sentido
E-1-1	Zona escolar	1+191	Aeropuerto- El Coco
E-1-2	Zona escolar 100m	1+191	Aeropuerto- El Coco
R-2-1	Velocidad Máxima 40 Km/h	0+890	Aeropuerto- El Coco
R-2-1	Velocidad Máxima 40 Km/h	0+890	El Coco- Aeropuerto
R-2-1	Velocidad Máxima 40 Km/h	0+250	Aeropuerto- El Coco
R-2-1	Velocidad Máxima 40 Km/h	0+250	El Coco- Aeropuerto
P-1-2a	Prevención (curva)	1+050	Aeropuerto- El Coco

P-1-2a	Prevención (curva)	0+700	Aeropuerto- El Coco
P-1-2a	Prevención (curva)	0+550	El Coco- Aeropuerto

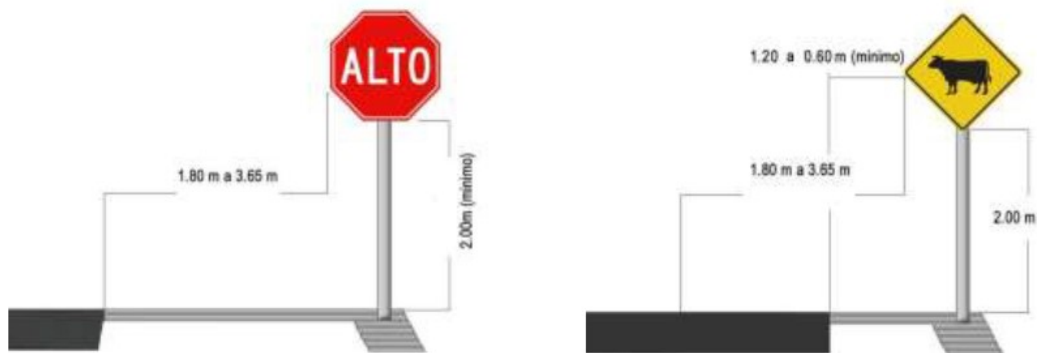
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Observaciones:

Cada estación fue definida según el alineamiento del tramo a diseñar. El sentido S 1-2 es Aeropuerto Internacional Juan Santamaria hacia el Coco, y viceversa el S 2-1.

En la siguiente ilustración según el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el control del tránsito, SIECA 2014 se representan las dimensiones mínimas para la colocación de señales verticales en zonas rurales.

Ilustración 15. Dimensiones mínimas para la colocación de señalización vertical



Fuente: (Manual centroamericano dispositivos uniformes para control de transito , 2014)

Para la señalización horizontal en caso de las líneas divisoras de los carriles, se propone asignar doble línea amarilla continua a todo lo largo del tramo, debido a que es una calle

rural, evitando adelantamientos en los que se pueden ocasionar accidentes dentro de la vía. Para la línea de borde de la calzada se propone a colocar línea continua blanca.

Captaluces

Los captaluces en la carretera se colocarán de la siguiente manera:

1. Captaluces dos caras amarillas: se colocarán a cada 10 m sobre la doble línea continua amarilla.
2. Captaluces una cara blanca: se ubicarán a cada 10 m sobre la línea de borde blanca de cada sentido de vía, una cara blanca en el sentido del tránsito y una cara roja en el sentido contrario.

9.18 Estimación de preliminar de costos

Sumario de cantidades

A continuación, se desglosa en la siguiente tabla el sumario de cantidades de materiales requeridos para la construcción del proyecto sección desvió de COOPESA

Tabla 35. Sumario de cantidades calle la Candela sección desvió COOPESA

ITEM Disposición Técnica	Descripción	Unidad	Cantidad estimada
CR.204.01	Obras de Relleno y conformación	m^3	10 486,00
	Obras de Corte	m^3	33 288,36
CR.301.01	Suministros, acarreo y colocación de material granular de Sub- Base graduación B (según CR-2010)	m^3	3 895,25
CR.301.03	Suministros, acarreo y colocación de material granular de base, graduación C (según CR-2010)	m^3	1 257,60
	Suministros, acarreo y colocación de mezcla Asfáltica en caliente	m^2	786,00

	Emulsión Asfáltica para imprimación	<i>l</i>	8 332
CR.661.01	Suministro y colocación de rejillas para sumideros tipo estándar para tragantes pluviales	u	128
	Suministro y colocación de tapas de pozos pluviales	u	24,00
	Pozos pluviales de 3,5 m a 4.0m de profundidad	u	2
	Pozos pluviales de 3,0 m a 3,5 m de profundidad	u	5
	Pozos pluviales de 2.5m a 3.0m de profundidad	u	5
	Pozos pluviales de 2.0m a 2.5m de profundidad	u	11
CR.602.01	Suministro y colocación de tubería C-76 clase III de 800 mm de Diámetro (tubos de 1.25m)	u	889
	Suministro y colocación de tubería C-76 clase III de 400mm Diámetro (tragantes)	u	122
CR.208.01	Excavación para alcantarillado pluvial	<i>m</i> ³	2987
CR.609.01	Construcción de cordón y caño de concreto hidráulico de 210 kg/cm ² . Con 65cm de desarrollo	<i>m</i>	1 190,00
	Sub base de relleno para cordón y caño	<i>m</i> ³	426,28
CR.615.01	Aceras de Hormigón	<i>m</i> ²	2 862,00
Señalización vertical	Suministro y colocación de señal vertical máxima velocidad	u	4,00

Señalización vertical	Suministro y colocación de señal vertical de escuela	u	2,00
Señalización vertical	Suministro y colocación de señal entrada a curvas	u	3,00
Señalización Horizontal	Línea de borde izquierda (continua)	km	1,19
Señalización Horizontal	Línea doble continua	km	1,19
Señalización Horizontal	Línea de borde derecha (continua)	km	1,19
Señalización Horizontal	Letras de Velocidad de Km/h	u	4,00
Señalización Horizontal	Letreros de escuela	u	1,00
Señalización Horizontal	Captaluces doble cara roja	u	238,00
Señalización Horizontal	Captaluces doble cara amarilla	u	238,00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A partir de las cantidades obtenidas mostradas en la tabla 35 se procedió a realizar una estimación de costos para la construcción de la nueva destrucción de calle sección desvió COOPESA utilizando como referencia algunas cotizaciones y utilizando precios sugeridos por la compañía de AERIS HOLDING.

En la siguiente tabla se muestran el precio la estimación de costos preliminar para el proyecto:

Tabla 36. Estimación preliminar de costos

ITEM Disposición Técnica	Descripción	Unidad	Cantidad estimada	Costo total
CR.204.01	Obras de Relleno y conformación	m ³	10486.00	¢112 619 640
	Obras de Corte	m ³	33288.36	¢128 160 186
CR.301.01	Suministros, acarreo y colocación de material granular de Sub- Base graduación B (según CR-2010)	m ³	3895.25	¢29 243 005
CR.301.03	Suministros, acarreo y colocación de material granular de base, graduación C (según CR-2010)	m ³	1257.60	¢17 198 938
	Suministros, acarreo y colocación de mezcla Asfáltica en caliente	m ²	786.00	¢108 993 048
	Emulsión Asfáltica para imprimación	l	8332	¢909 228
CR.661.01	Suministro y colocación de rejillas para sumideros tipo estándar para tragantes pluviales	u	128	¢12 513 408
	Suministro y colocación de tapas de pozos pluviales	u	24.00	¢2 346 264
	Pozos pluviales de 3.5m a 4.0m de profundidad	u	2	¢2 114 358
	Pozos pluviales de 3.0m a 3.5m de profundidad	u	5	¢5 285 900
	Pozos pluviales de 2.5m a 3.0m de profundidad	u	5	¢5 285 905
	Pozos pluviales de 2.0m a 2.5m de profundidad	u	11	¢11 629 002
CR.602.01	Suministro y colocación de tubería C-76 clase III de 800 mm de Diámetro (tubos de 1.25m)	u	889	¢113 043 302

	Suministro y colocación de tubería C-76 clase III de 400mm Diámetro (tragantes)	u	122	¢515 328
CR.208.01	Excavación para alcantarillado pluvial	m ³	2987	¢7 392 825
CR.609.01	Construcción de cordón y caño de concreto hidráulico de 210 kg/cm ² . Con 65cm de desarrollo	m	1190.00	¢29 682 170
	Sub base de relleno para cordón y caño	m ³	426.28	¢4 797 355
CR.615.01	Aceras de Hormigón	m ²	2862.00	¢68 340 954
Señalización vertical	Suministro y colocación de señal vertical máxima velocidad	u	4.00	¢464 460
Señalización vertical	Suministro y colocación de señal vertical de escuela	u	2.00	¢232 232
Señalización vertical	Suministro y colocación de señal entrada a curvas	u	3.00	¢348 351
Señalización Horizontal	Línea de borde izquierda (continua)	km	1.19	¢804 294
Señalización Horizontal	Línea doble continua	km	1.19	¢804 295
Señalización Horizontal	Línea de borde derecha (continua)	km	1.19	¢804 296
Señalización Horizontal	Letras de Velocidad de Km/h	u	4.00	¢215 644
Señalización Horizontal	Letreros de escuela	u	1.00	¢64 693
Señalización Horizontal	Captaluces doble cara roja	u	238.00	¢1 085 685

Señalización Horizontal	Captaluces doble cara amarilla	u	238.00	₡1 085 923
-------------------------	--------------------------------	---	--------	-------------------

Fuente: Elaboración propia, 2019.

De la estimación del presupuesto se obtuvo un costo total de ₡665 756 748 (seiscientos sesenta y cinco millones con setecientos cincuenta y seis mil setecientos cuarenta y ocho colones) aproximadamente dando por metro lineal un costo total de ₡559459(quinientos cincuenta y nueve mil cuatrocientos cincuenta y nueve). Este dato le sirve como referencia a la compañía de AERIS HOLDING para la ejecución de dicho proyecto.

10. Conclusiones

1. Se elaboró una propuesta de diseño geométrico vertical y horizontal, en el cual cumpla con las normas internacionales aprovechando todo el espacio disponible en la zona, así como también un sistema de vial en el cual se le brinde al conductor un trayecto más fácil y ordenado.
2. Se realizó el diseño del alcantarillado pluvial nuevo para la sección desvió COOPESA, basándose en la norma del AYA en el cual se verifica que cumpla con todos los parámetros en el diseño.
3. Se diseñó las capas de la estructura del pavimento flexible basándose en las normativas ASSTHO – 93 para un periodo de 20 años, para que cumpla con las condiciones óptimas en el nuevo tramo sección desvió COOPESA.
4. Se determinó un presupuesto preliminar del tramo nuevo a diseñar sección desvió COOPESA, donde la compañía AERIS HOLDING a cargo del proyecto lo podrá utilizar de referencia para la restructuración de dicho tramo.

11. Recomendaciones

1. Se le recomienda a la compañía Aeris Holding cargo de este proyecto, a la hora de realizar las obras de esta nueva carretera, realizar un estudio sobre el manejo de aguas del nuevo hangar de COOPESA, ya que actualmente en las visitas a campo se ve el deterioro de algunas cunetas y sub rasante actual.
2. Se le recomienda a la compañía Aeris Holding, realizar mantenimiento de la vía cada 5 años, así como sus alcantarillados, aceras y cunetas, esto para prolongar una mejor vida útil y disminuir grandes costos a largo plazo.
3. Se le recomienda a la Universidad Latina de Costa Rica, fortalecer los cursos de hidráulica, ya que no se cuenta con herramientas suficientes a la hora diseñar una red de alcantarillado, esto sería de gran ayuda para la comunidad estudiantil.
4. Se la recomienda a la Universidad Latina de Costa Rica, la incorporación de nuevos laboratorios de pavimentos en la sede de Heredia, ya que sería de gran ayuda a la hora realizar un diseño de pavimento con estudios reales del comportamiento de cada una de las capas que componen la estructura real de un pavimento.

Bibliografía

- AASTHO. (2011). In *A Policy on geometric design of highways and streets*.
- Aeropuerto Internacional Juan Santamaria*. (2018). Retrieved from SJO airport:
<https://sjoairport.com/>
- AyA. (2017). Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento Pluvial. *La Gaceta*.
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras* . Bogotá.
- Chow, V. T., & Maidment, D. y. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia: Mc Graw Hill Interamericana.
- CONASET. (2015). *Manual de señalización de Tránsito* . Chile .
- Gamboa. (1969). *Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores de carreteras* . San José: Editorial Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.
- Garber, N. &. (2005). *Ingeniería de tránsito y carreteras*. Mexico DF: Learning Editores, S.A.
- Grisales, J. C. (2000). *Diseño Geométrico vías*. Bogotá: Ecoe.
- IMN. (2011). Curvas de intensidad duracion frecuencia de algunas estaciones. In N. R. Morales, *Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones Instituto Meteorológico Internacional* . San José.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2006). In *Reglamentación técnica para diseño y construcción y urbanizaciones, condominios y fraccionamientos*. San José: Diario Oficial La Gaceta.
- INVIAS. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras* . Colombia : Instituto Nacional de vías .
- Ley 5050 Ley General de caminos públicos*. (2017, octubre 29). Retrieved from
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.a
- Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras. aecid. (2011).
- Manual centroamericano dispositivos uniformes para control de tránsito* . (2014). Guatemala : SIECA.
- MANUAL DE CONSIDERACIONES TÉCNICAS HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICAS PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN CENTROAMÉRICA. (2016). In C. G. Vergara. El Salvador .
- Manual oficial de educación y seguridad . (2016). In *Manual del Conductor*. San Jose: UNED.

- MOPT. (2016). *Sectorial, Secretaria de Planificacion*. Retrieved from <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/463/MOPT-01-06-23-006-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Municipalidad de Alajuela* . (2017, 10 27). Retrieved from <http://www.munialajuela.go.cr/pages/historia.html>
- Perez Carmona, R. (2014). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje de carreteras* . Bogota : ECOE Ediciones .
- S.L. Uribe Celis Universidad de los Andes, B. C. (n.d.). Retrieved from google academico: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31111994/SANMDD.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1539196408&Signature=W3fh4opfi%2F0vkClZ5Fe3Gzf%2F72c%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DManual_de_diseno_geometrico_para_vi
- SIECA. (2011). *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico carreteras*. aacid.
- Vahrson, W. G. (1992). In *Intensidades maximas de las tormentas sobre los centros urbanos mas importantes de Costa Rica* (pp. 245-256). Congreso Recursos Hidraulicos y Saneamiento Ambiental.
- VIALES, C. (2017). *INFORME TÉCNICO TRANSITO PROMEDIO DIARIO*.

