



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍAS Y TRABAJO DE GRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE APROBACIÓN DEL INFORME DE PASANTÍA O  
TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño de Sistema de Saneamiento en Veredas de las Avenidas  
Don Julio Cortés Tramo de estudio: Urbanización El Hoyo I -  
Urbanización Yuma II, Municipio San Diego Estado Carabobo

Realizado por el (la) Sr. Lara Cordón, Santo Samuel

C.I. N° 21.312.340 cursante de la carrera de Ingeniería Civil hace constar después de analizar su contenido y oír la exposición oral, considera que reúne los méritos suficientes para su aprobación asignándole la CALIFICACIÓN DEFINITIVA D° Distinta 12 PUNTOS

El Jurado

Tutor académico (coordinador)

Nombre: José J. Medina  
C.I. V-1528124

[Firma]  
Jurado (2°)  
Nombre: Mónica Fico  
C.I. 17318976

[Firma]

Jurado (1°)

Nombre:  
C.I. 15148806

Fecha: 12/05/2021

PARA SER LLENADO POR LA COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

He recibido Original del Acta de Aprobación para ser colocada en la solvencia Académica

Santos Lara  
Nombre del Graduado:  
C.I. 27.872.340  
Fecha: 12/05/2021

[Firma]  
Coordinador de Pasantías y Trabajo de Grado

SEMESTRE: 2020 3er

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE  
LA AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II,  
MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

**Autores:**

González C. Andrés E.  
Lara C. Santos S.

Urb. Yuma II, CALLE Nro. 3 Municipio San Diego  
Teléfono: (0241)8714240 (máster) – Fax: (0241)8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II,  
MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

González C. Andrés E.

C.I: 27.014.068

Lara C. Santos S.

C.I: 27.372.340

**Tutor Académico:** Medina Ángel

C.I. 15.299.274

San Diego, abril de 2021.

*Universidad José Antonio Páez*  
*Decanato de Ingeniería*



**FI-L-013-2020-3CR (TG)**

Valencia, 22 de marzo de 2021

Ciudadanos: **GONZALEZ CABALLERO, ANDRES ENRIQUE.**

C.I 27.014.068

**LARA CORDERO, SANTOS SAMUEL.**

C.I 27.372.340

**Presente-**

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° **02-2021** de fecha **19-01-2021** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE EN LA VIALIDAD DE LA AVENIDA JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO URBANIZACIÓN EL MORRO I- URBANIZACIÓN YUMA II. MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.*** Presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ángel Medina C.I: 15.299.274 como Tutor Académico que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



**Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.**  
**Decano**

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

GF/fm



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero Ángel Medina, portador de la cédula de identidad N°15.299.274, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos González Caballero, Andrés Enrique portador de la cédula de identidad N° 27.014.068 y Lara Cordero, Santos Samuel portador de la cédula de identidad N° 27.372.340, titulado **“DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO: URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II, MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación, según las condiciones de la Coordinadora de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego, a los 15 días del mes de octubre de dos mil veinte.

Ángel J. Medina P.

C.I. V-15.299.274

Ing. Ángel Medina 149.464

C.I.: 15.299.274

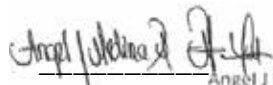


**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO: URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II, MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.”**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Ángel Medina

  
Ángel J Medina P  
C.I. V-15.299.274  
C.I.V 149.464

17-04-2021

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia Yáñez de Pizzella



18-10-2020

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

## AGRADECIMIENTOS

### *Santos Lara:*

A lo largo de la vida, se presentan diferentes situaciones, las cuales nos dejan vivencias que nosotros como individuos vamos a recordar toda la vida, y más que eso, nos dejan personas, algunas maravillosas y otras que te sirven de aprendizaje para continuar el camino. A continuación, quiero agradecer a todas aquellas que han estado presentes en a lo largo de la realización de este trabajo de grado y más aún en toda esta travesía llamada Ingeniería Civil.

Quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme cumplir un objetivo en mi vida propuesto hace más de cinco años. Que, a pesar de cada dificultad presentada a través del camino, nunca me desamparo y siempre fue mi refugio en los días de desmotivación.

A mis Padres, **Carolina Cordero** y **Santos Lara**, y hermanos, **Leniska Lara**, **Genesis Lara**, **Isaac Lara**, **Raquel Lara** y **Sarah Lara**, que han estado conmigo en todo momento, que me apoyaron y ayudaron siempre que los necesite y han vivido esta aventura conmigo como si fuera suya.

A mis amigos, **Daniel Campos**, **Luis pulido**, **Gabriel Gutiérrez**, **Jesús Varela**, **Welter Pulgar**, **María Fernanda Zamora**, **Yotman Reyes**, **Carla Ramírez** y **Osmer Vargas**, que me sirvieron de motivación y ánimos, y han estado para mí siempre que los necesito, han influido en mi camino y aportado positivamente para la realización de este logro.

A mi compañero y amigo, **Andres González**, por funcionar como un equipo para la realización de este trabajo de grado y más que eso, ser un amigo que ha aportado muchas cosas positivas a lo largo de mi carrera, también, por tener iniciativa para conseguir grandes cosas y estar cuando lo he necesitado.

A mi tutor académico y amigo, **Ángel Medina**, que siempre estuvo a nuestra disposición y además de eso, nos ha impartido un sin número de conocimientos que nos van a beneficiar a lo largo de nuestra vida y la puesta en práctica de la ingeniería en el ámbito laboral.

A otros Colegas y profesionales, como son, **Oscar González, Joel Currieri, Manuel Figueira, Alejandro Pocaterra, Freddy Lanza**, entre muchos más, que han contribuido en el aprendizaje a lo largo de toda la carrera.

Sin duda alguna, este proceso ha sido gran formación para mí como profesional y será un hito personal logrado que no olvidaré.

## AGRADECIMIENTOS

*Andrés González:*

Ante todo, no creo posible plasmar en palabras el profundo agradecimiento a todas las personas que estuvieron ahí para mí durante esta etapa. Quisiera comenzar dándole gracias a la vida por ponerme en el camino de personas tan sobresalientes que me han enseñado tanto y han hecho del camino mucho más sencillo.

A mis papás, **Luis E. González Cintra** y **Claudia E. Caballero Corser** por ser el pilar fundamental, por enseñarme que todo en esta vida es posible si se hace con amor, trabajo y dedicación, gracias por siempre estar ahí para mí.

A mis hermanas, **Sofía, Isabella y Valeria**, sin ustedes nada fuese lo mismo. Muchísimas gracias por ser un apoyo incondicional, y por todo lo que me han enseñado.

A mi abuela, **Vicky Corser** por siempre creer en mí, apoyarme, enseñarme y guiarme en cada paso que doy en mi vida.

A mi novia, **Silvana Bello** por acompañarme a lo largo de esta etapa tan bonita de mi vida, por estar siempre ahí en las buenas y malas, y por motivarme cada día a ser mejor.

A mis hermanos de la universidad, **Andrea Arrieche, Roitmar Delgado, Carla Ramírez, Jaurifer Hernández, Kaomy Sánchez, Veruzka Contreras, Daniel Campos, Carlos Cuenca, Santiago Gonzalez, Boris Bernstein, Jesús Varela, Welter Pulgar**, y, por último, pero no menos importante **Luis Pulido**. Este increíble grupo de personas que a lo largo de la carrera se convirtieron en más que amigos, que incansablemente me apoyaron para lograr todos los objetivos. Por eso y muchísimas cosas más, gracias.

A mi compañero y futuro colega, **Santos Lara** por el gran trabajo en equipo que hemos logrado, por todo lo que me ha enseñado y todos los objetivos que hemos cumplido hasta ahora. Gracias por tanto hermano.

A nuestro tutor académico y futuro colega, **Ángel Medina**, por todo el conocimiento impartido durante estos últimos semestres y por apoyarnos en la labor de finalizar esta etapa.

Por último, agradecer a esos grandes docentes que por cariño a la vocación dedicaron su tiempo para compartir todos sus conocimientos y formarnos de la mejor manera posible. Entre ellos me gustaría mencionar a **Oscar González, Manuel Figueira, Joel Curreri, Alejandro Pocaterra, Rafael Mieres, Freddy Lanza, entre otros.**

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>

### **CAPÍTULOS**

#### **I EL PROBLEMA**

1.1. Planteamiento del Problema.....	5
1.2. Formulación del Problema.....	10
1.3. Objetivos de la Investigación.....	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Justificación .....	11
1.5. Alcance.....	12
1.6. Delimitación.....	13

#### **II MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de Investigación.....	14
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	14
2.1.2 Vías de comunicación .....	15
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. Carretera .....	18
2.2.2 Vías de comunicación .....	18
2.2.3 Clasificación de la vía .....	18
2.2.4. Estructura Vial.....	20
2.2.5. Drenaje Vial.....	21
2.2.6. Drenaje Superficial.....	22

2.2.7. Drenaje Subterráneo .....	22
2.2.8. Estructuras que componen el sistema de drenaje vial .....	23
2.2.9. El agua como agente destructivo de las carreteras .....	25
2.2.10. Criterios de diseño para el drenaje vial .....	29
2.2.11. Condiciones generales de los drenajes subterráneos (Subdrenajes) ....	30
2.2.12. Tipos de Subdrenaje .....	31
2.2.13. Subdrenaje Tradicional .....	32
2.2.14. Geodren Planar .....	33
2.2.15. Drenes de penetración transversal.....	36
2.2.16. Galerías filtrantes .....	38
2.2.17. Materiales empleados en los subdrenajes .....	40
2.2.18. Geotextiles.....	40
2.2.19. Clasificación de los geotextiles según su método de fabricación .....	41
2.2.20. Clasificación de los geotextiles según su composición.....	42
2.2.21. Funciones de los geotextiles.....	43
2.2.22. Geodrénes.....	45
2.2.23. Aspectos de diseño de los subdrenajes.....	46
2.2.24. Metodología de diseño de subdrenajes .....	47
2.2.25. Dimensionamiento de la sección transversal .....	51
2.2.26. Sustentabilidad .....	53
2.2.27. Impacto ambiental .....	54
2.2.28. Factibilidad.....	55
2.3. Bases legales. ....	56
2.4. Definición de Términos Básicos. ....	58

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Tipo de Investigación. ....	61
3.2. Diseño de Investigación. ....	62
3.3. Nivel de Investigación.....	63
3.4. Población y Muestra. ....	63
3.5. Técnicas de Recolección de Datos. ....	64

3.5.1.Revisión documental.....	64
3.5.2.Observación directa.....	64
3.5.3. Tabulación de datos .....	64
3.6. Instrumento de Recolección y Análisis de datos.....	65
3.6.1. Google Earth .....	65
3.6.2.Microsoft Excel .....	65
3.6.3.AutoCad .....	66
3.6.4.Global Mapper .....	66
3.6.5.Listas de Cotejo .....	66
3.7. Fases Metodológicas de la Investigación. ....	66

#### **IV RESULTADOS**

4.1. Diagnóstico de la situación actual del tramo de estudio, en referencia a los sistemas de drenajes existentes. ....	68
4.1.1.Diagnóstico de la situación actual.....	68
4.2. Determinación de los parámetros básicos y valores críticos para el diseño e implementación de un sistema de subdrenajes. ....	71
4.2.1.Características de la zona .....	72
4.2.2.Tramo de estudio.....	75
4.2.3.Sección de la vía.....	76
4.2.4.Topografía .....	77
4.2.5.Geología .....	80
4.2.6.Hidrología .....	83
4.2.7.Geotecnia.....	87
4.2.8.Información Pluviométrica.....	88
4.2.9.Periodo de Retorno.....	88
4.2.10.Coeficiente de escorrentía .....	89
4.2.11.Análisis de variación de pendiente en el tramo de estudio .....	90
4.2.12.Dirección del sentido de drenaje .....	90
4.2.13.Tiempo de concentración .....	91
4.2.14.Caudal de diseño .....	93

4.3. Análisis de la factibilidad técnica de los diferentes tipos de sistemas de subdrenaje que pueden emplearse en el tramo vial de estudio. ....	97
4.3.1. Elección del tipo y método de subdrenaje a emplear .....	98
4.4. Diseño del sistema de subdrenaje óptimo, funcional y sustentable para el tramo de estudio.....	99
4.4.1. Dimensionamiento del dren .....	99
4.4.2. Ancho y Profundidad de la zanja. ....	101
4.4.3. Estimación del diámetro de la tubería a utilizar.....	102
4.4.4. Cálculo Hidráulico para la Escogencia del Geotextil. ....	104
4.4.5. Factor de Seguridad Global. ....	106
4.4.6. Criterios de evaluación del geotextil.....	107
4.4.7. Geotextil Adecuado para el Diseño... ..	110
4.4.8. Consideraciones generales de las tuberías perforadas....	112

## **V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones .....	114
4.2. Recomendaciones .....	118

<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>120</b>
-------------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Pág.</b>
1	San Diego bajo las aguas.....	9
2.	Vista aérea del tramo en estudio.....	13
3.	Esquema de jerarquización de vías urbanas .....	20
4.	Fenómeno de bombeo en los pavimentos.....	27
5.	Av. Don Julio Centeno anegada luego de 15 min de lluvias.....	29
6.	Vista de detalle de un subdren de zanja .....	33
7.	Detalle típico de un geodrén planar .....	36
8.	Detalle típico de subdren horizontal o de penetración.....	38
9.	Detalle típico de Galería filtrante .....	39
10.	Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles .....	41
11.	Vista macroscópica de dos tipos de geotextiles tejidos.....	42
12.	Vista macroscópica de dos tipos de geotextiles no tejidos .....	42
13.	Dirección de la resultante de dos pendientes dadas.....	48
14.	Sección transversal de un sistema de subdrenaje lateral en vías.....	50
15.	Sección transversal de subdrenaje en una vía .....	52
16.	Dimensiones del desarrollo sostenible .....	53
17.	Plano de ubicación Geográfica.....	73
18.	Plano de Situación y Ubicación.....	74
19.	Tramo de la vía sentido Sur-Norte.....	77
20.	Vista de planta de elevación del Municipio San Diego .....	78
21.	Mapa de superficie de elevación del del tramo en estudio .....	79
22.	Curvas de nivel del tramo en estudio .....	79
23.	Perfil Longitudinal del tramo en estudio.....	79
24.	Mapa de localización del estudio de suelos. ....	82
25.	Perfiles Litológicos probables del suelo. ....	82
26.	Promedio de precipitaciones media anual-mensual 1996-2005. ....	83
27.	Ríos Existentes en el Municipio San Diego, Estado Carabobo.....	85
28.	Mapa Pluviométrico de la cuenca del Río San Diego.....	86
29.	Sistema de Fallas tectónicas en Venezuela. ....	87
30.	Velocidad de acuerdo a la pendiente y el material drenante.....	100

31. Esquema perforación de tuberías .....	113
---	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
1 Estructuras que componen el sistema de drenaje vial menor .....	24
2 Valores recomendados para $F_i$ .....	49
3 Valores recomendados para $F_r$ .....	49
4 Tramos de estudio, longitud y progresivas .....	70
5 Periodos de retorno del gasto de proyecto en años .....	88
6 Coeficientes de escorrentía .....	89
7 Tramos de estudio de acuerdo con la variación de pendiente.....	90
8 Dirección del sentido de drenaje .....	91
9 Factores de cobertura superficial .....	92
10 Determinación de parámetros para el cálculo del $T_c$ .....	93
11 Determinación del Tiempo de concentración .....	93
12 Precipitaciones máximas en la estación San Diego para diferentes duraciones y periodos de retorno. ....	95
13 Gasto de infiltración por cada tramo de estudio .....	96
14 Gasto total de diseño .....	96
15 Criterios Técnicos que debe cumplir el drenaje para su implementación. ....	98
16 Área transversal de la zanja del subdrenaje .....	101
17 Dimensiones de la zanja del subdrenaje .....	102
18 Diseño de la tubería del subdrenaje.....	103
19 Cálculo de Permitividad última del geotextil .....	104
20 Cálculo de la Permitividad requerida del geotextil .....	105
21 Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje ...	106
22 Permitividad admisible del geotextil.....	106
23 Factor de seguridad global del geotextil .....	107
24 Criterio de retención en la escogencia del geotextil .....	108
25 Criterio de permeabilidad en la escogencia del geotextil.....	108
26 Rango de propiedades representativas de geotextiles utilizadas para filtro. ....	110
27 Especificaciones Técnicas Geotextiles Rango NT 3000-NT 5000 ....	111



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II,  
MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

**Autores:** González, Andrés y Lara, Santos.

**Tutor:** Ing. Ángel Medina.

**Fecha:** Octubre, 2020.

**RESUMEN**

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad realizar el diseño de sistema de subdrenaje en vialidad de la avenida Don Julio Centeno tramo de estudio: Urbanización el morro I – Urbanización Yuma II, municipio san diego estado Carabobo; con la intención de garantizar la durabilidad y la eficiencia de la vialidad. El agua es uno de los factores más desfavorables para el pavimento, por eso es importante captar y conducir el agua desalojándola de la estructura interna de la vía. Debido a dicho problema es recomendable la implementación de un diseño de sistema de subdrenaje eficiente que cumpla con las condiciones del lugar, así como también con las normas establecidas que garanticen que al culminar la fase de diseño el escogido sea el adecuado para las especificaciones del tipo de zona donde se desarrolla el proyecto de investigación. El diseño eficiente de un subdrenaje trae consigo mejoras sustanciales en la durabilidad y funcionamiento eficiente en la estructura vial donde se implementa.

**Descriptores:** Subdrenaje. Aguas pluviales. Proyecto factible.

## INTRODUCCIÓN

Las civilizaciones en conjunto con la ingeniería siempre han tenido la necesidad de desarrollar nuevos mecanismos para mejorar la efectividad y durabilidad de las estructuras que hacen posible el desenvolvimiento de la humanidad. La vialidad, es uno de los instrumentos que permiten la comunicación y el desempeño del ser humano, debido a esto, desde el principio de la existencia se han desarrollado diversos métodos para la construcción de caminos. Sin embargo, las infraestructuras viales, con la evolución paulatina que la ha caracterizado, ha presentado diferentes problemáticas que provienen de un mismo agente, el Agua.

Debido al deterioro del pavimento, los accidentes debido a problemas viales, la inundación y el encausamiento necesario de las aguas hacia su punto de concentración, se han diseñado diferentes métodos para la recolección del líquido vital que se engloban en dos ítems importantes conocidos como drenajes y subdrenajes.

Tanto el drenaje superficial como el subdrenaje representan diferentes mecanismos que permiten de alguna forma u otra el manejo adecuado de las aguas pluviales, teniendo como objetivo principal, reducir la máxima cantidad de agua que llega a la vía, disminuyendo el efecto negativo que se puede producir en el pavimento. La recolección, encauzamiento y disposición de las aguas pluviales, también forman parte de los beneficios que ofrecen los diferentes tipos de drenajes y subdrenajes, aminorando el impacto ambiental y generando estabilidad e integridad en una vía de comunicación. El agua, aun cuando es un elemento fundamental para la vida, es un agente que en exceso afecta las propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, presiones de agua de poros, supresiones de flujos, presiones hidrostáticas e incrementa la susceptibilidad a los cambios volumétricos de los suelos y estructuras viales.

El crecimiento demográfico junto con el desarrollo de las ciudades representa un gran impacto en cuanto a los patrones naturales de los cauces, al convertir un extenso territorio que antes tenía características permeables a uno mayormente impermeable debido a los pavimentos, edificaciones, y cualquier otro tipo de construcción humana; creando grandes áreas impermeables que pueden llegar a alterar el patrón natural de las aguas, lo cual puede originar acciones erosivas descontroladas en lugares no habituales. Por este motivo es necesario reducir al mínimo dicho impacto, por medio de la captación y canalización de las aguas y los excesos que percolan en el subsuelo hacia sus cauces naturales, así como la recarga de acuíferos por medio de subdrenajes.

El prever un sistema de drenajes y subdrenajes es uno de los factores de mayor importancia al momento de proyectar una vialidad, ya que de esta forma disminuye sustancialmente las probabilidades de falla y de otros efectos desfavorables que disminuyan la vida útil de la estructura vial.

Para el diseño y posterior implementación de sistemas de drenajes, es elemental la recolección de datos meteorológicos, geológicos, hidrológicos de la zona en estudio por medio de la realización de estudios especializados, así como también la realización de estudios de suelo. Por medio de perfiles litográficos se puedan conocer las características del suelo sobre el cual se desea construir, y así poder estimar las propiedades geomecánicas y los niveles de aguas freáticas presentes. Para tener una idea clara de los mecanismos a emplear.

Existen diferentes tipos de drenajes, cada uno con características y funcionalidad diferente, su estructura puede estar representada por sus dimensiones y dirección con respecto a la vía, algunos pueden ser; naturales, transversales, longitudinales, superficiales y subsuperficiales.

Los subdrenajes, por su parte, ofrecen características más atractivas, y aunque su estructura puede estar representada de manera similar a la de un drenaje común, tienen una funcionalidad más beneficiosa. Puede estar

representada por su dirección con respecto a la vía, transversal o longitudinal. Por su diseño, dren francés, dren planar, subdrenes de zanjas, entre otros.

El prever un buen diseño y mecanismo de drenaje, tanto superficial como subsuperficial en caso de que se tome tal consideración, es fundamental y uno de los factores más importantes en la realización de un proyecto vial. Otra consideración esencial debe ser la localización de la red de drenajes, teniendo en cuenta que se debe alojar sobre superficies estables, permanentes y naturalmente drenados. Reducir el impacto ambiental y contribuir a la vida en el ecosistema existente, también es necesario que sea tomado en cuenta.

A continuación, se realizará una propuesta para la implementación de un sistema de subdrenajes, contribuyendo así de manera positiva para la recolección de aguas pluviales en la Avenida Don Julio Centeno, tramo de estudio: Urbanización El Morro I – Urbanización Yuma II, municipio San Diego Estado Carabobo. Se llevará a cabo el análisis de las diferentes alternativas que cumplan con los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de un sistema de subdrenaje. Se determinarán los parámetros básicos de descarga, escorrentía superficial, condiciones meteorológicas de la zona, características de la zona de estudio en época de lluvias, con el fin de realizar un proyecto factible y sustentable. Se desarrollarán cinco etapas o capítulos que serán identificadas como:

Capítulo I: En el cual se hará referencia al planteamiento del problema, también se realizará la formulación del problema para luego definir los objetivos de la investigación abarcando la justificación, delimitación y alcance del proyecto.

Capítulo II: Comprenderá el marco teórico, haciendo referencia a los antecedentes y bases teóricas que sustentaron la investigación, incluyendo la definición de términos básicos.

Capítulo III: Se describe el marco metodológico del proyecto, este contempla el tipo de investigación, nivel y diseño de esta, además se conocerá la población y muestra a estudiar, también las técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de datos y por último se describirán las fases metodológicas de la investigación.

Capítulo IV: En el cual se presentan los resultados obtenidos de la investigación, en conjunto con el análisis e interpretación de estos.

Capítulo V: Se exponen las conclusiones y recomendaciones del proceso investigativo llevado a cabo.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Desde los inicios de la civilización, el humano ha tenido la necesidad de movilizarse, ya sea en busca de nuevos territorios donde asentar sus campamentos o para ir en búsqueda de insumos necesarios para la vida. Se supone que hace alrededor de unos diez mil años, aun antes de la invención de la rueda ya existían rutas y caminos por los que transitaban las personas. Estos primeros viajes se realizaron a pie, posteriormente se apoyaron con el uso de animales para transportar la carga y no fue hasta la invención de las carretas, las cuales facilitaron aún más el transporte entre estas rutas primitivas.

El imperio mesopotámico hacia el año 3500 A.C. empezó a construir los primeros caminos registrados hasta la fecha, más importante aún para el transporte fue la construcción de la ruta de la Seda por parte del imperio chino. Y así en más, las civilizaciones fueron creando sistemas de carreteras más complejos, como el caso de Babilonia en el siglo V (A.C.), las rutas construidas por los egipcios para transportar materiales en la construcción de las pirámides y otras edificaciones.

Aunque no fue hasta la aparición del imperio romano y su innovadora ingeniería que existieron los principales avances entorno a las carreteras. Estos empezaron a implementar varias capas de diferentes materiales pétreos para conformar las calzadas (calzadas romanas) y así aumentar la resistencia de estas.

Durante las primeras décadas del siglo XIX, los británicos Thomas Telford y John McAdam junto con un ingeniero de caminos francés Pierre Tresaguet, perfeccionaron los métodos y técnicas de construcción de carreteras, creado así el sistema de Telford el cual mejoraba considerablemente la capacidad resistente de las vías, este implicaba la realización de zanjas donde se colocarían cimientos de rocas pesadas que serían cubiertos por una capa de 15cm de grava compactada, estos cimientos se levantaban en el eje de la zanja para que la carretera tuviera una inclinación hacia los bordes, permitiendo el desagüe de las aguas fuera de la vía.

Debido a esto, con la invención del sistema de Telford en el siglo XIX donde por primera vez se consideró colocar pendiente a las calzadas para que estas pudieran drenar las aguas hacia los costados, entró en consideración el impacto que las aguas causan sobre las carpetas de rodamiento y los suelos, lo que provocó el impulso a estudiar el efecto que el agua puede producir sobre el pavimento.

Hoy en día se conoce que el principal enemigo de cualquier pavimento es el agua, por esta razón es de vital importancia la correcta extracción de este agente fuera del pavimento. Por lo cual se desarrollaron diferentes mecanismos que permitieran un manejo adecuado de las aguas pluviales, con el fin de facilitar el escurrimiento y evitar el almacenamiento del agua. Para esto es indispensable considerar los procesos de captación, conducción, y evacuación de estos.

El exceso de agua u otros fluidos en los suelos o en la estructura de una carretera afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, presiones de agua de poros, supresiones de flujos, presiones hidrostáticas e incrementa la susceptibilidad a los cambios volumétricos. Por tal motivo, y aun cuando el agua es un elemento fundamental para la vida, es una de las causas más relevantes del deterioro prematuro de la infraestructura vial.

En Venezuela el desarrollo de las vías terrestres ha sido un asunto de data reciente, las escasas carreteras que existían a principios del Siglo XX servían para transportar vehículos entre muy pocas ciudades y se carecía de conexión entre unas y otras.

A partir de la dictadura de Juan Vicente Gómez comenzó la expansión de la red vial en el país, donde se desarrolló gran parte de la Carretera Panamericana. Años más tarde bajo la administración de López Contreras y luego Medina Angarita, hubo una contribución al desarrollo de este sector, entre ellas la planificación de la carretera Trasandina entre Valencia y San Cristóbal, la de los Llanos y la Caracas - Ciudad Bolívar.

El mayor impulso de planificación lo representó el Plan Nacional de Vialidad de 1947, elaborado por la Junta de Gobierno, presidida por Rómulo Betancourt, donde se continuaron las vías previstas en planes anteriores y se previeron las primeras autopistas y una serie de carreteras troncales que surcaban todo el país. Para el año 1953 bajo el gobierno de Marcos Pérez Jiménez se completaron los trabajos de la autopista Caracas - La Guaira y la Autopista Regional del Centro. En total, para finales de 1957 existían en nuestro país 24.502 kilómetros de red vial. Y hasta la fecha se han construido 96.189 km de red vial a lo largo y ancho del país.

Carabobo como estado siempre se ha caracterizado por ser uno de los más importantes del país; desde la declaración de la independencia de Venezuela, y posterior batalla de Carabobo, hasta el crecimiento industrial más relevante de la república. Debido a esto, se vio con la necesidad de desarrollar grandes sistemas viales que interconectan el estado con el resto del país. Por lo cual se llevó a cabo la construcción de una gran cantidad de vías importantes, dentro de las cuales se pueden mencionar: la Autopista Regional del Centro, la Autopista Valencia - Puerto Cabello, la Autopista Circunvalación del Este y del sur, la Autopista Variante Guacara – Bárbula, la Avenida Bolívar, Avenida Paseo

Cabriales, la Avenida Lara y la Avenida Intercomunal Don Julio Centeno, son solo algunas de las vialidades más importantes y de mayor relevancia del estado.

Siendo esta última la avenida principal que interconecta la ciudad de San diego de norte a sur, aunque esto no siempre fue así. En un principio, el municipio San diego luego de ser nombrada el 14 de enero de 1994 como uno de los 14 municipios autónomos que conforman el estado Carabobo, se vio con la necesidad de un corredor vial que otorgase a los transeúntes la posibilidad de desplazarse de una manera óptima por la ciudad. De esta forma surgió la construcción de la Av. Intercomunal Don Julio Centeno que le otorgó la posibilidad de aumentar el desarrollo económico y social del municipio, y debido a esto, es considerado el corredor vial más importante de la ciudad.

Sin embargo, el municipio San Diego tiene una serie de características poco beneficiosas. Al ser un valle el cual en sus zonas bajas se encuentra interrumpido por dos cauces (río Cúpira y río San Diego), está constantemente a merced del comportamiento de estos, ya que representan un peligro inminente para las poblaciones adyacentes. Y por más que en el municipio haya existido una previa planificación para el desarrollo de la ciudad, el sistema de drenajes actual se ha visto comprometido en diferentes ocasiones, el cual ha colapsado debido a eventos máximos. Como fue el caso en diciembre de 2016, que debido a las fuertes precipitaciones que se generaron, muchos habitantes del municipio se vieron afectados debido al colapso de calles, avenidas y hogares. Un reporte referente a esta situación se puede encontrar en El Diario El Contraste, que citando textualmente indica: “*¡Emergencia! Los Guayos y San Diego bajo las aguas por torrenciales aguaceros*”. Donde, a través de imágenes podemos notar la magnitud de la situación y como afectó realmente al municipio (Ver Figura 1).



**Figura 1:** San Diego bajo las aguas.

**Fuente:** Twitter, El nuevo País y Zeta.

Los sistemas de recolección de aguas pluviales forman parte importante de la estructura vial, por lo que es necesario que el agua afecte de la menor manera posible al pavimento. Debido a esta problemática, surge la necesidad de evaluar el sistema de drenaje existente, colocando sobre la mesa, los subdrenajes como posible solución a la misma. Los sistemas de recolección son diseñados para una función específica, sin embargo, en algunos casos pueden desempeñar un papel importante dentro de otra función.

El diseño de un sistema de subdrenaje establece una solución inmediata en aquellos sistemas de recolección de agua que no cumplen su funcionamiento, otorgando la posibilidad de recolectar los excedentes y disminuyendo la posibilidad de inundación y deterioro del pavimento, como también puede desempeñar su labor en conjunto con un sistema de drenaje superficial o de manera individual. Ya que su función al igual que los drenajes es la de recoger, conducir y descargar fuera de la vía tanto las aguas subterráneas como aquellas infiltradas a través de los poros y grietas del pavimento.

Hoy en día existe una serie de tecnologías y materiales que son empleados para la construcción de subdrenajes, que por su practicidad y fácil manejo se han

empezado a utilizar para este tipo de diseños. Entre estos materiales tenemos los geosintéticos, que son materiales fabricados con polímeros de distintos derivados, y es utilizado para la construcción de geomallas, geomembranas, geotextiles, entre otros.

Por medio de los avances tecnológicos que han permitido la utilización de estos nuevos materiales en la construcción de subdrenajes, es posible reducir los impactos negativos al medio ambiente mientras se capta, conduce y evacúa los excedentes de aguas pluviales que percolan en el subsuelo. Permitiendo así la recarga de acuíferos y cuencas subterráneas.

Por esta razón, al plantear un sistema de subdrenajes en el tramo de estudio se busca mejorar las condiciones de funcionamiento y la vida útil de las vías, mientras se plantea una solución que aporte un impacto positivo al medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema**

Mediante la problemática previamente observada, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo mejorar el sistema de recolección de aguas de lluvias de la Av. Intercomunal Don Julio Centeno, en el tramo de estudio que va desde urbanización el Morro I hasta la urbanización Yuma II en el municipio San Diego estado Carabobo?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de subdrenaje para la recolección de aguas pluviales de la Av. Intercomunal Don Julio Centeno, tramo de estudio: urbanización el morro 1 – Urbanización Yuma II, municipio San Diego estado Carabobo.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual del tramo de estudio, el sistema de drenajes existentes y sus condiciones actuales.

- Determinar los parámetros básicos y valores críticos para el diseño e implementación de un sistema de subdrenajes.
- Analizar la factibilidad técnica de los diferentes tipos de sistemas de subdrenaje que pueden emplearse en el tramo vial de estudio.
- Diseñar el sistema de subdrenaje óptimo, funcional y sustentable para el tramo de estudio.

#### **1.4. Justificación**

En la ingeniería, la rentabilidad y durabilidad de las estructuras son considerados uno de los aspectos más importantes en cuanto a diseño se refiere. En el caso de la ingeniería vial, las fallas más comunes que se presentan en estructuras son debido a efectos meteorológicos, siendo el agua el mayor contribuyente para el deterioro de estas. Cuando se diseñan pavimentos, en la mayoría de los casos, se asume que las carpetas de rodamiento son impermeables, cuando en realidad, se estima que pasa entre el 30% y el 67% del agua de lluvia que escurre sobre ellas. El agua infiltrada, en conjunto con los niveles de aguas freáticas, contribuyen para el deterioro acelerado de los pavimentos, notándose así, en fallas comunes como baches, hundimientos, piel de cocodrilo, ahuellamientos y fallas de borde respectivamente.

Las obras de drenaje superficial, han sido necesarias para la preservación en primera instancia de las vías, sirviendo para controlar la erosión, estabilización de taludes y como protección a la estructura del pavimento, pero, no obstante, en algunos casos no es suficiente y es necesario disponer de otro sistema que se acople al drenaje vial como solución a la problemática de los excedentes de aguas pluviales; de esta necesidad, surge la posibilidad de implementar sistemas de drenaje subterráneo, que funcionen de manera conjunta con el sistema antes mencionado, otorgando beneficios que a largo plazo pueden significar una mayor vida útil del pavimento en cuestión.

En cuanto al aporte técnico, es necesario resaltar la importancia de este mecanismo al momento de la recolección de las aguas pluviales, ya que este no solo cumple una función complementaria para evitar el problema de inundaciones, sino que a su vez por su propia naturaleza de trabajo sirve como mecanismo de recarga de acuíferos por medio de la percolación. Además, no es necesario la deconstrucción de las estructuras existentes, ya que puede ser construida en paralelo con la estructura vial. También, al hablar de la factibilidad a nivel técnico, su implementación no representa un elevado costo económico, tanto en la construcción como a nivel de mantenimiento.

Respecto al aporte académico, con este estudio se están sentando las bases para el desarrollo de sistemas de subdrenajes en la Universidad, que a futuro serán de provecho para continuar ampliando la línea de investigación tomando en consideración los escasos estudios realizados previos a este. Además del aporte académico que presenta este proyecto el cual será de provecho en un futuro, a nivel de la Universidad puede llegar a ejecutarse.

En el ámbito social, se busca mediante la información base plasmada en esta investigación aportar los medios necesarios para la materialización de dicho proyecto, y así evitar el colapso de vías y la anegación de las zonas bajas, significado la interrupción de las actividades cotidianas de la zona, que perjudican la calidad de vida de los ciudadanos, y el desarrollo del sector económico.

### **1.5. Alcance**

Con la siguiente investigación se busca poder diseñar un sistema de subdrenaje, implementando la alternativa que mejor se adapte con las condiciones presentes en la zona en estudio. Tomando en consideración las limitantes presentes por la situación actual debido a la cuarentena impuesta por la pandemia, la cual dificultará de manera considerada el seguimiento en campo de la zona en estudio. Debido a esto y a la inexistente financiación económica,

no se realizarán ensayos de ninguna naturaleza, se trabajará con estudios existentes de la zona y no se realizará un estudio de costos.

### **1.6. Delimitación**

La investigación corresponde a la vía principal de la Av. Intercomunal Don Julio Centeno, específicamente en el tramo que va desde la entrada principal del morro 1 hasta la intersección con la Arterial 5 (U.E. Olga Bayone) en la Urb. Yuma II, se estima que tiene una longitud de aproximadamente 3 kilómetros y corresponde al municipio San Diego, Estado Carabobo. No se realizará la investigación para las vías de servicio ni calles adyacentes.



**Figura 2:** Vista aérea del tramo en estudio.

**Fuente:** Google earth (2020)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación.**

Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área de investigación determinada. Según Fidas Arias (2004). “Se refieren a todos los trabajos de investigación que anteceden al nuestro, es decir, aquellos trabajos donde se hayan manejado las mismas variables o se hallan propuestos objetivos similares; además sirven de guía al investigador y le permiten hacer comparaciones y tener ideas sobre cómo se trató el problema en esa oportunidad.”

##### **2.1.1 Antecedentes Internacionales.**

Alvarado M. y Naranjo J. (2012) en su Monografía previa para la obtención del Título de Ingeniero Civil titulado **“Diseño Del Subdrenaje Vial En La Vía La Tranca – Tambo Viejo De 3.6 Km”** presentado ante la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad De Cuenca, Perú. En el cual realizan un estudio para la implementación de un sistema de Subdrenes con el fin de mantener el agua subterránea alejada de la obra básica y respectiva subrasante. Indican que este sistema es beneficioso, conveniente y aunque representa un costo elevado, tiene una gran relación costo-beneficio. El objetivo principal de esta monografía es analizar y establecer la necesidad y/o mejor alternativa de subdrenaje de la zona objeto de estudio, y por ende indicar las zonas donde sea necesario implantar subdrenes a lo largo de los 3.6 Km del tramo vial con lo cual se presentará una alternativa para el mejoramiento de las condiciones actuales de la vía de estudio.

Además de esto se especifican diferentes tipos de subdrenes los cuales pueden ser empleados en dicho tramo, con características, dimensiones, funcionalidades, posición y dirección diferentes, de los cuales se destacan las

zanjas drenantes, los drenes de intercepción, entre otros. Concluyen luego de la respectiva inspección y análisis de la zona de estudio con la colocación de un sistema de subdrenajes longitudinal a lo largo de ciertos tramos de la vía, discretizando por zonas y priorizando aquellas que tengan menor pendiente, debido a que necesitan un sistema de subdrenes longitudinales con secciones más grandes debido a que existe mayor percolación.

Así mismo, Vite E. (2019) presenta un Proyecto de Tesis ante la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional De Piura para optar por el Título De Ingeniero Civil, titulado **“Mejoramiento de Capacidad de Soporte del Suelo de Fundación por Incorporación de Sistema de Subdrenaje en el km 8+500 al km 9+500 con Problemas de Filtraciones En La Carretera Alto Chira Sullana-Piura”**. La problemática que se expone en este trabajo está directamente lindada a las condiciones características del suelo del tramo de estudio, reflejando así un suelo arcilloso con poca capacidad portante, que cuando se ve afectado por condiciones meteorológicas específicas como fuertes precipitaciones o precipitaciones constantes, suele perder gran capacidad portante y por ende verse afectada la estructura vial. El autor tiene como finalidad proponer la aplicación de un sistema de subdrenaje longitudinal y transversal entre el km 8+500 y el km 9+500 de la carretera Alto Chira, con el objetivo de mejorar la capacidad de soporte en el suelo de fundación de la carretera. Aunado a esto, dicho proyecto ofrece un beneficio adicional debido a que inducen al lector directamente a relacionarse con los subdrenajes, haciendo una inspección de todo el tramo en estudio, estudio topográfico, geotécnico y posterior evaluación de la estructura vial existente. Concluyen aplicando un sistema de subdrenes longitudinal y transversal a lo largo de todo el tramo, garantizando la correcta recolección y canalización de las aguas de lluvia, que se disponen finalmente en canales de riego y es usada para fines de cultivo.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales.**

Altuve R., Guillen M., Moreno J., Ramírez S., Villasmil Y. (2015) en su Trabajo de Investigación presentado ante la Escuela de Ingeniería Civil del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” para la obtención del Título de Ingeniero Civil, titulado **“Propuesta de Sistema de Drenaje Transversal para la Vía Principal El Salado sector Salado Medio en la progresiva 2+400 de La cuenca Intermitente, Ubicado En La Parroquia Montalbán Del Municipio Campo Elías Estado Mérida”**. Donde tienen como objetivo Proponer un sistema de drenaje transversal para la vía principal El Salado Sector Salado Medio debido a que presentan condiciones desfavorables propias del afluente líquido. Se pretende evaluar la situación en la que se encuentra el tramo vial, afectado por las condiciones climáticas en periodos de lluvia, aumentando el riesgo para el tránsito vial, los conductores y respectivos habitantes de la zona, proponiendo como solución un drenaje transversal. Aunque en la totalidad del trabajo de investigación hacen referencia a los drenajes superficiales como solución, también existe una orientación hacia el Subdrenaje como viable efectiva. Con la realización de los respectivos estudios, inspección visual, diagnósticos de la situación actual y también utilizando información de campo obtenida mediante una guía de observaciones, se llegó a la conclusión de que el sitio en cuestión no posee un drenaje que cumpla con las condiciones mínimas requeridas por la normativa o especificaciones, ocasionando daños notables en la carpeta de rodadura específicamente en los tiempos de lluvia. Se estima que este a un 70% de deterioro al menos, por lo que se propone un sistema de drenaje transversal que funcione independiente al sistema existente.

Del mismo modo, Hernández O. y Macero T. (2018) presentaron el Trabajo de Grado titulado **“Implementación de sistema de subdrenaje de aguas pluviales Av. Paseo Valencia, tramo Kayson - Av. Sesquicentenario, Municipio Valencia. Estado Carabobo”** presentado ante la Universidad José

Antonio Páez (UJAP) para optar al título de Ingeniero Civil. El objetivo general de dicha investigación se basa en proponer un sistema de subdrenaje de aguas pluviales en el tramo vial Kayson - Av. Sesquicentenario, de la Av. Paseo Valencia, Municipio Valencia. Estado Carabobo. Se presentan diferentes tipos de subdrenajes con los que se puede realizar dicho sistema, desempeñando diferentes estudios hidrológicos, topográficos y evaluando la situación meteorológica del sitio en estudio.

Por otra parte, Rodríguez S., Azuaje P. (2020) en su Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil ante la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez, titulado **“Diseño De Sistema De Sub-Drenajes De Aguas Pluviales Para La Ciclovía. Tramo De Estudio: Urbanización El Morro I – Urbanización El Remanso En El Municipio San Diego Edo. Carabobo”**. Proponen la realización de un sistema de subdrenaje para una ciclovía que tentativamente transcurre en el Municipio San Diego, Estado Carabobo. Específicamente evaluando desde la Urbanización El Morro I hasta la Urbanización El Remanso. En dicho trabajo de investigación se lleva a cabo el diseño de un sistema de subdrenaje con el fin de controlar las aguas provenientes de la precipitación que sobrepasan los límites del sistema de drenaje convencional produciendo inundaciones. También indican que el control del afluente líquido a través de un sistema de subdrenajes otorga posibilidad de disminuir la presión de poros y los esfuerzos efectivos, las fallas en el pavimento y mejorar los mecanismos de transmisión de esfuerzos de la estructura del pavimento. Concluyen haciendo referencia a que es factible implementar el sistema de drenaje profundo cumpliendo la función especificada anteriormente.

## **2.2 Bases Teóricas**

En este segmento se presentan los fundamentos teóricos que servirán de apoyo para el desarrollo de la presente investigación, así como también se

procederá a explicar conceptos básicos para el claro entendimiento de todos los lectores sobre el tópico en estudio.

### **2.2.1 Carretera**

Haciendo referencia a los aportes de Crespo Villalaz (2010) la carretera es la “Adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llena las condiciones de alineamiento, ancho y pendiente para permitir el rodamiento de los vehículos para los cuales ha sido acondicionado”. Estas por lo general son de dominio y uso público, y están proyectadas para facilitar la movilización de personas, productos y servicios de manera más fácil y directa.

### **2.2.2 Vías de comunicación**

Las vías o vías de comunicación según la norma COVENIN 31226-94 son todo lugar destinado al tránsito de vehículos o peatones o ambos a la vez, su importancia para el funcionamiento de un territorio es la facilidad de conectar puntos de interés para el transporte de bienes y personas, siendo la eficiencia y bajos costos las características de importancia de estas.

### **2.2.3 Clasificación de la Vía**

En función de lo planteado por Torres (2009), en el manual de vías de comunicación I y Franceschi (1981) las vías del sistema de transporte de carreteras se clasifican de acuerdo con los siguientes términos:

- **Clasificación según la ubicación geográfica**
- Vías urbanas: son las ubicadas en el área urbana.
- Vías rurales: son las que se encuentran ubicadas en el ámbito extraurbano. La terminología carretera por lo general se refiere esencialmente a este tipo de vías.
- **Clasificación según su funcionalidad**

Las vías del sistema de transporte carretero, tanto urbanas como rurales, se clasifican de acuerdo con dos funciones principales:

- Movilidad: el cual refiere al movimiento de las personas o bienes de una manera rápida, segura y placentera.
- Accesibilidad: es la cualidad que deben tener para dar acceso a las propiedades o usos de áreas adyacentes.

Ambas funciones están inversamente relacionadas, a mayor movilidad menor es la accesibilidad. Ya que la función de movilidad se puede representar por el volumen de paso (tráfico que no tiene su origen ni destino en esa vía), por la velocidad de diseño y por la seguridad de traslado. Y la función de accesibilidad está representada por la cantidad de vehículos que tienen acceso a las propiedades adyacentes.

- **Clasificación funcional de las vías urbanas**

- Autopistas: es una vía dividida cuya única función es la de movimiento del tráfico de paso, donde se tiene control de acceso. Tiene conexión con otras vías a través de los distribuidores de tránsito a diferente nivel.
- Vía expresa: es una vía dividida cuya función es la del movimiento de paso, se tiene control casi total de los accesos. La conexión con otras vías se hace a través de los distribuidores de tránsito, aunque puede existir algunas intersecciones con otro nivel de vías.

Estas constituyen una red interconectada y continua que es utilizada para los viajes más largos de la red vial, ya que sirve a grandes volúmenes de tránsito y posee mayores velocidades de operación.

- Vía arterial: son las vías con acceso privado permitido pero cuya función más importante es el movimiento del tráfico pesado. Esta prioridad se consigue a través de su diseño geométrico y/o a través de controladores de tránsito. Dan servicio a viajes largos y medianos del área urbana. Estas vías generalmente forman una red en cuadrícula, se conectan con otras vías arteriales y colectoras con intersecciones a nivel generalmente controladas con semáforos. En este caso de estudio la Av. Don Julio Centeno es de carácter arterial.

- Vía Colectora: Son vías que dan cierto acceso a las propiedades adyacentes y distribuyen o recogen el tráfico de pequeñas áreas cuyas propiedades son servidas por vías locales con las que tienen muchas intersecciones.
- Vía Local: son vías cuya función principal es dar acceso directo a las propiedades adyacentes. No hay tráfico de paso, poseen bajas velocidades permitidas, y de acuerdo con la zona servida se puede clasificar como: residencial, industrial, recreacional, comercial. (Ver Figura 3).



**Figura 3:** Esquema de jerarquización de vías urbanas.

**Fuente:** Torres (2009) Manual de vías de comunicación I

#### 2.2.4 Estructura Vial

Constituye la vía y todos sus soportes que conforman la estructura de las carreteras y caminos. La función de una estructura vial es asegurar que esta se mantenga en buena condición y funcionamiento de forma continua; y así optimizar el uso de los recursos públicos invertidos en su desarrollo y

conservación, lo que no necesariamente significa gastar lo mínimo posible. La estructura vial está compuesta por diferentes elementos que en conjunto crean una vía.

La estructura de una vía está compuesta por los siguientes elementos:

- Pavimento: los pavimentos se dividen en dos tipos, los flexibles y los rígidos, su comportamiento al aplicar cargas sobre este difiere entre los dos tipos.

Los flexibles están compuestos por mezclas bituminosas y diferentes capas de material pétreo bien gradado, al aplicarse cargas se crean grandes deformaciones. Este pavimento está compuesto por cuatro capas, estas son: la carpeta asfáltica, la base, la subbase y la subrasante.

Los pavimentos rígidos al contrario de los flexibles poseen una capa de rodamiento más estable y por esta razón al aplicarse cargas se crean pequeñas deformaciones, transmiten las cargas a la infraestructura de forma distribuida. Se conforman en tres capas, las cuales son: la carpeta de rodamiento, la subbase y la subrasante.

- Drenaje: el objetivo de los drenajes en los caminos es la de reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una forma u otra llega al mismo, y al mismo tiempo dar salida rápida al agua que llegue al camino.

### **2.2.5 Drenaje Vial**

Se define como el sistema de drenaje de una vía, al conjunto de dispositivos específicamente diseñados para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que pueden afectar directamente a las características de funcionamiento de cualquier elemento de la vía. `

Dentro de este sistema se distinguen diversos tipos de instalaciones diseñadas para cumplir tales fines, se encuentran agrupadas en función del tipo de aguas que pretenden alejar o extraer, y también de la geometría de los elementos con respecto al eje de la vía, mencionado esto, tenemos:

- Drenaje superficial.

- Drenaje subterráneo.

### **2.2.6 Drenaje superficial**

Son el conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales, su canalización y extracción a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o los acuíferos de la capa freática del terreno. Estos están compuestos en dos grupos según su disposición geométrica:

- Drenaje longitudinal: el cual cumple la función de canalizar las aguas que provienen de la carpeta de rodamiento y de los taludes de la explanación de forma paralela a la calzada, conduciendo estas aguas hacia sus cauces naturales. Los elementos empleados para captar y conducir las aguas pueden ser cunetas, canales, colectores, sumideros, bajantes y arquetas.
- Drenaje Transversal: estos permiten el paso del agua a través de la estructura vial cuando es necesario atravesar cauces naturales sin interferir en su flujo ni dirección para evitar afectaciones en la vía. Comprenden pequeñas y grandes obras de paso desde alcantarillas hasta puentes y viaductos.

### **2.2.7 Drenaje Subterráneo**

Los subdrenajes o drenajes subsuperficiales tienen como misión principal, controlar y limitar la humedad de la explanada (entendiéndose por explanada a un espacio de terreno que ha sido allanado y conformado), por lo que debe controlar el nivel freático del terreno y los posibles acuíferos y corrientes subterráneas existentes. Los subdrenajes están diseñados para interceptar y desviar corrientes subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera, en caso de que el nivel freático sea alto, debe mantenerlo a una distancia considerable del firme y de esta forma sanear las capas de la estructura vial, evacuando el agua que pudiera infiltrarse en ellas. Es habitual hacer uso del

sistema superficial en combinación con los subdrenajes para conseguir un total y eficiente evacuación de las aguas. Se extenderá este punto más adelante al ser el tema principal de la investigación.

### **2.2.8 Estructuras que componen el sistema de drenaje vial**

Las estructuras destinadas al drenaje vial se pueden clasificar según su tamaño e importancia, los elementos como los puentes, pontones, canales de grandes gastos y problemas de zonas inundables representan a las estructuras de carácter mayor, por consiguiente, el drenaje vial menor, el cual se explicará su mecanismo y estructura es un conjunto de estructuras empezando por el pavimento en sí. En ciertos países se construyen pavimentos altamente porosos elevando así su permeabilidad, de esta manera el agua pueda penetrarlos y drenar hacia los bordes sobre el mismo pavimento, si percola será captado por los subdrenajes y si es llevado hacia los costados será conducido hacia las cunetas.

El bombeo es otra aplicación del pavimento como dispositivo de drenaje, el cual fue propuesto por primera vez en la aplicación del sistema de Telford para desviar las aguas hacia los costados por medio de la curvatura que posee la calzada. En el drenaje urbano, las aguas al ser recibidas por los brocales-cunetas, que las conducen a los sumideros y de estos pasan a la red de tuberías. En el drenaje de vías rurales, las aguas son dispuestas en las cunetas, las cuales las transportan hasta otros cursos de agua.

Para proteger los taludes del agua que corre libremente, se disponen cunetas de corona, que son precisamente cunetas dispuestas en lo alto de los taludes de forma paralela al eje de la vía para así poder captar las aguas provenientes de zonas altas liberándole carga de trabajo a las cunetas de borde. Otros mecanismos son empleados cuando la descarga de las aguas de alguno de estos canales se realiza en zonas con gran pendiente, para proteger los suelos de la socavación y así evitar riesgos en la integridad física de la vía. Mecanismos como torrenteras, caídas y disipadores de energía.

El drenaje transversal queda compuesto por las alcantarillas, que son elementos propios principalmente del drenaje de vías rurales, aun cuando también se pueden encontrar en zonas urbanas. Finalizando esta el subdrenaje, el cual puede estar presente en cualquier tipo de vía. Este está formado por capas de material granular bien gradado utilizados como filtro y tuberías perforadas diseñadas para recolectar y disponer de manera eficiente las aguas en el subsuelo. (Ver Tabla 1).

**Tabla 1: Estructuras que componen el sistema de Drenaje Vial menor.**

<b>ESTRUCTURAS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE DRENAJE VIAL MENOR</b>		
<b><u>DRENAJE URBANO</u></b>	<b>SUPERFICIE DEL PAVIMENTO</b>	<b>Pavimento drenante</b> <b>Bombeo</b>
	<b>BROCAL CUNETA</b>	
	<b>SUMIDEROS</b>	<b>De ventana</b> <b>De reja</b>
	<b>REDES DE TUBERÍAS</b>	
	<b>SUBDRENAJES</b>	
<b><u>DRENAJE RURAL</u></b>	<b>SUPERFICIE DEL PAVIMENTO</b>	<b>Pavimento drenante</b> <b>Bombeo</b>
	<b>PEQUEÑOS CANALES</b>	<b>Canales</b>
		<b>Cunetas laterales</b>
		<b>Torrenteras</b>
		<b>Caídas</b>
		<b>Disipadores de energía</b>
	<b>ALCANTARILLAS</b>	<b>Cajones rectangulares</b>
		<b>Circulares de concreto</b>
<b>Metálicas</b>		<b>Circulares</b> <b>Abovedadas</b> <b>Corrugadas</b>
<b>SUBDRENAJES</b>		

**Fuente:** González y Lara (2020). Basado en Drenaje Vial para Ingenieros Viales. Bengaray (2001).

### 2.2.9 El agua como agente destructivo de las carreteras

Haciendo referencia a Bengaray (2001), “El peor enemigo de las carreteras es el agua”. Y en efecto, las aguas superficiales que corren por escorrentía, así como las aguas subterráneas son grandes causantes de danos en las estructuras de una carretera. Se procederá a explicar algunos de los daños más comunes debido al efecto del agua:

- **Daños a las laderas:** la escorrentía superficial, cuyo curso puede ser modificado por la construcción de la carretera, tal vez socave las laderas naturales produciendo cárcavas que pongan en peligro la integridad física de la vía, por lo cual hay que disponer estructuras que eviten estos daños.

También puede ocurrir que la napa freática sea muy superficial o resulte modificada por la construcción de la carretera, lo cual puede provocar deslizamientos durante la vida útil de la vía.

- **Daños a los taludes:** para construir la plataforma de una carretera es necesario cortar las laderas. Cuando el nivel freático es muy superficial, la presión en la cara del talud, que antes pertenecía a la parte interior de la masa de tierra, se transforma en la presión atmosférica. Ello provoca un mayor gradiente hidráulico, lo que acelera la velocidad del agua que, en consecuencia, arrastra partículas de suelo cada vez de mayor tamaño, pudiendo provocar la inestabilidad del talud. En los terraplenes, la saturación del material produce fallas semejantes a las de un deslizamiento de tierras. Los muros de contención construidos para garantizar la estabilidad de los taludes también pueden sufrir con la presencia de agua ya que, si el suelo está saturado por la falta de un subdrenaje adecuado, el empuje de tierras se transforma en presión hidrostática, pudiendo provocar la falla del muro.

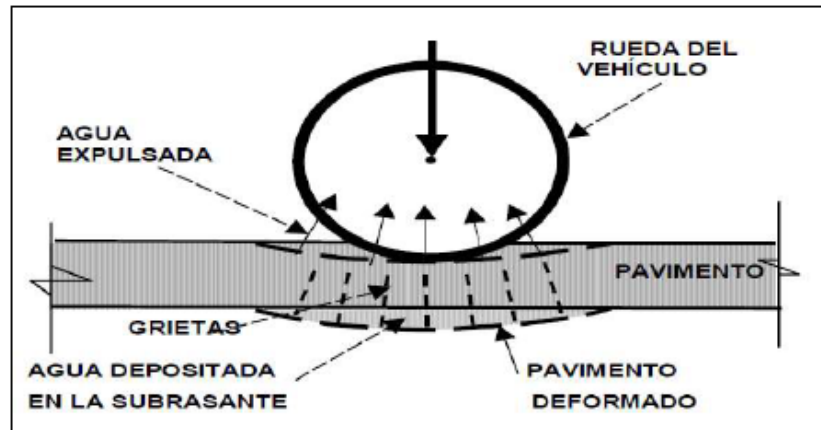
- **Daños a los pavimentos:** El agua se encuentra presente en casi todas las fallas de los pavimentos como posible agente de estas. De igual forma se puede observar que las fallas por desintegración del pavimento, los agrietamientos, la

inestabilidad y las deformaciones, que pueden llegar al colapso, pueden ser causadas por un mal sistema de drenaje.

Los pavimentos sufren daños por la presencia de agua en la subrasante, la subbase, la base y la capa de rodamiento, siendo sus principales enemigos las acciones erosivas y la presión de poros. Puesto que el peso unitario seco es mayor que el peso unitario sumergido, la saturación de la subrasante, la subbase o la base de los pavimentos provoca un efecto de flotación en las partículas del material que induce el movimiento de estas y la consiguiente erosión en las uniones entre diferentes pavimentos y bases. Ello, a su vez, produce el fenómeno denominado bombeo, donde el agua se deposita en las cavidades formadas bajo el pavimento por la socavación de los finos, y al aplicarse una carga por el paso de un vehículo el agua sale por las grietas o juntas del pavimento.

El agua también produce una disminución de la presión efectiva, y por esto la infraestructura de la vía pierde capacidad portante. Por esta razón, debido a que el pavimento está apoyado sobre la subrasante, la saturación de esta produce deformaciones que pueden llevar al colapso de esta. Por otro lado, la capilaridad también es causante de presiones que pueden causar daños. Estos fenómenos se producen tanto en las grietas del pavimento asfáltico como en la superficie de contacto entre diferentes capas de este y entre él y la base.

El agua depositada en las grietas del pavimento contribuye a la aparición de grietas de contracción, la oxidación del asfalto y la pérdida de flexibilidad e impide el autosellado de las microgrietas al introducir arcillas en ellas, lo que puede producir la rotura en pedazos irregulares de varias de sus capas (ver Figura 5).



**Figura 4:** Fenómeno de bombeo en los pavimentos.

**Fuente:** Drenaje Vial para Ingenieros Viales. Bengaray (2001).

- **Inundaciones:** Las construcciones modifican los patrones de drenaje de una zona ya que crean mayores áreas impermeables e interrumpen los cursos naturales de agua. Esto mismo ocurre con las obras viales, lo que obliga a construir estructuras hidráulicas que permitan el correcto drenaje de la zona. Si no se disponen las estructuras adecuadas, con el diseño apropiado y en el lugar específico, la vía se verá afectada pues se pueden producir daños que van desde la destrucción de una parte de la carretera hasta la inundación de terrenos aledaños.

- **Inconvenientes con el tránsito:** Como ya se dijo, las carreteras se construyen con el fin de brindar un servicio de transporte eficiente y económico a la población, por lo que el Estado debe ofrecer vías que, bajo cualquier condición climática, funcionen en las condiciones para las cuales fueron proyectadas.

El agua produce varios inconvenientes al tránsito. Si se deja que alcance niveles altos sobre la superficie de rodamiento, se corre el peligro de salpicar a los otros vehículos, privándoles momentáneamente de visibilidad. Si el nivel es lo suficientemente alto, puede provocar la pérdida de los frenos y, si se circula

a cierta velocidad, puede mojar el sistema eléctrico e interrumpir el funcionamiento del motor.

Aunque el agua no llegue a niveles tan altos como los descritos, si no es desalojada rápidamente de la superficie de rodamiento puede formar una película entre el pavimento y el neumático que actúa como un lubricante y provoca aquaplaning o deslizamiento del vehículo, con la posibilidad de accidentes graves.

En las vías urbanas el agua se recoge en el borde del pavimento mediante el llamado brocal-cuneta. Si el ancho de inundación que produce este brocal-cuneta es excesivo, puede dejar de funcionar uno de los canales de circulación, provocando una disminución de la capacidad de las vías y los consiguientes congestionamientos del tránsito.

Así pues, se puede llegar a la conclusión de que el sistema de drenaje es imprescindible tanto para garantizar la integridad física de las vías de comunicación como para asegurar un transporte rápido, cómodo y económico de bienes y personas.

El efecto negativo del agua en el pavimento es agresivo cuando se observan inundaciones frecuentes o esporádicas, por lo que se debe prever y reducir las posibilidades de que ocurran eventos de este tipo. En septiembre del 2020 se pudo notar una de estas situaciones que son frecuentes en el municipio San Diego Edo. Carabobo, anegándose la vía y dificultando el paso de los vehículos (ver Figura 6).



**Figura 5:** Av. Don Julio Centeno anegada luego de 15 min de lluvias.

**Fuente:** González y Lara (2020).

#### **2.2.10 Criterios de diseño para el Drenaje Vial**

Al momento de diseñar el drenaje de una carretera deben de tenerse en cuenta una serie de factores que influyen directamente en el tipo de sistema más adecuado, así como en su posterior funcionalidad y vida útil. Los factores principales son:

- Ø Factores topográficos: Dentro de este grupo se engloban circunstancias de tipo físico, tales como la ubicación de la carretera respecto al terreno natural contiguo en desmonte, terraplén o a media ladera, la tipología del relieve existente llano, ondulado, accidentado o la disposición de sus pendientes en referencia a la vía.
- Ø Factores hidrológicos: Hacen referencia al área de la cenca de recepción y aporte de aguas superficiales que afecta directamente a la carretera, así como la presencia, nivel, y caudal de las aguas subterráneas que pueden infiltrarse en las capas inferiores del firme.
- Ø Factores geotécnicos: la naturaleza y características de los suelos existentes en la zona condiciona la facilidad con la que el agua puede llegar a la vía desde su punto de origen, así como la posibilidad de que

ocasiona corrimientos o una erosión excesiva del terreno. Las propiedades a considerar son aquellas que afectan a su permeabilidad, homogeneidad, estratificación o compacidad, influyendo también la existencia de la vegetación.

Una vez considerados estos factores se procede al diseño de la red de drenaje, que deberá cumplir con los siguientes objetivos:

- Evacuar de manera eficaz y lo más importante posible el agua caída sobre la superficie de rodadura y los taludes de la explanación contiguos a ella. Por supuesto, deberán evitar la inundación de los tramos más deprimidos de la vía.
- Alejar del firme el agua freática, así como los posibles acuíferos existentes, empleando para ellos sistemas de drenaje profundo.
- Prestar atención a los cauces naturales, tales como barrancos o ramblas, disponiendo obras de fábrica que no disminuyan su sección crítica para periodos de retorno razonables. Debe recordarse que las avenidas son la principal causa mundial de destrucción de puentes.
- No suponer un peligro añadido para la seguridad del conductor, empleando para ello taludes suaves y redondeando las aristas mediante acuerdo curvos, evitando así posibles accidentes adicionales.
- También debe cuidarse el aspecto ambiental, procurando que produzca el menor daño posible al entorno.

#### **2.2.11 Condiciones generales de los drenajes subterráneos (Subdrenajes)**

Los subdrenajes son sistemas que se utilizan para retirar el agua infiltrada o subterránea que ha entrado en la estructura. También existen métodos que evitan la entrada de agua a la estructura de un pavimento, estos son básicamente los que manejan el agua de escorrentía como son: zanjas de coronación, trincheras drenantes, cunetas, etc. Estos pretenden eliminar el agua subterránea, o bien abatir su nivel hasta donde no sea perjudicial a la carretera. El agua que está

situada bajo la superficie de la tierra se presenta en corrientes o estancadas. Una vez que se detecta su presencia habrá que darle el tratamiento necesario para su evacuación.

Los objetivos de subdrenajes de las carreteras al momento de su construcción son los de facilitar la ejecución de las explanaciones durante la fase de construcción de la carretera. Asimismo, pretende aumentar la capacidad portante de la subrasante para poder reducir el espesor del pavimento y posterior a su construcción contribuyen en la estabilización de los taludes mediante la orientación favorable de los flujos de aguas internas y alargan la vida útil de la vía al garantizar una correcta expulsión de las aguas pluviales fuera de su estructura.

#### **2.2.12 Tipos de Subdrenaje.**

En la actualidad, debido a los avances en la ingeniería y debido a la búsqueda de la debida asignación de estos principios en diferentes circunstancias para cada zona donde se realiza una obra, los ingenieros se han visto con la necesidad de idear distintos tipos de sistemas de subdrenajes que se adapten a las condiciones del sitio. Para esto, es necesario conocer de primera mano las características del suelo en el cual se desea implementar estos sistemas, para ello es necesario la realización de ensayos geomorfológicos del suelo, ensayos meteorológicos de la zona, así como de la afluencia de caudales debido a escorrentía tanto superficial como subsuperficial al momento de eventos de meteorológicos. Todo esto para poder garantizar que el tipo de diseño de subdrenaje escogido sea adecuado y trabaje de manera óptima.

Tomando en consideración que se busca implementar un sistema de subdrenaje que complemente al sistema de drenaje vial de la Av. Don Julio Centeno, se describirán los tipos de subdrenajes que más se adapten para este tipo de uso, considerando la existencia de una gran cantidad de métodos que no serán tomados en consideración debido a estar destinados a diferentes usos.

### **2.2.13 Subdrenaje Tradicional.**

También llamado dren francés, son subdrenajes laterales para carreteras. Estos drenes son adecuados cuando la única pendiente disponible en la vía es el bombeo o los peraltes, o cuando la pendiente longitudinal es menor o igual a la pendiente transversal (bombeo o peralte). El caso límite para usar drenajes laterales es cuando dichas pendientes se igualan, por lo tanto, el agua corre formando un ángulo de 45° con el eje. El dren tradicional está conformado por una grava seleccionada envuelta en geotextil, con o sin la inclusión de una tubería perforada. El tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para que exista infiltración a través del geotextil. De esta manera, en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

A veces se omiten los tubos de drenaje, en cuyo caso la parte inferior de la zanja queda completamente rellena de material drenante, constituyendo entonces el denominado dren ciego o dren francés. En estos drenes el material que ocupa el centro de la zanja es piedra gruesa, cuando existe peligro de migración del suelo, que rodea la zanja hacia el interior de esta, se deberá disponer de un filtro normalmente geotextil, protegiendo el material drenante. (Ver Figura 7).

Proceso de implementación:

1. Se excavan las zanjas manualmente o con una zanjadora.
2. Se debe mantener una inclinación típica de 1 en 100 a 1 en 200.
3. Luego, se debe revestir el fondo de la zanja con arcilla o tubería de plástico que aumenta el volumen de agua que puede fluir por el desagüe.
4. Los sistemas de drenaje franceses modernos están hechos de tubería perforada, es decir, baldosas goteantes, por lo que es común rodearlas de arena o grava, y geotextil o textil de jardinería. Los textiles de jardinería evitan la

migración del material de drenaje y también evitan que el suelo y las raíces entren y obstruyan la tubería.

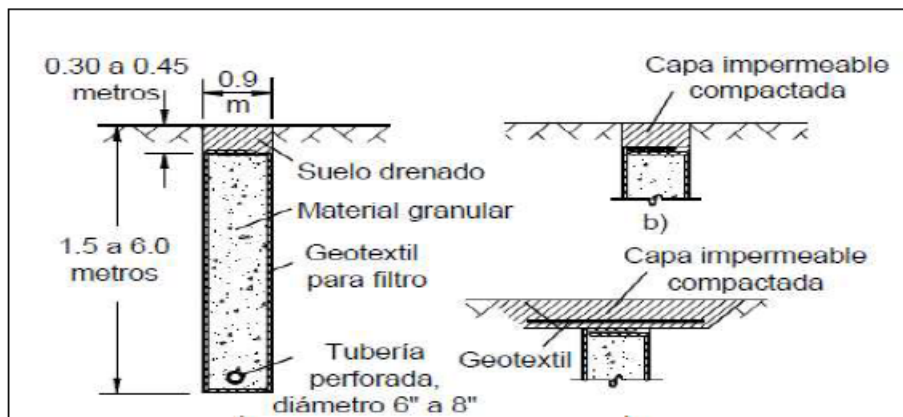
Ventajas y Beneficios:

- Evitan que el agua subterránea y superficial penetre o dañe los cimientos de los edificios, así como una alternativa a las zanjas abiertas o alcantarillas pluviales para calles y carreteras.

- Dependiendo del nivel y el volumen esperado de agua de lluvia o escorrentía, los desagües franceses pueden ensancharse o también basarse en 2 o 3 tuberías de drenaje subterráneas.

- Se pueden usar drenajes franceses para distribuir el agua, como un campo de drenaje séptico en la salida de un sistema típico de tratamiento de aguas residuales.

- Un desagüe francés puede terminar en una pendiente cuesta abajo, pozo seco o un jardín infiltrante donde las plantas absorben y retienen el agua drenada. Esto es útil si los sistemas de agua de la ciudad u otras áreas de aguas residuales no están disponibles.



**Figura 6:** Vista de detalle de un subdren de zanja.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. Cornforth (2005).

#### 2.2.14 Geodrén Planar.

Es un sistema integral de captación, conducción y evacuación de fluidos que está compuesto por un geodrén planar y una tubería corrugada de drenaje. Este sistema es resistente a la corrosión y no sufre ningún tipo de degradación por efecto de los agentes bioquímicos presentes en el ambiente. Este dren es una alternativa al sistema de drenaje tradicional, se puede instalar en contacto directo con una de las paredes de la excavación, dependiendo de la dirección del flujo.

Para lograr un buen diseño de un sistema de drenaje usando geodrén, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- Establecer el sitio o los sitios más convenientes en donde se requieran captar los fluidos.
- Estimar el caudal crítico para un tramo de diseño, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte que provienen del agua subterránea e infiltrada superficialmente.
- Establecer el geotextil a usar en el sistema de filtración. El uso de los geotextiles ha venido desplazando los sistemas tradicionales de filtración, debido principalmente al aumento de la vida útil del sistema de drenaje, facilidad de instalación y reducción de los costos totales de la construcción.
- Establecer el número de geo-redes necesarias que sean capaces de conducir el caudal de diseño.
- Establecer el sistema de descarga adecuada del flujo de agua que capta el geodrén. Es necesario que este sistema sea un tubo especial para drenaje (ver Figura 8).

Proceso de implementación:

1. Preparación del Terreno: Para obtener las mayores ventajas económicas de este sistema de drenaje, el Geodrén Vial debe instalarse dentro de una zanja o trinchera angosta, excavada a la profundidad y con la pendiente que señale el diseñador. El ancho mínimo de la zanja es de 25 cm.

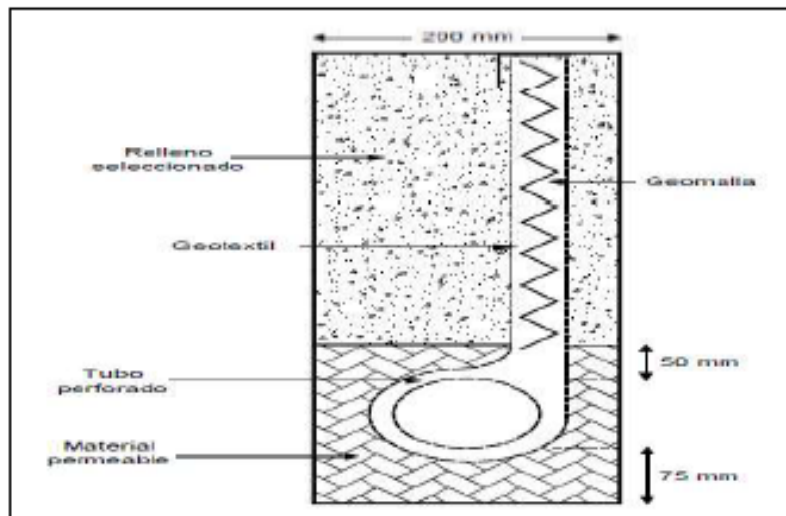
2. Instalación del Geodrén: El Geodrén Vial se debe instalar en la mitad de la excavación si el material de relleno es diferente al suelo del sitio, en caso contrario puede instalarse en contacto directo con una de las paredes de la excavación.

3. Relleno y Compactación: Se puede utilizar como material de relleno el mismo suelo de excavación, siempre y cuando este material tenga una permeabilidad que permita la conducción del agua hacia el geodrén, de esto depende la velocidad de respuesta del sistema. Los materiales instalados sobre la excavación como alternativa, se puede especificar anchos mayores no deben presentar vacíos ya que deforman la superficie. Que permitan el uso de equipos tradicionales de excavación o mano de obra.

4. Salidas o Entregas: El sistema de drenaje debe contar con salidas o entregas como sitio de disposición final de las aguas captadas en el terreno.

Ventajas y beneficios:

- Reemplaza el uso de capas permeables.
- Menor exigencia en capacidad de botaderos.
- Reducción en la explotación de materiales pétreos no renovables.
- Menor riesgo de colmatación en el sistema de drenaje.
- Fácil transporte al sitio de instalación.
- Es flexible y se adapta a la Geometría de la obra.
- Menor volumen de excavación en las estructuras de pavimentos.



**Figura 7:** Detalle típico de un geodrén planar.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. Cornforth (2005).

### **2.2.15 Drenes de penetración transversal.**

Los drenes de penetración transversal denominados por la práctica americana drenes horizontales son instalaciones de subdrenaje que responden específicamente a la necesidad de abatir del interior de los taludes del corte las presiones generadas por el agua, que sean susceptibles de provocar la falla del corte. Comenzaron a utilizarse en el Departamento de Carreteras de California (EE. UU.) a partir de los últimos años de la década de 1930.

La presencia de cavidades suele ser el problema más grave que se presenta en la perforación de drenes transversales. Los derrumbes en la perforación son normalmente otro problema de consideración; cuando se perfora en zonas en que ha ocurrido una falla y hay movimientos, este peligro es particularmente significativo. La descarga puede ser libre a la cuneta o, en instalaciones importantes, a tubos colectores de unos 20 cm de diámetro, que encaminan las aguas a donde sean inofensivas. La parte del tubo perforado del subdren que queda próxima a la salida debe dejarse sin perforar en uno o dos metros, para

evitar la invasión de vegetación a través de las perforaciones y la obstrucción del tubo (ver Figura 9).

Proceso de implementación:

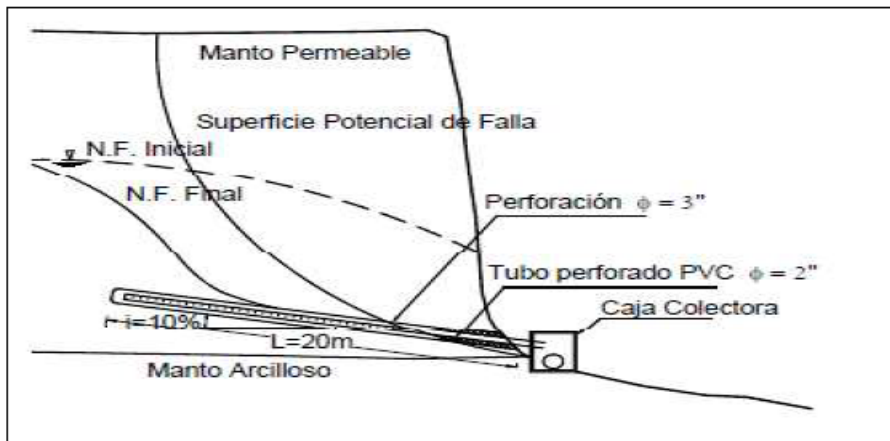
1. Se excavan las zanjas manualmente o con una zanjadora.
2. Los drenes se disponen con una pequeña inclinación, de al menos el 3% sobre la horizontal, normalmente entre 5-10°, para evacuar el agua por gravedad.
3. Se deben introducir, al menos, en 2-3 m en la zona de acumulación de agua. Se debe dejar también, entre 2 y 3 m del tubo más próximo a la boca del taladro sin orificios ni ranuras. En otras ocasiones se pueden disponer más inclinados, incluso en vertical en galerías de drenaje.
4. Si bien la disposición de los drenes depende de las condiciones hidrogeológicas y morfológicas del talud o ladera, normalmente se disponen 1-2 filas de tubos distanciados entre 7 y 30 m, siendo lo más frecuente entre 10 y 15 m.
5. Si en nivel freático se encuentra entre 30 y 60 m por encima del pie del talud, se prolongan los drenes desde el pie hasta una profundidad igual a la altura del talud, con un máximo de 90-100 m.
6. Las zanjas se rellenan con material filtrante y se acostumbra a ser recubiertos los tubos con un material de geotextil.
7. El agua drenada por los tubos debe canalizarse adecuadamente a cunetas u otros elementos del drenaje superficial. Además, estos drenes deben someterse a revisiones periódicas, con un mantenimiento que incluya su limpieza con aire a presión.

Ventajas y Beneficios:

- Evitar la penetración de agua superficial por infiltración a través de calzada o bermas, para impedir que aumente la humedad de las capas del firme.
- Cuando se tratan de caudales excesivos donde los drenes de zanjas o geodrén viales no pueden recibir dicho caudal por sí solos, se emplea este tipo

de subdrenes para recolectar el agua de precipitación o infiltración y sacarla fuera de la carpeta vial a la disposición final.

- Agotan el embalsamiento de agua.
- Rebajan el nivel freático.
- Aunque no se observe salida del flujo a través de la tubería de descarga, los drenes cumplen la función de abatir las presiones intersticiales internas en su zona de influencia.
- En el caso de taludes, los drenes se utilizan para estabilizar deslizamientos profundos. Son especialmente eficaces en terrenos permeables, rocas fisuradas o cuando interceptan capas permeables saturadas, perdiendo eficacia en suelos arcillosos homogéneos.



**Figura 8:** Detalle típico de subdren horizontal o de penetración.

**Fuente:** Técnicas de Remediación. Suarez (2007).

### 2.2.16 Galerías filtrantes.

Cuando el agua subterránea se encuentra a una profundidad tal que sea imposible pensar en llegar a ella por métodos de excavación a cielo abierto y prevalezcan condiciones topográficas que hagan difícil el empleo de drenes transversales, se ha recurrido en ocasiones a la construcción de galerías filtrantes. La técnica de estas obras es muy ampliamente conocida en el campo de las presas de tierra, pero es mayor cada día el uso que de ellas se hace en

problemas relacionados con el subdrenaje de vías terrestres, sobre todo en corrección de problemas en zonas inestables.

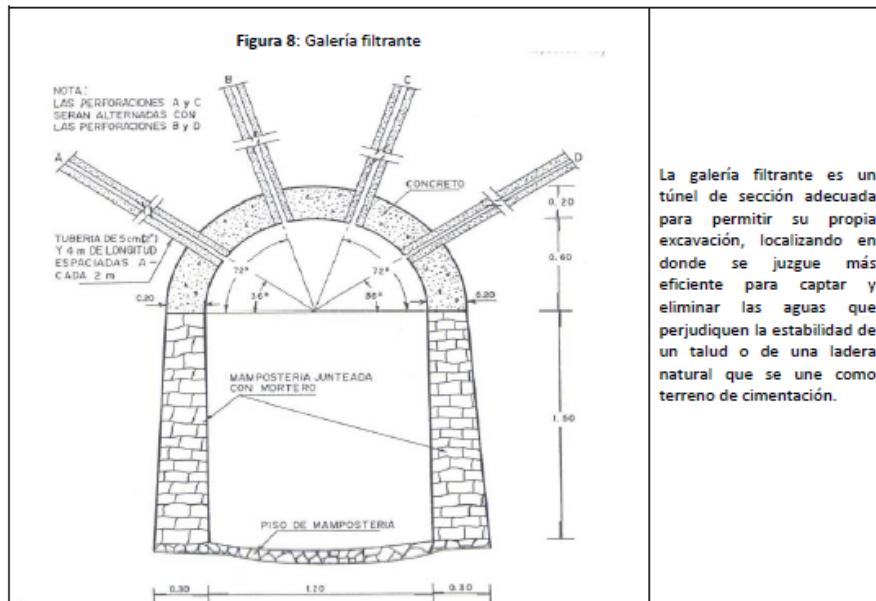
Por razones de costo suele resultar más ventajoso el revestimiento convencional de concreto, de mampostería y bóveda de concreto, dejando huecos, para propiciar la función drenante, pero cuidando de no perjudicar estructuralmente. Una vez definida la forma de la superficie de falla dentro del subsuelo, la galería puede desarrollarse por la zona más baja, para coleccionar las aguas en la parte de más difícil drenaje. El desagüe de la galería filtrante puede ser muy sencillo cuando la boca de la galería puede ser drenada por gravedad (Ver Figura 10).

Proceso de implementación:

1. Se excavan las zanjas manualmente o con una zanjadora.
2. Se coloca un conducto casi horizontal permeable (semejante a un tren subterráneo), para ser cerrado y enterrado.
3. Se rellena con un estrato filtrante.
4. La galería filtrante termina en una cámara de captación donde el agua acumulada puede ser bombeada o derivada directamente por gravedad.
5. La galería filtrante se puede ubicar en dirección perpendicular al flujo de las aguas subterráneas, pero en caso de que exista una recarga constante de una fuente superficial, podrá optarse por una dirección paralela al mismo.

Ventajas y Beneficios:

- Capta agua subsuperficial de las laderas.
- Permiten aprovechar los escurrimientos sub- superficiales o subálveos.
- Se puede disponer del agua cuando el caudal de los ríos es mínimo o nulo.
- Extrae de los cauces agua libre de sedimentos.



**Figura 9:** Detalle típico de la Galería filtrante.

Fuente: Rico (2005).

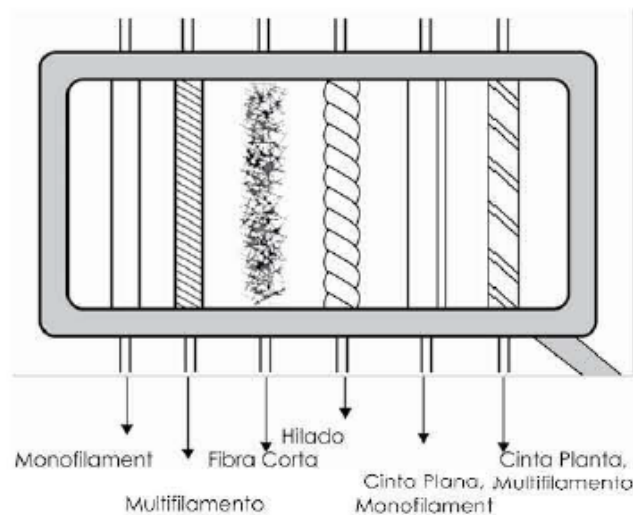
### 2.2.17 Materiales empleados en los subdrenajes.

En la implementación de sistemas de subdrenaje, es necesario garantizar la calidad de los materiales y componentes empleados. Ya que de esto dependerá la seguridad y funcionalidad del proyecto. Tomando en consideración el riesgo existente debido a fallas en el sistema, se debe garantizar su calidad, así como prever un plan de mantenimiento preventivo y una rigurosa inspección al momento de su construcción. Tomando en consideración estos aspectos, podemos mencionar los componentes principales que se emplean a la hora de la realización de subdrenajes. Aparte del material ya existente que es el suelo, se tienen:

- Geotextiles.
- Geodrénes.
- Tuberías de drenaje

### 2.2.18 Geotextiles.

El geotextil es un material textil sintético plano formado por fibras poliméricas, similar a una tela de gran deformidad, estas garantizan la capacidad de drenaje en su propio plano y además funcionan como un material de filtro y separación lo cual ayuda a evitar el paso de partículas y dejarle el paso libre al agua, estos cuentan con la ventaja de evitar la colmatación del material drenante y aumentan la capacidad de evacuación de los líquidos. Los geotextiles que se definen como un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser No Tejido, Tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas (ver Figura 11).



**Figura 10:** Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles.

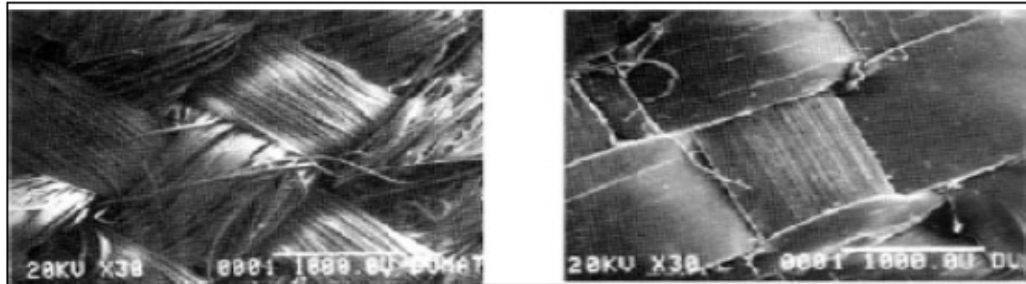
**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

### 2.2.19 Clasificación de los geotextiles según su método de fabricación.

- **Geotextil Tejido.**

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser Tejidos de calada o tricotados. Los Tejidos de calada están formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su

fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana (ver Figura 12).



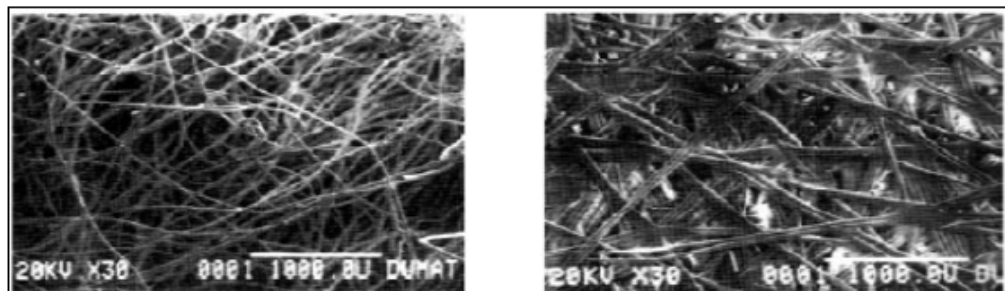
**Figura 11:** Vista macroscópica de dos tipos de geotextiles tejidos.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

#### · **Geotextiles No Tejidos**

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar (ver Figura 11), consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles No Tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termo soldados.
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados.



**Figura 12:** Vista macroscópica de dos tipos de geotextiles no tejidos.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

#### **2.2.20 Clasificación de los geotextiles según su composición.**

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo,

al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

- **Fibras naturales.**

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos), vegetal (algodón, yute, coco, lino) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

- **Fibras artificiales.**

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

- **Fibras sintéticas.**

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias. Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

### **2.2.21 Funciones de los geotextiles.**

El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

A continuación, se describen las distintas funciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo:

- Función de separación.

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.

- Función refuerzo.

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras. El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

- Función de drenaje.

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido. Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales, al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión. Se usan como:

- Función filtro.

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de

drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

- Función protección.

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana.

El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante. De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno.

- Función de impermeabilización.

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético. El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación de este, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

### **2.2.22 Geodrénés.**

Este tipo de geocompuesto surgió básicamente como una alternativa a los sistemas tradicionales de drenaje y para brindar un producto que tuviera la capacidad de conducir flujos en mayores cantidades que las que un geotextil puede manejar, debido a la magnitud de algunos proyectos. A continuación, se mencionan los tipos de geocompuestos especiales para el control de agua en estructuras geotécnicas o de pavimento.

- Geodrén Planar

El Geodrén planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación. Este geocompuesto se utiliza principalmente para los sistemas de drenaje en muros de contención, drenaje de terraplenes, drenaje de campos deportivos, captación de lixiviados dentro de rellenos sanitarios y sistemas de drenaje en vías.

- Geodrén Circular

El Geodrén circular es un geocompuesto que combina las excelentes propiedades hidráulicas de tres elementos que conforman al sistema: geotextil no tejido punzonado por agujas, geored y tubería circular perforada de drenaje. Este geocompuesto integra estos elementos para obtener un sistema prefabricado de drenaje que, instalado en zanjas o trincheras, permite captar y evacuar con alta eficiencia los fluidos.

Al igual que el Geodrén planar, este sistema de drenaje con tubería se utiliza para muros de contención, rellenos sanitarios, campos deportivos, terraplenes y para los subdrenes en Vías, con la función adicional de evacuación de fluidos por medio de la tubería.

### **2.2.23 Aspectos de diseño de los subdrenajes.**

Para lograr el buen diseño de un subdrenaje se debe tener en cuenta cuatro aspectos fundamentales:

- Determinar la ubicación y profundidad de la dirección del flujo, que puede ir en sentido longitudinal o transversal con respecto al eje de la vía. Para captar aguas subsuperficiales es conveniente tener en cuenta el diseño de un sistema de captación, que asegure la rápida llegada del agua al subdren, verificando la velocidad de llegada.
- Estimar el caudal crítico para la longitud de descarga, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte, que provienen del nivel freático y de

infiltración. El agua de infiltración proviene de aguas lluvia y superficiales que se filtran directamente a través de la carpeta del pavimento o a través del suelo aledaño al tramo de vía en consideración.

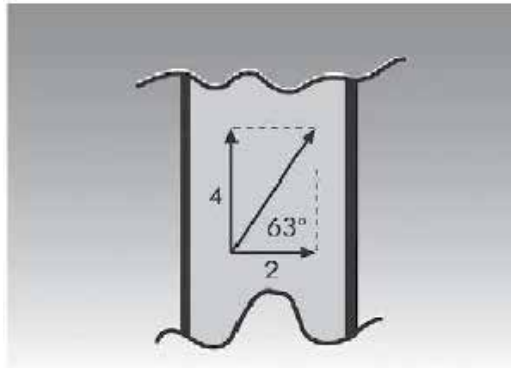
- Dimensionar la sección transversal del subdren capaz de conducir la suma de los caudales de aporte, con una velocidad de evacuación adecuada.
- Los sistemas de subdrenaje deben contar un sistema de filtración adecuado, que asegure una mayor vida útil del sistema y por consiguiente de la estructura del pavimento. El uso de los geotextiles ha venido desplazando los sistemas tradicionales de filtración, debido principalmente al aumento de la vida útil, facilidad de instalación, reducción de costos totales de la construcción y en general por ser un sistema constructivo ambientalmente eficiente.

#### **2.2.24 Metodología de diseño de subdrenajes.**

- **Determinación de la ubicación de los subdrenajes**

La ubicación del subdrenaje debe ser de tal manera que intercepten el agua lo más perpendicularmente posible. Esto quiere decir, que en tramos donde la pendiente longitudinal sea mayor que la pendiente de bombeo es más eficiente colocar subdrenajes transversales. Esto debido a que el agua se moverá en dirección de la suma vectorial o resultante de las pendientes.

Tomando en consideración lo antes planteado se detallará por medio de un ejemplo extraído del Manual de diseño con geosintéticos, PAVCO (2012), en un tramo con una pendiente longitudinal del 4% y una pendiente de bombeo del 2%, la resultante forma un ángulo de 63 grados con respecto al eje horizontal, en esa dirección se moverá el agua (ver Figura 12). Si este ángulo es menor a 45 grados las líneas de subdrenaje deben correr paralelas al eje (subdrenes longitudinales), si es mayor a 45 grados las líneas de subdrenaje deben correr normal al eje (subdrenes transversales) (ver Figura 11).



**Figura 14:** Dirección de la resultante de dos pendientes dadas.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

- **Estimación del caudal de diseño**

Para diseñar subdrenes laterales en una vía, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas, o los sitios donde los subdrenes realizan la descarga del agua. Para establecer las distancias de los tramos de los subdrenes, se debe tener en cuenta que cada tramo conserve, en lo posible, características similares o condiciones geométricas de la vía similar. Por ejemplo, igual pendiente, condiciones geomorfológicas similares o condiciones geométricas de la vía similar. Entre más largo sea el recorrido de agua dentro de un subdren, mayor tendrá que ser su capacidad de transporte, debido a que a lo largo del subdren se van sumando caudales de aporte.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua de lluvia.
- El caudal generado por abatimiento del nivel de agua subterránea.
- El caudal proveniente de escorrentía superficial.

- **Caudal de infiltración.**

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de ésta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento, tanto rígido como flexible, no son impermeables.

El caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

Dónde:

: Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona

Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2
---	-----

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

· **Caudal de abatimiento por nivel freático.**

En sitios donde se encuentre nivel freático a una altura tal, que afecte la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de agua.

El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K \cdot i \cdot A_a \qquad i = \frac{N_d - N_f}{B} \qquad A_a = (N_d - N_f) \cdot L$$

Dónde:

: Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente (cm/s □ m/s).

: Gradiente hidráulico.

d: Cota inferior del subdren (m). (Ver Figura 15).

f: Cota superior del nivel freático cm). (Ver Figura 15).

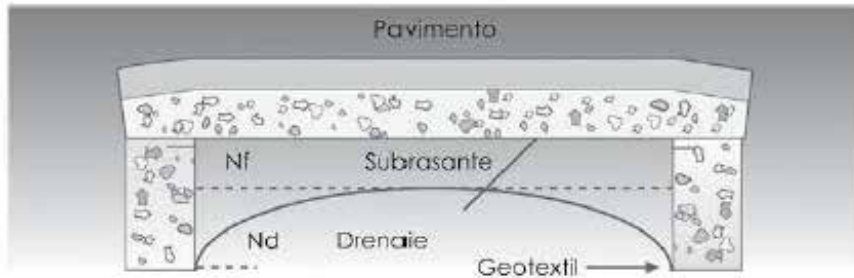
a: Área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático (m<sup>2</sup>).

: Longitud del tramo de drenaje (m).

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

$$Q_t = Q_{inf} + Q_{NF}$$

Es necesario aclarar que el caudal por abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdren, entonces el caudal  $Q_{NF}$  de diseño deberá ser duplicado.



**Figura 14:** Sección transversal de un sistema de subdrenaje lateral en vías.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO (2012).

· **Caudal por escorrentía superficial.**

Este caudal puede ser controlado con métodos de captación, de manera tal, que se minimice la entrada a la estructura del pavimento. En tramos en donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuenta los métodos hidrológicos aplicables para dicho caso y ser considerado en el diseño.

**2.2.25 Dimensionamiento de la sección transversal.**

Teniendo en cuenta el caudal final  $Q_T$ , el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento:

$$Q_T = V \cdot i \cdot A$$

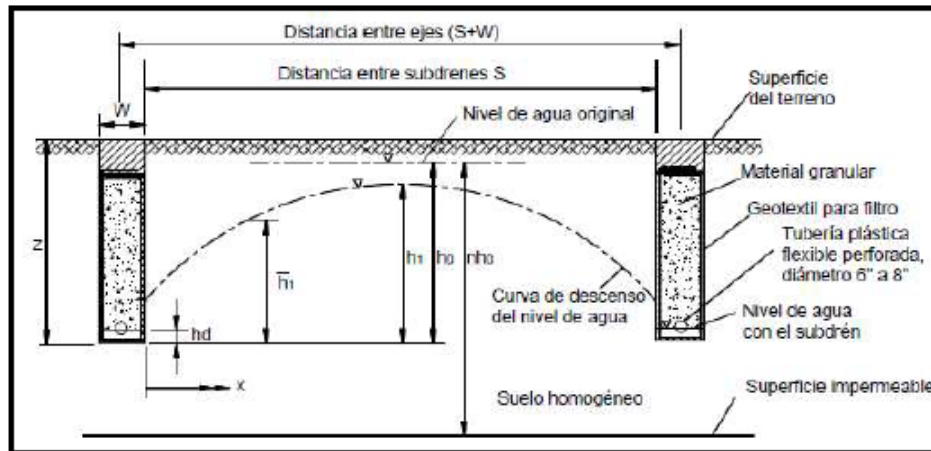
Dónde:

T= Caudal total.

= Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdren.

= Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenes es = 1.

= Área de la sección transversal del subdren, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura.



**Figura 15:** Detalle típico de un geodrén planar.

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. Cornforth (2005).

Una vez obtenida la sección transversal del subdren, se puede calcular su perímetro. La longitud de desarrollo del geotextil corresponde al perímetro más el traslape (0.25 m – 0.35 m). Para el caso en que se necesite aumentar la eficiencia de los subdrenes es recomendable usar tubería perforada, forrada con geotextil, dentro del subdren, de esta manera se aumenta la eficiencia de drenaje, permitiendo el paso a un caudal mayor en una misma sección transversal. El diámetro de la tubería a usar se puede estimar haciendo uso de la ecuación de Manning. Por tanteo se asume un diámetro de tubería y se rectifica si cumple la siguiente igualdad:

$$Q_T = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

T= Caudal total calculado.

= Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.

= Área del tubo.

= Radio hidráulico, es igual a AT/Pt (Área total / Perímetro total) a sección llena.

S = Pendiente del subdren.

La línea superior de flujo o nivel freático no debe superar en ningún momento la cota de subrasante, con este criterio se debe establecer la profundidad mínima de diseño del subdren d.

### 2.2.26 Sustentabilidad.

Al hablar de un desarrollo sustentable o sostenible, se hace referencia a la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Para poder tener un desarrollo sostenible, como sociedad se necesita poder cubrir todas las necesidades básicas sin perjudicar el ecosistema ni ocasionar daños en el medio ambiente. De este modo, su principal objetivo es perpetuar al ser humano como especie, satisfaciendo sus necesidades presentes y futuras, mediante el uso responsable de los recursos naturales.

Para alcanzar el denominado desarrollo sostenible se tienen que cumplir una serie de requisitos que permitan alcanzar un estado de equilibrio entre economía, sociedad y medio ambiente (Ver Figura 17):

- Economía: viable y equitativa.
- Sociedad: equitativa y vivible.
- Medio ambiente: vivible y viable.



**Figura 16:** Dimensiones del desarrollo sostenible.

**Fuente:** Clase 2 Gestión Ambiental. Aular (2020).

Lo anterior expresa las bases sobre la cual se asienta la búsqueda de la sostenibilidad, pero de acuerdo con el enfoque podemos encontrar distinciones en los conceptos, pero siempre en búsqueda de un objetivo en común. En el campo de la construcción sostenible Ramírez (2002) asegura que es “Aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales”.

De esta forma queda reflejado que es indispensable emplear las técnicas y mecanismos que causen el menor impacto ambiental posible si no es que sea nulo. Para esto es fundamental realizar un uso eficiente de los recursos que se disponen, para así reducir al máximo el impacto que puedan generar los residuos y el mal uso de ellos.

#### **2.2.27 Impacto ambiental.**

Haciendo referencia a Bembibre (2011) donde define a los estudios de impacto ambiental como “todos aquellos informes, estudios, investigaciones y pruebas que se realicen en determinado ambiente ante los resultados que una transformación en el medio ambiente puede generar”.

Por consiguiente, es muy importante realizar dichos estudios en la zona de investigación, para conocer las posibles afectaciones que se puedan generar. Y de esta forma poder implementar un plan de gestión ambiental, para así poder organizar las actividades humanas, en especial aquellas que causan un fuerte impacto negativo sobre el medioambiente, con miras a conseguir un desarrollo sostenible, un correcto balance entre los materiales empleados y los intereses de tipo económico que impulsan el bienestar de las sociedades.

Para poder implementar de forma correcta un sistema de gestión ambiental, y de esta forma lograr un menor impacto se debe hacer uso del estándar

internacional ISO-1400. Esta norma se puede utilizar internacionalmente y tiene como finalidad aportar a la organización todos los elementos necesarios para implementar un sistema de gestión ambiental efectivo. Haciendo referencia a la norma ISO-14001 donde se indica que este estándar “especifica los requisitos para que un sistema de gestión ambiental capacite a una organización para formular una política y unos objetivos, teniendo en cuenta los requisitos legales y la información acerca de los aspectos ambientales significativos”.

### **2.2.28 Factibilidad**

Según Luna y Chaves (2001), “factibilidad es el grado en el que lograr algo es posible o las posibilidades que esto tiene de lograrse”, la factibilidad de cualquier proyecto o inversión van a depender de este contexto, la forma en la que se estima la factibilidad va a depender de distintas variables de acuerdo con el ámbito en el que se presente el proyecto. Y su estimación se hace por medio de un estudio de factibilidad, que no es más que el análisis de una empresa para determinar si el negocio o proyecto que se propone será bueno o malo, y en cuales condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso y al mismo tiempo si este contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el ambiente.

Es importante destacar que el estudio de factibilidad está enfocado a evaluar tres aspectos fundamentales, los cuales son el aspecto económico, técnico y ambiental. Varela (1997) explica que dentro de los estudios económicos “Se pueden incluir el análisis de costo y beneficios asociados con cada alternativa del proyecto” lo cual permite comparar cada una de las propuestas y seleccionar la más adecuada en función de la mejor relación “costo-beneficio”.

Por otra parte, los estudios técnicos se encargan, según Baca (2001) de contestar “Preguntas referentes a donde, cuando, cuanto, cómo y con que producir lo que se desea, por lo que el aspecto técnico operativo de un proyecto comprende todo aquello que tenga relación con el funcionamiento y la operatividad del propio

proyecto”. Por lo cual, el estudio técnico definirá si es posible realizar el proyecto desde el punto de vista operacional.

Además de los estudios técnicos y económicos, es necesario realizar el estudio de factibilidad ambiental para determinar si el proyecto en cuestión cumple con las limitantes establecidas por los entes reguladores del ambiente, según Vega (2016) algunos de los factores que se consideran en esta clase de estudio son los “Culturales, sociales, políticos, legales, históricos, territoriales y medio ambientales de la zona, y las restricciones que estas características traen consigo”.

### **2.3. Bases Legales.**

Según Villafranca D. (2002) “Las bases legales no son más que leyes que sustentan de forma legal el desarrollo del proyecto” explica que las bases legales “son leyes, reglamentos y normas necesarias en algunas investigaciones cuyo tema así lo amerite”. En el texto a continuación, se expondrán artículos de diferentes leyes que sirven de soporte legal y argumentan la necesidad de proyectar una solución para el control de las aguas pluviales de forma efectiva.

La Ley Orgánica de Ordenación Urbanista (1987), expresa en su Artículo 1:

“La presente Ley tiene por objeto la ordenación del desarrollo urbanístico en todo el territorio nacional con el fin de procurar el crecimiento armónico de los centros poblados. El desarrollo urbanístico salvaguarda los recursos ambientales y la calidad de vida en los centros urbanos”.

En el artículo 1 se señala el objetivo principal de dicha ley, brindar calidad de vida, confort, seguridad y comodidad a los ciudadanos, además, resguardar el medio ambiente. La Gestión Ambiental es de suma importancia al realizar un proyecto civil, de igual manera que la ordenación urbanística, así como se demarca en el artículo 2, “La ordenación urbanística comprende el conjunto de acciones y regulaciones tendentes a la planificación, desarrollo, conservación y renovación de los centros poblados”.

En la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). Expresa en su artículo 127 en una de las leyes aplicadas a los derechos ambientales y su gestión, la cual es aplicada dentro de la propuesta de mejoramiento en los sistemas de drenaje urbano:

Artículo 127: “es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bióticos regulará la materia”.

Con respecto al uso, manejo, y conservación de agua se hace referencia a la Ley de Aguas (2007) que tiene como artículo 1 y objeto principal “establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado”. Donde se hace mención de que existe una disposición para la correcta gestión de las aguas, ya que este elemento es de carácter indispensable para la vida y el desarrollo del país, por esta razón es necesario su correcta captación, transporte y evacuación para que esta pueda ser aprovechada nuevamente para el uso que sea requerido.

Según el artículo 3, “La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del

territorio y de desarrollo socioeconómico del país”, recalcando aún más la necesidad de conservar y aprovechar las aguas de forma prolongada en el tiempo generando un beneficio colectivo para la población.

#### **2.4. Definición de Términos Básicos.**

**Aguas subterráneas:** Aguas que se infiltran y penetran en el suelo y subsuelo saturando los poros o grietas de las rocas, y que eventualmente se acumulan encima de capas impermeables formando un reservorio subterráneo.

**Anegado:** Esta palabra hace referencia cuando se cubre un lugar, terreno, u objeto de agua, o está sumergido en agua.

**Badenes:** Cauce o zanja formada en un terreno por efecto de las aguas de la lluvia.

**Berma:** Es el espacio entre la cuneta y el pie del talud de corte. Su función principal es la de recoger la materia proveniente de derrumbes y productos de la erosión, evitando que caiga en la cuneta o en la vía.

**Calzada:** Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material confinado.

**Capa de rodamiento:** Capa superior del pavimento formado por mezclas bituminosas.

**Capilaridad:** La capilaridad es una propiedad de los fluidos que depende de su tensión superficial, la cual, a su vez, depende de la cohesión del fluido, y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.

**Colmatación:** Relleno total de una depresión natural o artificial (lago, albufera, embalse) o de una cuenca sedimentaria mediante la acumulación de sedimentos.

**Cuneta:** Zanjas, revestidas o no, construidas paralelamente a las bermas, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal en la carretera.

**Escorrentía:** Es el volumen de agua de lluvia que hace su recorrido sin infiltrarse y sin evaporarse desde el sitio donde cae hasta el punto de concentración.

**Explanación:** La explanación de una carretera es la superficie de dominio público comprendida entre dos líneas longitudinales exteriores a la calzada. La línea exterior de la explanación, en cada una de las márgenes de la carretera, es la intersección del talud del desmonte o del terraplén con el terreno natural.

**Firme:** Capa sólida de terreno sobre la que se pueden poner los cimientos de una construcción. Asimismo, se lo usa para hacer referencia al pavimento de una carretera.

**Granulometría:** Proporciones de peso para cada tamaño de partículas de un suelo en estudio.

**Hombrillo:** Son las plataformas, contiguas a la calzada, destinadas al estacionamiento eventual de vehículos.

**Meteorización:** Proceso de degradación de una roca debido a la acción de factores físicos, químicos o biológicos.

**Obras de drenaje:** Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de escorrentía natural, la cual puede verse afectada por el trazado.

**Obras de Subdrenaje:** Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua subsuperficial a fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos y haciendo descender el nivel freático.

**Período de retorno de las crecidas de los ríos:** Intervalo de tiempo necesario para que una crecida de igual característica en volumen o magnitud se repita.

**Permeabilidad:** La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc.

**Pontón:** Estructura de drenaje cuya luz medida paralela al eje de la carretera es menor o igual a diez metros (10m).

**Ramal:** Son carreteras de interés local que intercomunican centros poblados de menor importancia y proveen acceso de estos a carreteras principales.

**Socavación:** Resultado de la acción erosiva del agua que arranca, desplaza y lava el material de lecho, construyendo una de las causas principales de falla en cimentaciones de puentes y otras estructuras cuyas bases estén en contacto con agua.

**Subrasante:** Superficie especialmente acondicionada sobre el cual se apoya la estructura del pavimento.

**Talud:** Pavimento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén.

**Vertido líquido:** Toda descarga de agua que se realice directa o indirectamente a los cuerpos de agua mediante canales, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino costero y descargas submarinas.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

A continuación, y como consiguiente a los capítulos anteriores, se indicarán el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, entre otros. Esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema que estudiamos. Según Arias (2006) define el marco metodológico como el “conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas”. Este método se basa en la formulación de hipótesis las cuales pueden ser confirmadas o descartadas por medios de investigaciones relacionadas al problema.

#### **3.1. Tipo de investigación.**

A propósito de la tipología desarrollada en esta investigación conocida como proyecto factible, el Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador, (2003), plantea que “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades.”

De lo antes planteado, para llevar a cabo el proyecto factible, lo primero que debe realizarse es un diagnóstico de la situación planteada; en segundo lugar, es plantear y fundamentar con basamentos teóricos la propuesta a

elaborar y establecer, tanto los procedimientos metodológicos, así como las actividades y los recursos necesarios, para llevar a delante la ejecución. Aunado a esto, se realizará el estudio de factibilidad del proyecto y, por último, la ejecución de la propuesta con su respectiva evaluación.

Este proyecto se considera una investigación de un proyecto tipo factible, ya que se presenta una propuesta viable, destinada a resolver una problemática planteada mediante un análisis de investigación.

### **3.2. Diseño de la investigación.**

Diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al inconveniente, dificultad o problema planteado en el estudio. Se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico.

Referente a lo anteriormente mencionado, Fidias Arias (2004) indica lo siguiente; “Es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.”

La investigación Experimental consta de someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas acciones, condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

La investigación de Campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos, objetos o lugar donde ocurran los hechos, sin manipular o controlar variables. De allí su carácter de investigación no experimental.

La investigación Documental, se basa directamente en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios.

Reflejado directamente de lo antes mencionado, la investigación en curso se establece con un diseño documental, debido a que se basa en la obtención y

análisis de datos provenientes de materiales impresos y electrónicos u otros tipos de documentos.

Por lo tanto, bajo esta premisa se afirma que el presente proyecto de investigación responde a un diseño de Campo y Documental, dado que se efectuará el diagnóstico, análisis y estudio del tramo de la Avenida Don Julio Centeno, específicamente entre la intercepción de la Urbanización El Morro I y la intersección U.E. Olga Bayone en la Urbanización Yuma II, Municipio San Diego Estado Carabobo, en un momento específico del tiempo y sin llegar a modificar las condiciones ni procesos naturalmente existentes por cuanto en ningún momento se manipulara la variable en estudio.

### **3.3. Nivel de investigación.**

Según Hernández (2015), se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o un evento de estudio. Existen diferentes Niveles de Investigación según el alcance del objetivo general y objetivos específicos, como son: Exploratoria, documental, descriptiva, explicativa, correlacional.

Este trabajo de grado desarrollado estará basado en una investigación descriptiva ya que es un tema de investigación que se considera que ha sido poco estudiado y existen ideas vagas relacionadas al tema.

### **3.4. Población y Muestra.**

Hernández, Fernández y Baptista (2003), definen la población como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” y Tamayo y Tamayo (2007), define la muestra como "el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada". En algunos casos tanto la población como la muestra pueden ser la misma, esto ocurre por ser un objeto único de estudio. Tomando en consideración lo indicado anteriormente, se utilizó como población y muestra para el siguiente trabajo de grado, la vialidad de la Avenida

Don Julio Centeno, específicamente en el tramo de estudio, Urbanización El Morro I – Urbanización Yuma II en el Municipio San Diego Estado Carabobo, la cual es el objeto de estudio para el diseño de un sistema de subdrenajes con el objetivo de controlar los excedentes provenientes de las aguas pluviales.

### **3.5. Técnicas de Recolección de Datos.**

#### **3.5.1 Revisión Documental**

Para Hurtado (2012), es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechas por otros, como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio.

Para esta investigación se aplicó dicha técnica, debido a que se consultaron textos asociados al diseño de sistemas de subdrenajes, hidráulica y todo lo relacionado con estos aspectos que son necesarios para obtener una base de conocimiento.

#### **3.5.3 Observación Directa.**

Según Hurtado (2012) la observación directa constituye un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos y conocimientos previos.

Se empleó esta técnica en la zona de estudio, debido a que hicimos una observación directa de la situación actual del lugar.

#### **3.5.3 Tabulación de datos.**

Es una técnica de recolección de datos que consiste básicamente en trasladar los datos obtenidos de la población en el proceso de investigación a una tabla. Según Chávez (2007) la tabulación de datos es una técnica que emplea el investigador para procesar la información recolectada, con la cual se logra la organización de los datos relativos a una variable, indicadores y renglones.

Se empleará dicha técnica, para ordenar y recolectar los datos obtenidos del proceso de investigación.

### **3.6. Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos.**

Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Son aquellos que se utilizan para llevar a cabo las técnicas de recolección de datos.

#### **3.6.1 Google Earth.**

Es una herramienta que permite introducir el nombre de un hotel, colegio o calle y obtener la dirección exacta, un plano o vista del lugar. También se pueden visualizar imágenes vía satélite del planeta. Ofrece características 3D como dar volumen a valles y montañas, y en algunas ciudades incluso se han modelado los edificios. La forma de moverse en la pantalla es fácil e intuitiva, con cuadros de mandos sencillos y manejables.

Además, es posible compartir con otros usuarios enlaces, medir distancias geográficas, ver la altura de las montañas, ver fallas o volcanes y cambiar la vista tanto en horizontal como en vertical. Google Earth también dispone de conexión con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), alimentación de datos desde fichero y base de datos en sus versiones de pago.

#### **3.6.2 Microsoft Excel.**

Excel es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp. Se trata de un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo. Se distingue de todos los programas ofimáticos porque permite trabajar con datos numéricos, con los números que se almacenan en Excel se pueden realizar cálculos aritméticos básicos y también aplicar funciones matemáticas de mayor complejidad, o utilizar funciones estadísticas.

Excel facilita en gran medida el trabajo con números y permite analizarlos fácilmente y generar reportes con herramientas como los gráficos y las tablas dinámicas.

### **3.6.3 AutoCAD.**

Es un programa, como su nombre lo dice, para diseñar, CAD significa Computer Aid Design, en el que se puede realizar todo tipo de diseños técnicos, muy útil para ingenieros y arquitectos, pudiendo crear diseños de todo tipo en 2D y 3D, planos, objetos, cortes de objetos entre otros.

### **3.6.4 Global Mapper.**

Global Mapper es un software de procesamiento de datos SIG (Sistema de Información Geográfica) que incluye todo tipo de información cartográfica y de mapas. Con el cual se puede obtener toda la información topográfica y cartográfica necesaria.

### **3.6.5 Listas de Cotejo (Cuadros Comparativos)**

Para Hernández (2003), se puede describir la lista de cotejo como instrumento de observación mediante el uso de un objeto de aprendizaje para obtener información sobre conocimientos, habilidades, conductas o desempeños como apoyo en el proceso de enseñanza- aprendizaje.

Considerando lo anterior, se llevará a cabo por medio de este instrumento la inspección del estado del tramo objetado.

## **3.7. Fases Metodológicas.**

La presente investigación, se llevará a cabo mediante las siguientes fases:

**Fase I: Diagnóstico de la situación actual del tramo de estudio y del sistema de drenaje existente.**

En esta fase se recopilarán datos mediante diversas fuentes bibliográficas, utilización de herramientas para estimar las condiciones actuales en cuanto a las condiciones del sistema de drenaje existente en el tramo vial de la Avenida Don Julio Centeno, anteriormente propuesto.

**Fase II: Determinación de los parámetros básicos y valores críticos para la implementación y diseño del subdrenaje.**

En la presente fase se determinan las variables y parámetros necesarios para llevar a cabo el proyecto de subdrenaje. Se describe la ubicación espacial del proyecto, obteniendo información geológica, topográfica, datos relativos a la hidrología del área de estudio, entre otros; lo que permitirá, que la opción de diseño sea acorde a las características y adaptada a las necesidades reales.

**Fase III: Análisis de diferentes tipos de sistemas de subdrenajes de aguas pluviales que sea el más adecuado considerando un análisis técnico y cumpliendo con los requisitos para su funcionamiento.**

En esta fase se estudian y analizan diferentes sistemas de subdrenajes, identificando las alternativas que mejor se ajusten a las condiciones y parámetros de la zona, la cual servirá de base para la determinación de la opción que se diseñara como estructura de subdrenaje para el tramo vial, garantizando la durabilidad y eficiencia de esta.

**Fase IV: Diseño del sistema de subdrenaje para la propuesta en la Vialidad De La Avenida Don Julio Centeno Tramo De Estudio: Urbanización El Morro I – Urbanización Yuma II, Municipio San Diego Estado Carabobo.**

En esta última fase se presentan los criterios adoptados, así como los métodos empleados para el diseño del diseño de subdrenaje. De igual manera se muestran los cálculos, detalles de interés de acuerdo con la naturaleza del objeto del presente estudio. Así como una descripción detallada de todos los cálculos y resultados obtenidos mediante la implementación de cada método de drenaje.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

En el presente capítulo se exponen de forma detallada el desarrollo de los diferentes objetivos planteados en el presente trabajo de investigación en referencia al diseño de un sistema de subdrenaje para la recolección de aguas pluviales de la Av. Intercomunal Don Julio Centeno, específicamente en el tramo de estudio que comprende desde la intersección de la urbanización el Morro I hasta la urbanización Yuma II, en el municipio San Diego estado Carabobo, se desarrollan de forma detallada los objetivos específicos planteados como punto de partida para el desarrollo del sistema de subdrenaje.

#### **4.1. Diagnóstico de la situación actual del tramo de estudio, en referencia a los sistemas de drenajes existentes.**

En la labor de realizar un diagnóstico preciso del tramo en estudio, así como del sistema de drenajes existente, se procedió a la obtención de datos de interés relacionados a la zona, que proporcionan las características reales de la zona, para luego, partiendo de estos datos generales poder hacer una evaluación detallada del área en estudio. Es por esto por lo que se describen las características de la zona, el tramo en estudio, la sección de la vía correspondiente y por último se realizará un diagnóstico de la situación actual.

##### **4.1.1 Diagnóstico de la situación actual**

Para poder dar solución a la problemática existente en el municipio San Diego del estado Carabobo en Venezuela, se tiene que llevar un orden de importancia en el cual es imprescindible evaluar la condición actual del espacio territorial, dándole un valor primordial a los riesgos naturales y antropogénicos que existan en la zona. Estos deben ser evaluados y analizados, de tal manera que, se consideren todas las amenazas existentes, con el propósito de generar un

proyecto seguro desde su concepción. Una de las problemáticas iniciales que presenta el municipio, son las inundaciones que se han venido suscitando con el pasar de los años, generando inconvenientes a la comunidad e impidiendo el flujo vehicular y peatonal en épocas de lluvia. Esto trae consigo otras consecuencias, como es la problemática principal de nuestro tramo de estudio, siendo esta la acumulación de las aguas pluviales, causando anegamiento, la cual deteriora y degrada toda la estructura vial.

Dada las condiciones de emergencia sanitaria debido a la pandemia que ha azotado al mundo por el COVID-19 y las restricciones de movilidad que este tema conlleva se hizo complicado la realización de una inspección de campo, pero de igual forma se pudo ejecutar un informe fotográfico en el cual se pudo observar el estado actual de las condiciones de la vía. Sin embargo, para enriquecer la investigación, nos basamos en la revisión documental del trabajo de grado elaborado por Loaiza y Mesa (2019) en el cual se efectúa una inspección vial que sustenta las bases del presente estudio por lo que se pudo constatar el estado actual del sistema de drenajes de tramo en estudio.

En primera instancia, se realizó un replanteo de los espacios de derecho vial de la Av. Don Julio Centeno (Arterial 01), y se comparó con los datos obtenidos de forma satelital. Para poder verificar la longitud del tramo en estudio que comprende desde la intersección en la urbanización El Morro I y el sector Yuma II, en este caso ellos tomaron como punto de referencia La intersección donde se encuentra ubicada la Embotelladora Municipal (I2) y el siguiente punto de interés el cual corresponde a la intersección de la entrada a la Urbanización la Esmeralda (I3) por lo que se consideró para el presente trabajo diferenciar el tramo de estudio en tres tramos por separado. Posterior al replanteo realizado se verificaron las condiciones del sistema de drenaje.

Se obtuvieron los siguientes datos recopilados mediante la implementación de programas como Google Earth y Global Mapper con los

cuales se pudo estimar la longitud del tramo (Ver Tabla 4), y las estructuras de drenaje presentes:

**Tabla 4: Tramos de estudio, longitud y progresivas perteneciente a la Av. Don Julio Centeno.**

	I0: Intersección Morro I	I1: Embotelladora Municipal	1118.37	0+000	1+118.37
	I1: Embotelladora Municipal	I2: Urb. La Esmeralda (Poblado)	381.44	1+118.37	1+499.81
	I2: Urb. La Esmeralda (Poblado)	I3: Intersección U.E. Olga Bayone	905.83	1+499.81	2+405.64

**Fuente:** González y Lara (2021).

La vía inspeccionada en el tramo de estudio está conformada por los siguientes elementos de drenaje vial, en primer lugar se encuentra la superficie de pavimento asfáltico o capa de rodamiento, encargada de la recepción de las aguas pluviales, que por medio del bombeo conduce el agua a los laterales de la vía, considerando las curvas de pavimento presentes en el tramo; se detalla la presencia del brocal-cuneta en el lateral izquierdo de la vía sentido norte-sur, y en las intersecciones Morro I, Embotelladora Municipal, Urb. La Esmeralda (Poblado), U.E. Olga Bayone, el cual funciona como componente del sistema de drenajes, conduciendo el gasto captado por la capa de rodamiento hacia los puntos bajos de la vía por medio de las pendientes longitudinales existentes en los diversos tramos considerados en el presente estudio, el brocal-cuneta además permite mantener un ancho de inundación permisible de acuerdo a la importancia y uso de la vía, considerando eventos de lluvias acordes a la misma. Se dispone también de estructuras de captación lateral (sumideros de ventana) encargados

de captar el agua por escorrentía superficial conduciéndola a un sistema de colectores de drenaje existente.

Finalmente se encuentra la presencia de un canal lateral de aguas de lluvia en ciertos tramos de la vía en el lateral izquierdo en el sentido Sur-Norte (Intercepción Morro 1- Intercepción Olga Bayone) el cual de igual forma cumple la función de conducir el agua de escorrentía superficial que recibe de los componentes antes mencionados. No se detallan sistemas de subdrenajes ni componentes de este en el tramo de estudio, únicamente se evidencia la presencia de áreas verdes en la isla central y a los laterales de la vía la cual infiltra parte de la escorrentía superficial siendo dichas áreas consideradas un sistema de subdrenajes ecológico, como lo indica los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (S.U.D.S), además, al saturarse, merma considerablemente la capacidad de infiltración. Adicional a lo mencionado no se encuentran otros elementos de Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles (SDUS).

Se pudo observar a detalle que en el tramo correspondiente entre la urbanización El Morro I y el sector Yuma II (Tramo de estudio) gran parte de las estructuras de captación lateral (sumideros de ventana) se encuentran en condiciones precarias y obstruidos por sedimentos lo que evidencia una marcada falta de mantenimiento. Por lo detallado en esta recopilación bibliográfica y por medio de lo que se visualizar en la visita a campo, es necesario considerar la implementación de nuevos sistemas de drenajes complementarios, que sirvan de apoyo a las estructuras de drenaje principal, para lograr un sistema confiable al presentarse eventos de precipitaciones de periodos de retornos elevados. Dado a lo expuesto anteriormente, se considera el empleo de un sistema de subdrenaje, que si bien se conocen en Venezuela se establece que no son de uso convencional, incluyendo sistemas que se adapten al entorno de manera sostenible y trabajen en conjunto con el sistema de drenaje superficial.

## **4.2. Determinación de los parámetros básicos y valores críticos para el diseño e implementación de un sistema de subdrenajes.**

Para realizar un diseño efectivo de un sistema de subdrenaje que pueda ser implementado en la zona de estudio, es necesario disponer de información adecuada de acuerdo a las variables de interés, con el fin de que dicho diseño sea apropiado, por esto es imprescindible conocer las condiciones presentes del lugar de estudio, como lo son; características principales de la vialidad, topografía, geología, hidrología, precipitaciones y factores del tipo antropogénico. Estas variables son de sumo interés para lograr establecer una propuesta de sistema de subdrenaje que se acople a los sistemas de drenajes existentes en la actualidad y a su vez disponer las aguas de lluvia recolectadas sin generar afectaciones de ningún tipo, tanto en el área de estudio como en zonas aledañas.

### **4.2.1 Caracterización de la zona**

Geográficamente el estado Carabobo se encuentra ubicado en el centro-norte del país (Ver Figura 17), en la región Central, el mismo limita al norte con el golfo Triste, al este con el estado Aragua, al sur con los estados Guárico y Cojedes, y al oeste con el estado Yaracuy. Cuenta con 14 municipios. Haciendo énfasis que entre los municipios de mayor relevancia tenemos al municipio Valencia, municipio Naguanagua, municipio Puerto Cabello y municipio San Diego.

Este último se encuentra ubicado en el centro norte del estado georreferenciado colinda con el Municipio Puerto Cabello, Municipio Los Guayos, Municipio Naguanagua y el Municipio Valencia. El municipio San Diego, está ubicado al norte del Lago de Valencia, teniendo una población aproximada según el censo del 2016 de 103.482 habitantes. El municipio pertenece al área metropolitana de Valencia y es de gran importancia para el desarrollo socioeconómico del estado,

siendo considerado como un municipio modelo de Venezuela y uno de los mejores del Estado Carabobo, debido a su desarrollo urbanístico, comercial e industrial.

El municipio San Diego representa un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico del estado, por este motivo el desarrollo de vías de comunicación para interconectar esta zona con el resto del estado es de suma importancia, como se muestra la red vial del estado Carabobo cuenta con una gran cantidad de vías expresas como la autopista regional del centro (ARC) que comunica el estado con el centro del País, a su vez se cuenta con la autopista Variante Yagua-San Diego que alivia una gran cantidad de flujo vehicular que anteriormente transitaba únicamente por la ARC.



**Figura 17:** Plano de Ubicación Geográfica.

**Fuente:** González y Lara (2021).

Las vías arteriales también cumplen un rol fundamental en la movilidad del estado, en el municipio San Diego, la avenida Don Julio Centeno es la arterial 1 del municipio, la cual interconecta el municipio de sur a norte y viceversa,



### **Figura 18:** Plano de Ubicación y Situación.

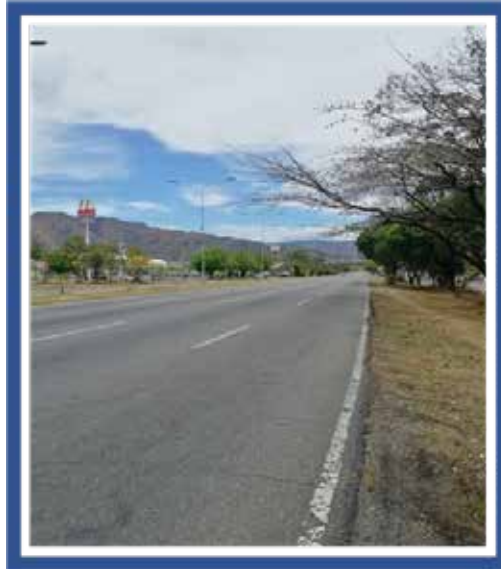
**Fuente:** González y Lara (2021).

#### **4.2.3 Sección de la vía**

La avenida don Julio Centeno, a lo largo de toda su extensión mantiene una sección de vía no uniforme, debido a que existen tramos que poseen una mayor cantidad de carriles que otros, al mismo tiempo existen tramos de vía en que la isla central que separa el tramo sur-norte del tramo norte-sur posee un ancho mayor de 5 metros y en otros tramos simplemente existe una barrera de protección no mayor a 1 metro de ancho que los separa entre sí. Sin embargo, en el tramo de estudio, existe gran simetría en cuanto a la sección transversal de la misma la cual cuenta con cuatro carriles del lado izquierdo de la isla y cuatro carriles del lado derecho respectivamente, para un total de ocho carriles, cada carril posee una distancia de 2.7 metros. Además, posee un canal de seguridad (hombrillo) de cada lado, este con una longitud de 2.7 metros, al igual que los carriles. Y, por último, la isla central la cual dispone de un ancho de 3.00 metros, otorgando un ancho total de vía de 30.00 metros aproximadamente.

Como se puede observar a detalle en la imagen que representa una vista de la vialidad en el sentido Sur-Norte (Ver figura 19), la avenida ha sido diseñada para movilizar un gran flujo vehicular. Sin embargo, desde el momento de su construcción hasta la fecha no se ha realizado una buena planificación en cuanto a los procesos de mantenimiento de esta. El mantenimiento, es un proceso fundamental en cualquier obra de ingeniería, es el proceso que permitirá extender la vida útil de la obra y es por esto que su planificación es fundamental. El mantenimiento se debe estipular de tal forma que la vía siempre se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento, y para esto se requiere que su la estructura vial mantenga un excelente estado en todo momento, y a su vez los sistemas de recolección de aguas pluviales trabajen de forma adecuada. Sin un mantenimiento preventivo constante y una inspección de los entes encargados

de forma periódica, no se podrán realizar los correctivos necesarios, lo cual ocasiona diversos inconvenientes disminuyendo la vida útil y generando costos importantes asociados a un mantenimiento correctivo.



**Figura 19:** Tramo de la vía sentido Sur-Norte.

**Fuente:** Gonzalez y Lara (2021).

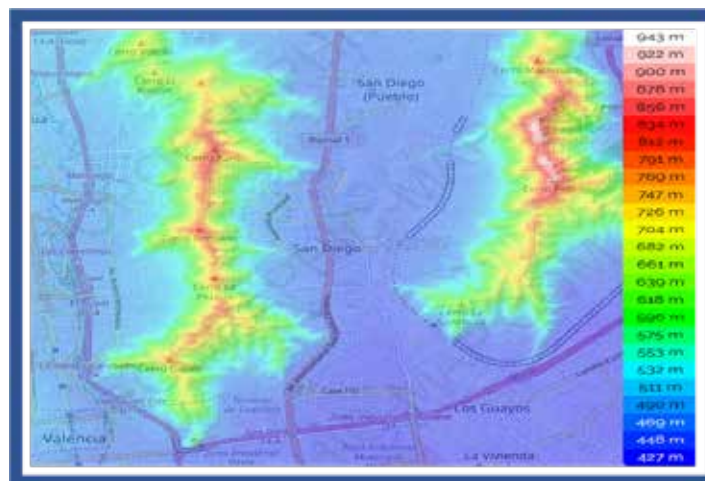
#### **4.2.4 Topografía**

Los datos topográficos de la zona son esenciales para iniciar el proceso de diseño de una solución efectiva, estos varían según las características edafológicas y patrón topográfico, para posterior comprensión de la estructuración del suelo y subsuelo presente en la zona de estudio. Carabobo se caracteriza por tener una topografía muy variada, debido a que se pueden conseguir diferentes tipos de relieves y alturas. Zonas montañosas, cordilleras costeras, lagos, valles y llanos, cada uno teniendo su respectiva peculiaridad y distinción con respecto a los otros estados de Venezuela.

Para el caso en estudio, la particularidad que tiene la zona está asociada a su condición de valle; por eso en muchas ocasiones se hace referencia al municipio como valle de San Diego. Este, posee una variación de pendiente que no es notable en los puntos más bajos de la ciudad, pero que si van aumentando

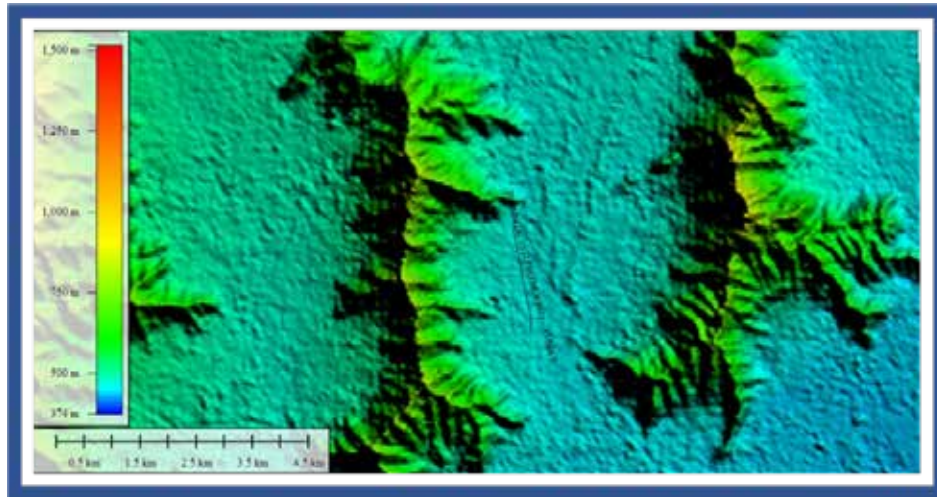
conforme nos vamos acercando a las zonas montañosas, debido a esto, presenta vulnerabilidad de inundación en las zonas que están próximas a los ríos y aquellos puntos que redireccionan el agua hacia los canales naturales. Por esto podemos notar que la escorrentía de las aguas provenientes de las precipitaciones fluye en su mayoría desde los cerros Fila del Orégano o Kairoi hasta el río San Diego o desde los cerros Fila de Macomaco o Fila Pelón hasta el río Cúpira o San Diego (Ver Figura 22).

El municipio presenta variaciones de altitud en metros sobre el nivel del mar, siendo el valor promedio 498 msnm considerado del punto más alto hasta el más bajo. Para la Av. Don Julio centeno, específicamente el tramo de estudio, el cual está comprendido entre las intersecciones de la Urbanización El Morro I y el Sector Yuma II, presenta valores englobados entre 455.10 msnm y 466 msnm, siendo el valor promedio de altitud 460.55 msnm respectivamente. El proceso de obtención de los valores correspondientes a la data de altitud, perfiles longitudinales y toda la georreferencia del tramo de estudio se obtuvieron empleando las herramientas de recolección de datos como son los programas Google Earth, Global Mapper, Excel y AutoCAD. En referencia a la información de elevaciones generales del Municipio San Diego se refleja lo siguiente (Ver Figuras 23, 24 y 25):



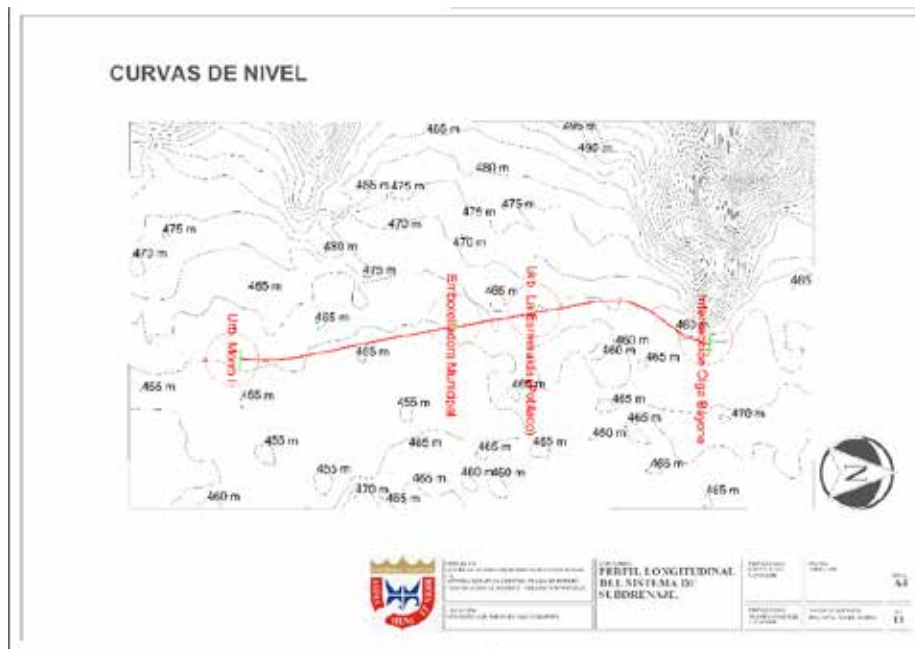
**Figura 20:** Vista de planta de elevación del Municipio San Diego.

**Fuente:** Topographic-map.com/San Diego.



**Figura 21:** Mapa de superficie de elevación del del tramo en estudio.

**Fuente:** González y Lara, 2021.



**Figura 22:** Plano de Curvas de nivel del tramo en estudio.

**Fuente:** González y Lara, 2021



**Figura 23:** Perfil Longitudinal del tramo en estudio.

**Fuente:** González y Lara, 2021.

La vía en estudio se dividió en 3 tramos ya que se consideraron las intersecciones presentes, en donde se tomó en cuenta las pendientes mínimas y máximas de cada uno, siendo importante así que cada cambio de pendiente sea representativo al momento de realizar el estudio y diseño de subdrenajes para la recolección de aguas provenientes de la precipitación.

#### **4.2.5 Geología**

La geología de la cordillera de la costa se interpreta como de tipo alpino, la cual se caracteriza por una secuencia de rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario. Debido a la gran extensión de esta cordillera, se ha permitido su división en fajas tectónicas, cada una de ellas con características individuales que facilitan su estudio. Según los estudios realizados por Bell en 1968 estas fajas son:

- Faja de la Cordillera de la Costa
- Faja de Caucagua – el Tinaco
- Faja de Paracotos
- Faja de Villa de cura
- Faja Piemontina
- Faja de Fallas de Corrimiento
- Faja Volcada
- Faja de Buzamientos Suaves

Los terrenos del Municipio San Diego pertenecen a la cuenca del Lago de Valencia. Su origen edafológico, composición y patrón topográfico varía según se trate de zonas de serranía o de espacios ubicados en los valles de piedemonte.

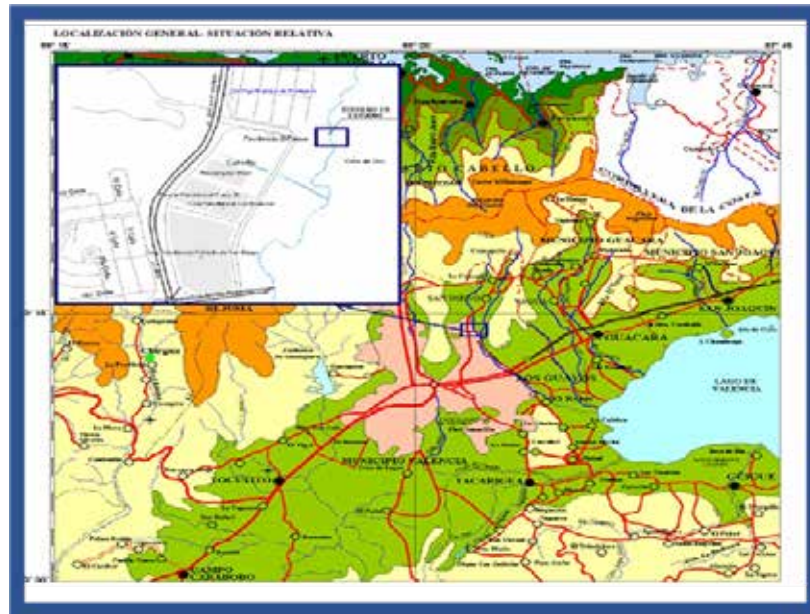
Las zonas altas de serranía están constituidas por la faja de la cordillera de la costa, la cual se encuentra formada por una gruesa secuencia de rocas metosedimentarias asignadas al grupo Caracas cuya sedimentación se llevó a cabo entre el Jurásico superior y el cretáceo inferior, llamadas así metaígneas. En la zona Vigirima-San Diego se han reconocido seis unidades litológicas diferentes. La primera unidad está compuesta por rocas metagraníticas, con enclaves sedimentarios. Las cinco últimas unidades son rocas metosedimentarias. Estas seis unidades son nombradas a continuación.

- Ü Unidad de gneis porfidoblástico (Ugp).
- Ü Unidad de esquistos cuarzo-muscovíticos-albíticos-biotíticos (Uemg).
- Ü Unidad de cuarcitas muscovíticas (Ucm).
- Ü Unidad de esquistos muscovíticos-cuarzo-biotíticos-epidóticos (Uemb).
- Ü Unidad de esquistos-cuarzo-muscovíticos (Uemc).
- Ü Unidad de esquistos calcáreos y mármoles (Uec).

Por su parte, el tramo de estudio pertenece a las zonas bajas del valle, conformadas por materiales sedimentarios que datan del Cuaternario. Basado en los estudios de suelo realizados por la Ing. Aura Herminia Párraga (2010) en las adyacencias del Parque central Metropolitano y el Río Cúpira, (ver Figura 24).

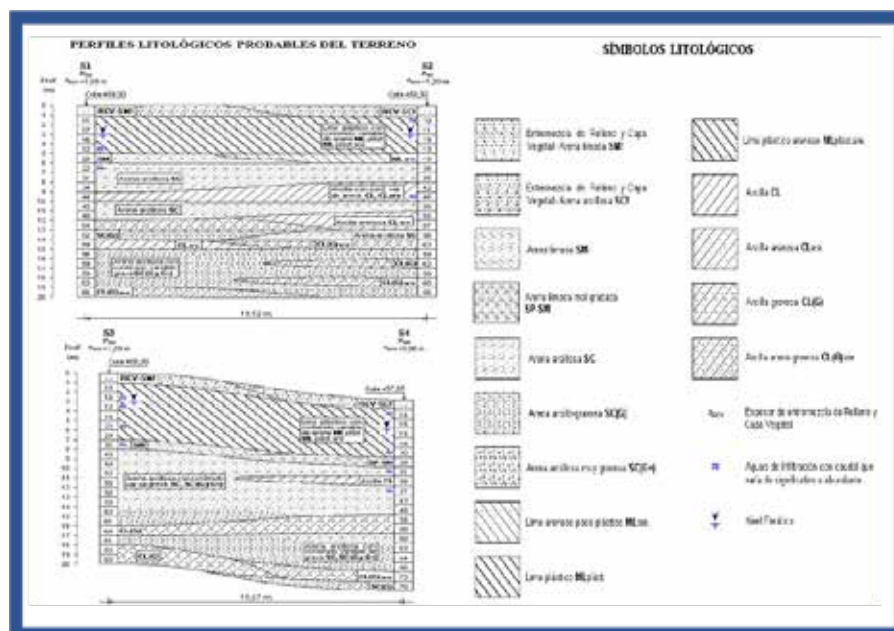
Por medio del perfil litológico se ha podido establecer la configuración de los estratos del suelo, con lo cual se estableció el nivel freático a una profundidad de 3 metros. El estrato posee una variedad de capas de espesor y resistencia variable, las cuales aumentan de manera proporcional a la profundidad. En el perfil se pueden observar unas 13 capas a diferentes niveles, desde la primera que conforma la superficie del suelo en un rango de profundidad entre los 0.9 y 1.20 metros conformada por una entremezcla de relleno y capa vegetal y la

última capa del estrato conformada por una capa de arcilla areno-gravosa hasta una profundidad de 20 metros. Se ha colocado la leyenda seguido al perfil del suelo para su óptima comprensión y análisis. (Ver Figura 25).



**Figura 24:** Mapa de localización del estudio de suelos.

Fuente: Párraga, 2010.



**Figura 25:** Perfiles Litológicos probables del suelo.

Fuente: Párraga (2010).

#### 4.2.6 Hidrología

El clima en el municipio San Diego según la clasificación del sistema de Köppen-Geiger es Aw o clima tropical de sabana, este atraviesa el periodo de lluvias entre mayo y noviembre, sin embargo, hay precipitaciones significativas a lo largo de todo el año, inclusive en los meses más secos todavía presentan valores considerables de precipitación. Según los registros de la estación meteorológica San Diego ubicada según el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM), en la latitud 1.137,514 y longitud 615,921 a una altura de 460 m.s.n.m. De la cual se poseen registros que datan desde 1996 hasta el 2005, el municipio presenta un promedio de precipitación anual de 849.18 milímetros (mm). Por lo que el mes más seco es enero con una precipitación de 0.5 mm, mientras que en septiembre se registraron los mayores valores de precipitación con 211.8 mm. (Ver Figura 26).

Promedio de Precipitación media anual Período (1996-2005)													
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EL CAMBUR	80,21	45,01	15,31	48,38	54,69	198,77	84,17	178,40	111,76	154,01	123,57	51,38	1.145,55
LA ENTRADA	7,8	18,9	11,2	43,2	65,5	207,2	120,9	57,9	89,0	237,1	133,7	20,7	1.013,05
HACIENDA EL MANGLAR	41,4	60,4	6,5	50,1	81,8	49,1	86,5	38,1	49,6	102,3	143,2	52,0	761,01
VIGIRIMA	5,25	3,89	7,32	26,67	81,97	105,09	246,04	196,94	176,01	162,47	168,79	28,96	1.209,41
SAN DIEGO	0,5	6,9	11,8	25,5	48,5	144,2	145,2	87,4	211,8	58,9	85,9	22,6	849,18
VALENCIA-GFV	7,4	12,6	25,5	58,1	149,7	173,1	191,1	168,2	166,4	201,3	110,9	16,9	1.281,08
BARBULA	2,5	14,7	2,4	33,0	86,3	160,5	107,9	138,2	106,2	35,4	330,0	58,4	1.075,66

**Figura 26:** Promedio de precipitaciones media anual-mensual 1996-2005.

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, 2005.

En el municipio San Diego se encuentran tres principales cursos de agua como lo son el río Cúpira, el río San Diego y el río Los Guayos, siendo los dos primeros afluentes del río Los Guayos los cuales pertenecen a la cuenca endorreica del Lago de Valencia. Principalmente es necesario hacer énfasis en el río Cúpira ya que su cauce tiene adyacencias con el tramo vial en el que se plantea el estudio de dicho sistema de subdrenajes. El origen del río Cúpira parte desde lo alto del Parque Nacional San Esteban en la cordillera de la costa,

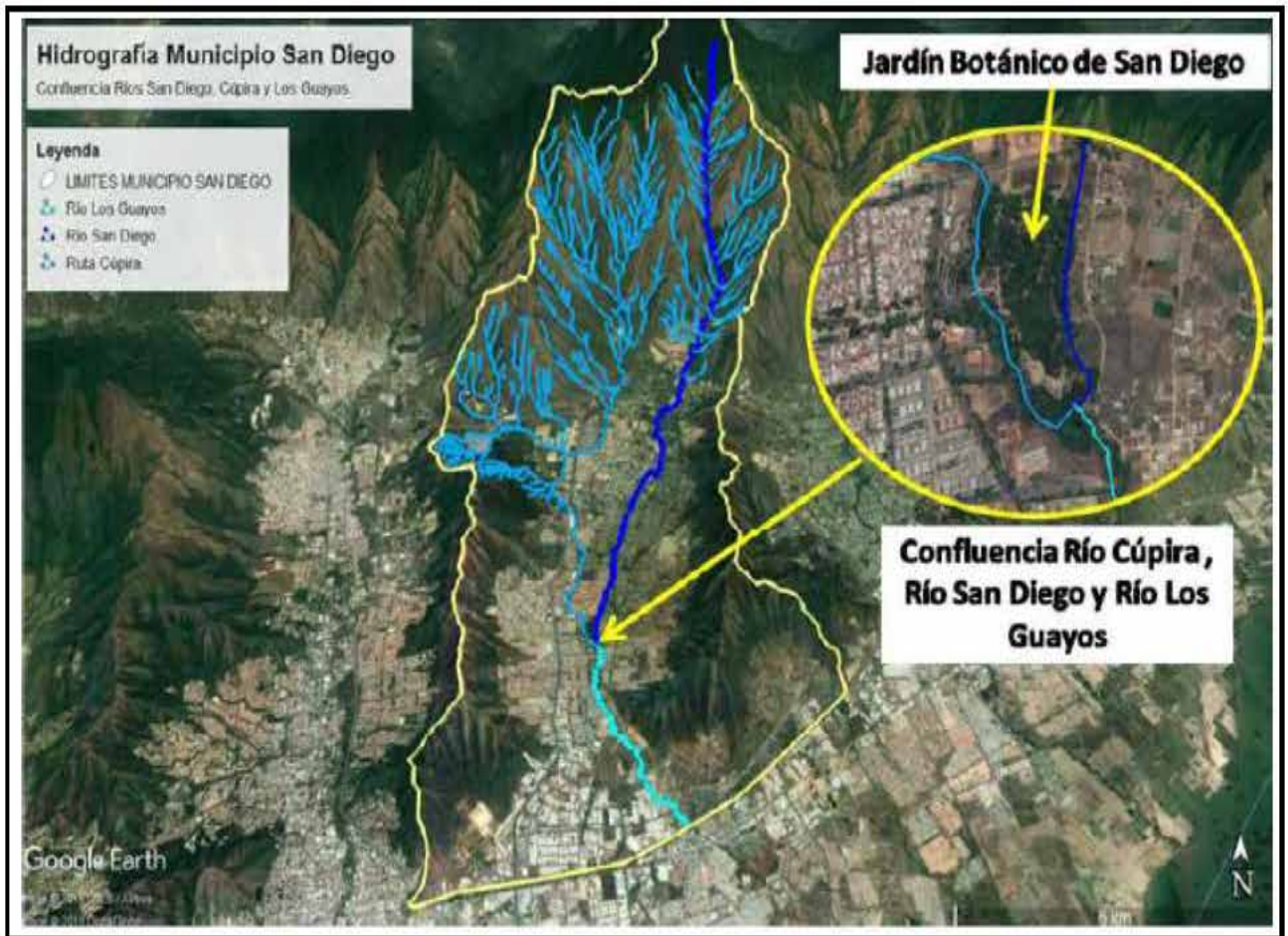
sentido Norte-Sur hasta su confluencia con el río San Diego en las zonas bajas del municipio o lo que se conoce como el valle de San Diego. Es importante hacer hincapié en las zonas llanas del municipio ya que es allí donde existe una gran vulnerabilidad y riesgo de inundaciones.

Se puede evidenciar pocos problemas de inundación en las zonas montañosas del Río Cúpira, donde el cauce está bien definido y las pendientes son considerables, pero en las zonas bajas del valle, donde el cauce posee pendientes bajas y se encuentra menos definido, tiende a rebasar su capacidad con cierta frecuencia, por esta razón dependiendo del grado de definición de su cauce y de la pendiente puede llegar a desbordarse creando zonas vulnerables a inundaciones.

Para efectos del trabajo de grado el cual basa su estudio en el tramo comprendido entre la urbanización El Morro I y el sector Yuma II, las zonas de alta vulnerabilidad están representadas por los espacios correspondientes al Parque Central Metropolitano de San Diego y la zona oeste de la urbanización Valle de Oro, considerando la presencia de numerosos meandros y la condición topográfica de desnivel entre ambos márgenes del río. Respecto al desnivel referido, el estudio de Castillo (2001) indicó que el margen izquierdo del Río Cúpira, en sentido de circulación Norte-Sur, se ubica en cotas inferiores al margen derecho, en toda su extensión, por lo que pone en mayor riesgo de inundación a las zonas ubicadas al este de este cauce, sin embargo, las zonas al oeste siguen presentando gran vulnerabilidad a inundaciones, entre ellas la avenida intercomunal Don Julio Centeno. Observar el detalle de la Figura 27.

Por su parte, al analizar el trabajo de grado presentado por Berguett y Torres (2017) en el cual se estudia la zonificación de riesgo de la cuenca del Río San Diego muestra por medio de una recopilación de datos de las distintas estaciones meteorológicas, un mapa pluviométrico de la cuenca en el cual se puede observar que los mayores niveles de precipitación se originan hacia el

punto de concentración de esta en su confluencia con el Río Cúpira. (Ver Figura 28).



**Figura 27:** Ríos Existentes en el Municipio San Diego, Estado Carabobo.

**Fuente:** Araque y Chirinos, 2019



#### 4.2.7 Geotecnia

Según la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), existe un complejo sistema de fallas formadas por la convergencia entre la placa de Sur América y la placa del Caribe, suponiendo una gran importancia su estudio y comprensión debido al riesgo que estas presentan al momento de la construcción de cualquier obra de ingeniería. Las fallas de Boconó, San Sebastián, El Pilar y Oca - Ancón, conforman la zona de mayor actividad debido a la interacción de las placas en nuestro país convirtiéndose así en los rasgos geotectónicos más importantes. (Ver Figura 29).



**Figura 29:** Sistema de Fallas tectónicas en Venezuela.

**Fuente:** Rodríguez (2017).

En menor rango de actividad, también se encuentran las fallas de Valera, Mene Grande y La Victoria. Esta última es probablemente la que mayor riesgo presente sobre la zona en estudio debido a la localización geográfica. Siendo el territorio de Venezuela un país con grandes riesgos sísmicos es importante considerar la geotecnia en cualquier proyecto de ingeniería a realizar, siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma COVENIN 1753 para edificaciones sismorresistentes.

Sin embargo, debido a las características de este estudio el cual no propone el diseño de una estructura que presente un riesgo para la población en caso de existir una falla, no se considera realizar mayores consideraciones con respecto a este tema más allá de las previamente establecidas.

#### 4.2.8 Información Pluviométrica.

Para determinar los caudales máximos y los caudales de diseño se utilizarán las intensidades de lluvia obtenidas de las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, dada a la ubicación del sector en estudio y las características altimétricas ello en base a los estudios hidrológicos efectuados por Valencia, F. (2012).

#### 4.2.9 Periodo de Retorno.

Para el correcto diseño e implementación de un sistema de subdrenajes, se debe considerar el funcionamiento y desenvolvimiento del tráfico vehicular y tránsito peatonal, sobre la zona de estudio. Para esto, debe ser seleccionado un periodo de retorno, correspondientes a el nivel de importancia de la obra e infraestructura existente que esté colocada en el espacio territorial de estudio, tratándose en este caso de un sistema vial conformado por una arterial y las diferentes vías de acceso que se interconectan con ella, presenta una importancia considerable.

**Tabla 5: Periodos de retorno del gasto de proyecto en años.**

Canales revestidos adyacentes a vía	25	10	10	5	5
Canales revestidos paralelos a la vía	10	10	10	5	5
Canales revestidos de grama	---	10	---	---	---
Zanjas no revestidas	---	---	---	---	5
Sumideros en la isla central	---	25	---	---	---
Drenaje de puntos bajos	25	25	25	10	10

Pasos inferiores en distribuidores	---	25	25	---	---
------------------------------------	-----	----	----	-----	-----

**Fuente:** Elaborado por González y Lara (2021). Basado en Bengaray (2001).

Para la selección del periodo de retorno se tomó en cuenta el tipo de vía que es de más de 2 canales de ancho y el tipo de drenaje que para este caso se considera como un drenaje de puntos bajos. En este sentido, se consideró un periodo de retorno de 10 años. (Ver Tabla 5).

#### 4.2.10 Coeficiente de Escorrentía

La escorrentía se define como la relación entre la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, generalmente depende de la duración de las precipitaciones y la intensidad de estas. Además, involucra diferentes factores que afectan directamente al desplazamiento de las aguas por la superficie de un terreno, como es la humedad inicial del suelo, la cobertura vegetal que caracteriza al suelo y el tipo de terreno en el cual se está realizando dicho estudio. (Ver Tabla 6).

**Tabla 6: Coeficientes de escorrentía**

		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

**Fuente:** Elaborado por González y Lara (2021). Basado en Lemus & Navarro (2003).

#### 4.2.11 Análisis de variación de pendiente en el tramo de estudio.

Se delimitaron las progresivas del tramo en estudio en el cual se analizarán los cambios de pendientes existentes con respecto a su elevación y longitud. (Ver tabla 7).

**Tabla 7: Tramos de estudio de acuerdo con la variación de pendiente.**

	1+118.37	0	0	461.038	-	-
46	1+139.5	0.02113	21.13	461.362	0.015334	1.5333649
47	1+163	0.04463	44.63	460.351	-0.04302	-4.302128
48	1+195.9	0.07753	77.53	460.027	-0.00985	-0.984802
49	1+230.9	0.11253	112.53	461.695	0.047657	4.7657143
50	1+257	0.13863	138.63	464.135	0.093487	9.348659
51	1+287.5	0.16913	169.13	465.615	0.048525	4.852459
52	1+320.4	0.20203	202.03	465.194	-0.0128	-1.279635
53	1+349.6	0.23723	237.23	465.242	0.001364	0.1363636
54	1+390.9	0.27253	272.53	464.219	-0.02898	-2.898017
55	1+423.8	0.30543	305.43	465.853	0.049666	4.9665653
56	1+454.3	0.33593	335.93	466	0.00482	0.4819672
57	1+482.5	0.36413	364.13	465.073	-0.03287	-3.287234
58	1+499.81	0.38144	381.44	464.207	-0.05003	-5.002889

Fuente: González y Lara (2021).

Ver Apéndice A. Tablas de los tramos de estudio de acuerdo a la variación de pendiente.

#### 4.2.12 Dirección del sentido del Drenaje.

Una vez definido el perfil longitudinal, se procede a determinar la dirección del sentido de flujo por donde escurre el agua en cada uno de los tramos establecidos de acuerdo a la variación de pendiente. Para ello se requirió calcular la pendiente media de cada tramo. (Ver tabla 8).

Donde:

Pendiente Media S:

---

mayor a 90 m ni menor a 25 m. (Francisco Camacho, Diseño de Obras de Drenaje, Volumen I).

S: Raíz cuadrada de la pendiente Media.

L: Longitud total de cada tramo (m).

**Tabla 8: Dirección del sentido de drenaje**

	1+118.37	-	-	-	-	-
46	1+139.5	21.13	1.533364884	0.015333649	0.324	0.015333649
47	1+163	23.5	-4.30212766	-0.043021277	-1.011	-0.023670213
48	1+195.9	32.9	-0.984802432	-0.009848024	-0.324	
49	1+230.9	35	4.765714286	0.047657143	1.668	
50	1+257	26.1	9.348659004	0.09348659	2.44	0.061004367
51	1+287.5	30.5	4.852459016	0.04852459	1.48	
52	1+320.4	32.9	-1.279635258	-0.012796353	-0.421	-0.012796353
53	1+349.6	35.2	0.136363636	0.001363636	0.048	0.001363636
54	1+390.9	35.3	-2.898016997	-0.02898017	-1.023	-0.02898017
55	1+423.8	32.9	4.96656535	0.049665653	1.634	
56	1+454.3	30.5	0.481967213	0.004819672	0.147	0.028091483
57	1+482.5	28.2	-3.287234043	-0.03287234	-0.927	
58	1+499.81	17.31	-5.002888504	-0.050028885	-0.866	-0.039397935

Fuente: González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de los siguientes tramos de estudio de acuerdo a la dirección del sentido del drenaje.

#### 4.2.13 Tiempo de Concentración.

El tiempo de concentración corresponde al tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar al punto de concentración de la cuenca una gota de agua que procede desde el punto hidrológicamente más alejado.

Por lo tanto, el tiempo de concentración corresponde al tiempo de equilibrio necesario para que con una intensidad de esorrentía constante se alcance el caudal máximo. (Ver tabla 10 y Tabla 11).

Donde:

\_\_\_\_\_

Tcs: Tiempo de concentración superficial (min).

M: Factor de cobertura superficial.

En este sentido, se tomó M=400 ya que se está trabajando con pavimentos como lo indica el libro de diseño de obras de drenaje, por el Ingeniero Francisco Camacho. (Ver tabla 9).

—=

Tv: Tiempo de viaje (min).

L: Recorrido superficial del agua.

**Tabla 9: Factores de cobertura superficial.**

1	Bosque Humedo Tropical	50
2	Cultivos, Terraceos, Pastos Altos	100
3	Potreros, Pastizales Cortos	140
4	Cultivos en Hilera	150
5	Ninguna Vegetación	200
6	Pavimentos o Carcavas Incipientes	400

**Fuente:** Elaborada por González y Lara (2021).

**Tabla 10: Determinación de parámetros para el cálculo del Tc.**

46	46	1+118.37	1+139.5	21.13	0.01533	50	403.78	170.64
47	48	1+139.5	1+195.9	56.4	-0.02367		324.99	366.59
49	51	1+195.9	1+287.5	91.6	0.06100		202.44	370.86
52	52	1+287.5	1+320.4	32.9	-0.01280		442.00	290.84
53	53	1+320.4	1+349.6	35.2	0.00136		1,354.01	953.22
54	54	1+349.6	1+390.9	35.3	-0.02898		293.71	207.36
55	56	1+390.9	1+454.3	63.4	0.02809		298.32	378.27
57	58	1+454.3	1+499.81	45.51	-0.03940		251.90	229.28

Fuente: González y Lara (2021).

Ver Apéndice A. Tablas de cálculo de los parámetros básicos del tiempo de concentración para los siguientes tramos de estudio.

**Tabla 11: Determinación del Tiempo de concentración.**

46	46	1+118.37	1+139.5	21.13	400	1.009456	1.02	2.03
47	48	1+139.5	1+195.9	56.4		0.812473	1.84	2.65
49	51	1+195.9	1+287.5	91.6		0.506092	1.85	2.36
52	52	1+287.5	1+320.4	32.9		1.105012	1.54	2.64
53	53	1+320.4	1+349.6	35.2		3.385016	3.84	7.22
54	54	1+349.6	1+390.9	35.3		0.734276	1.19	1.92
55	56	1+390.9	1+454.3	63.4		0.745801	1.88	2.63
57	58	1+454.3	1+499.81	45.51		0.629757	1.28	1.91

Fuente: González y Lara (2021).

Ver Apéndice A. Tablas de cálculo de los siguientes tramos de estudio de acuerdo al tiempo de concentración.

#### 4.2.14 Caudal de Diseño

Tomando como punto de partida lo establecido en el Capítulo II (Marco Teórico), en donde se establece que el caudal total se define como la suma de los caudales de infiltración y los caudales de abatimiento del nivel freático, de la siguiente manera:

La estimación del caudal de infiltración se determina considerando una porción fija de la precipitación que cae sobre el pavimento, según lo expresa en su informe HMV Ingenieros (Bogotá, 2011). De tal manera, la ecuación que expresa la cantidad de agua por infiltración se aprecia a continuación:

Donde:

: Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto.

B: Para drenajes longitudinales, B representa la semibanca de la vía (Ancho de vía).

L: Longitud de tramo de drenaje.

Fi: Factor de infiltración (Ver Tabla 2).

Fr: Factor de retención de la base, esta refleja el hecho de que con el paso del tiempo las bases de la capa de rodamiento disminuyen su capacidad permeable. (Ver Tabla 3).

Para obtener los valores de la precipitación máxima horaria (Ir) se consideraron datos correspondientes a la precipitación anual en el Municipio San Diego, dicho valor se representa en milímetros por hora (mm/h). Esta data se obtuvo por Federico Valencia (2012). (Ver Tabla 12).

La precipitación máxima horaria se determinó considerando una precipitación anual con duración de 120 minutos debido al nivel de importancia de la vía al ser esta la avenida principal del municipio (Arterial 01) y un periodo de retorno de 10 años. Estos valores son considerados debido al factor de importancia de la obra. A través del estudio de precipitaciones máximas, (Ver Tabla 12) podemos concluir un valor de Ir perteneciente a una precipitación de 91,3 mm/hora, valor con el cual se calculará el gasto de infiltración.

**Tabla 12: Precipitaciones máximas en la estación San Diego para diferentes duraciones y periodos de retorno.**

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.00	60.20	85.00	111.00	155.00	156.00	161.00	163.00	172.00	196.00
100.00	54.80	77.30	101.00	140.00	142.00	146.00	148.00	156.00	178.00
50.00	49.40	69.60	90.90	126.00	127.00	131.00	133.00	140.00	160.00
20.00	42.10	59.30	77.20	106.00	107.00	112.00	113.00	118.00	136.00
10.00	36.50	51.40	66.70	91.30	92.30	96.40	97.90	102.00	117.00
5.00	30.70	43.10	55.70	75.60	76.60	80.50	81.80	84.40	97.70
2.33	23.97	32.86	43.33	57.55	57.81	62.07	63.18	64.28	74.60

**Fuente:** Valencia (2012).

El ancho promedio de la semibanca de la avenida Don Julio Centeno es de aproximadamente 10,8 metros por cada lado, tanto en sentido Sur-Norte como en sentido Norte-Sur, dicho valor se considerará para el cálculo de los gastos de diseño. A continuación, se procedió a calcular el gasto por infiltración:

El resultado obtenido corresponde al gasto de infiltración que es capaz de soportar cada subdrenaje perteneciente al tramo en estudio, de la misma forma se procedió a obtener el gasto de infiltración total por tramos, tomando el valor de L como la longitud de cada intervalo de estudio. Se consideró estudiar el sistema abarcando toda la longitud, pero se colocarán tanquillas de concreto cada 50 metros con la finalidad de mantener la uniformidad del sistema de subdrenaje tanto para los cálculos como para la fase constructiva. Por lo tanto, el gasto de infiltración total obtenido será igual en cada uno de los intervalos estudiados. (Ver Tabla 13).

**Tabla 13: Gasto de infiltración por cada tramo de estudio.**

I0-I1	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077
I1-I2	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077
I2-I3	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077

**Fuente:** González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de cálculo de los siguientes tramos de estudio de acuerdo al gasto de infiltración.

En referencia al gasto de abatimiento del nivel freático en base al estudio de suelos (Ver Figura 27) se observó que este se encuentra a 2 metros o más de profundidad, por lo que se establece que dicho nivel freático se encuentra por debajo del nivel base proyectado. Por lo cual no será considerado en el presente estudio.

**Gasto Total de Diseño:** Habiendo obtenido los caudales por infiltración y por abatimiento del sistema, se obtiene el caudal total de diseño. (Ver Tabla 14).

**Tabla 14: Gasto total de diseño.**

I0-I1	0.0018077	0.00	0.0018077
I1-I2	0.0018077	0.00	0.0018077
I2-I3	0.0018077	0.00	0.0018077

**Fuente:** González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de cálculo de los siguientes tramos de estudio de acuerdo al gasto total de diseño.

#### **4.3.14 Análisis de la factibilidad técnica de los diferentes tipos de sistemas de subdrenaje que pueden emplearse en el tramo vial de estudio.**

Los diferentes tipos de subdrenajes representan una solución para cada situación en específico, por esto, con el transcurso de los años, se han realizado metodologías de diseño que han trascendido y marcado un precedente para investigaciones posteriores, convirtiéndose en un estándar que son empleados en cada tipo de subdrenaje. En base a la inspección al sitio de estudio y las características del tramo de estudio, se realizó un análisis técnico de los sistemas y métodos de subdrenajes que pudieran ser empleados en el tramo vial, tomando en cuenta la recolección de datos de precipitación, meteorología, geología, intensidad de precipitación, topografía, entre otros.

Para esto y basándonos directamente en la información de métodos de subdrenajes que se encuentra en el capítulo 2 (Marco Teórico), que tiene de título métodos de subdrenajes se presentan a continuación los aspectos técnicos mediante un cuadro comparativo de los métodos funcionales que a nuestro criterio y basándonos en la particularidad del tramo de estudio pudieran representar la solución para dicho tramo. (Ver Tabla 15).

**Tabla 15: Criterios Técnicos que debe cumplir el drenaje para su implementación.**

Criterios técnicos que debe cumplir el drenaje para ser implementados en el tramo vial de estudio.									
SUBDRENAJE	Longitudinal	Transversal	Capa Permeable	¿Es sustentable para el medio ambiente?	¿Se adapta a la geometría de la obra?	¿Fácil transporte al sitio de instalación?	¿Evitan que el agua subterránea penetre la estructura vial?	¿Drenan grandes volúmenes de agua?	¿Funcionan como complemento de los drenajes superficiales de la vía?
Geodren Planar	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Dren Frances	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Drenes Transversales de Penetración	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
Pozos de alivio	No	No	No	No	No	Si	Si	Si	No
Galerías filtrantes	Si	Si	No	No	No	No	Si	Si	No
Pantallas de drenaje	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	No

Fuente: González y Lara (2021).

#### 4.3.1 Elección del tipo y método de subdrenaje a emplear.

Realizando el respectivo análisis de las características físicas del terreno como lo son la topografía, meteorología, importancia del tramo de estudio y además de esto, basándonos en los aspectos técnicos de cada uno de los tipos de subdrenajes, se consideró la selección de un método de subdrenaje tradicional, que va en dirección longitudinal a la vía, conocido como dren francés con empleo de tubería perforada. Las características de estos subdrenajes se basan en una zanja con una tubería de PVC perforada, recubierto de material geotextil que proteja la tubería de partículas sólidas que puedan ingresar a ella, y el Empleo de material drenante (filtro) para el relleno de la zanja.

Para el perfecto funcionamiento de este tipo de subdrenaje, es necesario la utilización de geotextiles; los cuales trabajan haciendo uso de la resistencia de las fibras poliméricas y las resinas, contra los ataques ambientales. Al emplear un geotextil como recubrimiento de la tubería PVC en la construcción de un dren francés de zanja se asegura la retención de partículas finas con una adecuada resistencia a los esfuerzos presentes en la interacción suelo-estructura

y se garantiza el drenaje de los excesos de agua nocivos para la estabilidad de la obra.

Para el diseño, se empleó un subdrenaje en cada lateral de la vía, uno del lado correspondiente que va de norte a sur y otro del lado que va de sur a norte, cubriendo la totalidad de la longitud del tramo de estudio, por el lateral de la vía.

#### **4.4 Diseñar el sistema de subdrenaje óptimo, funcional y sustentable para el tramo de estudio.**

Para realizar el diseño de un sistema de subdrenaje que se adapte a las condiciones presentes en el sitio, y abarque las específicas técnicas a un diseño óptimo para el tramo de estudio, el mismo debe presentar un diseño funcional para drenar el agua procedente de la carpeta vial y sustentable para el entorno, este debe cumplir con una serie de parámetros descritas en los ítems 4.3 y 4.2 respectivamente, las cuales se asocian directamente con las características, particularidades y especificaciones que se encuentran en la zona de estudio.

Todas esas características plasmadas en data permitieron observar cuales eran las carencias que estaba padeciendo el tramo vial y otorgaron una manera más objetiva de observar la situación y solución del problema planteado en la zona de estudio, por lo que, con la selección de un dren francés, de manera longitudinal, sería la mejor forma de solucionar dicha problemática. A continuación, se presentará el diseño de un sistema de subdrenaje tipo dren francés.

##### **4.4.1 Dimensionamiento del Dren.**

Según la data obtenida, se procedió a determinar las dimensiones del dren francés; con el objetivo de obtener las medidas necesarias, pertenecientes a las características del terreno y que estas a su vez cumplan con las normativas vigentes que rigen el diseño de este tipo de sistema de subdrenaje. Se considera el empleo como material drenante, grava con tamaño uniforme de 19 mm (3/4”),

El mismo se emplea para rellenar adecuadamente las zanjas y que estas cumplan una función drenante; con la consideración de prevenir la invasión de suelos en caso de utilizarse tuberías drenantes.

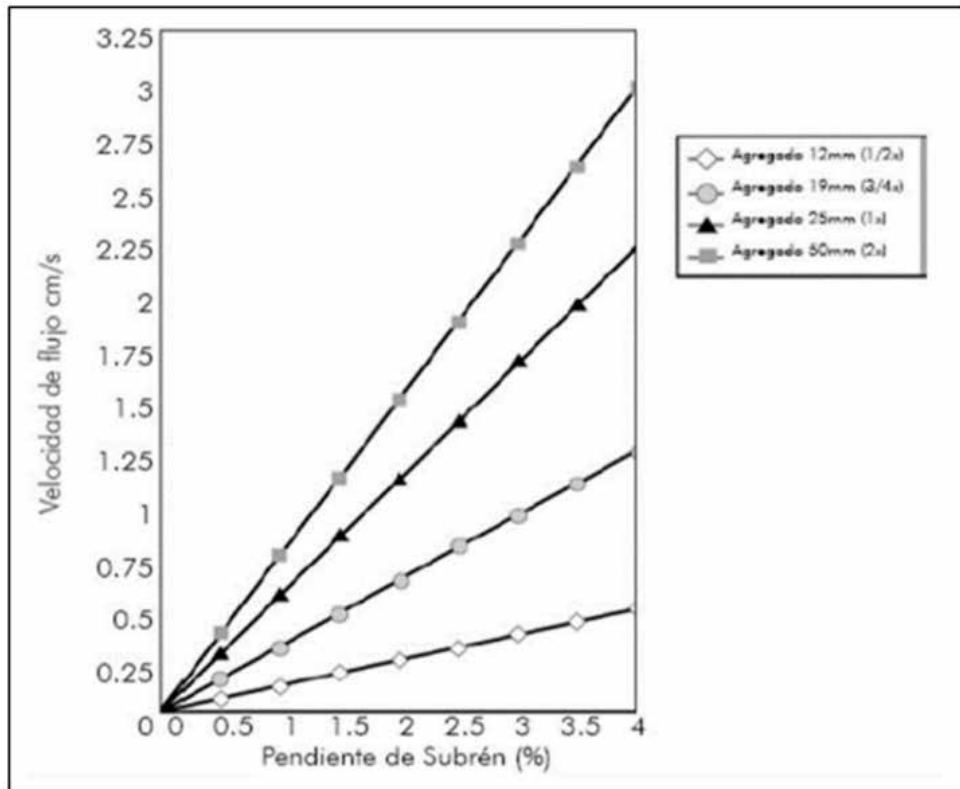
$$Q_{total} = V \cdot i \cdot A \qquad A = \frac{Q_{total}}{V \cdot i}$$

$Q_{total}$ : Caudal expresado en la Tabla 13.

$V$ : Velocidad de flujo, depende absolutamente de la pendiente longitudinal y el material drenante.

$i$ : Corresponde al gradiente hidráulico, se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud. Se consideró un valor de  $i=1$  de manera que se pueda optimizar el funcionamiento del subdrenaje.

$A$ : Área de la sección transversal.



**Figura 30:** Velocidad de acuerdo a la pendiente y el material drenante.

**Fuente:** Manual geosintéticos PAVCO (2012).

**Tabla 16: Área transversal de la zanja del subdrenaje.**

	1+118.37	-	-	-	1.00	0.0018	-
46	1+139.5	21.13	1.533364884	0.009194			0.20
47	1+163	23.5	-4.30212766	0.024011			0.08
48	1+195.9	32.9	-0.984802432	0.006162			0.29
49	1+230.9	35	4.765714286	0.026329			0.07
50	1+257	26.1	9.348659004	0.049243			0.04
51	1+287.5	30.5	4.852459016	0.026762			0.07
52	1+320.4	32.9	-1.279635258	0.007788			0.23
53	1+349.6	35.2	0.5	0.00335			0.54
54	1+390.9	35.3	-2.898016997	0.01699			0.11
55	1+423.8	32.9	4.96656535	0.027333			0.07
56	1+454.3	30.5	0.5	0.00335			0.54
57	1+482.5	28.2	-3.287234043	0.018936			0.10
58	1+499.81	17.31	-5.002888504	0.027514			0.07

Fuente: González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de los siguientes tramos de estudio de acuerdo al área transversal de la sección.

#### **4.4.2 Ancho y Profundidad de la zanja.**

Para determinar cuál es la sección transversal de la zanja de drenaje donde se colocará la tubería perforada de PVC y el material filtrante, se deben tener unos parámetros básicos como son el ancho y la profundidad. El ancho se fijó correspondiente al ancho de la base de la pala de la retroexcavadora, el cual se establece un ancho de 0,6 ya que es el mínimo a nivel constructivo, y con eso se procede a calcular la profundidad de la zanja del drenaje.

**Tabla 17: Dimensiones de la zanja del subdrenaje.**

	1+118.37	-	-	-
46	1+139.5	0.20	0.60	0.33
47	1+163	0.08	0.60	0.13
48	1+195.9	0.29	0.60	0.49
49	1+230.9	0.07	0.60	0.11
50	1+257	0.04	0.60	0.06
51	1+287.5	0.07	0.60	0.11
52	1+320.4	0.23	0.60	0.39
53	1+349.6	0.54	0.60	0.90
54	1+390.9	0.11	0.60	0.18
55	1+423.8	0.07	0.60	0.11
56	1+454.3	0.54	0.60	0.90
57	1+482.5	0.10	0.60	0.16
58	1+499.81	0.07	0.60	0.11

Fuente: González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de los siguientes tramos de estudio de acuerdo a las dimensiones de la zanja del subdrenaje.

#### **4.4.3 Estimación del diámetro de la tubería a utilizar.**

El diámetro de la tubería a empleada en el dren francés debe cumplir de manera eficaz con el caudal máximo que se pueda obtener en una sección transversal, por medio de una hoja de cálculo se realizó una iteración con el fin de conseguir el diámetro ideal de la tubería a implementar, se chequearon diámetros desde 8” hasta 12” donde se observó que es posible el empleo de una tubería de 10” la cual cumple con el gasto de diseño, sin embargo, la capacidad está casi al límite. Por esta razón, para establecer que el diseño sea acorde a las condiciones del sitio y se logre un desempeño a tiempo futuro garantizando siempre la capacidad se consideró el uso de una tubería de 12” (300mm) el cual se verificó por medio de la ecuación de Manning. (Ver Tabla 18).

**Tabla 18: Diseño de la tubería del subdrenaje.**

0	1+118.37	-	0.00181	0.01	300.00	0.07	0.08	-	-
46	1+139.5	1.53						0.01	0.11
47	1+163	-4.30						0.02	0.31
48	1+195.9	-0.98						0.01	0.07
49	1+230.9	4.77						0.02	0.34
50	1+257	9.35						0.05	0.67
51	1+287.5	4.85						0.02	0.35
52	1+320.4	-1.28						0.01	0.09
53	1+349.6	0.50						0.00	0.04
54	1+390.9	-2.90						0.01	0.21
55	1+423.8	4.97						0.03	0.36
56	1+454.3	0.50						0.00	0.04
57	1+482.5	-3.29						0.02	0.24
58	1+499.81	-5.00						0.03	0.36

Fuente: González y Lara (2021).

**Ver Apéndice A.** Tablas de los siguientes tramos de estudio de acuerdo al diseño de la tubería del subdrenaje.

La expresión de Manning implementada para el cálculo del caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{1.49}{n} A R^2 S$$

Donde:

Q: Caudal Total drenado (m<sup>3</sup>/s).

A: Área de la sección transversal de la tubería en m<sup>2</sup>.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning con un parámetro en función del material de 0.013 para el concreto liso o mayor de acuerdo con las características del canal (Jaime Suarez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2015).

R: Radio hidráulico de la sección transversal de la tubería.

S: Pendiente del subdrenaje.

#### 4.4.4 Cálculo Hidráulico para la Escogencia del Geotextil

Al momento de escoger el geotextil, se deben tomar en cuenta algunos factores hidráulicos que son determinantes para el empleo del mismo como componente del sistema de subdrenaje, debido a que este depende de la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área, la tasa de flujo que va a pasar por el mismo, por el cual se deben evaluar los siguientes factores que darán como resultado cual geotextil a utilizar:

##### Ø Permitividad última.

La Permitividad es un dato suministrado por el fabricante, pero también puede ser otorgada por corroboración de la siguiente manera. (ver Tabla 19).  
Dónde:

—

K: Permeabilidad del Geocompuesto

t: Espesor del Geotextil

**Tabla 19: Cálculo de Permitividad última del geotextil.**

K	0.27	0.20	0.22
t	1.80	2.00	2.20
	0.15	0.10	0.10

Fuente: González y Lara (2021).

##### Ø Permitividad requerida.

El objetivo del geotextil es que permita el paso de grandes cantidades de agua, por lo que se debe revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (tasa de flujo), en el plano normal al geotextil, frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro línea, se debe evaluar la

Permitividad requerida en función del caudal total que se requiere pasar por el filtro. (Ver Tabla 20). Dónde:

Qt: Caudal por tramo.

H: Altura del subdren.

L: Longitud del tramo de drenaje.

**Tabla 20: Cálculo de la Permitividad requerida del geotextil.**

0.001807739	50.00	0.90	0.90	4.46355E-05

Fuente: González y Lara (2021).

**Ø Permitividad admisible.**

Al momento de efectuar el respectivo cálculo de la permitividad admisible, se tomó en cuenta la permitividad última, que es aportada por el fabricante y los factores de reducción que se disponen según el tipo de proyecto. (Ver Figura 21). Dónde:

$$\psi_{adm} = \frac{\psi_{ult}}{(FR_{scb} \cdot FR_{rcr} \cdot FR_{rin} \cdot FR_{cc} \cdot FR_{bc})}$$

Permitividad última.

FRSCB: Factor de reducción por y taponamiento.

FRCR: Factor de reducción por creep o fluencia.

FRIN: Factor de reducción por intrusión.

FRCC: Factor de reducción por colmatación química.

FRBC: Factor de reducción por colmatación biológica.

**Tabla 21: Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.**

Área	Colmatación	Reducción de vacíos por Creep	Intrusión en los vacíos	Colmatación Química	Colmatación Biológica
	FR <sub>SCB</sub>	FR <sub>CR</sub>	FR <sub>IN</sub>	FR <sub>CC</sub>	FR <sub>BC</sub>
Filtros en el espaldón de muros de contención	2.0 a 4.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistema de subdrenaje	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de control de erosión	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	2.0 a 10.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenaje por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje por presión	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

Fuente: Manual geosintéticos PAVCO (2012).

Luego de obtener los valores de la tabla para cada factor de reducción, se procedió al cálculo de la permitividad admisible descrito a continuación.

**Tabla 22: Permitividad admisible del geotextil.**

	0.15	0.10	0.10
FRSCB	2		
FRCR	1.25		
FRIN	1.1		
FRcc	1.35		
FRBC	3		
	0.0135	0.0090	0.0090

Fuente: González y Lara (2021).

Estos factores son de gran interés su evaluación, consideración y chequeo para seleccionar de forma adecuada el tipo de geotextil requerido en el sistema de subdrenaje en estudio.

#### 4.4.5 Factor de Seguridad Global.

Con esto, se compara la permitividad admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global. (Ver Tabla 23). Dónde:

$$Fgs \frac{\psi_{adm}}{\psi_{req}}$$

FSg: Factor de seguridad global.

**Tabla 23: Factor de seguridad global del geotextil.**

3000	0.0135	4.46E-05	3.02E+02
4000	0.0090		2.01E+02
5000	0.0090		2.01E+02

Fuente: González y Lara (2021).

#### 4.4.6 Criterios de evaluación del geotextil.

La función del filtro es esencial, debido a que evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, esto tiene relación con que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Al momento de seleccionar el geotextil, es necesario tener en cuenta la resistencia a la colmatación y durabilidad.

El método de diseño se basa en revisar, cuál de los geotextiles, cumple con las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación:

##### Ø Criterio de Retención:

Con este criterio se asegura, que el tamaño de las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración de las partículas sólidas al medio drenante o hacia donde se dirige el flujo. De acuerdo con lo establecido en "Geotextiles Engineering Manual" de la Federal Highway Administration

(FHWA) y basados en los criterios de retención de Christopher y Holtz (1989), Carroll (1983), un geotextil debe cumplir con la siguiente condición. (Ver Tabla 24). Dónde:

TAA: Es el tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante corresponde a la abertura de los espacios libres (mm).

D85: Tamaño de las aberturas (mm).

B: Coeficiente que depende del tipo de geotextil.

Para geotextiles no tejidos: B= 1,8.

**Tabla 24: Criterio de retención en la escogencia del geotextil.**

3000	0.15	0.085	1.8	0.153	CUMPLE
4000	0.106	0.085	1.8	0.153	CUMPLE
5000	0.125	0.085	1.8	0.153	CUMPLE

Fuente: González y Lara (2021).

**Ø Criterio de Permeabilidad.**

El geotextil debe tener la habilidad de que exista un flujo adecuado de drenando a través de sus aberturas. Para la estimación del criterio de permeabilidad existen dos condiciones, siendo la primera una condición de flujo estable y la segunda es condiciones de flujo crítico. Como se busca un correcto desempeño del diseño a largo plazo reduciendo riesgos, la estimación se hará por condiciones de flujo crítico. (Ver Tabla 25). Dónde:

$$K_g > 10 \cdot K_s$$

$K_g$ : Permeabilidad del geotextil.

$K_s$ : Permeabilidad del suelo.

**Tabla 25: Criterio de permeabilidad en la escogencia del geotextil.**

3000	2.70E-01	2.50E-05	2.50E-04	CUMPLE
4000	2.00E-01	2.50E-05	2.50E-04	CUMPLE

5000	2.20E-01	2.50E-05	2.50E-04	CUMPLE
------	----------	----------	----------	--------

Fuente: González y Lara (2021).

#### Ø Criterio de Colmatación.

El criterio de colmatación tiene una relación directa con la porosidad del geotextil, incidiendo de manera directa en la porosidad, por lo que, a menor porosidad el riesgo de partículas sólidas incrustadas en el geotextil aumenta. Debido a esto, en general se utilizan los geotextiles no tejidos por presentar una mayor resistencia contra la colmatación.

Los geotextiles con una mayor resistencia a la colmatación son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, en los cuales el riesgo a que se taponen gran parte de sus orificios es muy bajo debido al espesor que poseen y a los altos valores de porosidad que presentan. En cuanto al geotextil utilizado en el diseño, se considera que cumple correctamente con el criterio, ya que se trata de un geotextil no tejido punzonado por aguja, por lo que la porosidad de este tipo de geotextiles es superior al 80%.

#### Ø Criterio de Durabilidad.

El criterio de Durabilidad se basa en la resistencia que debe tener un geotextil en el transcurso del tiempo, bien sea por cualquier problemática que se presente, química, biológica o por Intemperismo. Este tipo de geotextiles por ser materiales fabricados a base de polipropileno, no son biodegradables y, además, son altamente resistentes al ataque químico como por ejemplo en el manejo de lixiviados.

#### Ø Criterio de Supervivencia.

Para un sistema de subdrenajes, este tipo de geotextiles, quedan expuestos en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil a unos esfuerzos, en los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades físicas, hidráulicas y físicas.

Este tipo de geotextiles debe poseer unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objeto de soportar las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido y resistencia al rasgado. (Ver Tabla 26).

**Tabla 26: Rango de propiedades representativas de geotextiles utilizadas para filtro.**

Geotextil	Resistencia a la tensión	Elongación Máxima	Caudal de flujo	Peso Unitario
	Kn/m	%	l/m <sup>2</sup> /s	g/m <sup>3</sup>
<b>TEJIDOS</b>				
Monofilamento	20 a 80	5 a 35	25 a 2000	150 a 300
Hilo	40 a 800	5 a 30	20 a 80	250 a 1300
Cinta	8 a 90	15 a 20	5 a 15	100 a 200
<b>NO TEJIDOS</b>				
Punzonado	7 a 90	50 a 80	25 a 200	150 a 2000
Fundido	3 a 25	20 a 60	25 a 150	70 a 350
Con Resina	4 a 30	30 a 50	20 a 100	130 a 800

Fuente: González y Lara (2021).

#### 4.4.7 Geotextil Adecuado para el Diseño.

Con todos los parámetros obtenidos anteriormente, se procedió a seleccionar el tipo de geotextil a utilizar. Este debe garantizar suficiente capacidad de descarga como para drenar rápida y eficazmente las aguas que se colecten, sin que se generen fuerzas de filtración o presiones perjudiciales para el sistema de subdrenajes.

Se procede a considerar la comparación de tres geotextiles, esto con la finalidad de verificar cual se adecua mejor al diseño del sistema de subdrenaje necesario para nuestra vialidad en estudio. Todos los factores verificados cumplen con la condición, pero hemos descartado el geotextil NT 3000 ya que no cumple con la función de estabilización.

Con los cálculos y estimaciones realizadas se ha seleccionado el geotextil NT 4000, el cual se considera adecuado, ya que cumple con las propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas, para una función óptima, funcional y sustentables en los aspectos de filtración, protección, drenaje, separación y estabilización del tramo en estudio. (Ver Tabla 27).

**Tabla 27: Especificaciones Técnicas Geotextiles Rango NT 3000-NT 5000.**

Método Grab		N (lb)	830 (187)		1165 (262)
Resistencia a la tensión	ASTM D4632	%	>50		>50
Elongación					
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	440 (100)		700 (159)
Método CBR					
Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	2.4		3.4
Resistencia al rasgado trapecoidal	ASTM D4533	N (lb)	315 (71)		420 (94)
Método Mullen					
Burst					
Resistencia al Estallido	ASTM D3786	kPa (psi)	2208 (320)		3174 (460)
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (N. tamiz)	0.125 (120)		0.09 (170)
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	$35 \times 10^{-2}$		$24 \times 10^{-2}$
Permitividad	ASTM D4491	$s^{-1}$	1.8		1.0
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	4980		3160
Retención de asfalto	ASTM D6140	L/m <sup>2</sup>	N.A		N.A
Espesor	ASTM D5199	mm	2.0		2.4
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70		>70
Punto de fusión	ASTM D276	°C	N.A		N.A
Rollo ancho	Medido	m	3.5*3.8*4.0		3.5*3.8*4.0
Rollo largo	Medido	m	120		120
Rolo área	Calculado	m <sup>2</sup>	420*456*480		420*456*480

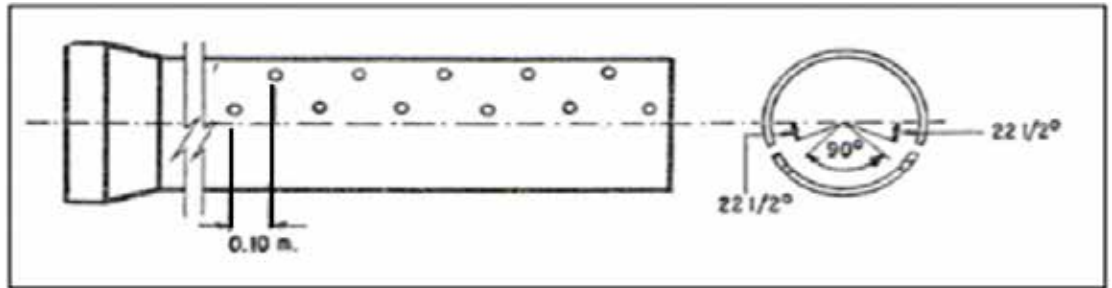
Filtración			X		X
Drenaje			X		X
Protección			X		X
Separación			X		X
Estabilización					X
Pavimentación					

**Fuente:** González y Lara (2021). Basado en el Manual de geosintéticos PAVCO (2012).

#### **4.4.8 Consideraciones generales de las tuberías perforadas.**

Con respecto al empleo de tuberías perforadas, se debe considerar que no es recomendable colocar perforaciones en la parte superior del tubo, esto porque, favorecería la entrada de partículas sólidas finas del material filtro colocado sobre la tubería, tampoco conviene colocar perforaciones en la parte más baja del tubo, pues se propiciaría la salida del agua captada, cuando la velocidad disminuya o cuando se tenga un gasto bajo. (Ver en Figura 31).

La descarga del agua drenada y recolectada por el sistema de subdrenajes se efectuará de manera correcta a través de los siguientes mecanismos: a un cauce natural, canal, o área verde inundable donde no genere afectaciones de ningún tipo. Se debe considerar la Av. Don Julio Centeno ya dispone un sistema de drenaje, pero por limitaciones no pudo efectuarse un estudio detallado del mismo. También, se deberá considerar la descarga en el canal de aguas de lluvia o colector de drenaje existente en el tramo de estudio, siempre y cuando el mismo se encuentre presente y funcional, posibilitando así, dicha conexión entre el sistema de subdrenaje y la red de drenaje superficial existente. Además, es importante considerar que por el propio mecanismo de funcionamiento del dren francés, el sistema podría recolectar el agua de tal manera que cuando cese la precipitación por condición propia la misma percole en el suelo adyacente a la zanja de subdrenaje, ya que la pendiente definida en el sistema y la tubería de drenaje proyectada permitirían la conducción del gasto a un punto bajo de acuerdo al perfil longitudinal de la vía; garantizando el objetivo primordial que es el desalojar el agua de la estructura vial.



**Figura 31:** Esquema perforación de tuberías.

**Fuente:** Rico Alfonso (2005).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

El drenaje es de vital importancia en la preservación y prolongación de la vida útil de las vías, en ciertos casos se hace imprescindible la implementación de distintos sistemas complementarios y de esta forma aumentar la capacidad de captación de las aguas de escorrentía. Los sistemas de subdrenaje pertenecen a estos sistemas complementarios los cuales representan un mecanismo de gran ayuda para captar y conducir las aguas subterráneas, así como las aguas de infiltración e incluso una porción de las aguas superficiales que percolan por la base de las estructuras viales.

Luego de analizar las variables pertinentes para la realización de este estudio correspondiente al diseño de un sistema de subdrenaje en la avenida Don Julio Centeno específicamente en el tramo vial comprendido entre la Urbanización El Morro I y el sector Yuma II específicamente a la altura de la U.E. Olga Bayone, en el municipio San Diego, estado Carabobo, se puede observar la factibilidad de implementar este sistema de drenaje para complementar el drenaje vial existente. Luego de la inspección preliminar realizada, se pudo observar serias deficiencias en el sistema de recolección de aguas pluviales, gran parte de estos debido al abandono en cuanto a una marcada ausencia de mantenimiento preventivo y correctivo a lo largo de los años.

En vista de las condiciones actuales en la red de drenaje superficial existente, el diseño de un sistema de subdrenaje tradicional se establece como un complemento ideal para mejorar las condiciones de funcionamiento de la vía, debido a su fácil integración con las estructuras existentes, lo cual no generará un gran impacto en cuanto a la movilidad del flujo vehicular en la zona. Esta representa una enorme ventaja para lograr consolidar un adecuado sistema de recolección de aguas pluviales partiendo como punto inicial en el tramo de

estudio, pero que a futuro puede ser implementada a lo largo y ancho de toda la avenida Don Julio Centeno, y posiblemente en otras vías de interés.

Se realizó un diagnóstico de la situación y un análisis de todas las variables relacionadas con el desarrollo de un sistema de subdrenaje (Topográficos, geológicos, hidrológicos e hidráulicos) con la finalidad de disponer de los datos para con ello lograr un diseño acorde a las necesidades de la vía. Por lo que el tramo analizado cuenta con una longitud 2.405,64 metros de longitud el cual inicia en la intersección de la urbanización El Morro I (I0) y culmina en la intersección con la U.E. Olga Bayone (I3). El análisis topográfico muestra que el tramo se encuentra en las zonas llanas del valle de San Diego con pendientes que oscilan en el rango de 0,06% hasta 9,35% lo que dificultó para ciertos tramos poder mantener la pendiente del terreno, con lo cual se hace necesario establecer una pendiente mínima de diseño de 0.5%.

En referencia a los tramos que conforman el sistema de subdrenaje para la recolección de las aguas de lluvia se estableció una longitud de 50 metros empleando tanquillas de concreto, las cuales permitirán la descarga hacia el Rio Cúpira. Asimismo, en cuanto a la ubicación del sistema de subdrenaje, se considera su implementación en un lateral de la vía, sin considerar la isla central de forma paralela esta. Se emplearán dos drenes de zanja, uno encargado de recolectar las aguas de la vía en sentido Sur-Norte y el otro encargado de la vía que va Norte-sur. La vía no posee una sección netamente simétrica, lo que implica una variación en su ancho que para efectos de diseño se utilizó un promedio el cual corresponde a 10,8 metros.

Por medio del análisis geotécnico y por los datos obtenidos en base al estudio de suelos de Párraga (2010), se descarta la presencia de aguas freáticas hasta una profundidad de entre 2-3 metros y se considera la existencia de aguas de infiltración hasta los 10 metros de profundidad, siendo este valor variable debido a las cercanías con el Rio Cúpira y las posibles fluctuaciones de su nivel

en los diferentes periodos estacionales. Sin embargo, en base a esto no se consideró el gasto por abatimiento del nivel freático (NF) ya que se encuentra por debajo de la rasante del drenaje.

Analizando el estudio hidrológico, en el cual se efectuaron los cálculos para la obtención de los tiempos de concentración necesarios para la obtención de los gastos de diseño. Asimismo, se consideró el periodo de retorno (Tr) evaluando un rango de valores en función de la naturaleza e importancia de dicho proyecto, en el cual distintos autores consideran que para una obra de esta magnitud puede rondar entre los 10 y 25 años. El periodo de retorno seleccionado en este caso fue de 10 años atendiendo a los criterios de importancia de la vía en estudio. Para así proceder con el cálculo hidráulico y posterior diseño del sistema el cual permite manejar gastos acordes a los eventos de altas precipitaciones generadas en la zona sin que presenten un impacto considerable en el funcionamiento de la vía.

Con respecto a la duración de la precipitación se consideró una duración de 120 minutos en base a la información del tiempo de concentración y en recopilación de diversas fuentes. Para determinar el valor de la precipitación máxima horaria (Ir) se empleó un estudio realizado por Valencia (2012), en el cual se obtiene una precipitación de 91,3 mm/h para luego proceder a la determinación del gasto de diseño del sistema del subdrenaje.

Para la elección del método de sistema a implementar se efectuó un análisis de las características técnicas con el fin de evaluar la factibilidad de dichos sistemas con respecto a las exigencias del tramo en estudio. Finalmente se consideró ideal la implementación de un drenaje tipo longitudinal al sentido de la vía utilizando un sistema de subdren de zanja drenante con el empleo de tubería perforada o dren francés debido a que se consideró como un sistema práctico de emplear, de sencillo diseño y constructivamente viable sin la necesidad de comprometer el flujo vehicular durante el proceso constructivo. Lo

anterior considerando la practicidad en el proceso constructivo el cual está conformado por la excavación de una zanja, posteriormente la colocación de la tubería, la utilización de un geotextil como medio de filtro y por último un medio drenante conformado por grava o piedra picada bien gradada de tamaño nominal uniforme como relleno de la zanja.

Se estableció una longitud de separación de 50 metros en todos los tramos de estudio a través del empleo de una tanquilla de concreto para así uniformizar los gastos de diseño y para efectos de mantenimiento; así como, para poder establecer una sección transversal constante para la zanja del subdren la cual será de un ancho de 0.60 y una profundidad de 0,90 metros respectivamente, la consideración de uniformizar el sistema es mantener una sección mínima que simplifique la construcción. Por lo que la elección del ancho de la zanja viene dada por la dimensión de la pala de un equipo retroexcavador y la profundidad viene en función del valor mínimo para garantizar la seguridad de la tubería y la no interferencia con otros servicios existentes en la vialidad.

El material drenante para el relleno de la zanja se considera para el presente sistema por un material granular bien gradado con tamaño uniforme de 3/4" (19mm). El diámetro de tubería seleccionado fue de 12" (300mm) necesario para que la tubería trabaje de forma óptima a sección parcial, sin embargo, es factible la utilización de una tubería de menor diámetro la cual de la misma forma cumplirá con las exigencias de trabajo. Para indicar esto es necesario un estudio de factibilidad técnico económico.

El tipo de geotextil a implementar fue determinado luego de analizar las características de funcionamiento de diferentes modelos, y que por medio de un estudio de distintos criterios básicos como retención, permeabilidad, colmatación y supervivencia se pudo seleccionar un geotextil de tipo No tejido (NT) calibre 4000, sin embargo, es importante aclarar que no es indispensable

el uso de este tipo de geotextil ya que existen otros que pueden cumplir, pero en cuanto a los criterios técnicos es el más adecuado.

Finalmente es importante concluir que el uso e implementación de sistemas complementarios de drenaje son esenciales para la prolongación de la vida útil de las vías de comunicación, siendo un factor importante a considerar ya que en muchas ocasiones se diseñan las vías considerando que su capa de rodamiento es impermeable cuando en realidad dejan pasar un porcentaje apreciable del agua de lluvia precipitada sobre ella. El agua infiltrada, sumada a la subterránea, pueden llegar a disminuir la capacidad portante del suelo condicionando la estructura vial a un deterioro acelerado y prematuro. Por lo que un sistema de subdrenajes representa una solución indispensable en cuanto a funcionalidad y considera una reducción considerable en cuanto a los trabajos de mantenimiento en las vías.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

En base a los resultados obtenidos, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Elaborar un levantamiento topográfico detallado a lo largo del tramo de estudio con el fin de replantear las distancias entre tramos, pendientes del terreno y cotas de cada una de las progresivas.
- Elaborar un estudio geotécnico específicamente para el tramo en estudio con el fin de comparar resultados obtenidos con los estudios de suelo realizados anteriormente y así constatar que los datos presentados se adecuan al sector en estudio.
- Actualización de documentos técnicos que permitan el desarrollo de sistemas de drenaje integrales (superficiales y subsuperficiales) con el fin de adaptar normativas acordes con las necesidades y requerimientos de servicio, viendo posible su aplicación a vías que se encuentran en funcionamiento como a vías proyectadas a futuro.

- Elaborar un estudio técnico-económico para el análisis de los diferentes sistemas de recolección de aguas pluviales tanto superficiales como subsuperficiales con la finalidad de valorar las distintas opciones al momento de la materializar un proyecto de esta envergadura.
- Por la cercanía que presenta la avenida Don Julio Centeno al cauce del Rio Cúpira, se hace necesario un estudio detallado que corresponda al análisis de las áreas de inundación por medio de un análisis integral de todos los sistemas de drenaje existentes con la finalidad minimizar el impacto causado por las crecidas.
- Por medio de las inspecciones realizadas en el tramo de estudio, y conociéndose el marcado deterioro y deficiencia de las distintas estructuras de drenaje, se hace necesario la planificación de mecanismos para el mantenimiento preventivo y/o correctivo aplicable a lo largo de la avenida Don Julio Centeno.
- En el marco de la sostenibilidad ambiental, es importante establecer estudios de impacto ambiental para la posible inclusión de propuestas de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) con el fin de disminuir el impacto que dicha obra conlleva y poder preservar en lo posible el estado original del terreno, además de los posibles beneficios hidrológicos que estos sistemas pueden traer, como la recarga de acuíferos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Cesar (2008). **Análisis comparativo entre sistemas de drenajes con geosintéticos versus sistemas de drenajes naturales para muros de contención.** Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.
- Altuve, Guillen, Moreno, Ramírez y Villasmil (2015). **Propuesta de Sistema de Drenaje Transversal para la Vía Principal El Salado sector Salado Medio en la progresiva 2+400 de La cuenca Intermitente, Ubicado En La Parroquia Montalbán Del Municipio Campo Elías Estado Mérida.** Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”. Venezuela.
- Alvarado y Naranjo (2012). **Diseño Del Subdrenaje Vial En La Vía La Tranca – Tambo Viejo De 3.6 Km.** Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad De Cuenca, Perú.
- Araque y Chirinos (2019). **Ríos Existentes en el Municipio San Diego, Estado Carabobo.**
- Arias, Fidas (2004). **El Proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.** Quinta edición. Editorial Episteme, Caracas.
- Arocha, Simón (1983). **Cloacas y drenajes.** Caracas. Editorial Ediciones Vega. Caracas. Venezuela.
- Aular, Mariela (2020). **Clase 2 Gestión Ambiental.** Trabajo referente a la segunda clase de la asignatura de Gestión ambiental. Universidad José Antonio Páez (UJAP). Venezuela.
- Bañón y Beviá (2000). **Manual de carreteras: Elementos y proyectos 2.**

- Bengaray, Manuel (2001). **Drenajes viales para ingenieros viales**. Universidad central de Venezuela. Publicaciones del departamento de ingeniería vial. Caracas. Venezuela.
- Bembibre, Cecilia (2011). **Definición de estudios de impacto ambiental**. <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/estudiosimpactoambiental.php>
- Berguett y Torres (2017). **Mapa Pluviométrico de la cuenca del Río San Diego, Edo. Carabobo**. Zonificación De Riesgo A Movimientos En Masa En La Cuenca Del Río San Diego, Municipio San Diego, Estado Carabobo. Caracas, Venezuela.
- Calle, Henry (2013). **Estudio de drenaje superficial y subdrenaje para la estabilización del macro deslizamiento de puenteloma de la vía Lentag-Rio San Francisco de 50km de longitud ubicada en la provincia del Azuay**. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Chávez, Nilda (2007) **Introducción a la investigación educativa**. Editorial Colección general. Maracaibo. Venezuela.
- Cornforth, Derek (2005) **Manual de diseño con geosintéticos**. Editorial John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. USA.
- Crespo Villalaz (2010). **Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos**. Editorial Limusa Noriega, 3era Edición. México.
- Franceschi, Luis (1984). **Drenaje Vial**. Fondo Editorial del colegio de Ingenieros de Venezuela. Caracas. Venezuela.
- Hernández, Marisol (2015). **Metodología de investigación**. Asesoría Maracaibo, Venezuela.
- Hernández, Fernández y Baptista (2003). **Metodología de la investigación**. Editorial McGraw-Hill. D.F. México.

- Hernández y Macero (2018). **Implementación de sistema de subdrenaje de aguas pluviales Av. Paseo Valencia, tramo Kayson - Av. Sesquicentenario, Municipio Valencia. Estado Carabobo.** Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad José Antonio Páez (UJAP). Venezuela.
- Hurtado, Jacqueline (2012). **El proyecto de investigación: Comprensión holística de la metodología y la investigación.** Editorial Quirón séptima edición. Caracas. Venezuela.
- Luna y Chaves (2001). **Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos.** Editorial Proarcas/Capas. Guatemala.
- Lemus & Navarro (2003). **Coefficiente de escorrentía.** Hidrología En Cuencas Pequeñas La Formula Racional. Bolivia
- María Abreu (2014). **Mapa de la red vial del estado Carabobo.**  
[http://www.enlaplaya.org/portal/mapas/283-mapa-vial-del-estado-carabobo.](http://www.enlaplaya.org/portal/mapas/283-mapa-vial-del-estado-carabobo)
- Méndez, Carlos (2007). **Metodología de la investigación.** Cuarta edición.
- Mexichem, Departamento de ingeniería-Geosistemas PAVCO (2012). **Manual de diseño con geosintéticos.** Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2005). **Promedio de precipitaciones media anual-mensual 1996-2005.** Caracas, Venezuela.
- Párraga (2010). **Perfiles Litológicos probables del suelo.** Perfil Litológico Probable del Terreno zona adyacente a terrenos parte posterior Residencias el Parque. San Diego, Carabobo.
- Párraga (2010). **Mapa de localización del estudio de suelos.** Perfil Litológico Probable del Terreno zona adyacente a terrenos parte posterior Residencias el Parque. San Diego, Carabobo.
- PAVCO (2012). **Velocidad de acuerdo a la pendiente y el material drenante.** Manual geosintéticos.

- Ramírez (1997). **Como hacer un proyecto de investigación**. Editorial Panapo. Caracas. Venezuela.
- Rico Alfonso (2005). **Esquema perforación de tuberías**. Diseño De Sistema De Sub-Drenajes De Aguas Pluviales Para La Ciclovía. Tramo De Estudio: Urbanización El Morro I – Urbanización El Remanso En El Municipio San Diego Edo. Carabobo. San Diego, Venezuela.
- Rodríguez (2012). **Fallas Geológicas de Importancia en Venezuela**. Geología Venezolana. Venezuela.
- Rodríguez (2017). **Sistema de Falas tectónicas en Venezuela**. Geología Venezolana. Venezuela.
- Rodríguez y Azuaje (2020). **Diseño De Sistema De Sub-Drenajes De Aguas Pluviales Para La Ciclovía. Tramo De Estudio: Urbanización El Morro I – Urbanización El Remanso En El Municipio San Diego Edo. Carabobo**. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad José Antonio Páez, titulado. Venezuela.
- Tamayo y Tamayo (2007). **El proceso de la investigación científica**. Editorial Limusa. D.F. México.
- Topographic-map.com/San Diego (2001). **Vista de planta de elevación del Municipio San Diego**.  
<https://es-es.topographic-map.com/maps/avo3/Valencia/>.
- Torres (2009). **Manual de vías de comunicación I**. Universidad de Carabobo. Carabobo. Venezuela.
- Twitter (2017). **San Diego bajo las aguas**. El nuevo País y Zeta.  
<https://twitter.com/enpaiszeta/media?lang=es>.

- Universidad Pedagógica Libertador (2003). **Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**. Caracas. Venezuela.
- Valencia, Federico (2011). **Estudio de la Amenaza de Inundaciones en un tramo del Río Cabriales en el Estado Carabobo**. Trabajo Especial de Maestría presentado ante la Universidad Central de Venezuela.
- Varela, Rodrigo (1997). **Evaluación económica de proyectos de inversión**. Grupo Editorial Iberoamericana. Santa fé de Bogotá. Colombia.
- Veliz, Carolina (2011). **Diseño y comparación de filtros de grava y filtros de geotextil para suelos**. Trabajo de Grado para optar al título de Maestría en Ingeniería Geotécnica. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Villafranca D. (2002). **Metodología de la investigación**. Editorial Fundaca. San Antonio de los Altos. Miranda. Venezuela.
- Vite, Edwin (2019). **Mejoramiento de capacidad de soporte del suelo de fundación por incorporación de sistema de subdrenaje en el km 8+500 al km 9+500 con problemas de filtraciones en la carretera alto chira – Sullana – Piura**. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Piura. Perú.
- Wikipedia, la enciclopedia libre (2011). **Ubicación de Carabobo**. [https://es.wikipedia.org/wiki/Estado\\_Carabobo](https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_Carabobo).
- Wikipedia, la enciclopedia libre (2016). **Localización geográfica del municipio San Diego, Edo. Carabobo**. [https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio\\_San\\_Diego\\_\(Carabobo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_San_Diego_(Carabobo)).

*Apéndice A: Tablas de Resultados del Diseño de Sistema de Subdrenaje en vialidad de la avenida Don Julio Centeno Tramo de Estudio: Urbanización el Morro I – Urbanización Yuma II, Municipio San Diego estado Carabobo.*

**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO: URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II, MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

**Autor (es):** González C. Andrés E.  
C.I: 27.014.068  
Lara C. Santos S.  
C.I: 27.372.340

San Diego, abril de 2021.

## ÍNDICE DE TABLAS

A1. Variación de pendiente (Tramo I0 – I1).....	128
A2. Variación de pendiente (Tramo I1 – I2).....	129
A3. Variación de pendiente (Tramo I2 – I2).....	129
A4. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I0 – I1).....	130
A5. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I1 – I2).....	132
A6. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I2 – I3).....	132
A7. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración (Tramo I0 – I1). .....	134
A8. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración (Tramo I1 – I2). .....	134
A9. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración (Tramo I2 – I3). .....	135
A10. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I0 – I1).....	135
A11. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I1 – I2).....	136
A12. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I2 – I3).....	136
A13. Gasto de infiltración.....	136
A14. Gasto total de diseño por tramo de subdrenaje. ....	137
A15. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I0 – I1). .....	137
A16. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I1 – I2). .....	138
A17. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I2 – I3). .....	139
A18. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I0 – I1).....	140
A19. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I1 – I2).....	141
A20. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I2 – I3).....	141
A21. Calculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I0 – I1).....	142

A22. Calculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I1 – I2).....	144
A23. Cálculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I2 – I3).....	144

**A1. Variación de pendiente (Tramo I0 – I1).**

0	0+000	0	0	461.16	-	-
1	0+025.844	0.025844	25.844	461.119	-0.00159	-0.158644
2	0+051.983	0.051983	51.983	461.082	-0.00142	-0.141551
3	0+070.484	0.070484	70.484	461.065	-0.00092	-0.091887
4	0+096.328	0.096328	96.328	461.037	-0.00108	-0.108342
5	0+112.77	0.11277	112.77	460.573	-0.02822	-2.822041
6	0+127.47	0.12747	127.47	460.166	-0.02769	-2.768707
7	0+140.97	0.14097	140.97	460.008	-0.0117	-1.17037
8	0+159.76	0.15976	159.76	460.043	0.001863	0.1862693
9	0+180.91	0.18091	180.91	460.359	0.014941	1.4940898
10	0+211.45	0.21145	211.45	461.439	0.035363	3.5363458
11	0+246.69	0.24669	246.69	462.989	0.043984	4.3984109
12	0+270.19	0.27019	270.19	462.565	-0.01804	-1.804255
13	0+296.03	0.29603	296.03	461.68	-0.03425	-3.424923
14	0+324.23	0.32423	324.23	459.893	-0.06337	-6.336879
15	0+345.37	0.34537	345.37	458.784	-0.05246	-5.245979
16	0+366.42	0.36642	366.42	458.16	-0.02964	-2.964371
17	0+401.76	0.40176	401.76	458.929	0.02176	2.1760045
18	0+427.6	0.4276	427.6	458.269	-0.02554	-2.55418
19	0+444.05	0.44405	444.05	457.957	-0.01897	-1.896657
20	0+476.94	0.47694	476.94	457.693	-0.00803	-0.802676
21	0+498.09	0.49809	498.09	458.676	0.046478	4.6477541
22	0+528.63	0.52863	528.63	458.372	-0.00995	-0.995416
23	0+559.17	0.55917	559.17	456.572	-0.05894	-5.89391
24	0+580.32	0.58032	580.32	455.485	-0.05139	-5.13948
25	0+610.86	0.61086	610.86	456.027	0.017747	1.7747217
26	0+632.01	0.63201	632.01	456.643	0.029125	2.9125296
27	0+646.1	0.6461	646.1	457.024	0.02704	2.7040454
28	0+676.65	0.67665	676.65	458.055	0.033748	3.3747954
29	0+702.49	0.70249	702.49	459.265	0.046827	4.6826625
30	0+730.69	0.73069	730.69	459.203	-0.0022	-0.219858
31	0+758.88	0.75888	758.88	459.036	-0.00592	-0.592409
32	0+784.72	0.78472	784.72	459.052	0.000619	0.0619195
33	0+812.92	0.81292	812.92	459.029	-0.00082	-0.08156
34	0+838.76	0.83876	838.76	459.17	0.005457	0.5456656
35	0+866.96	0.86696	866.96	459.607	0.015496	1.5496454
36	0+892.8	0.8928	892.8	459.98	0.014435	1.4434985
37	0+920.99	0.92099	920.99	459.114	-0.03072	-3.072011

38	0+942.14	0.94214	942.14	458.616	-0.02355	-2.35461
39	0+967.98	0.96798	967.98	458.067	-0.02125	-2.124613
40	0+996.18	0.99618	996.18	458.186	0.00422	0.4219858
41	1+022	1.022	1022	459.124	0.036328	3.6328428
42	1+047.9	1.0479	1047.9	460.286	0.044865	4.4864865
43	1+071.4	1.0714	1071.4	460.138	-0.0063	-0.629787
44	1+101.9	1.1019	1101.9	460.914	0.025443	2.5442623
45	1+118.37	1.11837	1118.37	461.78	0.05258	5.2580449

Fuente: González y Lara (2021).

### A2. Variación de pendiente (Tramo I1 – I2).

	1+118.37	0	0	461.038	-	-
46	1+139.5	0.02113	21.13	461.362	0.015334	1.5333649
47	1+163	0.04463	44.63	460.351	-0.04302	-4.302128
48	1+195.9	0.07753	77.53	460.027	-0.00985	-0.984802
49	1+230.9	0.11253	112.53	461.695	0.047657	4.7657143
50	1+257	0.13863	138.63	464.135	0.093487	9.348659
51	1+287.5	0.16913	169.13	465.615	0.048525	4.852459
52	1+320.4	0.20203	202.03	465.194	-0.0128	-1.279635
53	1+349.6	0.23723	237.23	465.242	0.001364	0.1363636
54	1+390.9	0.27253	272.53	464.219	-0.02898	-2.898017
55	1+423.8	0.30543	305.43	465.853	0.049666	4.9665653
56	1+454.3	0.33593	335.93	466	0.00482	0.4819672
57	1+482.5	0.36413	364.13	465.073	-0.03287	-3.287234
58	1+499.81	0.38144	381.44	464.207	-0.05003	-5.002889

Fuente: González y Lara (2021).

### A3. Variación de pendiente (Tramo I2 – I3).

	1+499.81	0	0	464.207	-	-
59	1+527.2	0.02739	27.39	464.728	0.019022	1.9021541
60	1+550.1	0.05029	50.29	465.338	0.026638	2.6637555

61	1+583.5	0.08369	83.69	465.453	0.003443	0.3443114
62	1+611.7	0.11189	111.89	465.371	-0.00291	-0.29078
63	1+637.6	0.13779	137.79	463.104	-0.08753	-8.752896
64	1+665.8	0.16599	165.99	462.489	-0.02181	-2.180851
65	1+691.6	0.19179	191.79	462.755	0.01031	1.0310078
66	1+724.5	0.22469	224.69	463.057	0.009179	0.9179331
67	1+752.7	0.25289	252.89	463.705	0.022979	2.2978723
68	1+780.9	0.28109	281.09	463.862	0.005567	0.5567376
69	1+804.4	0.30459	304.59	463.756	-0.00451	-0.451064
70	1+834.9	0.33509	335.09	465.464	0.056	5.6
71	1+860.8	0.36099	360.99	466	0.020695	2.0694981
72	1+886.6	0.38679	386.79	465.75	-0.00969	-0.968992
73	1+914.8	0.41499	414.99	464.249	-0.05323	-5.322695
74	1+940.7	0.44089	440.89	464	-0.00961	-0.96139
75	1+978.3	0.47849	478.49	465.055	0.028059	2.8058511
76	2+007.5	0.50769	507.69	466	0.032363	3.2363014
77	2+039.3	0.53949	539.49	465.957	-0.00135	-0.13522
78	2+065.2	0.56539	565.39	464.822	-0.04382	-4.382239
79	2+091	0.59119	591.19	462.94	-0.07295	-7.294574
80	2+119.2	0.63819	638.19	462	-0.02	-2
81	2+145.1	0.67349	673.49	461.938	-0.00176	-0.175637
82	2+175.6	0.67579	675.79	461.835	-0.04478	-4.478261
83	2+201.5	0.70169	701.69	460.724	-0.0429	-4.289575
84	2+229.6	0.72979	729.79	459.565	-0.04125	-4.124555
85	2+257.8	0.75799	757.99	458.716	-0.03011	-3.010638
86	2+290.7	0.79089	790.89	459.779	0.03231	3.231003
87	2+318.9	0.81909	819.09	460	0.007837	0.7836879
88	2+342.4	0.84259	842.59	460.295	0.012553	1.2553191
89	2+370.6	0.87079	870.79	462.468	0.077057	7.7056738
90	2+389.4	0.88959	889.59	463.209	0.039415	3.9414894
91	2+405.64	0.90583	905.83	463.118	-0.0056	-0.560345

Fuente: González y Lara (2021).

#### A4. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I0 – I1).

	0+000	-	-	-	-	-
1	0+025.844	25.844	-0.158644173	-0.001586442	-0.041	-0.008171951
2	0+051.983	26.139	-0.141550939	-0.001415509	-0.037	
3	0+070.484	18.501	-0.091886925	-0.000918869	-0.017	
4	0+096.328	25.844	-0.108342362	-0.001083424	-0.028	
5	0+112.77	16.442	-2.822041114	-0.028220411	-0.464	
6	0+127.47	14.7	-2.768707483	-0.027687075	-0.407	
7	0+140.97	13.5	-1.17037037	-0.011703704	-0.158	
8	0+159.76	18.79	0.186269292	0.001862693	0.035	0.028197124
9	0+180.91	21.15	1.494089835	0.014940898	0.316	
10	0+211.45	30.54	3.536345776	0.035363458	1.08	
11	0+246.69	35.24	4.398410897	0.043984109	1.55	
12	0+270.19	23.5	-1.804255319	-0.018042553	-0.424	-0.040332415
13	0+296.03	25.84	-3.424922601	-0.034249226	-0.885	
14	0+324.23	28.2	-6.336879433	-0.063368794	-1.787	
15	0+345.37	21.14	-5.245979186	-0.052459792	-1.109	
16	0+366.42	21.05	-2.964370546	-0.029643705	-0.624	0.021760045
17	0+401.76	35.34	2.176004527	0.021760045	0.769	
18	0+427.6	25.84	-2.554179567	-0.025541796	-0.66	-0.016440543
19	0+444.05	16.45	-1.896656535	-0.018966565	-0.312	
20	0+476.94	32.89	-0.802675585	-0.008026756	-0.264	
21	0+498.09	21.15	4.647754137	0.046477541	0.983	0.046477541
22	0+528.63	30.54	-0.995415848	-0.009954158	-0.304	-0.038805789
23	0+559.17	30.54	-5.893909627	-0.058939096	-1.8	
24	0+580.32	21.15	-5.139479905	-0.051394799	-1.087	
25	0+610.86	30.54	1.774721676	0.017747217	0.542	0.030940493
26	0+632.01	21.15	2.912529551	0.029125296	0.616	
27	0+646.1	14.09	2.704045422	0.027040454	0.381	
28	0+676.65	30.55	3.374795417	0.033747954	1.031	
29	0+702.49	25.84	4.682662539	0.046826625	1.21	-0.0021371
30	0+730.69	28.2	-0.219858156	-0.002198582	-0.062	
31	0+758.88	28.19	-0.592408656	-0.005924087	-0.167	
32	0+784.72	25.84	0.061919505	0.000619195	0.016	
33	0+812.92	28.2	-0.081560284	-0.000815603	-0.023	0.011905358
34	0+838.76	25.84	0.545665635	0.005456656	0.141	
35	0+866.96	28.2	1.54964539	0.015496454	0.437	
36	0+892.8	25.84	1.443498452	0.014434985	0.373	-0.025445597
37	0+920.99	28.19	-3.072011352	-0.030720114	-0.866	

38	0+942.14	21.15	-2.354609929	-0.023546099	-0.498	-0.025445597
39	0+967.98	25.84	-2.124613003	-0.02124613	-0.549	
40	0+996.18	28.2	0.421985816	0.004219858	0.119	0.027765265
41	1+022	25.82	3.632842758	0.036328428	0.938	
42	1+047.9	25.9	4.486486486	0.044864865	1.162	
43	1+071.4	23.5	-0.629787234	-0.006297872	-0.148	-0.006297872
44	1+101.9	30.5	2.544262295	0.025442623	0.776	0.034958484
45	1+118.37	16.47	5.25804493	0.052580449	0.866	

Fuente: González y Lara (2021).

#### A5. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I1 – I2).

	1+118.37	-	-	-	-	-
46	1+139.5	21.13	1.533364884	0.015333649	0.324	0.015333649
47	1+163	23.5	-4.30212766	-0.043021277	-1.011	-0.023670213
48	1+195.9	32.9	-0.984802432	-0.009848024	-0.324	
49	1+230.9	35	4.765714286	0.047657143	1.668	0.061004367
50	1+257	26.1	9.348659004	0.09348659	2.44	
51	1+287.5	30.5	4.852459016	0.04852459	1.48	
52	1+320.4	32.9	-1.279635258	-0.012796353	-0.421	-0.012796353
53	1+349.6	35.2	0.136363636	0.001363636	0.048	0.001363636
54	1+390.9	35.3	-2.898016997	-0.02898017	-1.023	-0.02898017
55	1+423.8	32.9	4.96656535	0.049665653	1.634	0.028091483
56	1+454.3	30.5	0.481967213	0.004819672	0.147	
57	1+482.5	28.2	-3.287234043	-0.03287234	-0.927	-0.039397935
58	1+499.81	17.31	-5.002888504	-0.050028885	-0.866	

Fuente: González y Lara (2021).

#### A6. Dirección del sentido de drenaje (Tramo I2 – I3).

	1+499.81	-	-	-	-	-

59	1+527.2	27.39	1.902154071	0.019021541	0.521	0.014888278
60	1+550.1	22.9	2.663755459	0.026637555	0.61	
61	1+583.5	33.4	0.344311377	0.003443114	0.115	
62	1+611.7	28.2	-0.290780142	-0.002907801	-0.082	-0.036014581
63	1+637.6	25.9	-8.752895753	-0.087528958	-2.267	
64	1+665.8	28.2	-2.180851064	-0.021808511	-0.615	
65	1+691.6	25.8	1.031007752	0.010310078	0.266	0.011928758
66	1+724.5	32.9	0.917933131	0.009179331	0.302	
67	1+752.7	28.2	2.29787234	0.022978723	0.648	
68	1+780.9	28.2	0.556737589	0.005567376	0.157	-0.004510638
69	1+804.4	23.5	-0.45106383	-0.004510638	-0.106	
70	1+834.9	30.5	5.6	0.056	1.708	
71	1+860.8	25.9	2.069498069	0.020694981	0.536	0.039787234
72	1+886.6	25.8	-0.968992248	-0.009689922	-0.25	-0.025031289
73	1+914.8	28.2	-5.322695035	-0.05322695	-1.501	
74	1+940.7	25.9	-0.961389961	-0.0096139	-0.249	
75	1+978.3	37.6	2.805851064	0.028058511	1.055	0.02994012
76	2+007.5	29.2	3.23630137	0.032363014	0.945	
77	2+039.3	31.8	-0.135220126	-0.001352201	-0.043	
78	2+065.2	25.9	-4.382239382	-0.043822394	-1.135	-0.029101079
79	2+091	25.8	-7.294573643	-0.072945736	-1.882	
80	2+119.2	47	-2	-0.02	-0.94	
81	2+145.1	35.3	-0.175637394	-0.001756374	-0.062	-0.029101079
82	2+175.6	2.3	-4.47826087	-0.044782609	-0.103	
83	2+201.5	25.9	-4.28957529	-0.042895753	-1.111	
84	2+229.6	28.1	-4.12455516	-0.041245552	-1.159	-0.029101079
85	2+257.8	28.2	-3.010638298	-0.030106383	-0.849	
86	2+290.7	32.9	3.23100304	0.03231003	1.063	
87	2+318.9	28.2	0.783687943	0.007836879	0.221	0.034141337
88	2+342.4	23.5	1.255319149	0.012553191	0.295	
89	2+370.6	28.2	7.705673759	0.077056738	2.173	
90	2+389.4	18.8	3.941489362	0.039414894	0.741	-0.005603448
91	2+405.64	16.24	-0.560344828	-0.005603448	-0.091	

Fuente: González y Lara (2021).

**A7. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración(Tramo I0–I1).**

1	7	0+000	0+140.97	140.97	-0.00817	50	553.17	1,559.61
8	11	0+140.97	0+246.69	105.72	0.02820		297.75	629.55
12	16	0+246.69	0+366.42	119.73	-0.04033		248.98	596.20
17	17	0+366.42	0+401.76	35.34	0.02176		338.95	239.57
18	20	0+401.76	0+476.94	75.18	-0.01644		389.96	586.34
21	21	0+476.94	0+498.09	21.15	0.04648		231.93	98.10
22	24	0+498.09	0+580.32	82.23	-0.03880		253.84	417.46
25	29	0+580.32	0+702.49	122.17	0.03094		284.26	694.55
30	33	0+702.49	0+812.92	110.43	-0.00214		1,080.84	2,387.15
34	36	0+812.92	0+892.8	79.88	0.01191		458.16	731.95
37	39	0+892.8	0+967.98	75.18	-0.02545		313.42	471.26
40	42	0+967.98	1+047.9	79.92	0.02777		300.04	479.59
43	43	1+047.9	1+071.4	23.5	-0.00630		630.05	296.12
44	45	1+071.4	1+118.37	46.97	0.03496		267.41	251.21

Fuente: González y Lara (2021).

**A8. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración(Tramo I1–I2).**

46	46	1+118.37	1+139.5	21.13	0.01533	50	403.78	170.64
47	48	1+139.5	1+195.9	56.4	-0.02367		324.99	366.59
49	51	1+195.9	1+287.5	91.6	0.06100		202.44	370.86
52	52	1+287.5	1+320.4	32.9	-0.01280		442.00	290.84
53	53	1+320.4	1+349.6	35.2	0.00136		1,354.01	953.22
54	54	1+349.6	1+390.9	35.3	-0.02898		293.71	207.36
55	56	1+390.9	1+454.3	63.4	0.02809		298.32	378.27
57	58	1+454.3	1+499.81	45.51	-0.03940		251.90	229.28

Fuente: González y Lara (2021).

**A9. Parámetros para el cálculo del tiempo de concentración(Tramo I2–I3).**

59	61	1+499.81	1+583.5	83.69	0.01489	50	409.78	685.89
62	64	1+583.5	1+665.8	82.3	-0.03601		263.49	433.70
65	68	1+665.8	1+780.9	115.1	0.01199		456.63	1,051.15
69	69	1+780.9	1+804.4	23.5	-0.00451		744.48	349.90
70	71	1+804.4	1+860.8	56.4	0.03979		250.66	282.74
72	74	1+860.8	1+940.7	79.9	-0.02503		316.04	505.03
75	76	1+940.7	2+007.5	66.8	0.02994		288.96	386.06
77	85	2+007.5	2+257.8	250.3	-0.02910		293.10	1,467.26
86	90	2+257.8	2+389.4	131.6	0.03414		270.61	712.24
91	91	2+389.4	2+405.64	16.24	-0.00560		667.95	216.95

Fuente: González y Lara (2021).

**A10. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I0 – I1).**

1	7	0+000	0+140.97	140.97		400	1.382926	5.61	6.99
8	11	0+140.97	0+246.69	105.72			0.744364	2.79	3.53
12	16	0+246.69	0+366.42	119.73			0.622438	2.67	3.30
17	17	0+366.42	0+401.76	35.34			0.847384	1.32	2.17
18	20	0+401.76	0+476.94	75.18			0.974898	2.64	3.61
21	21	0+476.94	0+498.09	21.15			0.579814	0.67	1.25
22	24	0+498.09	0+580.32	82.23			0.634591	2.03	2.67
25	29	0+580.32	0+702.49	122.17			0.71064	3.01	3.72
30	33	0+702.49	0+812.92	110.43			2.702111	7.78	10.48
34	36	0+812.92	0+892.8	79.88			1.145392	3.13	4.28
37	39	0+892.8	0+967.98	75.18			0.783549	2.23	3.01
40	42	0+967.98	1+047.9	79.92			0.750105	2.26	3.01
43	43	1+047.9	1+071.4	23.5			1.575118	1.56	3.13
44	45	1+071.4	1+118.37	46.97			0.668535	1.37	2.04

Fuente: González y Lara (2021).

**A11. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I1 – I2).**

46	46	1+118.37	1+139.5	21.13	400	1.009456	1.02	2.03
47	48	1+139.5	1+195.9	56.4		0.812473	1.84	2.65
49	51	1+195.9	1+287.5	91.6		0.506092	1.85	2.36
52	52	1+287.5	1+320.4	32.9		1.105012	1.54	2.64
53	53	1+320.4	1+349.6	35.2		3.385016	3.84	7.22
54	54	1+349.6	1+390.9	35.3		0.734276	1.19	1.92
55	56	1+390.9	1+454.3	63.4		0.745801	1.88	2.63
57	58	1+454.3	1+499.81	45.51		0.629757	1.28	1.91

Fuente: González y Lara (2021).

**A12. Cálculo del tiempo de concentración (Tramo I2 – I3).**

59	61	1+499.81	1+583.5	83.69	400	1.024453	2.98	4.00
62	64	1+583.5	1+665.8	82.3		0.658716	2.09	2.75
65	68	1+665.8	1+780.9	115.1		1.141564	4.14	5.28
69	69	1+780.9	1+804.4	23.5		1.861191	1.77	3.63
70	71	1+804.4	1+860.8	56.4		0.626647	1.51	2.13
72	74	1+860.8	1+940.7	79.9		0.790095	2.35	3.14
75	76	1+940.7	2+007.5	66.8		0.722411	1.91	2.64
77	85	2+007.5	2+257.8	250.3		0.73275	5.35	6.08
86	90	2+257.8	2+389.4	131.6		0.676516	3.07	3.74
91	91	2+389.4	2+405.64	16.24		1.669869	1.23	2.90

Fuente: González y Lara (2021).

**A13. Gasto de infiltración.**

I0-I1	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077
I1-I2	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077
I2-I3	50	10.8	2.53611E-05	0.4	0.33	0.0018077

Fuente: González y Lara (2021).

**A14. Gasto total de diseño**

10-11	0.0018077	0.00	0.0018077
11-12	0.0018077	0.00	0.0018077
12-13	0.0018077	0.00	0.0018077

Fuente: González y Lara (2021).

**A15. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I0 – I1).**

	0+000	-	-				
1	0+025.844	25.844	-0.5	0.00335	1.00	0.001808	0.54
2	0+051.983	26.139	-0.5	0.00335			0.54
3	0+070.484	18.501	-0.5	0.00335			0.54
4	0+096.328	25.844	-0.5	0.00335			0.54
5	0+112.77	16.442	-2.822041114	0.01661			0.11
6	0+127.47	14.7	-2.768707483	0.016344			0.11
7	0+140.97	13.5	-1.17037037	0.007187			0.25
8	0+159.76	18.79	0.5	0.00335			0.54
9	0+180.91	21.15	1.494089835	0.008967			0.20
10	0+211.45	30.54	3.536345776	0.020182			0.09
11	0+246.69	35.24	4.398410897	0.024492			0.07
12	0+270.19	23.5	-1.804255319	0.010765			0.17
13	0+296.03	25.84	-3.424922601	0.019625			0.09
14	0+324.23	28.2	-6.336879433	0.034184			0.05
15	0+345.37	21.14	-5.245979186	0.02873			0.06
16	0+366.42	21.05	-2.964370546	0.017322			0.10
17	0+401.76	35.34	2.176004527	0.012991			0.14
18	0+427.6	25.84	-2.554179567	0.015271			0.12
19	0+444.05	16.45	-1.896656535	0.011301			0.16
20	0+476.94	32.89	-0.802675585	0.005106			0.35
21	0+498.09	21.15	4.647754137	0.025739			0.07
22	0+528.63	30.54	-0.995415848	0.006223			0.29
23	0+559.17	30.54	-5.893909627	0.03197			0.06
24	0+580.32	21.15	-5.139479905	0.028197			0.06
25	0+610.86	30.54	1.774721676	0.010593			0.17
26	0+632.01	21.15	2.912529551	0.017063			0.11
27	0+646.1	14.09	2.704045422	0.01602			0.11

28	0+676.65	30.55	3.374795417	0.019374			0.09
29	0+702.49	25.84	4.682662539	0.025913			0.07
30	0+730.69	28.2	-0.5	0.00335			0.54
31	0+758.88	28.19	-0.592408656	0.003886			0.47
32	0+784.72	25.84	0.5	0.00335			0.54
33	0+812.92	28.2	-0.5	0.00335			0.54
34	0+838.76	25.84	0.545665635	0.003615			0.50
35	0+866.96	28.2	1.54964539	0.009288			0.19
36	0+892.8	25.84	1.443498452	0.008689			0.21
37	0+920.99	28.19	-3.072011352	0.01786			0.10
38	0+942.14	21.15	-2.354609929	0.014099			0.13
39	0+967.98	25.84	-2.124613003	0.012673			0.14
40	0+996.18	28.2	0.5	0.00335			0.54
41	1+022	25.82	3.632842758	0.020664			0.09
42	1+047.9	25.9	4.486486486	0.024932			0.07
43	1+071.4	23.5	-0.629787234	0.004103			0.44
44	1+101.9	30.5	2.544262295	0.015221			0.12
45	1+118.37	16.47	5.25804493	0.02879			0.06

Fuente: González y Lara (2021).

#### A16. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I1 – I2).

	1+118.37	-	-	-			-
46	1+139.5	21.13	1.533364884	0.009194			0.20
47	1+163	23.5	-4.30212766	0.024011			0.08
48	1+195.9	32.9	-0.984802432	0.006162			0.29
49	1+230.9	35	4.765714286	0.026329			0.07
50	1+257	26.1	9.348659004	0.049243	1.00	0.001808	0.04
51	1+287.5	30.5	4.852459016	0.026762			0.07
52	1+320.4	32.9	-1.279635258	0.007788			0.23
53	1+349.6	35.2	0.5	0.00335			0.54
54	1+390.9	35.3	-2.898016997	0.01699			0.11
55	1+423.8	32.9	4.96656535	0.027333			0.07
56	1+454.3	30.5	0.5	0.00335			0.54
57	1+482.5	28.2	-3.287234043	0.018936			0.10
58	1+499.81	17.31	-5.002888504	0.027514			0.07

Fuente: González y Lara (2021).

**A17. Área transversal de la zanja de subdrenaje (Tramo I2 – I3).**

	1+499.81	-	-	-			-
59	1+527.2	27.39	1.902154071	0.011332	1.00	0.001808	0.16
60	1+550.1	22.9	2.663755459	0.015819			0.11
61	1+583.5	33.4	0.5	0.00335			0.54
62	1+611.7	28.2	-0.5	0.00335			0.54
63	1+637.6	25.9	-8.752895753	0.046264			0.04
64	1+665.8	28.2	-2.180851064	0.013021			0.14
65	1+691.6	25.8	1.031007752	0.006421			0.28
66	1+724.5	32.9	0.917933131	0.005774			0.31
67	1+752.7	28.2	2.29787234	0.013747			0.13
68	1+780.9	28.2	0.556737589	0.003679			0.49
69	1+804.4	23.5	-0.5	0.00335			0.54
70	1+834.9	30.5	5.6	0.0305			0.06
71	1+860.8	25.9	2.069498069	0.012331			0.15
72	1+886.6	25.8	-0.968992248	0.00607			0.30
73	1+914.8	28.2	-5.322695035	0.029113			0.06
74	1+940.7	25.9	-0.961389961	0.006026			0.30
75	1+978.3	37.6	2.805851064	0.016529			0.11
76	2+007.5	29.2	3.23630137	0.018682			0.10
77	2+039.3	31.8	-0.5	0.00335			0.54
78	2+065.2	25.9	-4.382239382	0.024411			0.07
79	2+091	25.8	-7.294573643	0.038973			0.05
80	2+119.2	47	-2	0.0119			0.15
81	2+145.1	35.3	-0.5	0.00335			0.54
82	2+175.6	2.3	-4.47826087	0.024891			0.07
83	2+201.5	25.9	-4.28957529	0.023948			0.08
84	2+229.6	28.1	-4.12455516	0.023123			0.08
85	2+257.8	28.2	-3.010638298	0.017553			0.10
86	2+290.7	32.9	3.23100304	0.018655			0.10
87	2+318.9	28.2	0.783687943	0.004995			0.36
88	2+342.4	23.5	1.255319149	0.007654			0.24
89	2+370.6	28.2	7.705673759	0.041028			0.04
90	2+389.4	18.8	3.941489362	0.022207	0.08		
91	2+405.64	16.24	-0.560344828	0.0037	0.49		

Fuente: González y Lara (2021).

**A18. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I0 – I1).**

	0+000	-	-	-
1	0+025.844	0.54	0.60	0.90
2	0+051.983	0.54	0.60	0.90
3	0+070.484	0.54	0.60	0.90
4	0+096.328	0.54	0.60	0.90
5	0+112.77	0.11	0.60	0.18
6	0+127.47	0.11	0.60	0.18
7	0+140.97	0.25	0.60	0.42
8	0+159.76	0.54	0.60	0.90
9	0+180.91	0.20	0.60	0.34
10	0+211.45	0.09	0.60	0.15
11	0+246.69	0.07	0.60	0.12
12	0+270.19	0.17	0.60	0.28
13	0+296.03	0.09	0.60	0.15
14	0+324.23	0.05	0.60	0.09
15	0+345.37	0.06	0.60	0.10
16	0+366.42	0.10	0.60	0.17
17	0+401.76	0.14	0.60	0.23
18	0+427.6	0.12	0.60	0.20
19	0+444.05	0.16	0.60	0.27
20	0+476.94	0.35	0.60	0.59
21	0+498.09	0.07	0.60	0.12
22	0+528.63	0.29	0.60	0.48
23	0+559.17	0.06	0.60	0.09
24	0+580.32	0.06	0.60	0.11
25	0+610.86	0.17	0.60	0.28
26	0+632.01	0.11	0.60	0.18
27	0+646.1	0.11	0.60	0.19
28	0+676.65	0.09	0.60	0.16
29	0+702.49	0.07	0.60	0.12
30	0+730.69	0.54	0.60	0.90
31	0+758.88	0.47	0.60	0.78
32	0+784.72	0.54	0.60	0.90
33	0+812.92	0.54	0.60	0.90
34	0+838.76	0.50	0.60	0.83
35	0+866.96	0.19	0.60	0.32
36	0+892.8	0.21	0.60	0.35
37	0+920.99	0.10	0.60	0.17

38	0+942.14	0.13	0.60	0.21
39	0+967.98	0.14	0.60	0.24
40	0+996.18	0.54	0.60	0.90
41	1+022	0.09	0.60	0.15
42	1+047.9	0.07	0.60	0.12
43	1+071.4	0.44	0.60	0.73
44	1+101.9	0.12	0.60	0.20
45	1+118.37	0.06	0.60	0.10

Fuente: González y Lara (2021).

#### A19. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I1 – I2).

-	1+118.37	-	-	-
46	1+139.5	0.20	0.60	0.33
47	1+163	0.08	0.60	0.13
48	1+195.9	0.29	0.60	0.49
49	1+230.9	0.07	0.60	0.11
50	1+257	0.04	0.60	0.06
51	1+287.5	0.07	0.60	0.11
52	1+320.4	0.23	0.60	0.39
53	1+349.6	0.54	0.60	0.90
54	1+390.9	0.11	0.60	0.18
55	1+423.8	0.07	0.60	0.11
56	1+454.3	0.54	0.60	0.90
57	1+482.5	0.10	0.60	0.16
58	1+499.81	0.07	0.60	0.11

Fuente: González y Lara (2021).

#### A20. Dimensionamiento de la zanja de subdrenaje (Tramo I2 – I3).

	1+499.81	-	-	-
59	1+527.2	0.16	0.60	0.27
60	1+550.1	0.11	0.60	0.19
61	1+583.5	0.54	0.60	0.90

62	1+611.7	0.54	0.60	0.90
63	1+637.6	0.04	0.60	0.07
64	1+665.8	0.14	0.60	0.23
65	1+691.6	0.28	0.60	0.47
66	1+724.5	0.31	0.60	0.52
67	1+752.7	0.13	0.60	0.22
68	1+780.9	0.49	0.60	0.82
69	1+804.4	0.54	0.60	0.90
70	1+834.9	0.06	0.60	0.10
71	1+860.8	0.15	0.60	0.24
72	1+886.6	0.30	0.60	0.50
73	1+914.8	0.06	0.60	0.10
74	1+940.7	0.30	0.60	0.50
75	1+978.3	0.11	0.60	0.18
76	2+007.5	0.10	0.60	0.16
77	2+039.3	0.54	0.60	0.90
78	2+065.2	0.07	0.60	0.12
79	2+091	0.05	0.60	0.08
80	2+119.2	0.15	0.60	0.25
81	2+145.1	0.54	0.60	0.90
82	2+175.6	0.07	0.60	0.12
83	2+201.5	0.08	0.60	0.13
84	2+229.6	0.08	0.60	0.13
85	2+257.8	0.10	0.60	0.17
86	2+290.7	0.10	0.60	0.16
87	2+318.9	0.36	0.60	0.60
88	2+342.4	0.24	0.60	0.39
89	2+370.6	0.04	0.60	0.07
90	2+389.4	0.08	0.60	0.14
91	2+405.64	0.49	0.60	0.81

Fuente: González y Lara (2021).

**A21. Calculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I0 – I1).**

	0+000	-						-	-

1	0+025.844	-0.50						0.003	0.04
2	0+051.983	-0.50						0.003	0.04
3	0+070.484	-0.50						0.003	0.04
4	0+096.328	-0.50						0.003	0.04
5	0+112.77	-2.82						0.014	0.20
6	0+127.47	-2.77						0.014	0.20
7	0+140.97	-1.17						0.006	0.08
8	0+159.76	0.50						0.003	0.04
9	0+180.91	1.49						0.008	0.11
10	0+211.45	3.54						0.018	0.26
11	0+246.69	4.40						0.022	0.32
12	0+270.19	-1.80						0.009	0.13
13	0+296.03	-3.42						0.017	0.25
14	0+324.23	-6.34						0.032	0.46
15	0+345.37	-5.25						0.027	0.38
16	0+366.42	-2.96						0.015	0.21
17	0+401.76	2.18						0.011	0.16
18	0+427.6	-2.55	0.00181	0.013	300.00	0.071	0.075	0.013	0.18
19	0+444.05	-1.90						0.010	0.14
20	0+476.94	-0.80						0.004	0.06
21	0+498.09	4.65						0.024	0.34
22	0+528.63	-1.00						0.005	0.07
23	0+559.17	-5.89						0.030	0.43
24	0+580.32	-5.14						0.026	0.37
25	0+610.86	1.77						0.009	0.13
26	0+632.01	2.91						0.015	0.21
27	0+646.1	2.70						0.014	0.20
28	0+676.65	3.37						0.017	0.24
29	0+702.49	4.68						0.024	0.34
30	0+730.69	-0.50						0.003	0.04
31	0+758.88	-0.59						0.003	0.04
32	0+784.72	0.50						0.003	0.04
33	0+812.92	-0.50						0.003	0.04
34	0+838.76	0.55						0.003	0.04
35	0+866.96	1.55						0.008	0.11

36	0+892.8	1.44						0.007	0.10
37	0+920.99	-3.07						0.016	0.22
38	0+942.14	-2.35						0.012	0.17
39	0+967.98	-2.12						0.011	0.15
40	0+996.18	0.50						0.003	0.04
41	1+022	3.63						0.019	0.26
42	1+047.9	4.49						0.023	0.32
43	1+071.4	-0.63						0.003	0.05
44	1+101.9	2.54						0.013	0.18
45	1+118.37	5.26						0.027	0.38

Fuente: González y Lara (2021).

**A22. Calculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I1 – I2).**

0	1+118.37	-	0.00181	0.013	300	0.070686	0.075	-	-
46	1+139.5	1.53						0.008	0.11
47	1+163	-4.30						0.022	0.31
48	1+195.9	-0.98						0.005	0.07
49	1+230.9	4.77						0.024	0.34
50	1+257	9.35						0.048	0.67
51	1+287.5	4.85						0.025	0.35
52	1+320.4	-1.28						0.007	0.09
53	1+349.6	0.50						0.003	0.04
54	1+390.9	-2.90						0.015	0.21
55	1+423.8	4.97						0.025	0.36
56	1+454.3	0.50						0.003	0.04
57	1+482.5	-3.29						0.017	0.24
58	1+499.81	-5.00						0.026	0.36

Fuente: González y Lara (2021).

**A23. Calculo para el diseño de tubería del subdrenaje (Tramo I2 – I3).**

0	1+499.81	-	0.00181	0.013	300	0.070686	0.075	-	-
59	1+527.2	1.90						0.010	0.14

60	1+550.1	2.66						0.014	0.19
61	1+583.5	0.50						0.003	0.04
62	1+611.7	-0.50						0.003	0.04
63	1+637.6	-8.75						0.045	0.63
64	1+665.8	-2.18						0.011	0.16
65	1+691.6	1.03						0.005	0.07
66	1+724.5	0.92						0.005	0.07
67	1+752.7	2.30						0.012	0.17
68	1+780.9	0.56						0.003	0.04
69	1+804.4	-0.50						0.003	0.04
70	1+834.9	5.60						0.029	0.40
71	1+860.8	2.07						0.011	0.15
72	1+886.6	-0.97						0.005	0.07
73	1+914.8	-5.32						0.027	0.38
74	1+940.7	-0.96						0.005	0.07
75	1+978.3	2.81						0.014	0.20
76	2+007.5	3.24						0.016	0.23
77	2+039.3	-0.50						0.003	0.04
78	2+065.2	-4.38						0.022	0.32
79	2+091	-7.29						0.037	0.53
80	2+119.2	-2.00						0.010	0.14
81	2+145.1	-0.50						0.003	0.04
82	2+175.6	-4.48						0.023	0.32
83	2+201.5	-4.29						0.022	0.31
84	2+229.6	-4.12						0.021	0.30
85	2+257.8	-3.01						0.015	0.22
86	2+290.7	3.23						0.016	0.23
87	2+318.9	0.78						0.004	0.06
88	2+342.4	1.26						0.006	0.09
89	2+370.6	7.71						0.039	0.56
90	2+389.4	3.94						0.020	0.28
91	2+405.64	-0.56						0.003	0.04

Fuente: González y Lara (2021).

*Apéndice B: Data Topográfica del Tramo de Estudio*

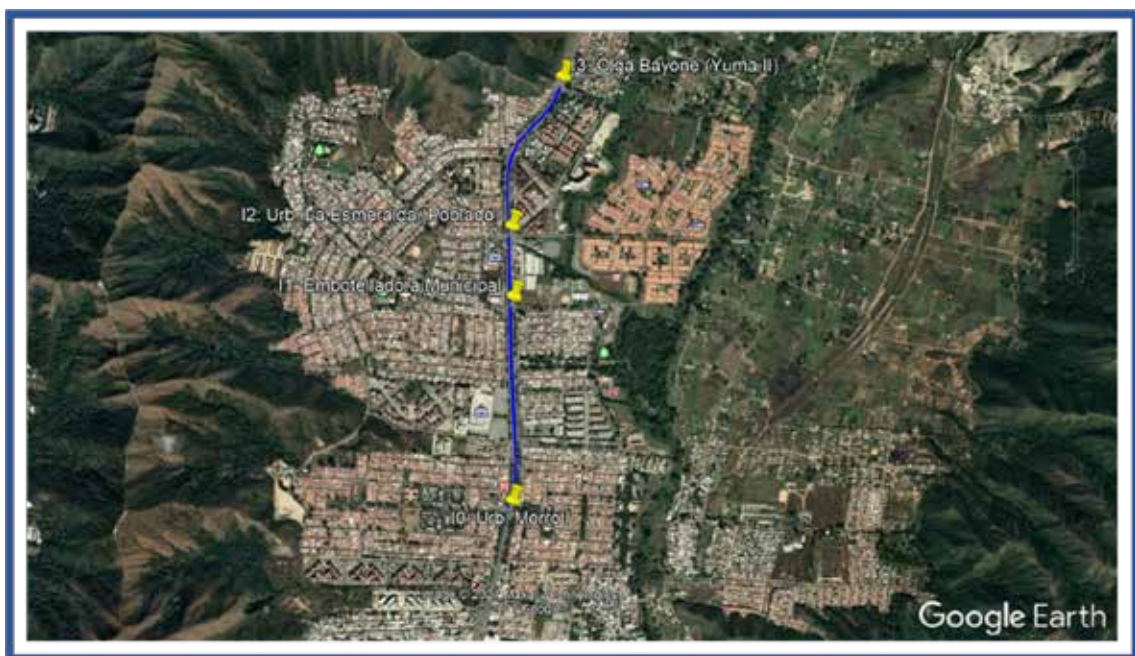
**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II,  
MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

**Autor (es):** González C. Andrés E.  
C.I: 27.014.068  
Lara C. Santos S.  
C.I: 27.372.340

**San Diego, abril de 2021.**

**B1. Delimitación espacial de la Av. Don Julio Centeno, tramo de estudio Urbanización El Morro I – Yuma II, Municipio San Diego Edo. Carabobo.**

Estado	Carabobo
Municipio	San Diego
Vía referencia	Avenida Don Julio Centeno (Arterial 1)



Fuente: González y Lara (2021).

**B2. Data topográfica de la Av. Don Julio Centeno, tramo de estudio Urbanización El Morro I – Yuma II, Municipio San Diego Edo. Carabobo.**

10-13	10.21851	-67.96365	10.23953	-67.96443

Fuente: González y Lara (2021).

**Coordenadas de referencia por tramos desde I0 hasta I3.**

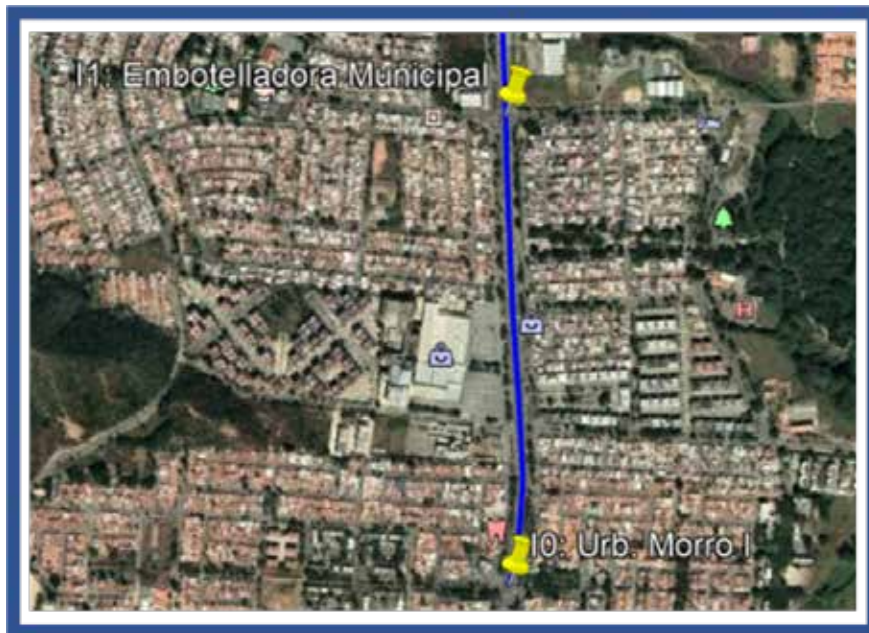
I0-I1	10.21851	-67.96365	10.22847	-67.96518
I1-I2	10.2284722	-67.965178	10.23187	-67.9658
I2-I3	10.2318667	-67.965803	10.23953	-67.96443

Fuente: González y Lara (2021).

	I0: Intersección Morro I	I1: Embotelladora Municipal	1118.37	0+000	1+118.37
	I1: Embotelladora Municipal	I2: Urb. La Esmeralda (Poblado)	381.44	1+118.37	1+499.81
	I2: Urb. La Esmeralda (Poblado)	I3: Intersección U.E. Olga Bayone	905.83	1+499.81	2+405.64

Fuente: González y Lara (2021).

**Data Topográfica Del Tramo I0-I1.**

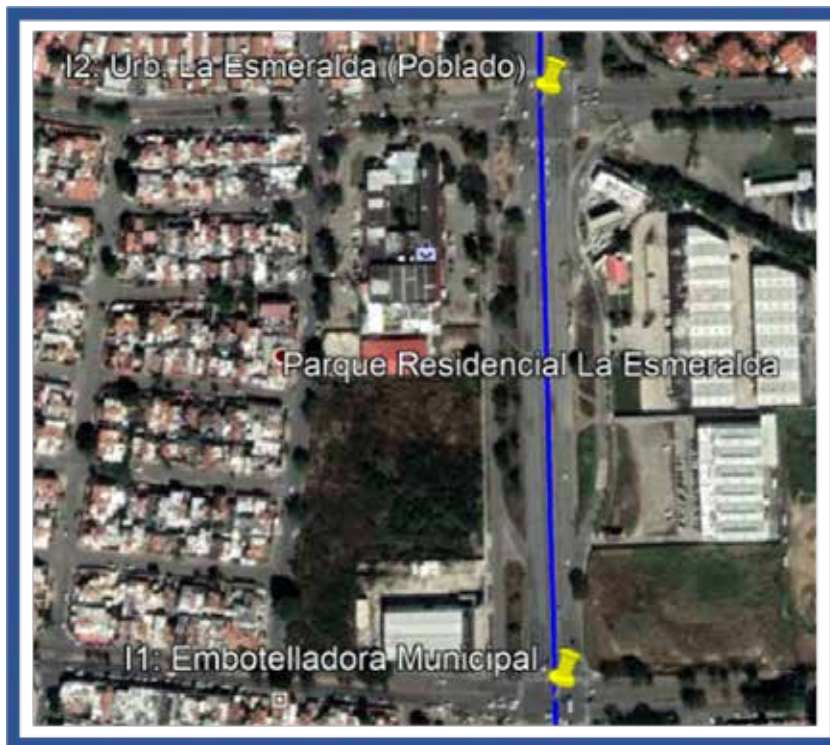


Fuente: González y Lara (2021).

0+000	-	0	10.2185	-67.9637	461.16
0+025.844	25.844	25.844	10.2188	-67.9636	461.119
0+051.983	26.139	51.983	10.2190	-67.9636	461.082
0+070.484	18.501	70.484	10.2192	-67.9636	461.065
0+096.328	25.844	96.328	10.2194	-67.9636	461.037
0+112.77	16.442	112.77	10.2195	-67.9636	460.573
0+127.47	14.7	127.47	10.2197	-67.9636	460.166
0+140.97	13.5	140.97	10.2198	-67.9636	460.008
0+159.76	18.79	159.76	10.2200	-67.9636	460.043
0+180.91	21.15	180.91	10.2202	-67.9636	460.359
0+211.45	30.54	211.45	10.2204	-67.9636	461.439
0+246.69	35.24	246.69	10.2207	-67.9637	462.989
0+270.19	23.5	270.19	10.2210	-67.9637	462.565
0+296.03	25.84	296.03	10.2212	-67.9638	461.68
0+324.23	28.2	324.23	10.2214	-67.9638	459.893
0+345.37	21.14	345.37	10.2216	-67.9638	458.784
0+366.42	21.05	366.42	10.2218	-67.9639	458.16
0+401.76	35.34	401.76	10.2221	-67.9639	458.929
0+427.6	25.84	427.6	10.2224	-67.9640	458.269
0+444.05	16.45	444.05	10.2225	-67.9640	457.957
0+476.94	32.89	476.94	10.2228	-67.9641	457.693
0+498.09	21.15	498.09	10.2230	-67.9641	458.676
0+528.63	30.54	528.63	10.2232	-67.9642	458.372
0+559.17	30.54	559.17	10.2235	-67.9642	456.572
0+580.32	21.15	580.32	10.2237	-67.9643	455.485
0+610.86	30.54	610.86	10.2240	-67.9643	456.027
0+632.01	21.15	632.01	10.2242	-67.9644	456.643
0+646.1	14.09	646.1	10.2243	-67.9644	457.024
0+676.65	30.55	676.65	10.2246	-67.9645	458.055
0+702.49	25.84	702.49	10.2248	-67.9645	459.265
0+730.69	28.2	730.69	10.2250	-67.9646	459.203
0+758.88	28.19	758.88	10.2253	-67.9646	459.036
0+784.72	25.84	784.72	10.2255	-67.9646	459.052
0+812.92	28.2	812.92	10.2258	-67.9647	459.029
0+838.76	25.84	838.76	10.2260	-67.9647	459.17
0+866.96	28.2	866.96	10.2262	-67.9648	459.607
0+892.8	25.84	892.8	10.2265	-67.9648	459.98
0+920.99	28.19	920.99	10.2267	-67.9649	459.114
0+942.14	21.15	942.14	10.2269	-67.9649	458.616
0+967.98	25.84	967.98	10.2271	-67.9649	458.067

1+022	25.82	1022	10.2276	-67.9650	459.124
1+047.9	25.9	1047.9	10.2279	-67.9651	460.286
1+071.4	23.5	1071.4	10.2281	-67.9651	460.138
1+101.9	30.5	1101.9	10.2283	-67.9652	460.914
1+118.37	16.47	1118.37	10.2285	-67.9652	461.78

**Data Topográfica Del Tramo I1-I2.**



**Fuente:** González y Lara (2021).

1+118.37	-	0	10.2285	-67.9652	461.038
1+139.5	21.13	21.13	10.2287	-67.9652	461.362
1+163	23.5	44.63	10.2289	-67.9653	460.351
1+195.9	32.9	77.53	10.2292	-67.9653	460.027
1+230.9	35	112.53	10.2295	-67.9654	461.695
1+257	26.1	138.63	10.2297	-67.9654	464.135
1+287.5	30.5	169.13	10.2300	-67.9655	465.615

1+320.4	32.9	202.03	10.2303	-67.9655	465.194
1+349.6	35.2	237.23	10.2306	-67.9656	465.242
1+390.9	35.3	272.53	10.2309	-67.9656	464.219
1+423.8	32.9	305.43	10.2312	-67.9657	465.853
1+454.3	30.5	335.93	10.2315	-67.9657	466
1+482.5	28.2	364.13	10.2317	-67.9658	465.073
1+499.81	17.31	381.44	10.2319	-67.9658	464.207

### Data Topográfica Del Tramo I2-I3.



Fuente: González y Lara (2021).

1+499.81	-	0	10.232	-67.9658	464.207
1+527.2	27.39	27.39	10.232	-67.9658	464.728
1+550.1	22.9	50.29	10.232	-67.9659	465.338
1+583.5	33.4	83.69	10.232	-67.9659	465.453
1+611.7	28.2	111.89	10.233	-67.9659	465.371

1+637.6	25.9	137.79	10.233	-67.966	463.104
1+665.8	28.2	165.99	10.233	-67.966	462.489
1+691.6	25.8	191.79	10.233	-67.9661	462.755
1+724.5	32.9	224.69	10.234	-67.9661	463.057
1+752.7	28.2	252.89	10.234	-67.9662	463.705
1+780.9	28.2	281.09	10.234	-67.9662	463.862
1+804.4	23.5	304.59	10.234	-67.9663	463.756
1+834.9	30.5	335.09	10.235	-67.9663	465.464
1+860.8	25.9	360.99	10.235	-67.9663	466
1+886.6	25.8	386.79	10.235	-67.9663	465.75
1+914.8	28.2	414.99	10.235	-67.9663	464.249
1+940.7	25.9	440.89	10.236	-67.9663	464
1+978.3	37.6	478.49	10.236	-67.9663	465.055
2+007.5	29.2	507.69	10.236	-67.9662	466
2+039.3	31.8	539.49	10.236	-67.9661	465.957
2+065.2	25.9	565.39	10.237	-67.966	464.822
2+091	25.8	591.19	10.237	-67.9659	462.94
2+119.2	47	638.19	10.237	-67.9657	462
2+145.1	35.3	673.49	10.237	-67.9655	461.938
2+175.6	2.3	675.79	10.238	-67.9653	461.835
2+201.5	25.9	701.69	10.238	-67.9653	460.724
2+229.6	28.1	729.79	10.238	-67.9652	459.565
2+257.8	28.2	757.99	10.238	-67.965	458.716
2+290.7	32.9	790.89	10.238	-67.9649	459.779
2+318.9	28.2	819.09	10.239	-67.9647	460
2+342.4	23.5	842.59	10.239	-67.9646	460.295
2+370.6	28.2	870.79	10.239	-67.9646	462.468
2+389.4	18.8	889.59	10.239	-67.9645	463.209
2+405.64	16.24	905.83	10.239	-67.9645	463.118

## PERFILES TOPOGRÁFICOS POR TRAMOS

### Perfil Topográfico Tramo I0-I1



Fuente: González y Lara (2021).

### Perfil Topográfico Tramo I1-I2



Fuente: González y Lara (2021).

### Perfil Topográfico Tramo I2-I3



Fuente: González y Lara (2021).

*Apéndice C: Registro Fotográfico del Tramo de estudio.*

**DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I – URBANIZACIÓN YUMA II,  
MUNICIPIO SAN DIEGO ESTADO CARABOBO.**

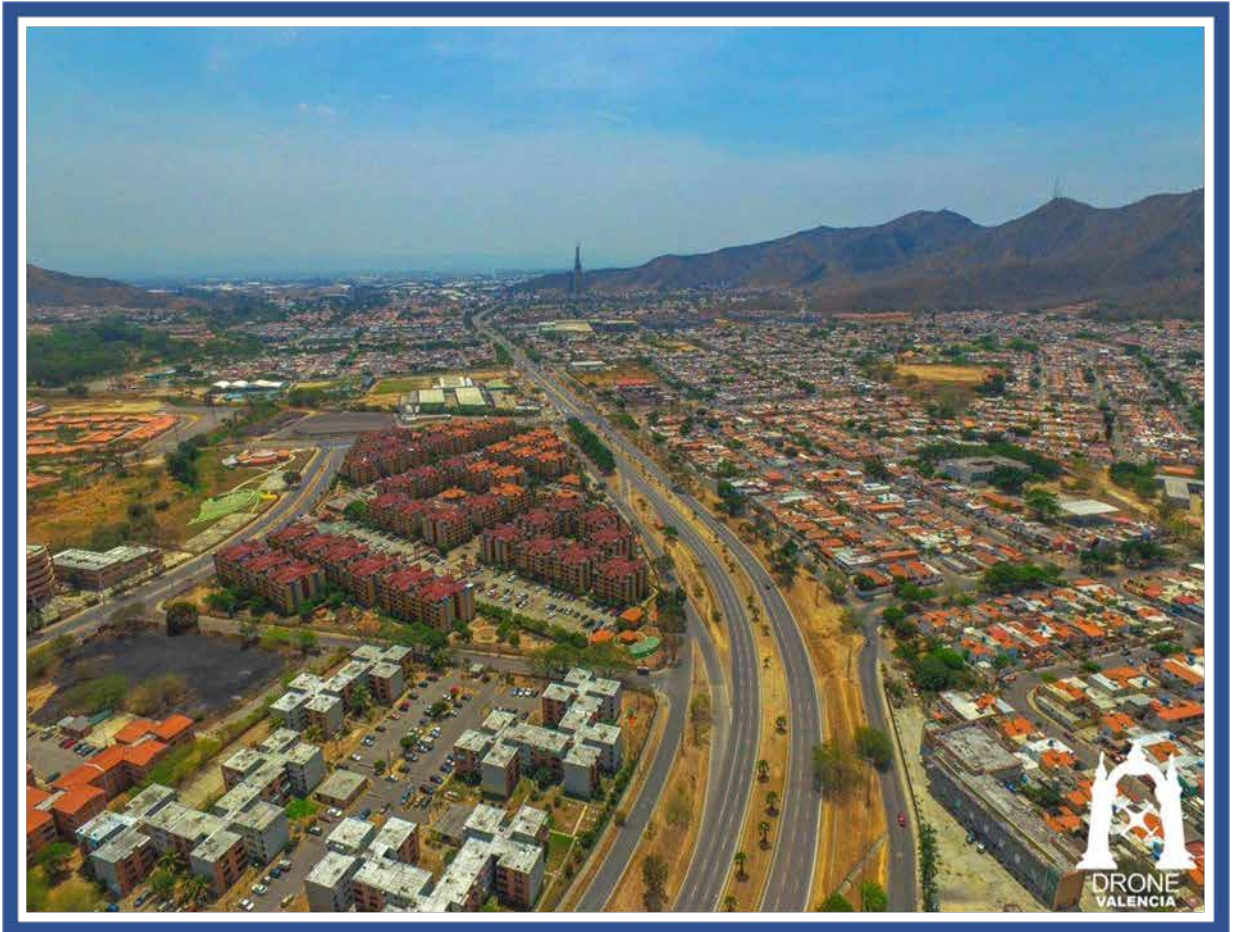
**Autor (es):** González C. Andrés E.  
C.I: 27.014.068  
Lara C. Santos S.  
C.I: 27.372.340

**San Diego, abril de 2021.**

**C1. INFORME FOTOGRÁFICO ARTERIAL No. 1 AVENIDA “DON JULIO CENTENO”**

**Vista Aérea No. 1 Av. Don Julio Centeno Sentido Norte-Sur.**

**Referencia I2: Urb. La Esmeralda (Poblado).**



**Fuente:** Twitter, Drone Valencia (2016).

**Vista de la Arterial No. 1 Av. Don Julio Centeno Sentido Sur-Norte.**

**Referencia: Tramo I0-I1 (Morro 1- Embotelladora municipal)**



**Fuente:** González y Lara (2021).

Nota: Se detalla sección transversal que cuenta con Isla Central; además se aprecia la presencia de Brocal cuneta en la isla central y partes de laterales de la vía.

**Vista de la Arterial No. 1 Av. Don Julio Centeno Sentido Sur-Norte.**

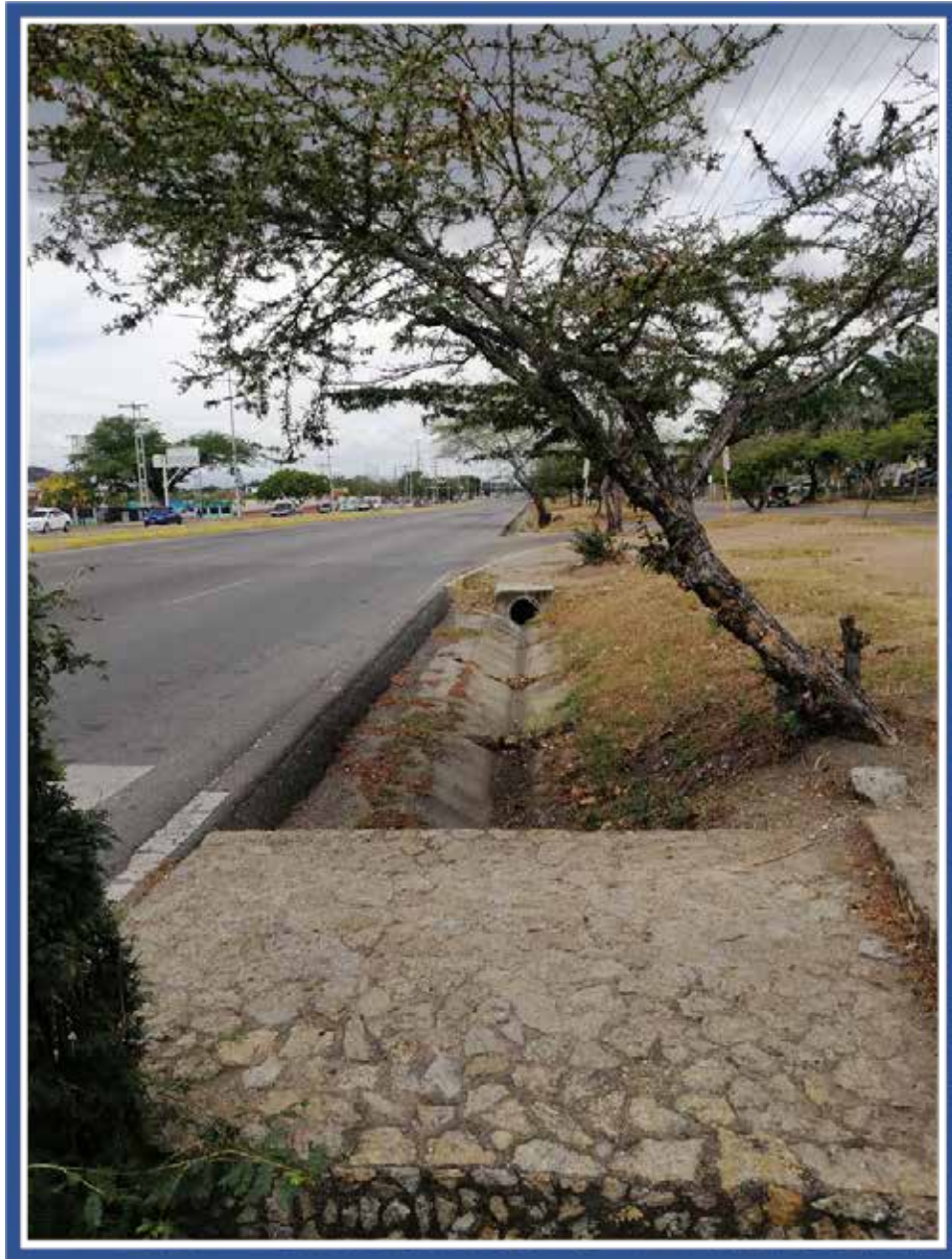
**Referencia: Intersección I1. Comienzo Tramo I1-I2 (Embotelladora municipal-Poblado de San Diego).**



**Fuente:** González y Lara (2021).

**Vista de la Arterial No. 1 Av. Don Julio Centeno Sentido Norte-Sur.**

**Referencia: Tramo I1-I2 (Embotelladora municipal-Poblado de San Diego).**



**Fuente:** González y Lara (2021).

**C2. INFORME FOTOGRÁFICO AFECTACIÓN POR INUNDACIONES EN ARTERIAL No. 1 AVENIDA “DON JULIO CENTENO” Y ZONAS ALEDAÑAS.**

**Afectación por anegación de la Avenida “Don Julio Centeno. Tramo I0-I1 (Morro 1- Embotelladora municipal).**



**Fuente:** González y Lara (2020).

**Afectación por anegación de la Avenida “Don Julio Centeno. Tramo I0-I1  
(Morro 1- Embotelladora municipal).**



**Fuente:** González y Lara (2020).

## Ubicación Geográfica

## Ubicación Nacional



## Av. Don Julio Centeno

Tramo de estudio Urb. Morro I - Yuma II

## Ubicación Municipal



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SANEAMIENTO EN ALIADAD DE  
LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN YUMA II.

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARRIBOBO.

CONTENIDO:  
**PLANO UBICACIÓN  
GEOGRÁFICA.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
9.27.372.549

FECHA:  
ABRIL 2013

HOJA:  
**A4**

PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
9.27.81.086

TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL ARBINA

Nº:  
**1**

# Situación Ubicación

## Av. Don Julio Centeno

Tramo de estudio Urb. Morro I - Yuma II



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SORBERENAJE EN VIALIDAD DE  
LA  
AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN YUMA II

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO

CONTENIDO:  
**PLANO SITUACIÓN  
UBICACIÓN**

PROYECTISTA:  
ANDRÉS LARA  
V-17.571.546

PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V-17.81.688

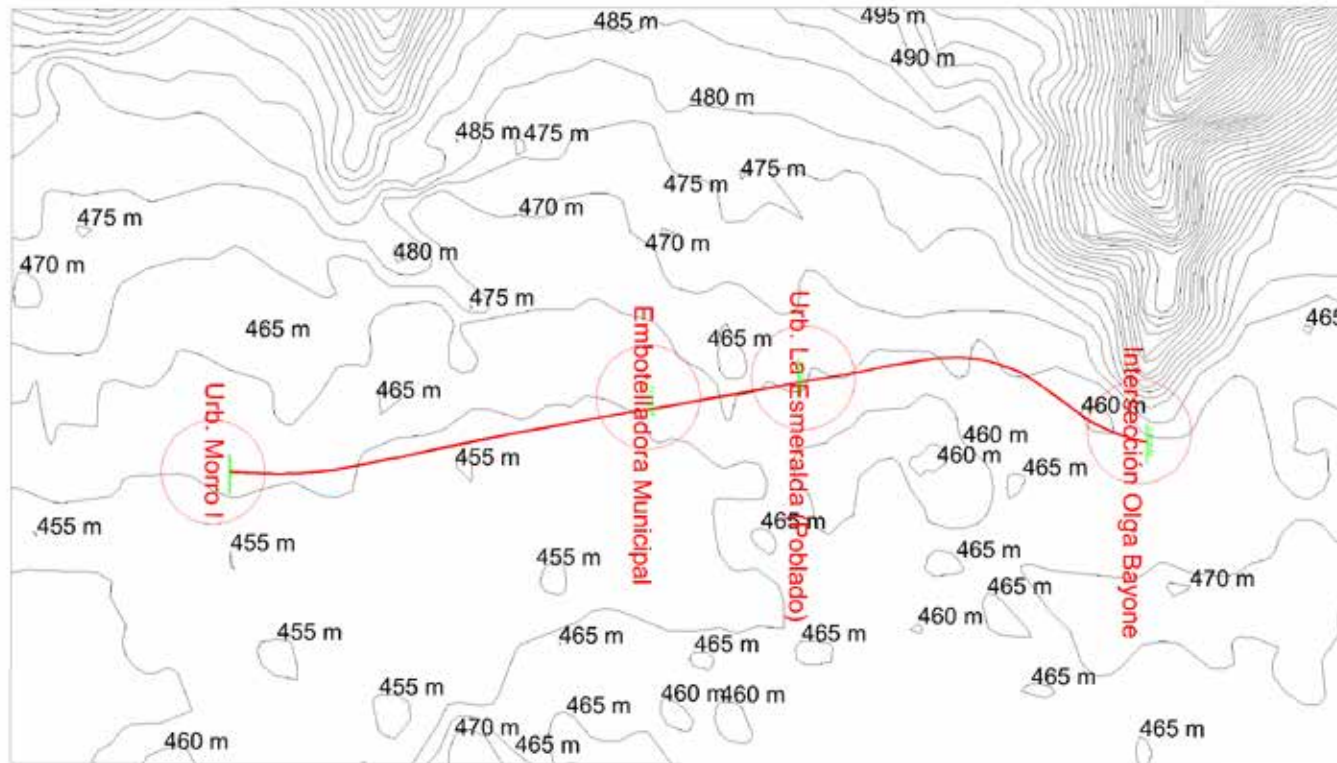
FECHA:  
ABRIL-2021

TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CRISTÓBAL ANGEL MEDINA

HOJA:  
A4

Nº:  
2

## CURVAS DE NIVEL



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SURENSAJE EN VIALIDAD DE  
LA  
AVENIDA DON JELIO CENTENO FRAMIO DE ESTUDIOS  
URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN VIAL

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CABAHOBO

CONTENIDO:  
**PLANO DE ELEVACIÓN  
Y CURVAS DE NIVEL.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
V.17.02.048

PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V.17.04.006

FECHA:  
ABRIL, 2017

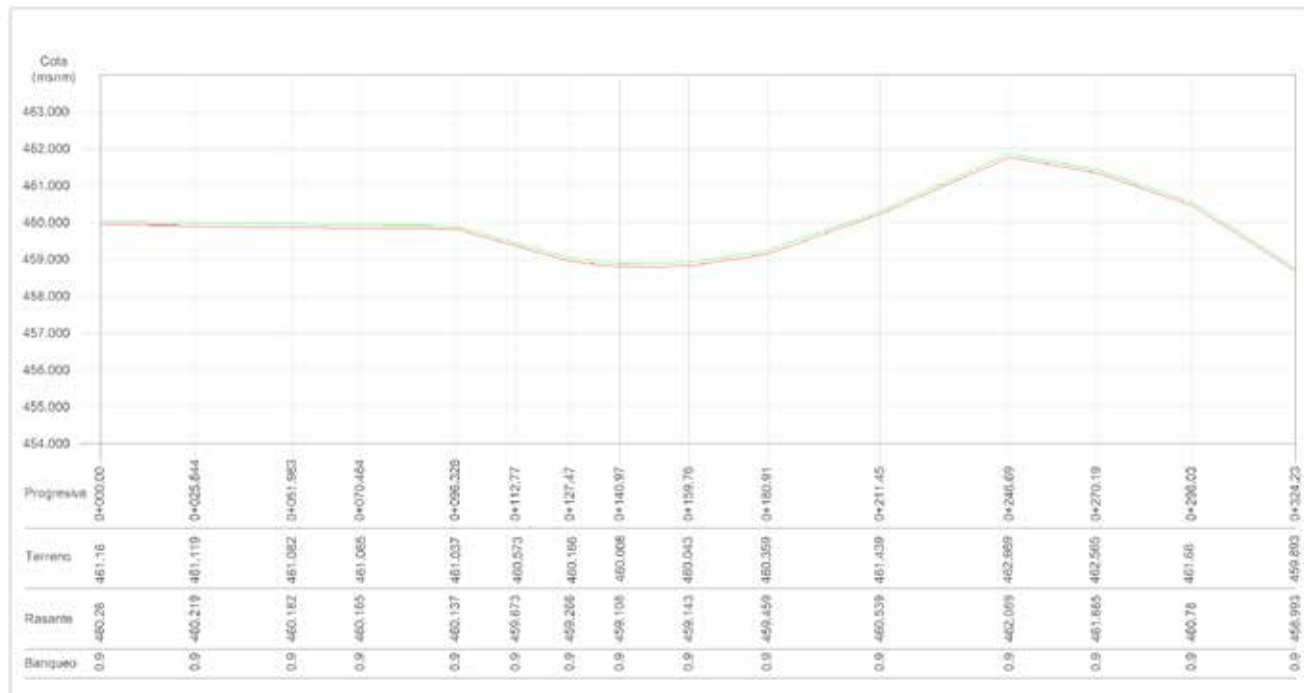
TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

HORA:  
A4

Nº:  
11

# I0: MORRO 1 I1: EMBOTELLADORA MUNICIPAL

Progresiva 0+000 - 0+324.23



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN CALIDAD DE  
LA  
AVENIDA RON JESÚS CANTERO TRAMO DE COTUDO  
URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN VIALIE.

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CAVABORO.

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL  
DEL SISTEMA DE  
SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
C-27,372,348

FECHA:  
ABRIL, 2020

HOJA:  
A4

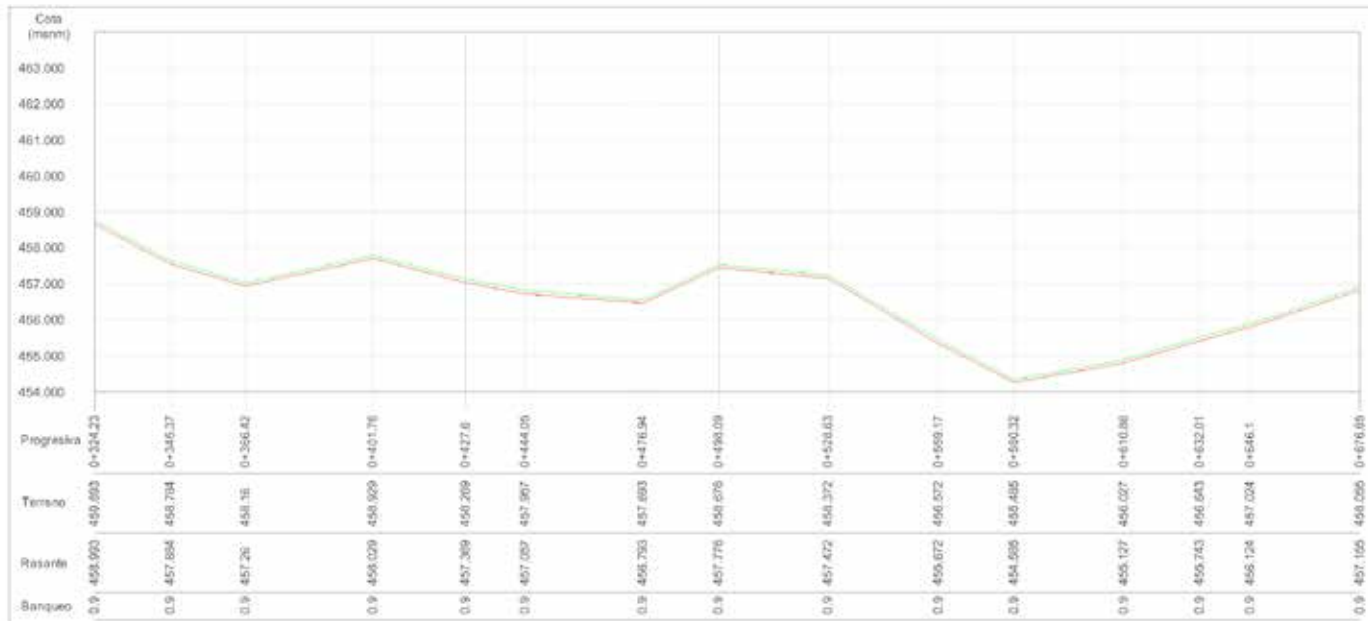
PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
C-27,814,868

FUJOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

Nº:  
3

# I0: MORRO 1 I1: EMBOTELLADORA DEL MUNICIPIO

Progresiva 0+324.23 - 0+676.65



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN CALIDAD DE  
LA  
AVENIDA DOS JELO CENTRO TRAMO DE ESTUDIO  
URBANIZACION EL MORRO I - URBANIZACION VASTAR.

UBICACION:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO.

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL  
DEL SISTEMA DE  
SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
V-27.812.688

FECHA:  
ABRIL 2021

HOJA  
**A4**

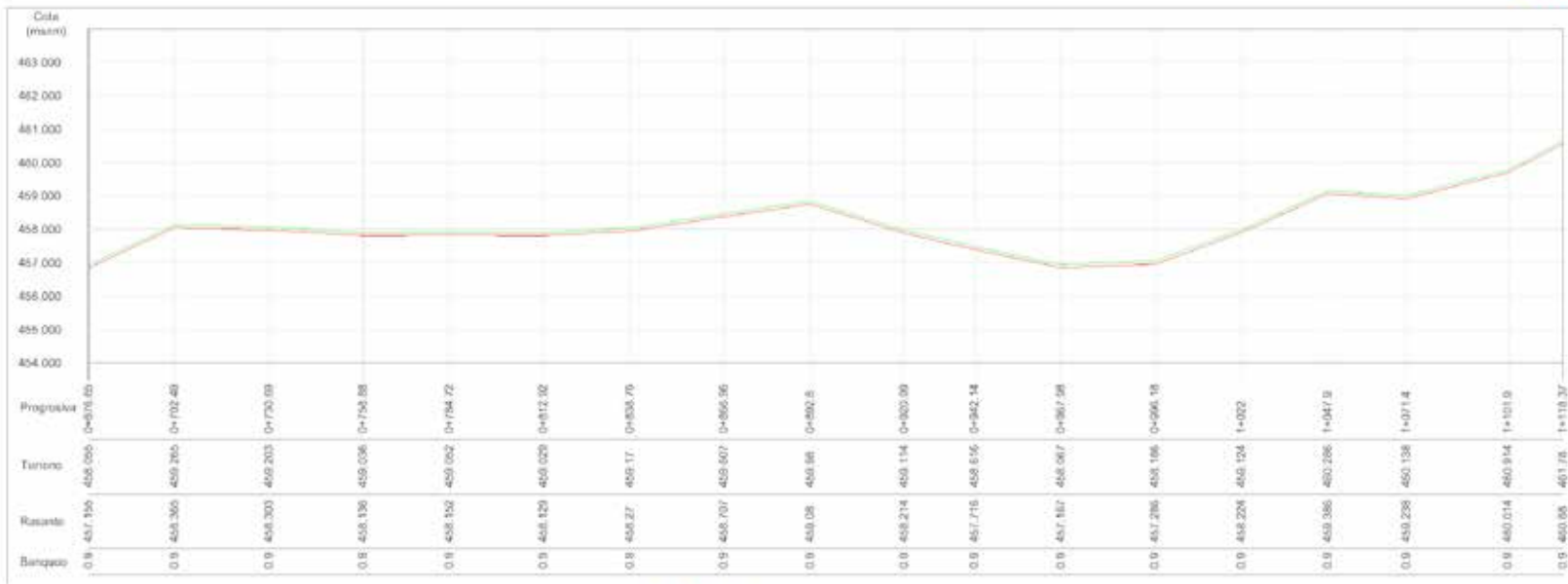
PROYECTISTA  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V-27.814.668

TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

Nº  
**4**

# I0: MORRO 1 I1: EMBOTELLADORA DEL MUNICIPIO

Progresiva 0+676.65 - 1+118.37



PROYECTO:  
DISEÑO DE RED DE SUELOS Y EXISTENCIAS DE  
LA  
AVENIDA DON JULIO CECILIO TRAMÓ DE CUBERO -  
URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN Y URB.

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBA.

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL  
DEL SISTEMA DE  
SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
V.21.722346

PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V.27.80404

FECHA:  
ABRIL 2021

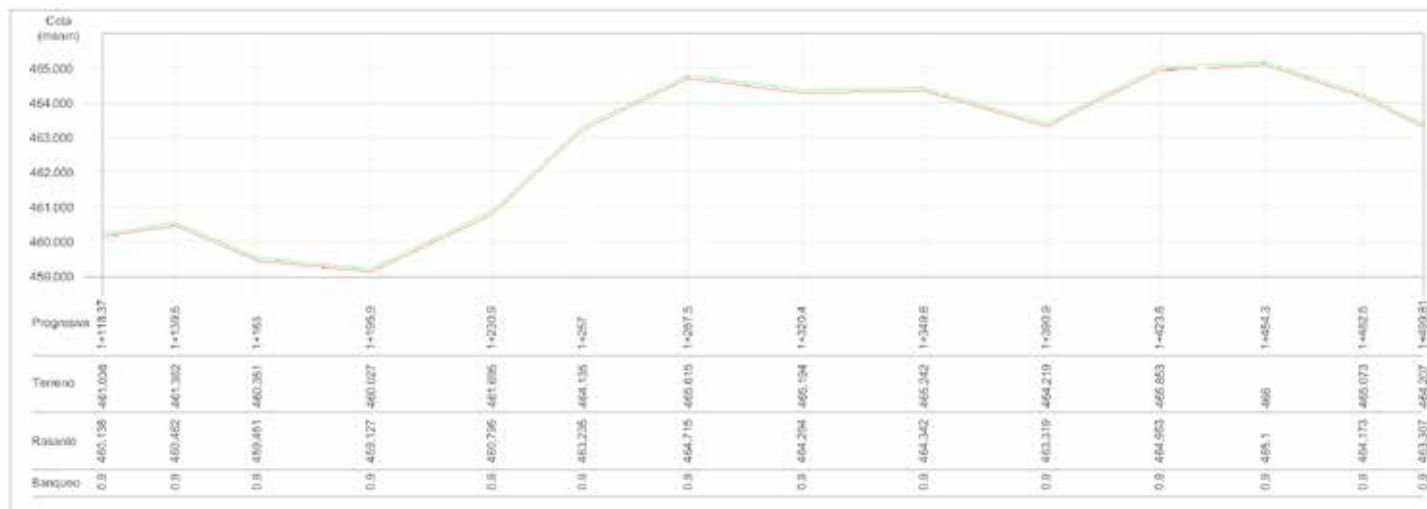
TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

HOJA:  
**A4**

Nº:  
**5**

# I1: EMBOTELLADORA DEL MUNICIPIO I2: POBLADO DE SAN DIEGO

Progresiva 1+118.37 - 1+499.81



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VALLE DE LA AVENIDA DON JULIO CESTENO TRAMO DE ESTUDIOS URBANIZACIÓN EL MORRÓN - URBANIZACIÓN VIGOR

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARRIBORÓ

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LABA  
V.25.372.148

PROYECTISTA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V.25.41.084

FECHA:  
ABRIL 2021

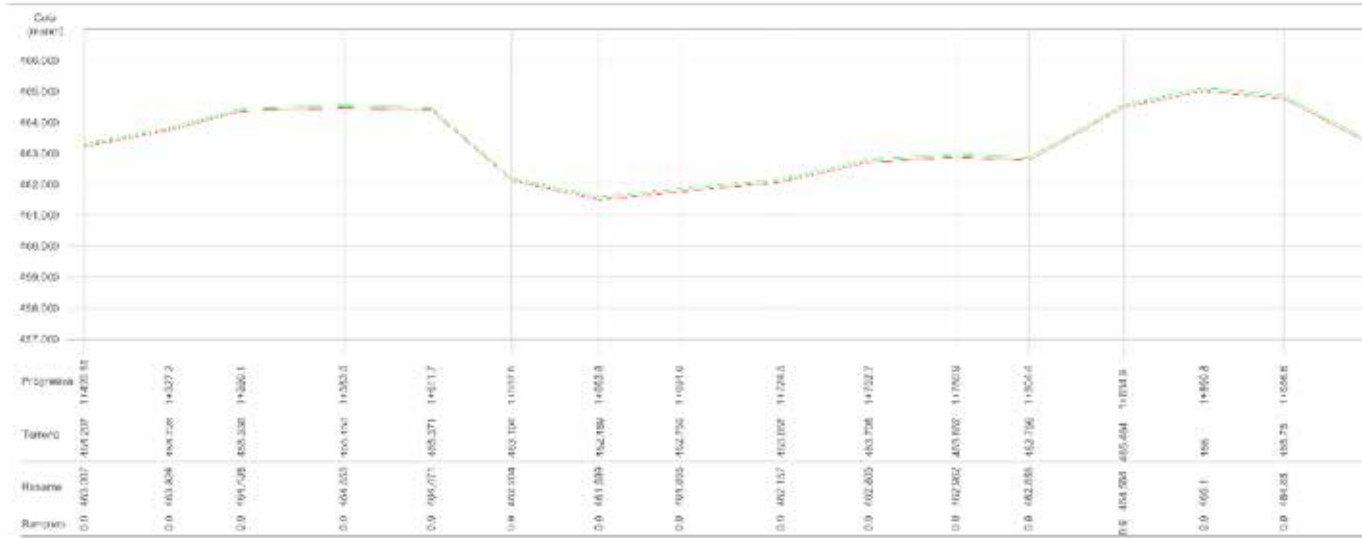
TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

BOJA:  
**A4**

Nº:  
**6**

# I2: POBLADO DE SAN DIEGO I3: OLGA BAYONE.

Progresiva 1+499.81 - 1+914.48



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJE PARA EL POBLADO DE SAN DIEGO Y OLGA BAYONE EN EL MUNICIPIO DE SAN DIEGO, ESTADO DE COLOMBIA.

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS CARRERA  
7-2725248

CLIENTE:  
MUNICIPIO

HOJA:  
A4

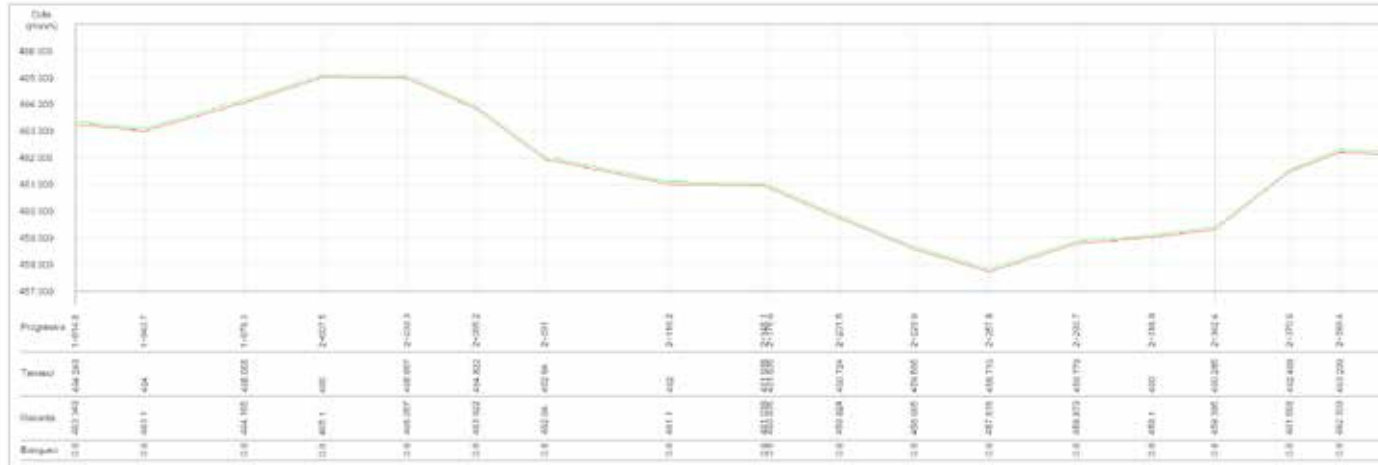
PROYECTISTA:  
INGENIERO CONSULTOR  
7-2725248

PROYECTO ASESORADO POR:  
ING. CIVIL ANGEL MORENO

Nº:  
7

# I2: POBLADO DE SAN DIEGO I3: OLGA BAYONE.

Progresiva 1+914.48 - 2+405.64



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE EN VIALIDAD DE  
LA AVENIDA DON JULIO CENTENO TRAMO DE ESTUDIO:  
URBANIZACIÓN EL NOROCCIDENTAL - URBANIZACIÓN VÍA II

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO.

CONTENIDO:  
**PERFIL LONGITUDINAL  
DEL SISTEMA DE  
SUBDRENAJE.**

PROYECTISTA:  
SANTOS LARA  
V-27.372.346

FECHA:  
ABRIL, 2021

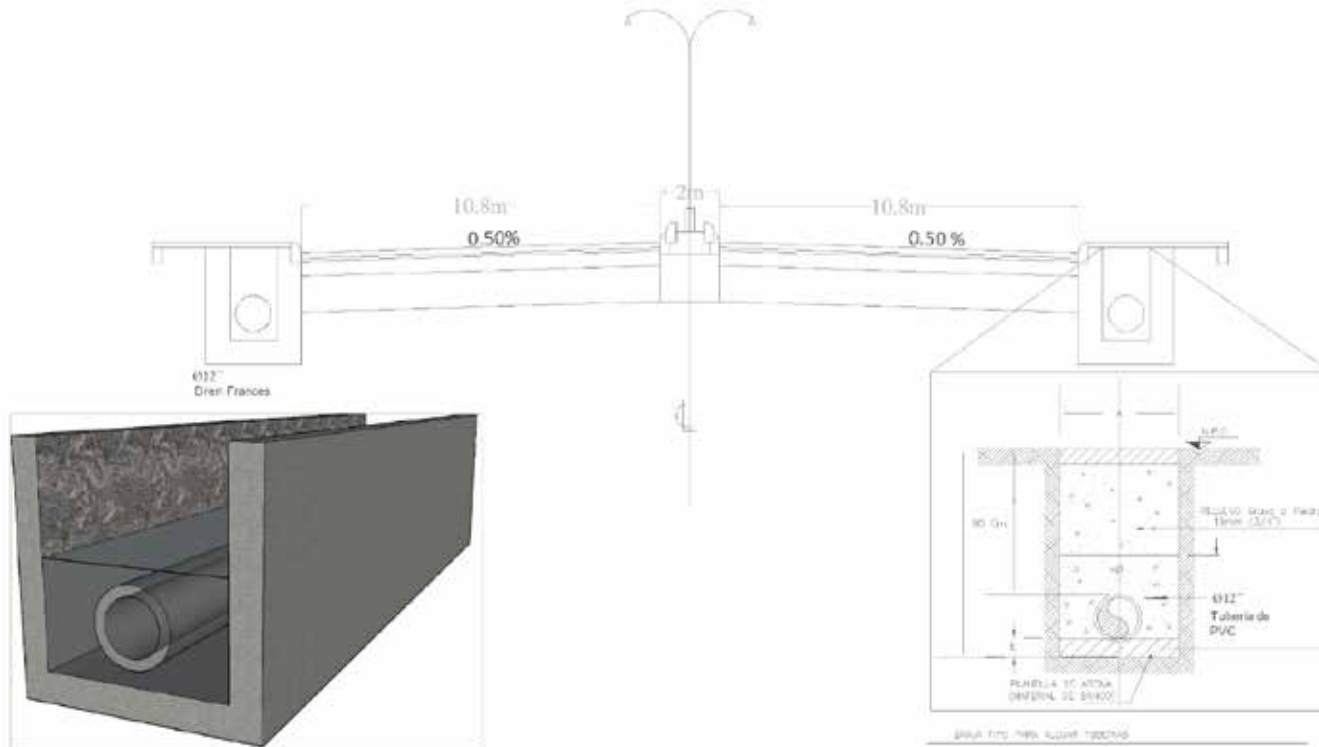
HOJA:  
**A4**

PROFESOR:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V-27.854.868

TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL ARDENA

Nº:  
**8**

# Detalle del Subdrenaje



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE DRENADAJE EN VEREDAS DE  
LA  
AVENIDA DE LOS JUECES CENTRO TRAMO DE ESTUDIO  
URBANIZACIÓN EL MORRO 1 - URBANIZACIÓN VEGA

UBICACIÓN:  
MUNICIPALIDAD DE SAN JOSÉ DE LOS RÍOS

CONTENIDO:  
**PERFIL DE SECCIÓN  
TRANSVERSAL CON  
DETALLE.**

PROYECTO DE:  
SANTOS LARA  
V-23.372346

PROYECTO DE:  
SANTOS LARA  
V-23.372346

FECHA:  
13/01/2019

ELABORACIÓN:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

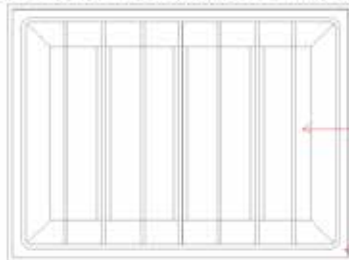
HOJA:  
A4

Nº:  
9

**I0: MORRO 1.  
I3: OLGA BAYONE (Yuma II).**



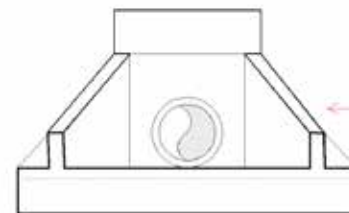
**DETALLES DE TANQUILLA DE AGUAS PLUVIALES**



TAPA DE CONCRETO

PROTECCION MURO DE TANQUILLA

**DETALLES DE DESCARGA DESDE TANQUILLA AL RIO**



OBRA DE SALIDA



PROYECTO:  
DISEÑO DE SISTEMA DE SOBRESALID EN VIALIDAD DE LA AVENIDA DON JULIO CESTENO TRAMPO DE ESTUDIO URBANIZACIÓN EL MORRO I - URBANIZACIÓN YUMA II.

UBICACIÓN:  
MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO.

CONTENIDO:  
**PLANO DETALLE DE TANQUILLA.**

PROYECTIVIA:  
SANTOS LARA  
V-27.371346

FECHA:  
ABRIL, 2021

HUJA:  
**A4**

PROYECTIVIA:  
ANDRÉS GONZÁLEZ  
V-27.01486

TUTOR ACADÉMICO:  
ING. CIVIL ANGEL MEDINA

Nº:  
**10**