



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS  
SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL  
AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN  
MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ

**TUTOR:**

ING. GUIDO ORTIZ SAFADI MSc.

**La Libertad - Ecuador**

2023



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS  
SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL  
AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN  
MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ

**TUTOR:**

Ing. GUIDO ORTIZ SAFADI MSc.

**La Libertad - Ecuador**

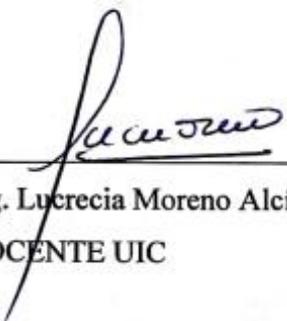
2023

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.  
DIRECTOR DE CARRERA

f.   
Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi MSc.  
DOCENTE TUTOR

f.   
Ing. Néstor Orrala Vera MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA

f.   
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.  
DOCENTE UIC

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN** y **MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. 

Mendoza Gómez Andrés Ramón

C.I. 0923263263

AUTOR DE TESIS

f. 

Mendoza Orrala Diego Josué

C.I. 2450565722

AUTOR DE TESIS

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

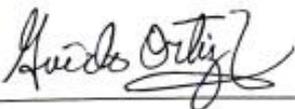
Ing. Guido Ortiz Safadi MSc.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por los SRS. **MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN** y **MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

f. 

Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi MSc

C.I. 0904149481

DOCENTE TUTOR

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

*Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.*  
*Celular: 0962183538*  
*Correo: [bettyruthgomez@educacion.gob.ec](mailto:bettyruthgomez@educacion.gob.ec)*

## CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA"**, de los estudiantes: **MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN** y **MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 27 de Noviembre del 2023



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.  
CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS  
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Facultad de  
Ciencias de la Ingeniería  
*Ingeniería Civil*

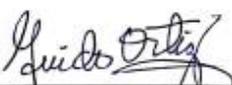
La Libertad, 28 de septiembre del 2023

## CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO DOCENTE TUTOR GUIDO ORTIZ SAFADI

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA", elaborado por MENDOZA GÓMEZ ANDRÉS RAMÓN y MENDOZA ORRALA DIEGO JOSUÉ con C.I. 0923263263 y 2450565722 respectivamente, estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f. 

Ing. Guido Ortiz Safadi MSc

C.I. 0904149481

DOCENTE TUTOR



## **DEDICATORIA**

A mi madre Gisella, a mi padre Pedro y hermanos que han sido un pilar muy importante mostrándome un apoyo incondicional desde que empecé la carrera.

*ANDRÉS RAMÓN MENDOZA GÓMEZ*

De manera muy especial se la dedico a mi madre Narcisa que es mi ángel en el cielo. A mi hermana Jazmín que me ha brindado su apoyo incondicional siempre.

*DIEGO JOSUÉ MENDOZA ORRALA*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi primer agradecimiento es Gracias a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza de seguir adelante, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí. Al Ingeniero Guido Ortiz por ser nuestro docente tutor y guía del presente trabajo de titulación brindándonos sus conocimientos. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes a su inmensa bondad y apoyo, les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

***ANDRÉS RAMÓN MENDOZA GÓMEZ***

Principalmente a Dios por brindarme salud y sabiduría a lo largo de esta carrera. A mi mamá Narcisa y abuelo Máximo por todo el tiempo que estuvieron conmigo compartiendo sus experiencias. A mis hermanos Jazmín y Ricardo por todo el apoyo incondicional y económico durante toda la carrera. A Stalin Mendoza por todo el apoyo moral e incondicional. Al ingeniero Guido Ortiz por ser el docente tutor y guía del presente trabajo de titulación compartiendo sus conocimientos. A mi colega y amigo Gregorio Basurto por todo el apoyo brindado, a mis amigos José, Doddy, Gabriel, Allan, Andrés y compañeros de aula que me han brindado su apoyo.

***DIEGO JOSUÉ MENDOZA ORRALA***

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	iv
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	v
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	vi
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
TABLA DE CONTENIDO.....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xvi
LISTA DE TABLAS .....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.2. ANTECEDENTES .....	3
1.3. HIPÓTESIS .....	7
1.3.1. Hipótesis General.....	7
1.3.2. Hipótesis específicas.....	7
1.4. OBJETIVOS .....	8
1.4.1. Objetivo General.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. ALCANCE .....	8
1.6. VARIABLES.....	8

1.6.1. Variables independientes. ....	8
1.6.2. Variables Dependientes. ....	8
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.    HIDROLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. Cuenca hidrográfica. ....	9
2.1.1.1. Función hidrológica.....	9
2.1.1.2. Afluentes.....	10
2.1.1.3. Densidad de drenaje.....	11
2.1.1.4. Delimitación de las cuencas. ....	11
2.1.1.5. Superficie de la cuenca.....	11
2.1.1.6. Pendiente de la cuenca. ....	11
2.1.1.7. Clasificación por su tamaño. ....	12
2.1.2. Nivel freático. ....	12
2.1.3. Precipitación.....	13
2.1.4. Infiltración.....	13
2.1.5. Escorrentía. ....	14
2.1.6. Método racional. ....	14
2.1.7. Coeficiente de Escorrentía (C) de las Áreas de Drenaje. ....	15
2.1.8. Cobertura Vegetal.....	16
2.1.9. Permeabilidad. ....	16
2.1.10. Pendiente Media (s). ....	16
2.1.11. Coeficiente C. ....	16
2.1.12. Tiempo de Concentración (tc). ....	17
2.1.13. Caudal Tributado por las Cunetas.....	17
2.1.14. Caudal Tributado por Cuencas y Subcuencas. ....	17
2.1.15. Caudal Total a Puntos de Drenaje Principales. ....	17
<b>2.2.    HIDRÁULICA</b> .....	<b>18</b>
2.2.1. Aplicaciones de la Hidráulica en Ingeniería Civil.....	18

2.2.2. Área hidráulica (Ah).....	18
2.2.3. Perímetro mojado (Pm).....	19
2.2.4. Radio hidráulico.....	19
2.2.5. Hidráulica de los drenajes.....	20
2.2.6. Velocidad de flujo. ....	20
2.2.7. Cunetas y zanjas de coronación.....	20
2.2.8. Tipos de cuneta.....	21
2.2.9. Canales en rápidas. ....	23
2.2.10. Contracuneta.....	23
2.2.11. Bombeo normal. ....	24
2.2.12. Pendiente.....	25
2.2.13. Subdrenaje.....	25
2.2.14. Velocidad de flujo. ....	25
2.3. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	26
2.3.1. Caudal de Diseño para Alcantarilla Circular. ....	26
2.3.2. Caudal de Diseño para Alcantarilla Ducto Cajón. ....	26
2.3.3. Control del Flujo de Entrada en las Alcantarillas. ....	26
2.3.4. Control del Flujo de Salida en las Alcantarillas. ....	27
2.3.5. Curvas intensidad – Duración– Frecuencia (IDF).....	27
2.3.6. Software Q-GIS.....	28
2.3.7. Software Culvert Hydraulic Analysis Program.....	28
3. CAPITULO III: METODOLOGIA .....	29
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	29
3.1.1. Tipo. ....	29
3.1.2. Nivel.....	29
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29

3.2.1. Método.....	29
3.2.2. Enfoque.....	30
3.2.3. Diseño.....	30
<b>3.3. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>30</b>
3.3.1. Población.....	30
3.3.2. Muestra.....	30
3.3.3. Muestreo.....	31
<b>3.4. UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5. METODOLOGÍA DEL O.E1.: DELIMITACIÓN ÁREAS DE DRENAJE (Q-GIS).....</b>	<b>32</b>
3.5.1. Cuencas hidrográficas.....	32
3.5.2. Taludes de corte.....	37
3.5.3. Calzada de vía.....	38
<b>3.6. METODOLOGÍA DEL O.E2.: CÁLCULO DE INTENSIDAD DE LLUVIA Y ESCORRENTÍA.....</b>	<b>39</b>
3.6.1. Precipitaciones diarias máximas.....	39
3.6.2. Precipitaciones máximas horarias.....	41
3.6.3. Fórmula de intensidad de lluvia.....	43
3.6.4. Coeficiente de Escorrentía (C) de las áreas de drenaje.....	44
3.6.5. Cobertura vegetal.....	45
3.6.6. Permeabilidad.....	46
3.6.7. Pendiente media (s).....	47
3.6.8. Coeficiente C.....	48
3.6.9. Cálculo de caudales probables.....	48
3.6.10. Tiempo de concentración ( $t_c$ ).....	49
3.6.11. Caudal tributado por las cunetas.....	49

3.6.12. Caudal tributado por cuencas y subcuencas.....	49
3.6.13. Caudal total a puntos de drenaje principales.....	49
<b>3.7. METODOLOGÍA DEL O.E3.: DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE .....</b>	<b>50</b>
3.7.1. Sección típica de cuneta.....	50
3.7.2. Caudal de diseño. ....	50
3.7.2.1. <i>Velocidad de diseño del flujo</i> .....	50
3.7.2.2. <i>Coefficiente de Manning (n)</i> .....	51
3.7.2.3. <i>Radio hidráulico (R)</i> . ....	51
3.7.3. Sección de cuneta. ....	52
3.7.4. Diseño de alcantarillas.....	53
3.7.5. Caudal de diseño para Alcantarilla Circular. ....	54
3.7.5.1. <i>Velocidad de diseño del flujo</i> .....	54
3.7.5.2. <i>Coefficiente de Manning</i> .....	54
3.7.5.3. <i>Radio Hidráulico</i> .....	54
3.7.5.4. <i>Sección de entrada de alcantarilla</i> . ....	55
3.7.6. Caudal de diseño para Alcantarilla Ducto Cajón. ....	56
3.7.6.1. <i>Velocidad de diseño del flujo</i> .....	57
3.7.6.2. <i>Coefficiente de Manning</i> .....	57
3.7.6.3. <i>Radio Hidráulico</i> .....	57
3.7.6.4. <i>Sección de entrada de alcantarilla</i> . ....	57
3.7.7. Control del flujo de entrada en las alcantarillas.....	58
3.7.8. Control del flujo de salida en las alcantarillas. ....	62
3.7.8.1. <i>Caso A</i> .....	65
3.7.8.2. <i>Caso B, C y D</i> . ....	67
<b>3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1. RESULTADOS DEL OE1: DATOS GEOGRÁFICOS DE LA REGIÓN ADYACENTE A LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR .....</b>	<b>73</b>

4.1.1. Datos de las cuencas hidrográficas.....	73
4.1.2. Datos de los cauces principales de las cuencas hidrográficas. ....	74
4.1.3. Datos de los taludes de corte. ....	74
<b>4.2. RESULTADOS DEL OE2: DATOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR .....</b>	<b>75</b>
4.2.1. Intensidades de lluvia. ....	75
4.2.2. Caudales tributados a cunetas. ....	76
4.2.3. Caudales tributados por las cuencas hidrográficas. ....	77
4.2.4. Caudales totales a alcantarillas. ....	78
<b>4.3. RESULTADOS DEL OE3: SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR .....</b>	<b>78</b>
4.3.1. Diseño de cuneta para taludes de corte. ....	78
4.3.2. Diseño de alcantarillas tubulares de concreto. ....	80
4.3.2.1. <i>Abscisa 4+440.</i> ....	81
4.3.2.2. <i>Abscisa 5+090.</i> ....	83
4.3.3. Diseño de alcantarillas de concreto tipo cajón. ....	85
4.3.3.1. <i>Abscisas 1+650 y 1+960.</i> ....	86
4.3.3.2. <i>Abscisas 3+710 y 6+840.</i> ....	87
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>90</b>
5.1.1. Estudio Topográfico (O.E.1). ....	90
5.1.2. Estudio Hidrológico (O.E.2). ....	90
5.1.3. Diseño del Sistema de Drenaje (O.E.3). ....	90
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

# LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Área Hidráulica (Ah) .....	<b>19</b>
<b>Figura 2</b> Perímetro mojado (Pm) .....	<b>19</b>
<b>Figura 3</b> Zanja de coronación .....	<b>21</b>
<b>Figura 4</b> Corte en Balcón .....	<b>22</b>
<b>Figura 5</b> Cortes en cajón .....	<b>22</b>
<b>Figura 6</b> Canales en rápida.....	<b>23</b>
<b>Figura 7</b> Talud de corte, cuneta, bombeo, corona.....	<b>24</b>
<b>Figura 8</b> Bombeo normal, partes de la sección transversal de una vía .....	<b>24</b>
<b>Figura 9</b> Infraestructuras subterránea (subdrenaje).....	<b>25</b>
<b>Figura 10</b> Ubicación de las comunas Sayá y El azúcar. Latitud: 540316.54 m E y Longitud: 9753362.68 .....	<b>31</b>
<b>Figura 11</b> Foto satelital del tramo de la vía Sayá – El Azúcar .....	<b>32</b>
<b>Figura 12</b> Carta topográfica MV-A4b, 3487 II NE para la región de Calicanto en Santa Elena.....	<b>33</b>
<b>Figura 13</b> Carta topográfica MV-A4a, 3487 II NW para la región de San Vicente en Santa Elena .....	<b>33</b>
<b>Figura 14</b> Capa ráster tipo DEM de la zona adyacente a la vía Sayá-El Azúcar .	<b>34</b>
<b>Figura 15</b> Ráster de la zona con detalle de los cauces hidrológicos que interceptan a la vía .....	<b>35</b>
<b>Figura 16</b> Perfil de elevación de la vía con los puntos de conexión de esta con los cauces de las cuencas hidrográficas .....	<b>35</b>
<b>Figura 17</b> Trazado de las cuencas hidrográficas de estudio adyacentes a la vía..	<b>36</b>
<b>Figura 18</b> DEM obtenidos del levantamiento topográfico y Ortofoto con los taludes trazados .....	<b>37</b>
<b>Figura 19</b> Mapa de cobertura vegetal de Santa Elena.....	<b>46</b>
<b>Figura 20</b> Permeabilidad de las rocas y sedimentos .....	<b>47</b>
<b>Figura 21</b> Diseño típico de cuneta.....	<b>50</b>
<b>Figura 22</b> Coeficiente de Manning para los diferentes materiales usados .....	<b>51</b>

<b>Figura 23</b> Parámetros calculados para las secciones mojadas de diferentes canales .....	<b>52</b>
<b>Figura 24</b> Modelo de sección de cuneta .....	<b>53</b>
<b>Figura 25</b> Sección de alcantarilla circular denotando el área de la sección mojada .....	<b>55</b>
<b>Figura 26</b> Esquema de diseño del cabezal de la alcantarilla.....	<b>56</b>
<b>Figura 27</b> Sección tipo cajón típica .....	<b>57</b>
<b>Figura 28</b> Caso típico que cuenta con flujo con control de entrada.....	<b>58</b>
<b>Figura 29</b> Caso típico que cuenta con flujo con control de entrada.....	<b>58</b>
<b>Figura 30</b> Tipo de entrada con cabezal y muros de ala.....	<b>59</b>
<b>Figura 31</b> Altura a la entrada para alcantarillas de tubos de concreto con control de entrada.....	<b>60</b>
<b>Figura 32</b> Altura a la entrada para alcantarillas de cajón con control de entrada	<b>61</b>
<b>Figura 33</b> Caso (a) de un flujo con control de salida.....	<b>63</b>
<b>Figura 34</b> Caso (a) de un flujo con control de salida.....	<b>63</b>
<b>Figura 35</b> Casos de escurrimiento con control de salida .....	<b>64</b>
<b>Figura 36</b> Coeficientes $K_e$ o $C_e$ para sección tubulares de concreto.....	<b>66</b>
<b>Figura 37</b> Coeficientes $K_e$ o $C_e$ para sección tubulares de concreto.....	<b>67</b>
<b>Figura 38</b> Altura de carga (H) para alcantarillas de tubos circulares de hormigón con escurrimiento lleno $n=0.012$ .....	<b>68</b>
<b>Figura 39</b> Altura de carga (H) para alcantarillas de cajón, con escurrimiento lleno $n=0.012$ .....	<b>69</b>
<b>Figura 40</b> Curvas IDF para los diferentes períodos de retorno.....	<b>75</b>
<b>Figura 41</b> Diseño de cuneta para taludes de corte de la vía Sayá – El Azúcar...	<b>79</b>
<b>Figura 42</b> Vista frontal.....	<b>81</b>
<b>Figura 43</b> Vista lateral .....	<b>81</b>
<b>Figura 44</b> Vista superior del cabezal de la alcantarilla .....	<b>81</b>
<b>Figura 45</b> Vista transversal de la sección longitudinal de la alcantarilla.....	<b>82</b>
<b>Figura 46</b> Vista frontal de la alcantarilla .....	<b>83</b>
<b>Figura 47</b> Vista lateral del cabezal.....	<b>83</b>
<b>Figura 48</b> Vista superior del cabezal de la alcantarilla .....	<b>84</b>
<b>Figura 49</b> Vista transversal de la sección longitudinal de la alcantarilla.....	<b>84</b>

<b>Figura 50</b> Vista frontal del cabezal de la alcantarilla tipo.....	<b>86</b>
<b>Figura 51</b> Vista superior del cabezal de la alcantarilla tipo cajón .....	<b>86</b>
<b>Figura 52</b> Vista lateral del cabezal de la alcantarilla tipo cajón.....	<b>86</b>
<b>Figura 53</b> Abscisa 1+650 .....	<b>87</b>
<b>Figura 54</b> Abscisa 1+960 .....	<b>87</b>
<b>Figura 55</b> Vista frontal del cabezal de la alcantarilla tipo cajón.....	<b>87</b>
<b>Figura 56</b> Vista superior del cabezal de la alcantarilla tipo cajón .....	<b>88</b>
<b>Figura 57</b> Vista lateral del cabezal de la alcantarilla tipo cajón.....	<b>88</b>
<b>Figura 58</b> Abscisa 3+710 .....	<b>89</b>
<b>Figura 59</b> Abscisa 6+840 .....	<b>89</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Clasificación de las principales Cuencas Hidrográficas del Ecuador.....	12
<b>Tabla 2</b> Rangos de Coeficiente de escorrentía.....	14
<b>Tabla 3</b> Puntos de drenaje, principales en la vía.....	36
<b>Tabla 4</b> Datos geométricos de la vía Sayá – El Azúcar.....	38
<b>Tabla 5</b> Datos de precipitación máxima en 24hr en mm.....	39
<b>Tabla 6</b> Coeficientes de Gumbel.....	40
<b>Tabla 7</b> Precipitaciones diarias máximas probables.....	41
<b>Tabla 8</b> Coeficientes de distribución para convertir lluvia diaria en horas de campos.....	41
<b>Tabla 9</b> Precipitaciones máximas horarias.....	42
<b>Tabla 10</b> Intensidad de lluvia por duración para cada período de retorno considerado.....	42
<b>Tabla 11</b> Coeficientes d y n para diferentes períodos de retorno.....	43
<b>Tabla 12</b> Regresiones potenciales realizadas para hallar k y m.....	44
<b>Tabla 13</b> Coeficientes de Escorrentía en función de la cobertura vegetal, permeabilidad y pendiente.....	45
<b>Tabla 14</b> Coeficiente de escorrentía de las áreas de drenaje en función de la cobertura vegetal presente, la permeabilidad del suelo y la pendiente.....	48
<b>Tabla 15</b> Dimensiones del cabezal de la alcantarilla en dependencia del diámetro de la tubería escogida.....	56
<b>Tabla 16</b> Operacionalización de variables independientes.....	71
<b>Tabla 17</b> Operacionalización de variables dependientes.....	72
<b>Tabla 18</b> Áreas de drenaje en el territorio de estudio.....	73
<b>Tabla 19</b> Datos de los cauces principales de las áreas de drenaje.....	74
<b>Tabla 20</b> Datos principales de los taludes de corte.....	74
<b>Tabla 21</b> Intensidades de lluvia en función del tiempo de duración y período de retorno.....	75

<b>Tabla 22</b> Caudales probables de cunetas a puntos de descarga, calculado para un Tr=100 años .....	<b>76</b>
<b>Tabla 23</b> Caudales probables proporcionados por el drenaje de las cuencas hidrográficas.....	<b>77</b>
<b>Tabla 24</b> Caudales probables totales a los puntos de drenaje a un Tr=100 años .	<b>78</b>
<b>Tabla 25</b> Datos generales de diseño de la cuneta para los taludes de corte .....	<b>79</b>
<b>Tabla 26</b> Cálculos hidráulicos de las alcantarillas tipo tubular de concreto .....	<b>80</b>
<b>Tabla 27</b> Cálculos hidráulicos de las alcantarillas tipo cajón de concreto .....	<b>85</b>

# **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LOS SISTEMAS DE DRENAJE EXISTENTES EN LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**Autores:** Andrés Ramón Mendoza Gómez  
Diego Josué Mendoza Orrala

**Tutor:** MSc. Guido Moisés Ortiz Safadi

## **RESUMEN**

Esta tesis aborda el diseño detallado de un sistema de drenaje completo destinado a la Vía Sayá - El Azúcar, con el objetivo de mitigar los problemas asociados con las inundaciones y mejorar la gestión del agua en la zona. El estudio se basa en un análisis exhaustivo de las condiciones hidrológicas y topográficas locales, considerando factores climáticos y de uso del suelo. Se emplean herramientas avanzadas de modelado hidráulico para evaluar escenarios de lluvia y determinar las capacidades de drenaje requeridas. La metodología adoptada integra principios de ingeniería hidráulica con enfoques sostenibles, promoviendo la gestión eficiente del agua y la reducción de impactos ambientales.

El diseño del sistema de drenaje considera la participación de las comunidades locales y autoridades pertinentes, fomentando un enfoque participativo y garantizando la aceptación y sostenibilidad a largo plazo. Se espera que la implementación de este sistema no solo reduzca la vulnerabilidad ante inundaciones, sino que también contribuya al desarrollo sostenible de la región, mejorando la calidad de vida de los residentes y protegiendo los recursos naturales. Este trabajo representa un aporte significativo al campo de la ingeniería hidráulica, ofreciendo una solución integral para abordar los desafíos específicos de drenaje en la Vía Sayá - El Azúcar.

**Palabras clave:** Hidrología, Hidráulica, precipitaciones, escorrentía, drenaje.

**“HYDRAULIC EVALUATION AND STUDY FOR EXISTING DRAINAGE SYSTEMS ON VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA”**

**Autores:** Andrés Ramón Mendoza Gómez  
Diego Josué Mendoza Orrala

**Tutor:** MSc. Guido Moisés Ortiz Safadi

**ABSTRACT**

This thesis delves into the meticulous design of a comprehensive drainage system tailored for Vía Sayá - El Azúcar, with the primary goal of alleviating issues associated with flooding and enhancing water management in the region. The study is grounded in a thorough analysis of local hydrological and topographical conditions, incorporating considerations for climatic factors and land use. Advanced hydraulic modeling tools are employed to assess rainfall scenarios and ascertain the requisite drainage capacities. The adopted methodology seamlessly integrates hydraulic engineering principles with sustainable approaches, advocating for the efficient management of water resources and the amelioration of environmental impacts. The drainage system design places paramount importance on the involvement of local communities and relevant authorities, fostering a participatory approach and ensuring long-term acceptance and sustainability. The anticipated outcome of implementing this system is not only the reduction of vulnerability to floods but also a substantial contribution to the sustainable development of the region. This includes the enhancement of residents' quality of life and the safeguarding of natural resources. This work stands as a significant contribution to the field of hydraulic engineering, providing a holistic solution to address the specific drainage challenges present in Vía Sayá - El Azúcar.

**Keywords:** Hydrology, Hydraulics, Precipitation, Runoff, Drainage.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los proyectos viales son componentes determinantes en promover el desarrollo socioeconómico y sostenible de países y regiones como un aspecto primordial de la infraestructura de carácter público (Lukpanov et al., 2022), más que cualquier otro tipo de transporte (Castañeda et al., 2022; Mohammadi et al., 2022), las redes eficientes y seguras de infraestructura son una herramienta pilar del desarrollo y contribuyen al crecimiento económico y brindando acceso a la salud, la educación, la vivienda y los negocios soportando el desarrollo social de áreas rurales (Lee y Yoon, 2021).

En las últimas décadas la construcción de carreteras ha ido en aumento (Qian et al., 2022), este sistema de transporte se compone por áreas de actividad, y diversos factores climáticos y atmosféricos ocasionando un nivel mayor de dificultad para el conductor (Gabr et al., 2022; Liu et al., 2020). El sistema de drenaje es el conjunto de obras que permite que los fluidos sean captados, conducidos y expulsados de la infraestructura vial (Zarabanda García et al., 2021) y estas estructuras hidráulicas son fundamentales para el control y manejo efectivo del agua en una vida (Alejandro Sanchez, 2009), el diseño adecuado del drenaje garantizará la vida útil y el estado de conservación del camino, donde el uso de los modelos se convierten en una herramienta útil en la evaluación de los sistemas de drenaje ante escenarios hidrológicos (Horta Brito y Pinos Plans, 2021). La recolección, encauzamiento y disposición de las aguas pluviales, tanto superficiales, como subterráneas (cortes de carretera, nivel freático elevado) es esencial para garantizar la estabilidad e integridad de una vía (Francisco et al., 2022).

Los efectos del cambio climático y la urbanización inciden en los procesos hidrológicos naturales de las cuencas aumentando la frecuencia de inundaciones (Jato-Espino et al., 2016), lo cual es de alta preocupación en zonas donde se han realizado construcciones que hacen que las escorrentías sean vulnerables a cambios (Franczyk y Chang, 2009). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son ampliamente utilizados para reproducir respuestas hidrológicas con precisión

(Guan et al., 2015; Temprano et al., 2007), y su delimitación y modelización son temas ampliamente abordados en literatura (Ando et al., 1984).

Con finalidad de cumplir con el objetivo propuesto, este trabajo se estructura de la siguiente manera: en el capítulo I se presenta el contenido preliminar de la investigación, describiendo la problemática, la revisión bibliográfica, las variables, objetivos e hipótesis, el capítulo II contiene la descripción de conceptos que componen el marco teórico y en el capítulo III y IV, la metodología desarrollada y los resultados obtenidos y la discusión, concluyendo con conclusiones y recomendaciones en el capítulo V.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Los pilares fundamentales del desarrollo socioeconómico y sostenible son el agua y las carreteras (Gabr et al., 2022), las ciudades se encuentran a la vanguardia del cambio climático y toman medidas como nunca antes, brindando una oportunidad de innovar ante riesgos y emergencias (Singh et al., 2021). Las condiciones climáticas tienen influencia en la construcción y operación de carreteras (Han y Pepin, 2019), la escorrentía tendrá un cierto impacto negativo en el medio (Qian et al., 2022). Eliminar el exceso de agua en la vía asegurando la eficiencia de la red de drenaje de natural es un desafío en el diseño del drenaje pluvial en el sector de transporte (Aranda et al., 2021).

La lluvia y el encharcamiento pueden causar situaciones de peligro para los usuarios considerando la reducción de visibilidad y la baja de coeficientes de fricción, además de que los sistemas de drenaje enfrentan limitaciones que se relacionan con el deterioro de la infraestructura reduciendo la calidad de los servicios prestados (Aranda et al., 2021; Francisco et al., 2022).

Es esencial destacar la relevancia de evaluar el sistema de drenaje en una vía o carretera, este aspecto adquiere una importancia significativa al considerar la necesidad de gestionar eficazmente el agua, que puede provenir de diversas fuentes, y que fluye tanto por la propia vía como por sus alrededores, garantiza la seguridad tanto de las personas que transitan por ella, como de las inversiones realizadas para lograr esta eficaz evacuación del agua; la calidad del sistema de drenaje y su diseño

óptimo son cruciales para asegurar la durabilidad de las infraestructuras viales en la actualidad, esta atención meticulosa a la calidad se ha convertido en una exigencia constante en la ingeniería civil moderna, Carrión Luzuriaga y Orellana Paucar (2016).

La sostenibilidad comprende que el desarrollo de proyectos satisfaga las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras y de acuerdo con Naciones Unidas (2018), la investigación se desarrolla en concordancia al decimoprimer objetivo de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” ubicando como meta “proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial”.

La formulación general del problema de investigación se encuadra en la siguiente interrogante general: ¿Qué cuencas aportantes incidirán en el diseño hidráulico de los sistemas de drenaje de la vía Sayá – El Azúcar? de ello se derivan tres problemas específicos (PE.):

**PE.1.** ¿Cuáles son las características geográficas de los sectores ubicados en la vía Sayá – El Azúcar?

**PE.2.** ¿Qué caudales se obtienen de la subcuenca adyacente al río del estudio hidrológico de la zona de estudio?

**PE.3.** ¿Qué diseño hidráulico del drenaje vial permite garantizar la integridad estructural de la vía?

## **1.2. ANTECEDENTES**

El presente proyecto de investigación involucra la gestión documental, que analizan de manera crítica la problemática que se aborda en investigaciones de carácter internacional, nacional y local (García Ramírez, 2019, 2021).

En el ámbito internacional, citamos el estudio realizado por Alejandro Sánchez (2009), titulado “Modelo hidrológico - hidráulico para evaluar un sistema de drenaje urbano en zonas planas” que plantea como objetivo evaluar el drenaje pluvial existente en la vía Ramón Antonio Medina de la ciudad de Coro en el estado

de Falcón en México mediante el método SWMM. La metodología aplica la evaluación hidráulica e hidrológica del drenaje que ya existía en la vía, con lo cual los resultados presentan una alternativa incorporando 4 sumideros de reja de calzada en tres sectores adyacentes y la modificación del diámetro del colector principal y el estudio titulado “Utilizar la recolección de agua de lluvia para proporcionar eficiencia en el transporte por carretera seguro y aumentar los recursos hídricos en el contexto del cambio climático” de los autores Gabr et al. (2022), su estudio se enfocó en analizar el impacto de las fuertes lluvias en la cantidad de tráfico en las carreteras y la velocidad promedio de circulación. Además, se propuso la implementación de un sistema de recolección de pozos de recarga como una fuente alternativa de agua dulce en un contexto de cambio climático. Para llevar a cabo este análisis, se seleccionó la autopista Cairo Autostorad como caso de estudio y se recopilaron datos climáticos y de tráfico desde 2008 hasta 2020. Los resultados del estudio indicaron que la carretera objeto de estudio tiene una longitud de aproximadamente 12 kilómetros y cuenta con alrededor de 40 estanques de agua a lo largo de su ruta, cada uno con un volumen estimado de agua de  $300 \text{ m}^3$ . Se sugirió la construcción de pozos de recarga con una capacidad máxima de recarga de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  y un factor de seguridad de 1,2 para captar el agua de lluvia. Estos pozos de recarga podrían eliminar el agua estancada en un período de 2,5 a 3,5 horas después de que haya cesado la lluvia.

Agregando la tesis de índole internacional de Coral Suarez y Carlosama (2021), con el título “Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda” en el análisis realizado, se llevaron a cabo evaluaciones hidrológicas e hidráulicas con el propósito de examinar cómo se comporta en la actualidad en relación a los estándares normativos vigentes, esto se logró mediante la utilización de cálculos matemáticos en conjunto con software especializados como AutoCAD y ArcGIS, el estudio demostró su importancia al comparar los resultados obtenidos al considerar factores necesarios para la región y la zona específica bajo estudio, como el período de retorno, el coeficiente de escorrentía y la intensidad de la lluvia, evaluada a través de las curvas IDF, teniendo como premisa determinar si la zona de estudio cumplía con los requisitos establecidos por las condiciones climáticas de la región.

De acuerdo con la tesis de los autores Del Río Cervantes y Forero Castiblanco (2021), titulado “Estudio hidrológico e hidráulico de la vía que conduce del corregimiento El Doce - al corregimiento Barro Blanco, zona rural del municipio de Tarazá, Antioquia” con el objeto de llevar a cabo una evaluación hidráulica para la captura, transporte, drenaje y disposición del agua de escorrentía superficial, se realizaron análisis físicos que abarcaron aspectos climáticos, de temperatura, precipitación y la geomorfología, con especial énfasis en la modelación de curvas IDF, en el cual se aplicaron el método racional y los polígonos de Thiessen para obtener resultados precisos, como resultado del estudio se obtuvo el análisis y se planificó la construcción de vías con estructuras hidráulicas, abarcando una longitud de 2095 metros en áreas específicas de la carretera. Estas áreas se subdividieron en zonas de excavación y relleno, se incluyeron la proyección de tres alcantarillas tipo cajón y siete alcantarillas circulares de 0.90 metros, además, se contempla la incorporación de siete revestimientos de enrocado tipo rip-rap.

En el ámbito nacional, se presentan el trabajo de titulación de Rodríguez Merchán y Calle Calva (2013), titulado “Diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal en la provincia de Cañar” donde mediante recopilación bibliográfica pretende plasmar en obra real el diseño de drenaje para la vía mencionada, utiliza conceptos teóricos en conjunto con empleo de herramientas computacionales como CAD y GIS para realizar los diseños hidráulicos, los resultados incluyen: determinación de cuencas y áreas de drenaje mediante el método racional que permiten la ubicación y colocación de alcantarillas.

También se enaltece el proyecto de titulación de Maldonado Leoro y Rodríguez Bravo (2012), titulado “Análisis de alternativas de diseño de drenaje vial con aplicación de programas computacionales” el estudio pretende realizar los diseños de las estructuras hidráulicas del paso lateral de la ciudad del El Carmen, una ciudad con pluviosidad alta, para lo cual se establecen las condiciones generales de la zona de influencia como: tipo de suelo, clima, pluviosidad, caudales de crecida, tipo de material a ser usado en terraplenes, áreas de aportación, caudales para obras de arte menor y caudales de crecida para ríos y esteros, así como su comportamiento en

diferentes épocas del año y grandes períodos. Para concluir se realiza el cálculo y diseño de las obras de drenaje a implementarse considerando la mejor alternativa y los estudios de socavación, así como el diseño de las obras de protección necesarias.

La tesis de grado realizada por los autores Bacuilima Illescas y Cedillo Orellana (2012), titulada “Estudio hidrológico para el diseño de una obra de drenaje mayor”, la investigación pretende realizar el estudio hidrológico aplicando métodos computacionales considerando características de la cuenca en estudio para el diseño de un puente, analizando métodos aplicables, área, manejo y control de calidad de la información disponible, usando una metodología basada en determinar los caudales de diseño para la cuenca de un área de 32316 Ha, con diferentes métodos, determinando de algunos parámetros utilizando ajustes estadísticos de datos obtenidos del INAMHI y ETAPA y otras instituciones.

Según la tesis de Carrión Luzuriaga y Orellana Paucar (2016) con el título “Estudio del sistema de drenaje para la vía Molleturo -Tres Marías- La Iberia, en la provincia del Azuay” Con el propósito de analizar y diseñar los componentes esenciales del sistema de drenaje, se llevaron a cabo dos evaluaciones fundamentales, en primer lugar, se realizó un análisis hidrológico de la zona donde se ubicará el proyecto, basándose en datos históricos obtenidos de estaciones pluviométricas cercanas, como segundo punto, se llevó a cabo un estudio hidráulico con el objetivo de determinar las dimensiones necesarias para garantizar la evacuación adecuada del flujo de agua, este proceso se respaldó en las metodologías de Manning, Racional Americano y Soil Conservation Service [SCS], apoyándose en herramientas computacionales disponibles, los resultados del estudio indican que se han cumplido con las normas y parámetros establecidos para el diseño, incluyendo los caudales manejados por cunetas y alcantarillas, la profundidad de socavación y el espacio disponible para el gálibo, que se determinaron a través de la modelización hidrológica del cauce correspondiente. Estos hallazgos no solo aseguran la eficacia en la ejecución del proyecto, sino que también demuestran que la implementación será económicamente viable.

En el ámbito local se han desarrollado diversos trabajos de titulación de diseño de vías que incluyen el diseño de drenaje mediante metodologías diversas como el

estudio de los autores Rosales Tigrero y Vera Orrala (2015), titulado “Estudio y diseño de la vía manantial de Colonche – Bambil Collao” donde se pretende elaborar el trazado y diseño de la vía con la justificación técnica, económica, financiera y ambiental que permita la comunicación entre las poblaciones de Manantial de Colonche Zona 2, Las Palmitas y Bambil Collao, donde realizaron conteos de tráfico y mejorar el trazado existente de la carretera mediante Civil 3D, el estudio hidráulico identificó cuencas de aportación y el diseño de alcantarillas que satisfagan el caudal establecido, concluyendo en los estudios para construcción de la vías incluyendo diseño geométrico, estudio de suelos, de drenaje e incluyendo adicionalmente los planos de señalización, el Plan de manejo ambiental y el presupuesto. Concluyendo en una comparación con una variación de caudales desde  $310,23 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $417,33 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis General.**

El estudio de las cuencas aportantes permitirá realizar el diseño hidráulico de los sistemas de drenaje de la vía Sayá – El Azúcar.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas.**

**H.E.1.:** El estudio topográfico de la comuna Sayá mediante software Q- GIS permitirá delimitar las cuencas aportantes.

**H.E.2.:** El estudio hidrológico de la zona mediante análisis de datos pluviales (sintéticos) permitirá determinar los caudales de la subcuenca adyacente al río.

**H.E.3.:** El diseño del sistema de drenaje vial permitirá garantizar la integridad estructural de la vía.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Diseñar el sistema hidráulico de drenaje en la vía Sayá – El Azúcar mediante el estudio hidrológico y geográfico de las cuencas y subcuencas aportantes para garantizar la estabilidad estructural de la misma.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

**O.E.1.:** Realizar el estudio topográfico de la región en donde se encuentra la vía Sayá – El Azúcar mediante el software informático Q-GIS para delimitar las cuencas aportantes.

**O.E.2.:** Efectuar el estudio hidrológico de la zona mediante análisis estadístico de los datos pluviales disponibles para determinar los caudales probables tributados por las cuencas, subcuencas y taludes de corte adyacentes a la vía de estudio.

**O.E.3.:** Diseñar un sistema de drenaje superficial y subterráneo eficiente para la vía Sayá – El Azúcar mediante los caudales probables calculados para garantizar la integridad estructural de la vía.

## **1.5. ALCANCE**

El estudio brindará el diseño hidráulico de los sistemas de drenaje de la carretera Sayá – El Azúcar.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variables independientes.**

- ✓ Características Geográficas de la región
- ✓ Datos hidrológicos de la región

### **1.6.2. Variables Dependientes.**

- ✓ Diseño del sistema de drenaje pluvial de la vía
- ✓ Caudales probables

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. HIDROLOGÍA**

#### **2.1.1. Cuenca hidrográfica.**

Se describe una cuenca hidrográfica como una región con características topográficas distintivas, por la cual fluye un río o una red interconectada de ríos, y que presenta una única vía de salida para permitir la evacuación de todo el flujo de agua que la atraviesa, las cuencas hidrográficas son comúnmente empleadas como unidades de planificación para la gestión de recursos hídricos, no obstante, es relevante destacar que las cuencas de ríos principales a menudo se componen de cuencas de menor tamaño, conocidas como ríos tributarios, en Ecuador, se introduce además el concepto de demarcación hidrográfica, que según la definición de la Unión Europea, abarca tanto áreas marinas como terrestres, compuestas por una o varias cuencas hidrográficas adyacentes, además de incluir las aguas subterráneas y costeras relacionadas (Vásconez et al., 2019).

##### ***2.1.1.1. Función hidrológica.***

La función hidrológica de una cuenca hidrográfica se manifiesta a través de una serie de procesos fundamentales que desempeña en el ciclo del agua. Estos procesos permiten gestionar eficazmente los recursos hídricos de una región y son vitales para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y la provisión de agua dulce para diversas necesidades humanas y naturales. Listando sus funciones, la cuenca hidrográfica actúa como un sistema de drenaje natural que recoge el agua de la precipitación, incluyendo la lluvia y la nieve, canalizándola hacia ríos, arroyos y cuerpos de agua dentro de su área de influencia, este proceso de drenaje es crucial para evitar inundaciones y regular el flujo de agua a lo largo del año.

Además, la cuenca hidrográfica juega un papel significativo en la recarga de dos fuentes de agua vitales, recargan las fuentes de agua subterránea, lo

que implica que parte del agua recolectada se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos subterráneos, reservorios naturales de agua que a menudo proporcionan agua potable y sostienen la irrigación de cultivos (Vásconez et al., 2019).

Así también recarga las fuentes de agua superficial, como ríos y lagos. El agua recogida fluye hacia estos cuerpos de agua, manteniendo su caudal y calidad, lo que es esencial para la vida acuática, la navegación y la recreación, colaborando a la gestión del agua de manera sostenible y garantizar su disponibilidad para usos diversos. A través de la recolección de la precipitación, la recarga de fuentes de agua subterránea y superficial, la cuenca desempeña un papel fundamental en la preservación de los recursos hídricos y el equilibrio ecológico de una región (Vásconez et al., 2019).

#### **2.1.1.2. Afluentes.**

Los afluentes de una cuenca hidrográfica son los ríos secundarios que desembocan en el curso de agua principal, uno de los desafíos más frecuentes se relaciona con la contaminación de sus aguas, en particular debido a actividades agrícolas y ganaderas, estos ríos pueden clasificarse en función de su presencia durante distintos períodos del año (Vásconez et al., 2019). Se pueden describir 3 tipos:

- i. Ríos Perennes: Mantienen un caudal de agua constante a lo largo de todo el año, siendo alimentados por aguas subterráneas, especialmente en épocas de sequía.
- ii. Ríos Intermitentes: Surgen durante las estaciones lluviosas y, por lo tanto, su caudal es variable a lo largo del año.
- iii. Ríos Efímeros: Se originan como respuesta inmediata a los periodos de precipitación y su existencia depende del escurrimiento superficial en el momento de las lluvias.

#### **2.1.1.3. Densidad de drenaje.**

Este parámetro se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua en una cuenca y su área total, en esencia, representa la longitud de los cauces de agua por unidad de superficie, su valor está influenciado principalmente por factores como la permeabilidad del suelo, el tipo de vegetación presente en la región y las condiciones climáticas imperantes en la zona (Vásconez et al., 2019).

#### **2.1.1.4. Delimitación de las cuencas.**

La delimitación de una cuenca hidrológica se define a través de sus características fisiográficas, que incluyen la pendiente, elevación, área, cauce, tipo de suelo y vegetación. Estos aspectos permiten categorizar la cuenca como grande o pequeña. Es importante destacar que la influencia de estas propiedades no se analiza necesariamente con el mismo criterio. Por lo tanto, en el análisis hidrológico, se deben concentrar los esfuerzos en cuencas de gran tamaño que ejerzan un efecto significativo en el almacenamiento dentro de la distribución de los cauces, (Cárdenas Arichábala y Idrovo Gordillo, 2023).

#### **2.1.1.5. Superficie de la cuenca.**

Representación de la superficie del área de la cuenca se plasma en una vista en planta, en la cual se reflejan los datos obtenidos tras delimitar la cuenca con sus características y parámetros específicos correspondientes, (Cárdenas Arichábala y Idrovo Gordillo, 2023).

#### **2.1.1.6. Pendiente de la cuenca.**

Este parámetro guarda una estrecha relación con la escorrentía, ya que guía la dirección del flujo de agua, determina la humedad presente en la superficie del suelo y cuantifica la contribución subterránea generada por las infiltraciones, (Cárdenas Arichábala y Idrovo Gordillo, 2023).

### 2.1.1.7. Clasificación por su tamaño.

La clasificación de cuencas hidrográficas en Ecuador se realiza en función de su área superficial, y se propone la siguiente categorización, (Vásconez et al., 2019): las cuencas muy grandes son aquellas con una superficie superior a 5000 km<sup>2</sup>, las cuencas grandes varían entre 2500 km<sup>2</sup> y 5000 km<sup>2</sup>, la cuenca intermedia grande en el rango de 500 km<sup>2</sup> a 2500 km<sup>2</sup>, se considera una cuenca pequeña si tienen una superficie que oscila entre 250 km<sup>2</sup> y 500 km<sup>2</sup> y una cuenca muy pequeña: con una superficie menor a 25 km<sup>2</sup>. En la *tabla 1* se detalla la clasificación de las Cuencas Hidrográficas del Ecuador siendo el río Cayapas una cuenca muy grande teniendo una superficie de 6080 km<sup>2</sup> de superficie.

**Tabla 1**

Clasificación de las principales Cuencas Hidrográficas del Ecuador

<b>Clasificación</b>	<b>Río</b>	<b>Superficie (km)<sup>2</sup></b>
<b>Muy grande</b>	Cayapas	6080
<b>Muy grande</b>	Guayllabamba	8232
<b>Grande</b>	Chone	2325
<b>Grande</b>	Quinindé	4134
<b>Intermedia grande</b>	San Juan	1185
<b>Intermedia grande</b>	Jama	1370
<b>Intermedia pequeña</b>	Estero Las Saibas	277
<b>Intermedia pequeña</b>	Milagro	342
<b>Pequeña</b>	Alao	108
<b>Pequeña</b>	Yanahurco	78
<b>Muy pequeña</b>	Marcos	23
<b>Muy pequeña</b>	Blanco	18

*Nota.* Tomado de Vásconez et al., (2019)

### 2.1.2. Nivel freático.

El nivel freático se define como la superficie en la cual la presión del agua iguala la presión atmosférica en puntos específicos. Este fenómeno ocurre después de la infiltración de la precipitación en el suelo, dando lugar a la saturación de las capas según la cantidad de líquido absorbido. Como resultado, se establece una línea divisoria que delimita el nivel freático del terreno, (Cárdenas Arichábala y Idrovo Gordillo, 2023).

### 2.1.3. Precipitación.

La precipitación se define como toda forma de humedad que se origina en las nubes y llega a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo o nieve, el tipo de precipitación que se experimenta depende de una serie de factores, como la latitud, altitud, corrientes marinas, vientos predominantes y obstáculos geográficos, esta variable climática se mide en milímetros o litros por metro cuadrado de superficie, y desempeña un papel fundamental en cada zona al determinar el dimensionamiento de las estructuras necesarias para gestionar el agua en las carreteras Chereque Morán (1989). La *Ecuación 1* permite calcular la cantidad total de agua de lluvia que cae.

#### **Ecuación 1**

#### **Balance Hídrico**

$$P = I + S + E + F + P_n$$

Donde:

P = Lluvia Total

I = Intercepción

S = Almacenamiento Superficial

E = Evaporación desde el suelo

F = Infiltración

P<sub>n</sub> = Escorrentía directa

Cuyo cálculo incluye la cantidad de agua retenida en la capa vegetal u otros obstáculos, la que permanece superficialmente en el suelo y que se evapora desde la superficie terrestre, así como la que infiltra en la tierra y fluye como escorrentía a lo largo de la pendiente del terreno.

### 2.1.4. Infiltración.

La infiltración se refiere al proceso en el cual el agua de lluvia, que cae sobre la superficie terrestre y no puede ser almacenada, evaporada ni generada como flujo de escorrentía, comienza a penetrar a través de la capa superficial del suelo y se desplaza hacia el interior de la tierra, este proceso puede desencadenar dos

resultados distintos, el primero implica que el agua infiltrada se incorpore a los depósitos subterráneos, mientras tanto, el segundo escenario involucra un flujo de agua infiltrada que continúa moviéndose, dando lugar a un proceso de percolación, cuya dirección y velocidad dependen de la topografía del terreno, Chereque Morán (1989).

### 2.1.5. Escorrentía.

Se trata específicamente de los flujos de agua que descienden por una pendiente natural o superficies impermeabilizadas como resultado de las lluvias recientes en la región, estos flujos siguen su curso debido a la fuerza de la gravedad y tienden a dirigirse hacia cuerpos de agua naturales o construidos por el ser humano ubicados en las áreas más bajas de la topografía del terreno, a medida que avanzan, estos flujos pueden adquirir diferentes niveles de caudal, dependiendo de la intensidad de la precipitación y de factores como el coeficiente de escorrentía Coral Suarez y Carlosama (2021), los rangos se especifican en la *Tabla 2* y son referentes a los valores de coeficiente de escorrentía para zonas residenciales de acuerdo con la separación de histogramas usando curva de infiltración por Chereque Morán (1989).

**Tabla 2**

Rangos de Coeficiente de escorrentía.

<b>Valores de Coeficiente de escorrentía</b>	
Área residencial urbana solo casas habitación	0,30
Apartamentos con espacios verdes	0,50
Área de edificios comerciales e industriales	0,90
Áreas boscosas, dependiendo del suelo	0,05 – 0,20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales	0,05 – 0,20
Asfalto o pavimento de concreto	0,85

*Nota.* Tomado de *Chereque Morán (1989)*

### 2.1.6. Método racional.

Este enfoque se basa en la premisa de que el flujo máximo generado por una tormenta está directamente relacionado con la cantidad de lluvia caída. Esta

suposición es especialmente válida en cuencas que son predominantemente impermeables o cuando la magnitud de la lluvia es significativa y el área de drenaje se satura. La *ecuación 2* se trata de un método sencillo que se utiliza para estimar el caudal máximo en cuencas de drenaje pequeñas que no exceden los 1.6 kilómetros cuadrados (Álvarez Sacoto y Calle Rivera 2013). Con este método, es posible calcular el caudal en función de varios factores, como los datos de precipitación pluvial locales, el área de la cuenca, la topografía y las características del suelo, todo esto siguiendo los términos definidos por (INVIAS, 2009).

## **Ecuación 2**

### **Interferencia (método racional)**

$$Q_E = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Donde:

$Q_E$  = Caudal máximo

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la lluvia

A = Área aferente

### **2.1.7. Coeficiente de Escorrentía (C) de las Áreas de Drenaje.**

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro utilizado en hidrología y drenaje para cuantificar la proporción de precipitación que se convierte en escorrentía o escurrimiento superficial en una cuenca o área de drenaje específica. Representa la fracción de agua de lluvia que no se infiltra en el suelo ni se retiene en la superficie, sino que fluye hacia los cuerpos de agua, ríos o sistemas de drenaje. El valor de C depende de varios factores, como la cobertura vegetal, el tipo de suelo, la permeabilidad, la pendiente del terreno y las condiciones climáticas, Chereque Morán (1989).

### **2.1.8. Cobertura Vegetal.**

La cobertura vegetal se refiere a la presencia y densidad de plantas, árboles y vegetación en un área determinada. En el contexto de la hidrología y el coeficiente de escorrentía, la cobertura vegetal desempeña un papel importante en la capacidad de retención y absorción del agua de lluvia. La vegetación actúa como un obstáculo natural para la escorrentía, reduciendo la erosión del suelo y aumentando la infiltración. Cuanto mayor sea la cobertura vegetal, menor será el coeficiente de escorrentía (C), Coral Suarez y Carlosama (2021).

### **2.1.9. Permeabilidad.**

La permeabilidad se refiere a la capacidad del suelo o de una sustancia para permitir el paso del agua a través de sus poros. En el contexto del coeficiente de escorrentía, los suelos con alta permeabilidad permiten una mayor infiltración del agua de lluvia en el subsuelo, lo que reduce la cantidad de agua que se convierte en escorrentía superficial. Por otro lado, los suelos con baja permeabilidad provocan una mayor escorrentía, lo que se refleja en un coeficiente de escorrentía más alto, Chereque Morán (1989).

### **2.1.10. Pendiente Media (s).**

La pendiente media se refiere a la inclinación promedio del terreno en una cuenca o área de drenaje. Una pendiente más pronunciada generalmente conduce a una mayor velocidad de escurrimiento superficial y, por lo tanto, a un coeficiente de escorrentía más alto. La pendiente media se calcula considerando la diferencia de elevación entre los puntos más altos y bajos de la cuenca y la distancia horizontal entre ellos, (Álvarez Sacoto y Calle Rivera 2013).

### **2.1.11. Coeficiente C.**

Como se mencionó anteriormente, el coeficiente C representa la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía en una determinada área de drenaje. Es un valor adimensional que varía según las características del área, como la

cobertura vegetal, la permeabilidad del suelo y la pendiente del terreno. El cálculo preciso del coeficiente C es esencial en la modelización hidrológica y en la estimación de caudales de diseño para proyectos de control de inundaciones y drenaje urbano, Chereque Morán (1989).

### **2.1.12. Tiempo de Concentración ( $t_c$ ).**

El tiempo de concentración es el período estimado necesario para que el agua de lluvia fluya desde el punto más alejado de una cuenca o área de drenaje hasta el punto de interés, como una cuneta o un punto de drenaje. Se calcula considerando factores como la topografía, la longitud de las pendientes y la rugosidad del terreno, y es esencial para determinar la duración de la tormenta de diseño y el caudal de diseño, Chereque Morán (1989).

### **2.1.13. Caudal Tributado por las Cunetas.**

Este caudal se refiere a la cantidad de agua de lluvia que fluye desde las superficies pavimentadas y las áreas urbanas hacia las cunetas. Se calcula teniendo en cuenta la intensidad de la lluvia y la superficie de recogida que drena hacia las cunetas, Chereque Morán (1989).

### **2.1.14. Caudal Tributado por Cuencas y Subcuencas.**

Este caudal se relaciona con la cantidad de agua de lluvia que proviene de áreas más grandes, como cuencas hidrográficas o subcuencas, y que finalmente se dirige hacia un punto de drenaje específico. Se calcula considerando el área de drenaje y el caudal de lluvia que afecta cada una de estas cuencas o subcuencas, Chereque Morán (1989).

### **2.1.15. Caudal Total a Puntos de Drenaje Principales.**

El caudal total a puntos de drenaje principales es la suma de todos los caudales tributarios de cunetas, cuencas y subcuencas que convergen en un punto

de drenaje principal, como un río, una alcantarilla o un sistema de drenaje urbano. Este valor representa la cantidad total de agua que debe ser manejada en el punto de interés durante una tormenta de diseño y es crucial para el dimensionamiento adecuado de las infraestructuras de drenaje, Chereque Morán (1989).

## **2.2. HIDRÁULICA**

La hidráulica es la rama de la ingeniería que se enfoca en el estudio de las propiedades de los fluidos, en particular de los líquidos, y en cómo se emplean para generar y transmitir energía, la hidráulica desempeña un papel fundamental en la ingeniería civil al proporcionar las bases para el diseño, la gestión y la protección de infraestructuras relacionadas con el agua y los fluidos, contribuyendo así al desarrollo de proyectos seguros y sostenibles, (Jiménez Terán et al., 2018).

### **2.2.1. Aplicaciones de la Hidráulica en Ingeniería Civil.**

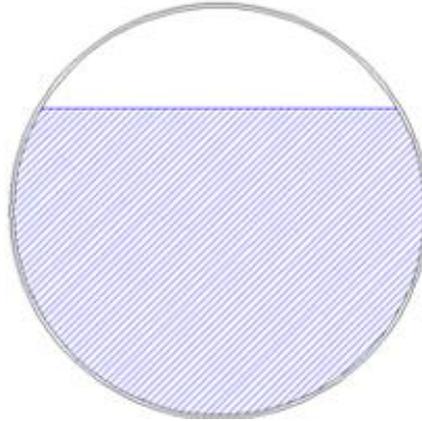
En la ingeniería civil, la hidráulica se aplica en diversas áreas clave, como drenaje y sistemas de alcantarillado, diseño de puentes, control de erosión, gestión de ríos y canales, sistemas de abastecimiento de agua, obras costeras y la ingeniería de presas y embalses. Estos campos utilizan los principios de la hidráulica para abordar la gestión del agua y los fluidos en proyectos de infraestructura y construcción, (Jiménez Terán et al., 2018)

### **2.2.2. Área hidráulica (Ah).**

La sección transversal ocupada por el fluido en el conducto dicha sección se puede observar en la *figura 1*, es un aspecto crucial que merece atención en el ámbito de la ingeniería civil, (Jiménez Terán et al., 2018).

## Figura 1

Área hidráulica ( $A_h$ )



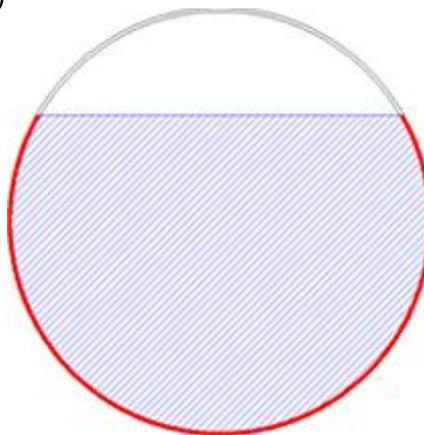
Nota. Tomado de Jiménez Terán et al., (2018).

### 2.2.3. Perímetro mojado ( $P_m$ ).

El contorno de la sección transversal del conducto en el que se produce la interacción del líquido con la pared, excluyendo la presencia de la superficie libre en caso de existir como se puede observar en la *figura 2*, (Jiménez Terán et al., 2018).

## Figura 2

Perímetro mojado ( $P_m$ )



Nota. Tomado de Jiménez Terán et al.,( 2018).

### 2.2.4. Radio hidráulico.

Se refiere a la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado, (Jiménez Terán et al., 2018), expresado como:

$$Rh = \frac{Ah}{Pm}$$

A tubería llena:

$$Rh = \frac{D}{4}$$

### **2.2.5. Hidráulica de los drenajes.**

Las tuberías de desagüe deben operar en condiciones de flujo libre para evitar fluctuaciones de presión que podrían comprometer los sellos hidráulicos, se aconseja que el flujo se mantenga alrededor del 50% de la profundidad de la tubería, con un límite máximo del 75%, esto garantiza un funcionamiento eficiente y evita posibles daños a los componentes hidráulicos, (Arroyo Quintero y Garcia Diaz, 2016).

### **2.2.6. Velocidad de flujo.**

En el estudio de (Arroyo Quintero y Garcia Diaz, 2016), establece que Mientras que una velocidad mínima de 0,6 m/s resulta apropiada para los desagües sanitarios, se ha observado que se necesita una velocidad mayor en los sistemas pluviales, esto es necesario para arrastrar partículas en suspensión y prevenir su decantación, por lo que se establece un mínimo de 0,8 m/s para estos casos.

### **2.2.7. Cunetas y zanjas de coronación.**

Los canales son estructuras diseñadas con el propósito de redirigir el flujo de agua que se desliza sobre la superficie, con el fin de prevenir la erosión del terreno, este enfoque es particularmente útil en áreas con pendientes pronunciadas o en lugares donde se ha realizado excavación de tierra para instalar alguna infraestructura, estos canales suelen tener una forma rectangular, aunque en algunos casos también pueden adoptar una forma trapezoidal, además, se ubican estratégicamente en la parte superior del área excavada o alrededor de la estructura como se detalla en la *figura 3*, siguiendo una disposición tanto circular como recta, siempre perpendicular al flujo de agua, la principal función de las cunetas y las zanjas de coronación es la de recoger el agua superficial que se acumula en las carreteras y los taludes, luego dirigirla de manera longitudinal hacia un punto de

disposición adecuado; tanto las cunetas como las zanjas de coronación pueden variar en cuanto a su forma, pendiente y ubicación, y esto depende de la facilidad de construcción y de la topografía del área donde se implementará la infraestructura, la calidad del diseño de estas estructuras se evalúa a través de su capacidad hidráulica, la cual se calcula utilizando la fórmula de Manning que se detalla en la ecuación 3, (Álvarez Sacoto y Calle Rivera, 2013).

### Ecuación 3

Formula de Manning

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

$Q$  = Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo

$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning

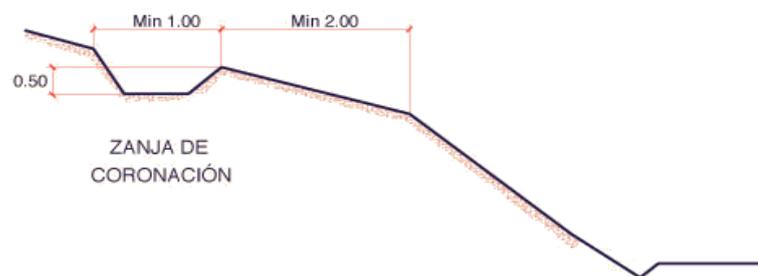
$A$  = Área mojada respetando un borde libre equivalente al 30% de la altura total, en metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

$R$  = Radio hidráulico el cual se calcula con base en la geometría de la estructura, en metro (m)

$S$  = Pendiente, en metros por metro (m/m)

### Figura 3

Zanja de coronación



Nota: Tomado de Ponce (2018).

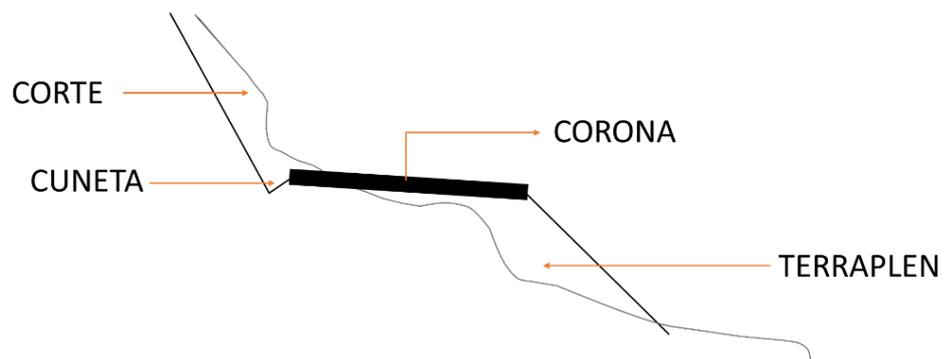
### 2.2.8. Tipos de cuneta.

Existen dos categorías principales de cortes en relación con el drenaje en las vías: los cortes en balcón como se observa en la figura 4,

caracterizados por tener una cuneta ubicada solo en un lado de la vía, y los cortes en cajón, en los cuales se dispone una cuneta a ambos lados de la carretera lo cual se puede observar en las respectivamente; los cortes en balcón, al contar con una sola cuneta, canalizan el agua de escorrentía hacia un lado de la carretera, permitiendo su evacuación adecuada y reduciendo el riesgo de erosión y daños en la infraestructura vial. Por otro lado, los cortes en cajón, que se detalla en la *figura 5* al disponer de cunetas en ambos lados, brindan una mayor capacidad de drenaje, lo que resulta beneficioso en zonas con altas precipitaciones o en terrenos propensos a inundaciones. Esta configuración puede manejar volúmenes de agua más significativos y asegurar un flujo eficiente de las aguas pluviales a lo largo de la carretera, Romero Vanegas et al. (2017).

**Figura 4**

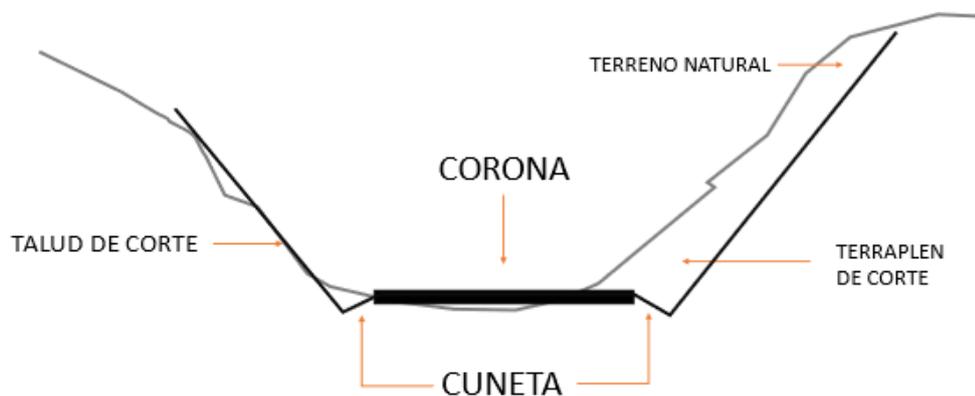
*Corte en Balcón*



*Nota: Tomado de Ponce (2018)*

**Figura 5**

*Cortes en cajón*



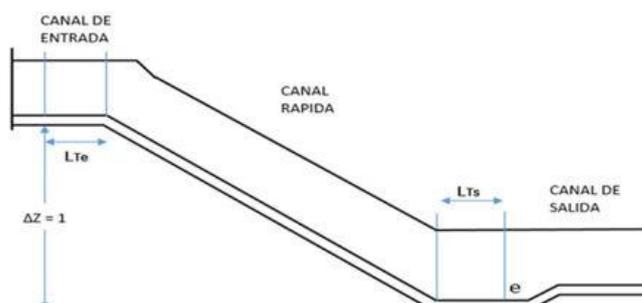
*Nota: Tomado de Ponce (2018)*

### 2.2.9. Canales en rápidas.

Son canales de alta velocidad que desempeñan un papel fundamental al captar el flujo de agua de escorrentía en áreas de excavación significativa, donde la carretera se encuentra a un nivel inferior en relación al terreno circundante detallado en la *figura 6*, en tales circunstancias, es necesario emplear canales para conectar de manera eficiente la corriente de agua que se origina en las zonas más elevadas con las cunetas ubicadas en niveles inferiores, la geometría, pendiente y ubicación de estas cunetas pueden variar, y dichas variaciones se determinan en función de la facilidad de construcción y de las características topográficas del terreno donde se llevará a cabo la obra siguiendo el criterio de Coral Suarez y Carlosama (2021).

**Figura 6.**

*Canales en rápidas*



*Nota:* Tomado de Romero Vanegas et al. (2017).

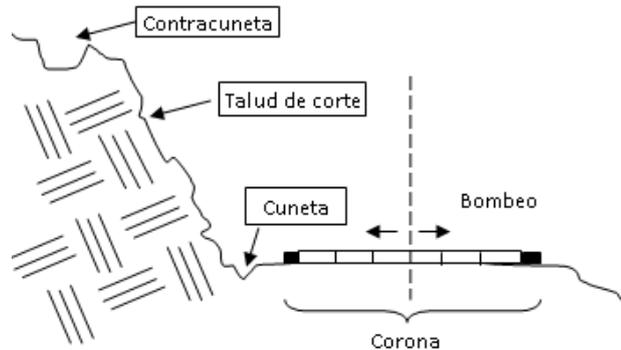
### 2.2.10. Contracuneta.

Las contracunetas son excavaciones longitudinales que se encuentran comúnmente dispuestas de manera paralela al eje de la carretera como se observa en la *figura 7*, su función principal es proporcionar una vía adicional para el drenaje eficiente de las aguas pluviales y reducir el riesgo de acumulación de agua en la superficie de la vía, estas zanjas trabajan en conjunto con las cunetas principales y otras estructuras de drenaje para canalizar y dirigir el agua hacia los puntos de evacuación adecuados, las contracunetas se diseñan estratégicamente teniendo en cuenta la topografía local y las condiciones climáticas para garantizar una gestión efectiva de las aguas pluviales, su presencia es particularmente

relevante en áreas propensas a inundaciones o en carreteras con alta acumulación de agua durante eventos de lluvia, Romero Vanegas et al. (2017).

### Figura 7

*Talud de corte, cuneta, bombeo, corona*



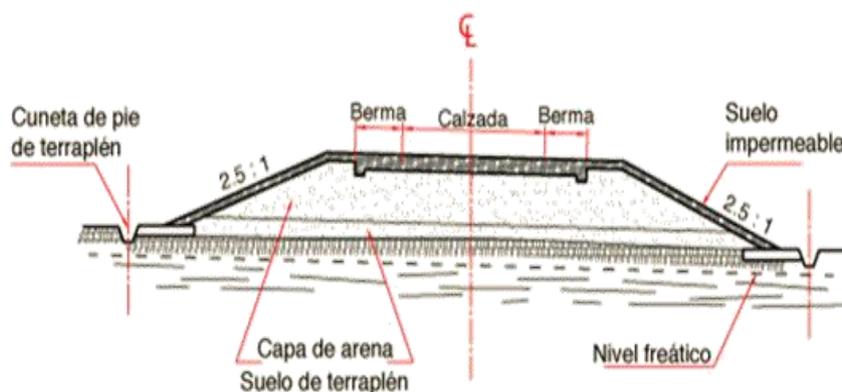
*Nota.* Tomado de Romero Vanegas et al. (2017).

### 2.2.11. Bombeo normal.

La inclinación transversal de la calzada en tramos rectos se refiere a la pendiente lateral que se diseña en la superficie de la carretera para facilitar el drenaje efectivo del agua hacia los bordes de la vía que se observa en la *figura 8*, ésta pendiente se crea de manera deliberada para evitar la acumulación de agua en el centro de la carretera y garantizar que las aguas pluviales fluyan hacia los laterales, donde se encuentran las cunetas y otros elementos de drenaje, Romero Vanegas et al. (2017).

### Figura 8

*Bombeo normal, partes de la sección transversal de una vía*



*Nota.* Tomado de Ponce (2018)

### 2.2.12. Pendiente.

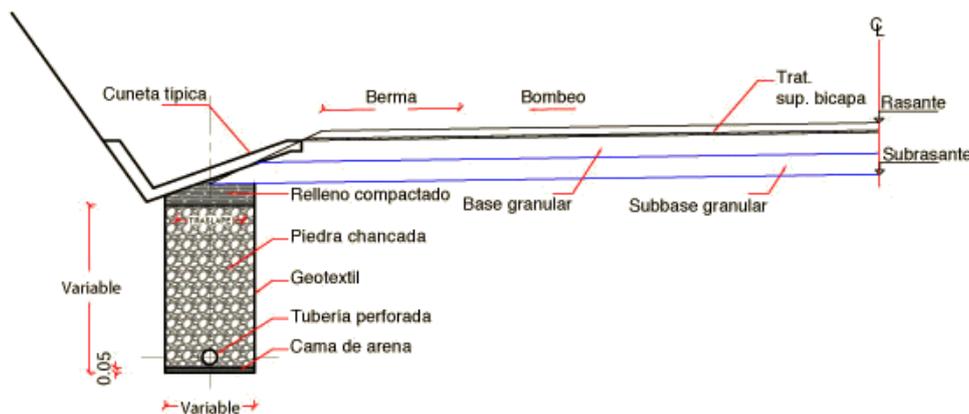
La inclinación transversal de la calzada en tramos rectos, conocida como "bombeo normal", se emplea para direccionar el agua hacia los bordes de la carretera y prevenir la acumulación de agua en el centro de la vía. Esta característica es esencial para garantizar un adecuado drenaje y mantener la superficie de la carretera libre de acumulaciones de agua, lo que contribuye a la seguridad vial y evita problemas de inundación, Romero Vanegas et al. (2017).

### 2.2.13. Subdrenaje.

Se trata de una infraestructura subterránea diseñada para captar, transportar y/o redirigir los flujos de agua subterránea, tanto aquellos que se encuentran en el suelo sobre el que se asienta la carretera como los que provienen de los taludes cercanos lo cual se puede observar en la *figura 9*, Romero Vanegas et al. (2017).

**Figura 9**

*Infraestructura subterránea (subdrenaje)*



*Nota.* Tomado de *Romero Vanegas et al. (2017)*

### 2.2.14. Velocidad de flujo.

En el estudio de (Arroyo Quintero y Garcia Diaz, 2016), establece que Mientras que una velocidad mínima de 0,6 m/s resulta apropiada para los desagües

sanitarios, se ha observado que se necesita una velocidad mayor en los sistemas pluviales, esto es necesario para arrastrar partículas en suspensión y prevenir su decantación, por lo que se establece un mínimo de 0,8 m/s para estos casos.

### **2.3. PARÁMETROS DE DISEÑO**

Estos conceptos son esenciales en el diseño y la gestión de sistemas de drenaje pluvial y alcantarillado, y se utilizan para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y segura en condiciones climáticas variables.

#### **2.3.1. Caudal de Diseño para Alcantarilla Circular.**

El caudal de diseño para una alcantarilla circular es la cantidad máxima de agua que se espera que la alcantarilla deba manejar sin desbordarse en condiciones de lluvia intensa. Este valor se calcula considerando factores como la intensidad de la lluvia, el área de contribución y la capacidad de la alcantarilla, Álvarez Sacoto y Calle Rivera (2013).

#### **2.3.2. Caudal de Diseño para Alcantarilla Ducto Cajón.**

El caudal de diseño para una alcantarilla de ducto cajón es similar al de una alcantarilla circular, pero se refiere a la cantidad máxima de agua que se puede transportar de manera eficiente a través de un sistema de ducto cajón, que es un tipo particular de alcantarilla con una forma rectangular, Álvarez Sacoto y Calle Rivera (2013).

#### **2.3.3. Control del Flujo de Entrada en las Alcantarillas.**

El control del flujo de entrada en las alcantarillas implica el diseño de estructuras, como rejas y dispositivos de control, que regulan la cantidad de agua que ingresa a la alcantarilla. Esto se hace para prevenir la entrada de objetos o materiales no deseados y evitar el desbordamiento en situaciones de lluvia intensa, Álvarez Sacoto y Calle Rivera (2013).

### **2.3.4. Control del Flujo de Salida en las Alcantarillas.**

El control del flujo de salida en las alcantarillas se refiere a la regulación de la velocidad y el volumen de agua que sale de la alcantarilla hacia el sistema de drenaje. Esto se logra mediante estructuras de control como compuertas y dispositivos de atenuación para evitar daños aguas abajo y garantizar un flujo continuo, Álvarez Sacoto y Calle Rivera (2013).

### **2.3.5. Curvas Intensidad – Duración– Frecuencia**

**(IDF).**

Son la representación gráfica de la relación que existe entre la intensidad, la duración y la frecuencia o periodo de retorno de la precipitación, en otros términos, estas curvas se pueden visualizar como trazados que unen puntos que representan la intensidad promedio en diferentes intervalos de duración, todos correspondientes a un mismo periodo de retorno, la elaboración de estas curvas requiere un profundo conocimiento de las intensidades de precipitación en la región para varios periodos de retorno, existen varios métodos notables para la generación de estas curvas, siendo los más destacados el método de Aparicio, Varas y Sánchez, y el método de Wenzel, estas curvas sirven como base para la futura construcción del hidrograma triangular unitario y, posteriormente, del hietograma de diseño, Álvarez Sacoto y Calle Rivera (2013).

Para aplicar prácticamente los datos de lluvia en diversas disciplinas es esencial comprender la estrecha relación entre las cuatro características principales de las precipitaciones: intensidad, duración, frecuencia y distribución. La información sobre la distribución espacial de las precipitaciones, como se mencionó previamente, se deriva de un análisis regional de los datos recopilados en estaciones pluviográficas o de las mediciones de lluvia realizadas en pluviómetros en intervalos de tiempo.

### **2.3.6. Software Q-GIS.**

Quantum Geographic Information System, es un sistema de información geográfica (SIG) de código abierto ampliamente utilizado en el campo de la ingeniería civil y muchas otras disciplinas relacionadas con la geografía y la cartografía. QGIS se destaca por su capacidad para gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales, lo que lo convierte en una herramienta esencial en la toma de decisiones y la planificación en proyectos de ingeniería civil, entre las características más destacadas se encuentran la capacidad para crear y editar mapas, realizar análisis de datos espaciales, generar informes y gráficos, y llevar a cabo procesos de geoprocésamiento, es especialmente valioso en la ingeniería civil para tareas como la planificación urbana, la gestión de recursos hídricos, la optimización de rutas de carreteras, el diseño de infraestructuras, la evaluación de impacto ambiental y muchas otras aplicaciones relacionadas con la geolocalización y el análisis espacial (QGIS, 2020).

### **2.3.7. Software Culvert Hydraulic Analysis Program.**

HY-8 es un software especializado que automatiza y agiliza los cálculos hidráulicos relacionados con el diseño y análisis de alcantarillas. Este programa está diseñado para simplificar y optimizar el proceso de evaluación de las características hidráulicas de las alcantarillas, lo que es esencial en la ingeniería civil y la gestión de aguas pluviales. HY-8 logra esta automatización al ofrecer una serie de características clave que incluyen herramientas para calcular flujos, dimensionar alcantarillas y evaluar su capacidad de drenaje, lo que ahorra tiempo y esfuerzo en comparación con los cálculos manuales. Además, brinda la capacidad de modelar diversos tipos de alcantarillas y considerar diferentes condiciones de flujo, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para ingenieros civiles y profesionales involucrados en proyectos de infraestructura hidráulica, (Department of Transportation. Federal Highway Administration , 2017)

## **CAPITULO III: METODOLOGIA**

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Tipo.**

Según Castilleros (2017), este tipo de investigación se enmarca en la categoría de *aplicada*, ya que se centra en encontrar mecanismos o estrategias definidas que permitan lograr un objetivo concreto. El presente estudio utiliza los diversos métodos, fórmulas y tablas disponibles para diseñar un sistema de drenaje integral para la vía Sayá – El azúcar.

#### **3.1.2. Nivel.**

El nivel de esta investigación es de nivel *aplicativo* según Condori-Ojeda (2020), ya que implica de manera evidente la presencia de intervención, aunque esta no constituye una manipulación deliberada, como se observa en los experimentos. En lugar de eso, se trata de una intervención dirigida a satisfacer las necesidades específicas de la población objetivo. El objetivo principal del presente trabajo es aplicar los modelos hidráulicos calculados y establecidos para la región de estudio para mejorar las condiciones viales de la comunidad adyacente.

### **3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. Método.**

El método utilizado en este proyecto es *lógico-deductivo* según Zita (2023) que consiste en aplicar principios generales a casos particulares, a partir de ciertos enlaces de juicios. Este trabajo usa los valores calculados tales como intensidad de lluvia y área de precipitación, para cuantificar el caudal probable que puede cruzar los puntos de drenaje de la vía Sayá – El Azúcar, para de esta manera proponer un diseño para tal demanda.

### **3.2.2. Enfoque.**

El enfoque adoptado en este estudio es de carácter *cuantitativo* como refiere Zita (2023), ya que se orienta hacia la recopilación y el análisis de datos numéricos con el propósito de abordar los objetivos planteados. Esto implica estimar las longitudes y áreas de las cuencas y subcuencas a través de un análisis minucioso de la topografía. Esto también incluye el cálculo del caudal que fluye a través del cauce y la realización de un estudio hidráulico detallado.

### **3.2.3. Diseño.**

En esta investigación se formula un diseño *experimental*, ya que según Ruiz (2019) es el que tiene el grado de control máximo por parte del investigador; es decir, existe manipulación de las variables y permite establecer relaciones de causalidad entre variables.

En el diseño de este sistema hidráulico para la vía Sayá-El Azúcar, se establecen las características altimétricas y dimensiones de las cuencas y subcuencas existentes, de la misma manera, se toman datos hidrológicos en base a la historia-tiempo, y mediante todos los parámetros, se realiza el diseño en cumplimiento de las normativas.

## **3.3. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO**

### **3.3.1. Población.**

Según López (2004), la población se define como un conjunto de objetos, elementos o fenómenos de los cuales se desea conocer algo. En este trabajo, la población de estudio es el sistema de drenaje de las comunas de la vía Sayá - El Azúcar.

### **3.3.2. Muestra.**

Según López (2004), la muestra es una parte seleccionada o subconjunto de la población total. La muestra para este estudio son las secciones específicas de drenaje de la vía Sayá-El Azúcar.

### 3.3.3. Muestreo.

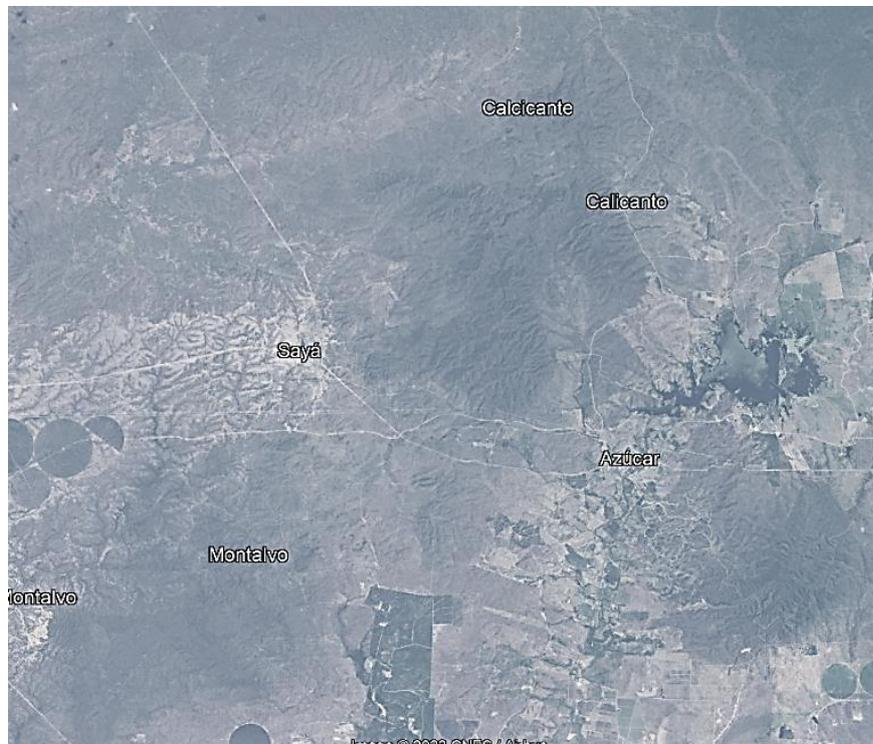
Según detalla López (2004), el muestreo es el método de selección de muestras, por tanto, en este trabajo se utilizarán los datos topográficos recabados para la selección de cuencas y subcuencas, así como el recorrido de los cauces mediante el Software Q-GIS para hallar las zonas de drenaje críticas de la vía Sayá – El Azúcar.

## 3.4. UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO

El área de influencia comprende toda la región que contiene a las cuencas y subcuencas contribuyentes lo cual se observa en la *figura 10*, cuyos afluentes convergen en el tramo correspondiente de la vía, esto abarca al menos 25 Km<sup>2</sup>, del territorio de la Comuna Sayá y de la comuna El Azúcar.

### ***Figura 10***

*Ubicación de las comunas Sayá y El azúcar. Latitud: 540316.54 m E y Longitud: 9753362.68 m S*



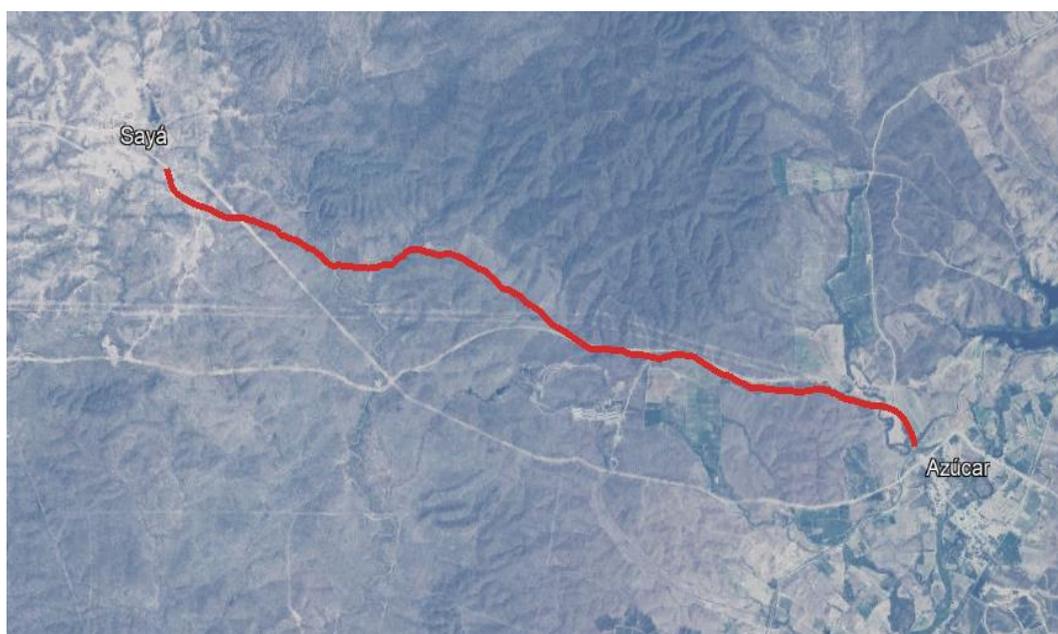
*Nota. Extraído de Google Earth (2023)*

### 3.5. METODOLOGÍA DEL O.E1.: DELIMITACIÓN ÁREAS DE DRENAJE (Q-GIS)

En la *figura 11* se observa la vía principal Sayá – El Azúcar cuenta con una extensión de 6.92 km, y se encuentra al sur de la zona montañosa de Calicanto, lo que hace que la red hídrica natural intercepte a la vía en varios de sus tramos.

#### **Figura 11**

*Foto satelital del tramo de la vía Sayá - El Azúcar*



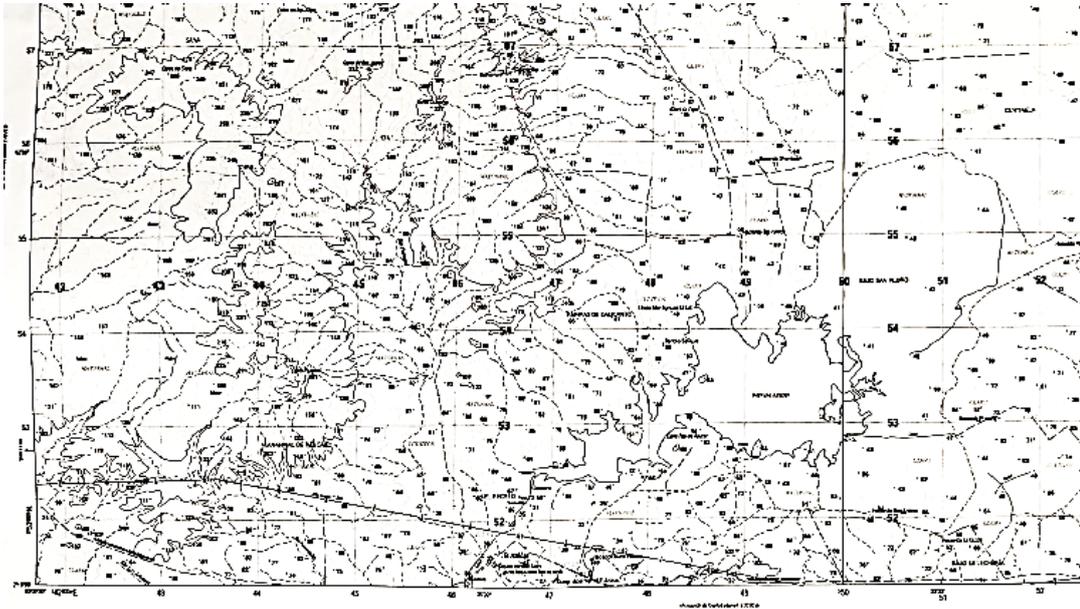
*Nota. Extraído de Google Earth (2023)*

#### **3.5.1. Cuencas hidrográficas.**

Para el trazado de las cuencas hidrográficas de la zona se usarán las cartas topográficas expedidas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), para la zona de Calicanto y Baños de San Vicente cuyas hojas se identifican con la serie MV-A4b, 3487 II NE y MV-A4a, 3487 II NW respectivamente, estas se muestran a continuación en la *figura 12* y *figura 13*:

**Figura 12**

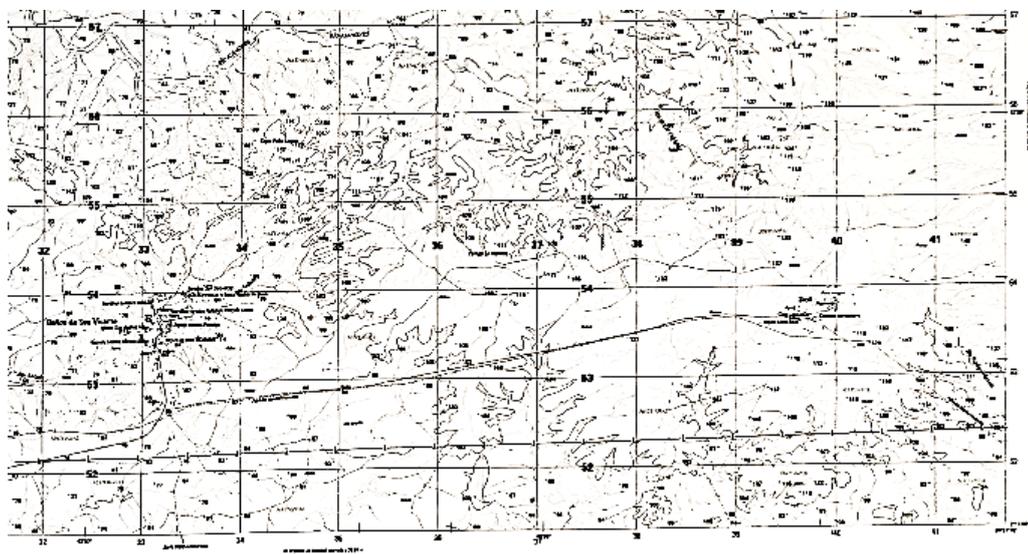
*Carta topográfica MV-A4b, 3487 II NE para la región de Calicanto en Santa Elena*



*Nota. Adquirido del Instituto Geográfico Militar (2023)*

**Figura 13**

*Carta topográfica MV-A4a, 3487 II NW para la región de San Vicente en Santa Elena*



*Nota. Adquirido del Instituto Geográfico Militar (2023)*

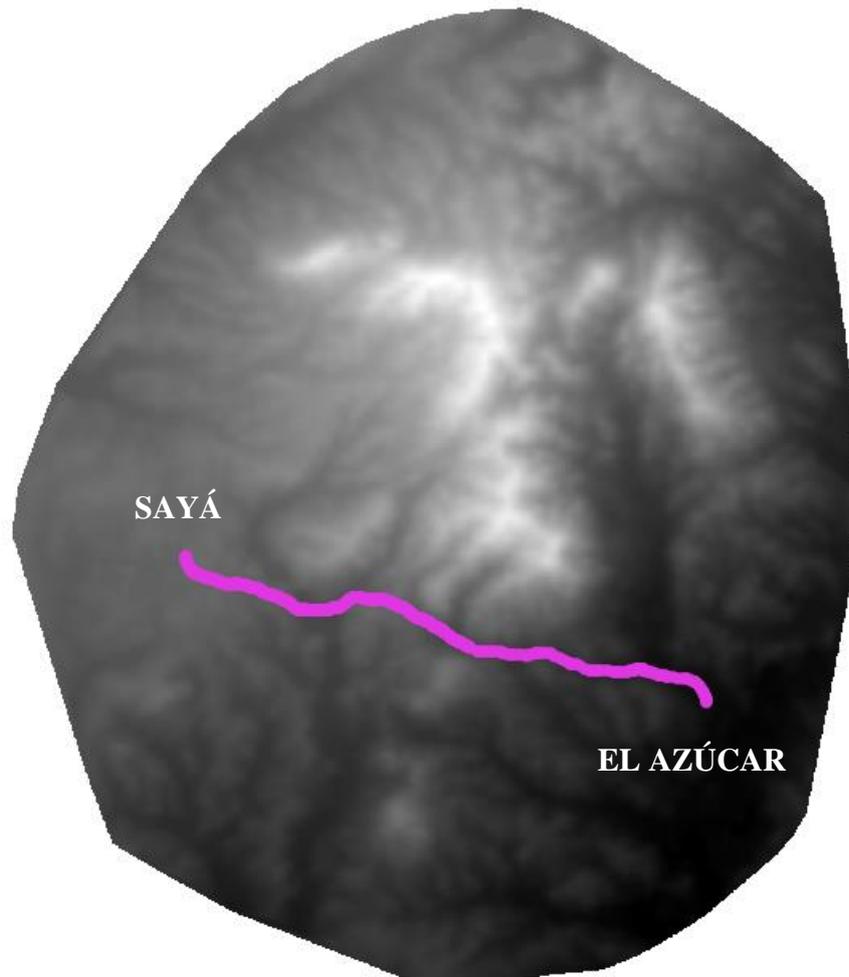
Se usará el Software gratuito QGIS, para digitalizar las cartas topográficas antes mencionadas para obtener no solo el área y perímetro de cuencas, subcuencas y microcuencas, sino también de las distancias de los cauces pertenecientes a la red hídrica de las zonas involucradas.

En primer lugar, se deben convertir las curvas de nivel de los mapas a una capa ráster tipo *DEM* (Modelo Digital de Elevación) con la herramienta *Interpolación TIN*, formato legible para el software, que le permite tener una perspectiva amplia de las elevaciones y depresiones del territorio, así como de las cuencas, subcuencas y microcuencas que drenan las precipitaciones hacia la vía.

A continuación, en la *figura 14* se muestra el modelo *DEM* mapeado de la zona más la implantación de la vía de estudio:

**Figura 14**

*Capa ráster tipo DEM de la zona adyacente a la vía Sayá-El Azúcar*



*Nota.* Elaborado y extraído de *Q-GIS*

Mediante el plugin *r.watershed* de QGIS, se podrá obtener capas *Rasters* de las celdas configuradas por píxel que determinan la altimetría del plano, además de la dirección detallada de los cauces, desde su origen hasta su desembocadura parcial en la vía lo cual se detalla en la *figura 15*.

**Figura 15.**

*Ráster de la zona con detalle de los cauces hidrológicos que interceptan a la vía*

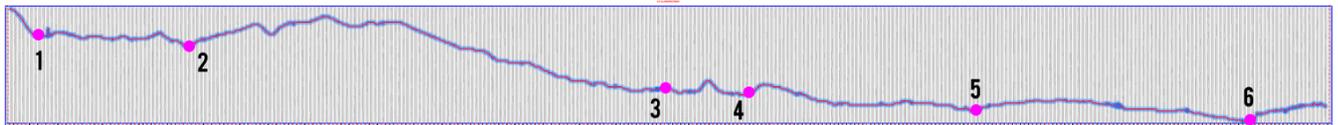


*Nota.* Realizado y extraído de *Q-GIS*

A continuación, en la *figura 16* se muestra un plano de elevación o perfil de la vía realizado en el Software Civil 3D, donde se observan las depresiones que interceptan transversalmente a la vía, estas son las desembocaduras parciales de los cauces principales de las cuencas hidrográficas:

**Figura 16**

*Perfil de elevación de la vía con los puntos de conexión de esta con los cauces de las cuencas hidrográficas.*



*Nota.* Elaborado en *Civil 3D*

En la *tabla 3* se tabulan las abscisas y cotas de los puntos donde es necesario un sistema principal de drenaje pluvial, donde por ahora el contribuyente principal de caudal de agua serán las mismas cuencas y subcuencas:

**Tabla 3**

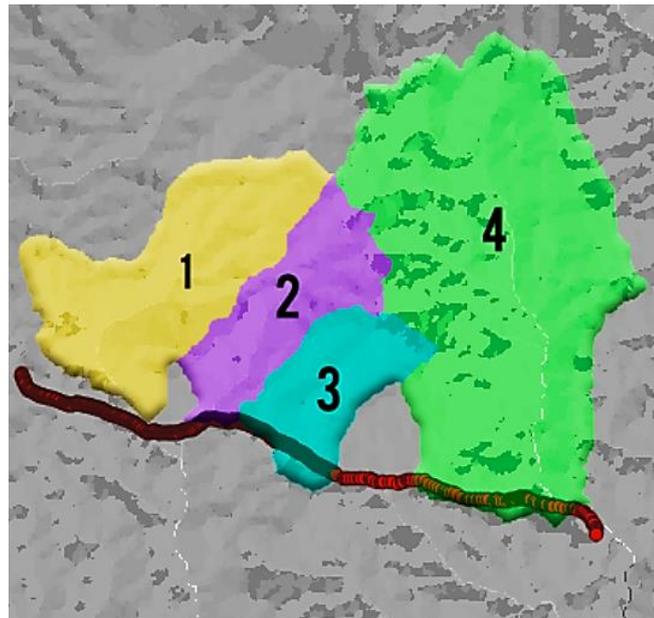
*Puntos de drenaje, principales en la vía*

PUNTO	ABSCISA	COTA (m)
1	1+650	88.41
2	1+960	88.37
3	3+710	83.91
4	4+440	74.19
5	5+090	64.43
6	6+840	34.28

Es necesario aclarar que las áreas adyacentes a las cuencas tales como los taludes de corte y la calzada de la vía misma, tributarán parte de las precipitaciones hacia cunetas (se especificará en la *sección 4.2.2*). Las cunetas a su vez conducirán el agua a un punto de descarga de un drenaje principal (alcantarilla), por tanto, de hacer falta, más adelante se especificarán puntos de drenaje adicionales que los especificados en la *figura 16*. Ahora con el plugin **r.water.outlet** se podrá delimitar automáticamente la extensión de cada una de las cuencas, subcuencas pertenecientes a los cauces que interceptan a la vía a lo largo de su extensión, las cuales se enumerarán, tal y como se muestra en la *figura 17*:

**Figura 17**

*Trazado de las cuencas hidrográficas de estudio adyacentes a la vía.*



*Nota.* Realizado y extraído de *Q-GIS*

Los resultados del análisis de áreas y perímetros, así como los datos de los cauces de cada cuenca se adjuntan en la *sección 4.1*.

### 3.5.2. Taludes de corte.

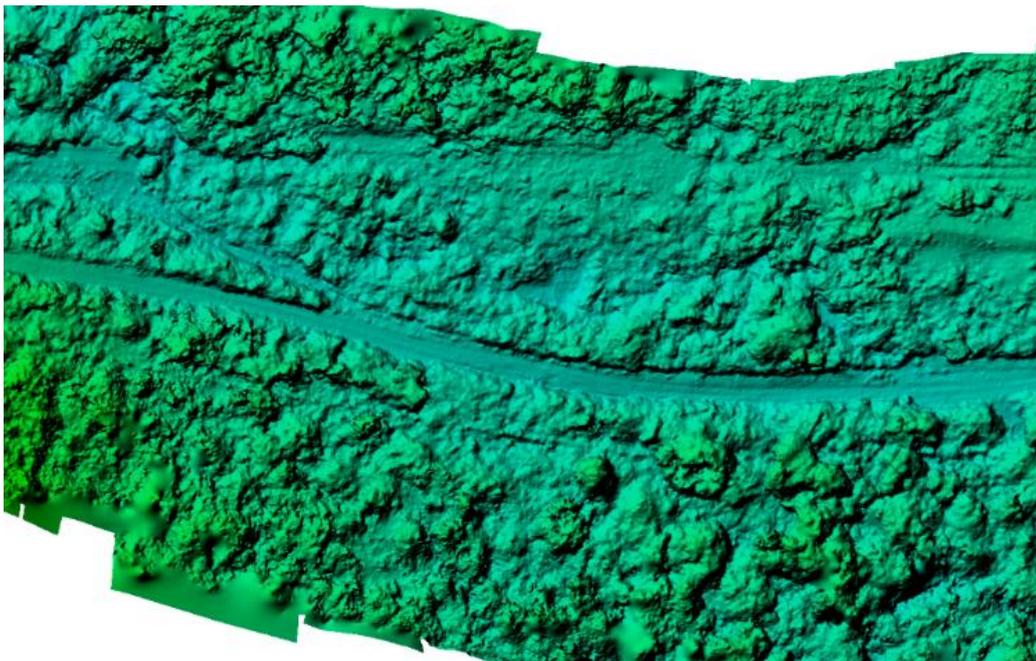
Los taludes de corte adyacentes a la vía, como se mencionó en la *sección 3.5.1*, tributarán parte de las precipitaciones hacia las cunetas y estas hacia las alcantarillas, se diseñará un sistema de cunetas en la *sección 3.7*. Mediante las cartas topográficas usadas en la *sección 3.5.1* y también un levantamiento topográfico a partir de ortofotos realizadas con dron, se trazarán los taludes de corte de mayor extensión a lo largo de la vía.

Para calcular el caudal que proporcionan, es necesario conocer además del área, la pendiente y el ancho de estos para calcular para cada uno un tiempo de concentración, que permitirá a su vez calcular la intensidad de lluvia y por ende el caudal probable que transitará en el sistema de cunetas.

A continuación, en la *figura 18* se detalla el DEM procesado en Quick Terrain Modeler usado para el trazado de los taludes a lo largo de la vía:

#### Figura 18

*DEM obtenidos del levantamiento topográfico y Ortofoto con los taludes trazados*



*Nota. Realizado en Quick Terrain Modeler.*

Los datos de los taludes, así como caudales proporcionados por éstos se adjuntarán en la *sección 4.1* de resultados.

### 3.5.3. Calzada de vía.

Un porcentaje de lluvia drenará de la calzada hacia las cunetas, por tanto, se considerará a la calzada también como área de drenaje, no obstante, no tiene una sección típica definida, por tanto, se le dará una. Se considerará a la vía de jerarquía tipo III según la MTOP, la cual designa (para condiciones recomendadas) los siguientes parámetros:

- a) Ancho de vía de 6.70 m
- b) Ancho de espaldones de 1.50 m
- c) Pendiente transversal o bombeo del 1.5 %

Ahora, es importante conocer de la misma forma la pendiente longitudinal de la vía, la cual permitirá el drenaje por gravedad del agua hacia los puntos de descarga principales, a continuación, se muestra en la *tabla 4*, los datos necesarios de la vía para calcular el caudal probable que proporcionarán:

**Tabla 4**

*Datos geométricos de la vía Sayá – El azúcar*

ABSCISA			CALZADA			
INICIO	FINAL	LONGITUD	ANCHO	BOMBEO	PENDIENTE	ÁREA
(km)	(km)	(m)	(m)	(%)	(%)	(m <sup>2</sup> )
0+000	1+760	1760	9.7	1.50%	1.14%	17073.92
1+760	2+720	960	9.7	1.50%	2.67%	9313.05
2+720	3+850	1130	9.7	1.50%	4.32%	10962.23
3+850	4+670	820	9.7	1.50%	2.86%	7954.89
4+670	5+203	533	9.7	1.50%	6.88%	5170.68
5+203	6+920	1717	9.7	1.50%	2.53%	16656.77

Es importante aclarar que algunos de los intervalos de abscisas tributarán los caudales a puntos de descarga, tales como los indicados en la *tabla 3* de la *sección 3.5.1*, sin embargo, es posible que la pendiente de algunos de estos tramos de vía no direccionen necesariamente el agua a los puntos principales, ubicados para el drenaje de las precipitaciones en las cuencas precisados en la *tabla 1*, por tanto se especificarán puntos ideales de descarga localizados mediante el perfil de elevación de la vía mostrado en la *figura 16* de la *sección 3.5.1*.

### 3.6. METODOLOGÍA DEL O.E2.: CÁLCULO DE INTENSIDAD DE LLUVIA Y ESCORRENTÍA

#### 3.6.1. Precipitaciones diarias máximas.

Mullo y Oquendo (2021) realizó el cálculo de la precipitación máxima de diseño para el proyecto “Presa Colinar” en Sacachún #1. Para aquello realizaron el estudio hidrológico únicamente con la estación El Azúcar (M223), la cual se ubica a pocas decenas de metros de la vía Sayá – El Azúcar, por lo que no es necesario utilizar métodos de cálculo de precipitaciones tales como los polígonos de Thiessen o trazado de Isoyetas. A continuación, en la *tabla 5* se anexan las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación en mm:

**Tabla 5**

*Datos de precipitación máxima en 24hr en mm*

AÑO	mm
1995	10.00
1996	37.20
1997	74.00
1998	80.20
1999	0.00
2000	0.00
2001	67.90
2002	0.00
2003	27.80
2004	43.60
2005	0.00
2006	0.00
2007	45.30
2008	0.00
2009	0.00
2010	0.00
2011	0.00
2012	0.00
2013	89.40
$\Sigma$	475.40
$\bar{x}$	25.02
$S_x$	32.34

*Nota. Datos de la Estación El Azúcar (M223). Tomado de Mullo y Oquendo (2021)*

El autor utilizó el método probabilístico de distribución de Gumbel (Tipo I) para modelar los datos extremos, usando la siguiente función que determina la frecuencia o período de retorno (inverso de la frecuencia) en la que se puede presentar una precipitación:

$$F(x) = -e^{-e^{\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad y \quad F(x) = \frac{1}{Tr}$$

Se despeja  $x$  para hallar precipitaciones en función de un período de retorno definido:

$$x = -Ln(-Ln(F(x)))\alpha + u$$

Donde:

$$\alpha = \frac{S_x}{\sigma_y} \quad y \quad u = \bar{x} - \mu_y \alpha$$

$\bar{x}$ : Media aritmética de la muestra.

$S_x$ : Desviación estándar de la muestra.

$\sigma_y$  y  $\mu_y$ : Coeficientes de Gumbel en función del tamaño de la muestra.

Para los coeficientes de Gumbel se usará la *tabla 6*:

**Tabla 6**

*Coefficientes de Gumbel*

nº datos	$\mu_y$	$\sigma_y$
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5559	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

Por tanto, se tiene que:

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 1.05 \\ \mu_y &= 0.53 \\ a &= 33.20 \text{ mm} \\ u &= 7.60 \text{ mm}\end{aligned}$$

Con la función antes mencionada, se obtuvo como resultado las precipitaciones diarias máximas probables para diferentes períodos de retorno detalladas en la tabla 7 a continuación:

**Tabla 7**

*Precipitaciones diarias máximas probables*

PERIODO	PRECIPITACIÓN	PROBA. DE OCURRENCIA	CORRECCIÓN INTERVALO FIJO
AÑOS	x [mm]	F(x) [%]	X*1.13 [mm]
2	20.27	50%	22.90
5	55.03	20%	62.19
10	78.05	10%	88.20
25	107.13	4%	121.06
50	128.71	2%	145.44
100	150.13	1%	169.64
500	199.61	0%	225.56

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

### 3.6.2. Precipitaciones máximas horarias.

Para poder calcular la intensidad de precipitación es necesario redistribuir las precipitaciones diarias en horarias, por tanto, se usarán los siguientes coeficientes de redistribución propuestos por Campos (1987), que se multiplicarán a cada valor precipitación, clasificado por período de retorno, y seguirá siendo en milímetros. En la *tabla 8* se muestran los coeficientes de distribución para convertir lluvia diaria en horas de campos.

**Tabla 8**

*Coefficientes de distribución para convertir lluvia diaria en horas de Campos*

Horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

Por tanto, las precipitaciones redistribuidas serán detalladas a continuación en la *tabla 9*:

**Tabla 9**

*Precipitaciones máximas horarias*

DURACIÓN HORAS	COCIENTE	PRECIPITACIÓN MÁXIMA PD POR TIEMPOS DE DURACIÓN [mm]						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24=100%	22.90	62.19	88.20	121.06	145.44	169.64	225.56
18 hr	X18 = 91%	20.84	56.59	80.26	110.17	132.35	154.37	205.26
12 hr	X12 = 80%	18.32	49.75	70.56	96.85	116.35	135.71	180.45
8 hr	X8 = 68%	15.57	42.29	59.97	82.32	98.90	115.36	153.38
6 hr	X6 = 61%	13.97	37.93	53.80	73.85	88.72	103.48	137.59
5 hr	X5 = 57%	13.06	35.45	50.27	69.01	82.90	96.70	128.57
4 hr	X4 = 52%	11.91	32.34	45.86	62.95	75.63	88.21	117.29
3 hr	X3 = 46%	10.54	28.61	40.57	55.69	66.90	78.04	103.76
2 hr	X2 = 39%	8.93	24.25	34.40	47.21	56.72	66.16	87.97
1 hr	<b>X1 = 30%</b>	6.87	18.66	26.46	36.32	43.63	50.89	67.67

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

Para hallar la intensidad de lluvia en horas, simplemente se dividirán las precipitaciones para las horas correspondientes, quedando los siguientes valores que se muestran en la *tabla 10*:

**Tabla 10**

*Intensidad de lluvia por duración para cada período de retorno considerado*

DURACIÓN Horas	INTENSIDAD DE LA LLUVIA SEGÚN EL PERIODO DE RETORNO [mm /h]						
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	0.95	2.59	3.67	5.04	6.06	7.07	9.40
18 hr	1.16	3.14	4.46	6.12	7.35	8.58	11.40
12 hr	1.53	4.15	5.88	8.07	9.70	11.31	15.04
8 hr	1.95	5.29	7.50	10.29	12.36	14.42	19.17
6 hr	2.33	6.32	8.97	12.31	14.79	17.25	22.93
5 hr	2.61	7.09	10.05	13.80	16.58	19.34	25.71
4 hr	2.98	8.08	11.47	15.74	18.91	22.05	29.32
3 hr	3.51	9.54	13.52	18.56	22.30	26.01	34.59
2 hr	4.47	12.13	17.20	23.61	28.36	33.08	43.98
1 hr	6.87	18.66	26.46	36.32	43.63	50.89	67.67

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

### 3.6.3. Fórmula de intensidad de lluvia.

Para calcular las intensidades de lluvia por medio de un tiempo de concentración y período de retorno definido, es necesario formular una ecuación predictiva del tipo:

$$I = \frac{KT^m}{t_c^n}$$

Donde:

**I:** Intensidad de lluvia (mm/h)

**t:** tiempo de concentración (min)

**T:** Período de retorno (años)

**K, m y n:** Parámetros de ajuste

No obstante, los parámetros de ajuste K, m y n no se conocen, por tanto, se aplican regresiones potenciales para aproximarlos, por tanto, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\text{Si } d = KT^m \text{ entonces } I = \frac{d}{t_c^n}$$

En la *tabla 11* se detallan los resultados de los coeficientes tanto para d y n:

**Tabla 11**

*Coefficientes d y n para diferentes períodos de retorno*

PERÍODO DE RETORNO	TERMINO CONSTANTE DE REGRESIÓN [d]	COEFICIENTE DE REGRESIÓN [n]
2	86.59	0.616
5	235.11	0.616
10	333.44	0.616
25	457.68	0.616
50	549.84	0.616
100	641.33	0.616
500	852.75	0.616

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

Ahora se aplica una nueva regresión potencial, pero con la fórmula inicial, para hallar los coeficientes faltantes k y m detallados en la *tabla 12*.

**Tabla 12**

*Regresiones potenciales realizadas para hallar k y m*

REGRESIÓN POTENCIAL						
Nº	T	D	ln(T)	ln(d)	ln(T)*ln(d)	(ln(T)) <sup>2</sup>
1	2	86.59	0.69	4.46	3.09	0.48
2	5	235.11	1.61	5.46	8.79	2.59
3	10	333.44	2.30	5.81	13.38	5.30
4	25	457.68	3.22	6.13	19.72	10.36
5	50	549.84	3.91	6.31	24.68	15.30
6	100	641.33	4.61	6.46	29.77	21.21
7	500	852.75	6.21	6.75	41.94	38.62
<b>Ln (K) =</b>		<b>4.6896</b>	<b>K =</b>	<b>108.81</b>	<b>m =</b>	<b>0.379</b>

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

Con los coeficientes hallados se tiene que:

$$K = 108.80 \quad ; \quad m = 0.3791 \quad ; \quad n = 0.616$$

De modo que la ecuación de intensidad de lluvia para la estación El Azúcar es:

$$I = (108.8)t_c^{-0.616}T^{0.3791}$$

Se trabajará con un período de retorno de 100 años para el cálculo de todos los caudales del proyecto. Los resultados de las intensidades de lluvia calculados con la fórmula antes planteada se presentarán en la *sección 4.2* de resultados.

### **3.6.4. Coeficiente de Escorrentía (C) de las áreas de drenaje.**

El coeficiente de escorrentía, o la fracción de agua de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno en lugar de ser absorbida por el suelo, se determinará mediante el tipo de cobertura vegetal, la permeabilidad del suelo y la pendiente promedio del terreno o cuenca y se usará la tabla 9.5 de la MTOP (2003) para definir este dato, no sin antes determinar los parámetros antes mencionados detallados en la *tabla 13* que son los coeficientes de escorrentía en función de la cobertura vegetal, permeabilidad y pendiente, MTOP (2003).

**Tabla 13**

*Coefficientes de Escorrentía en función de la cobertura vegetal, permeabilidad y pendiente*

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
<b>SIN VEGETACION</b>	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
<b>CULTIVOS</b>	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.65	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
<b>PASTOS VEGETACIÓN LIGERA</b>	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
<b>HIERBA, GRAMA</b>	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
<b>BOSQUES DENSA VEGETACION</b>	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

*Nota.* Tomado de *MTOPI (2004)*

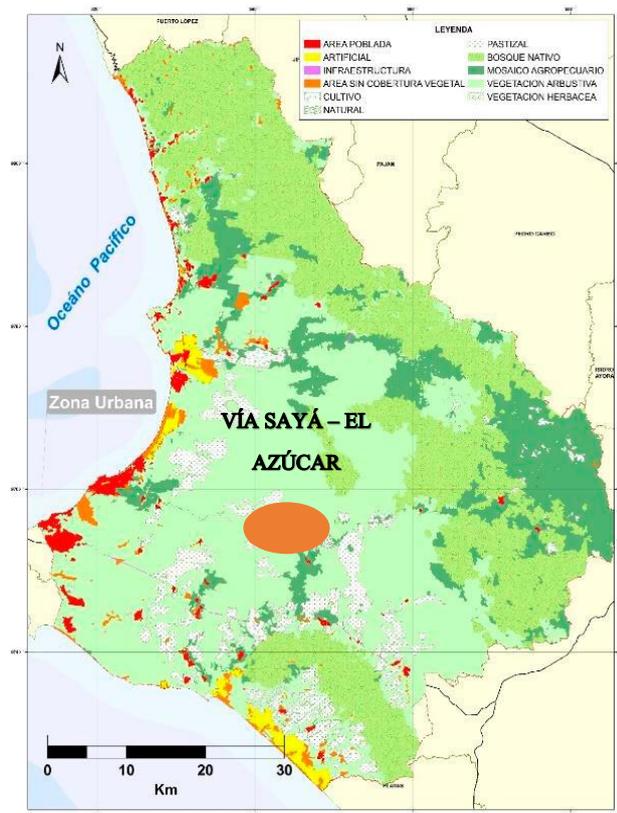
### 3.6.5. Cobertura vegetal.

El plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santa Elena (2014 – 2019) realizado por el Gobierno Descentralizado del Cantón, indica en el capítulo 2.4 el uso y cobertura del suelo de la región, donde se indica que la mayor superficie corresponde a una cobertura vegetal natural, caracterizado por matorrales secos medianamente alterados, además de porciones de bosque seco poco alterado, matorral seco poco alterado y matorral muy alterado.

Para el territorio de estudio se detalla a continuación en la *figura 19* el mapa especificado por el documento gubernamental:

**Figura 19**

*Mapa de cobertura vegetal de Santa Elena*



*Nota.* Tomado del PDOT del GAD Municipal (2014-2019)

Lo que comprende una cobertura de *vegetación arbustiva*, según el detalle del mapa, por tanto, entra en la clasificación de hierba y grama de la *tabla 13* antes anexada de la MTOP (2003), para todo el territorio de estudio.

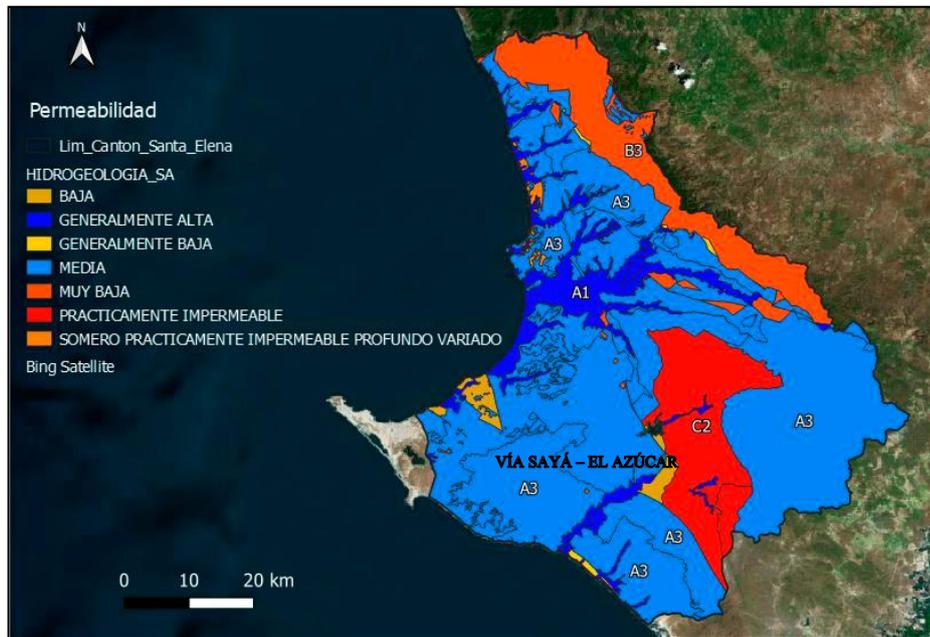
### **3.6.6. Permeabilidad.**

El plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santa Elena realizado por Empresa UPSE (2020-2030), indica en su sección 2.2.2.2 de Hidrogeología la permeabilidad de las rocas y sedimentos presentes en el cantón en base a la hidrografía representada por los ríos principales que nacen de la cordillera Chongón y Colonche.

A continuación, en la *figura 20* se observa el mapa hidrogeológico que clasifica los sectores por su permeabilidad de la provincia de Santa Elena:

**Figura 20**

*Permeabilidad de las rocas y sedimentos*



*Nota.* Tomado del PDOT del GAD Municipal (2023-2030)

Lo que indicaría una permeabilidad media en toda la zona de estudio, por tanto, la clasificación “semipermeable” es la adecuada para calificar el territorio en base a la tabla de la MTOP (2003).

### 3.6.7. Pendiente media (s).

La pendiente media de los cauces pertenecientes a las cuencas de estudio se podrá calcular mediante los datos anexados en la *tabla 19*, que indican la cota máxima y mínima del cauce, además de su longitud horizontal, lo que proporcionaría el valor de la pendiente mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Donde:

**L** = longitud horizontal del cauce de máxima distancia de la cuenca.

**H<sub>max</sub>** y **H<sub>min</sub>** = Cota máxima y mínima correspondientemente del cauce de máxima distancia.

### 3.6.8. Coeficiente C.

En la *tabla 14* se tabulan a continuación los valores de C, para cada una de las cuencas y subcuencas de estudio:

**Tabla 14**

*Coeficiente de escorrentía de las áreas de drenaje en función de la cobertura vegetal presente, la permeabilidad del suelo y la pendiente.*

ÁREA	COBERTURA VEGETAL	PERMEABILIDAD	PENDIENTE	C
1			2.08%	0.35
2			3.40%	0.35
3	HIERBA Y	SEMIPERMEABLE	5.56%	0.40
4	GRAMA		6.54%	0.40
5			3.49%	0.35
6			1.60%	0.35

Donde se observa que el valor de C varía entre 0.35 a 0.40 para el territorio de estudio.

### 3.6.9. Cálculo de caudales probables.

Se utilizará el método racional para calcular los caudales probables contribuyentes de cada cauce, además del tributado por los taludes de corte hacia las cunetas, y estas hacia un punto de descarga en el drenaje principal, se detalla a continuación la siguiente fórmula:

$$Q_{pr} = \frac{CIA}{3.6}$$

Donde:

$Q_{pr}$  = Caudal probable en (m<sup>3</sup>/s)

I = Intensidad de precipitación (mm/hr)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Área de drenaje (km<sup>2</sup>)

### **3.6.10. Tiempo de concentración ( $t_c$ ).**

Para el cálculo de la intensidad de lluvia es necesario determinar el tiempo de concentración  $t_c$ . Se utilizará la fórmula de Rowe que relaciona los siguientes parámetros:

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

Donde:

**L:** Longitud máxima de recorrido del agua precipitada (m)

**H:** Diferencia de altura entre cotas mínima y máxima del recorrido

### **3.6.11. Caudal tributado por las cunetas.**

Como se mencionó en la *sección 3.5.1*, se calcularán los caudales proporcionados por las cunetas, los cuales se descargarán en puntos específicos, entre ellos se supone las abscisas de la *tabla 3*, no obstante, es necesario considerar dos adicionales para las abscisas 1+040 y 1+450 debido a las curvas verticales propias de la vía.

Por tanto, usando el método racional para el cálculo de caudales, la ecuación de intensidad de lluvia propuesta en la *sección 3.6* y la fórmula del tiempo de concentración de Rowe propuesta en la *sección 3.6.10* se podrán calcular los caudales tributados a las cunetas, los cuales se anexarán en la *sección 4.2.2*.

### **3.6.12. Caudal tributado por cuencas y subcuencas.**

Los caudales calculados mediante la fórmula racional se anexarán en la *sección 4.2* de los resultados.

### **3.6.13. Caudal total a puntos de drenaje principales.**

Los caudales sumandos que serán los probables para luego ejecutar el diseño del sistema de drenaje se adjuntarán en la *sección 4.2* de los resultados.

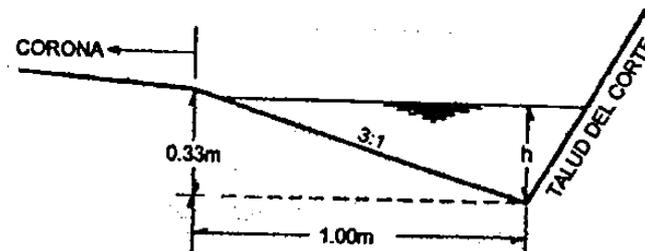
### 3.7. METODOLOGÍA DEL O.E3.: DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE

#### 3.7.1. Sección típica de cuneta.

Para el diseño del sistema de cunetas, se elegirá la sección típica propuesta por la normativa MTOP (2004), mostrada en la *figura 21* a continuación:

*Figura 21*

*Diseño típico de cuneta*



*Nota.* Tomado de la normativa MTOP (2004)

#### 3.7.2. Caudal de diseño.

El caudal de diseño estará dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = A * V$$

Donde:

**Q<sub>dis</sub>**: Caudal de diseño de la cuneta

**A**: Área de la sección mojada

**V**: Velocidad del fluido

##### 3.7.2.1. Velocidad de diseño del flujo.

La velocidad del flujo de agua estará dada por la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

**n**: Coeficiente de Manning dependiente del material usado para el canal

**R**: Radio hidráulico de la sección transversal del canal

**S**: Pendiente del canal

### 3.7.2.2. Coeficiente de Manning (n).

El coeficiente de Manning estará dado por la *figura 22* donde se aprecian los diferentes materiales usados de acuerdo con la MTOP (2003):

**Figura 22**

*Coeficiente de Manning para los diferentes materiales usados.*

DESCRIPCION	"n"
TUBOS DE HORMIGON	0.012
Tubos de metal corrugado o tubos en arco:	
a) Simple o revestido	0.024
b) Solera pavimentada	0.019
Tubo de arcilla vitrificada	0.012
Tubo de hierro fundido	0.013
Alcantarilla de ladrillo	0.015
Pavimento asfáltico	0.015
Pavimento de hormigón	0.014
Parterre de césped	0.05
Tierra	0.02
Grava	0.02
Roca	0.035
Areas cultivadas	0.03-0.05
Matorrales espesos	0.07-0.14
Bosques espesos-poca maleza	0.10-0.15
Cursos de agua	
a) Algo de hierba y maleza-poco o nada de matorrales	0.03-0.035
b) Maleza densa	0.035-0.05
c) Algo de maleza-matorrales espesos a los costados	0.05-0.07

*Nota.* Tomado de MTOP (2003)

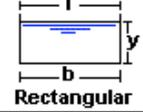
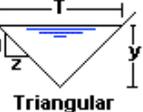
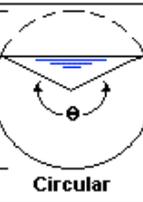
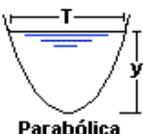
Por tanto, para este trabajo se tomará el valor 0.012 para n, ya que las cunetas serán de hormigón.

### 3.7.2.3. Radio hidráulico (R).

El radio hidráulico para las diferentes secciones transversales de canales abiertos estará dando por las siguientes fórmulas que se muestran en la *figura 23* donde se detalla la sección típica de las alcantarillas, para este caso se usará la sección típica rectangular y circular para el drenaje tipo ducto cajón y tubular respectivamente:

**Figura 23**

Parámetros calculados para las secciones mojadas de diferentes canales

Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Nota. Tomado de Wikipedia (2023)

Y también se puede aseverar, según la figura 23 que:

$$R = \frac{A_m}{P_m}$$

Donde:

**Am:** Área mojada de la sección del canal

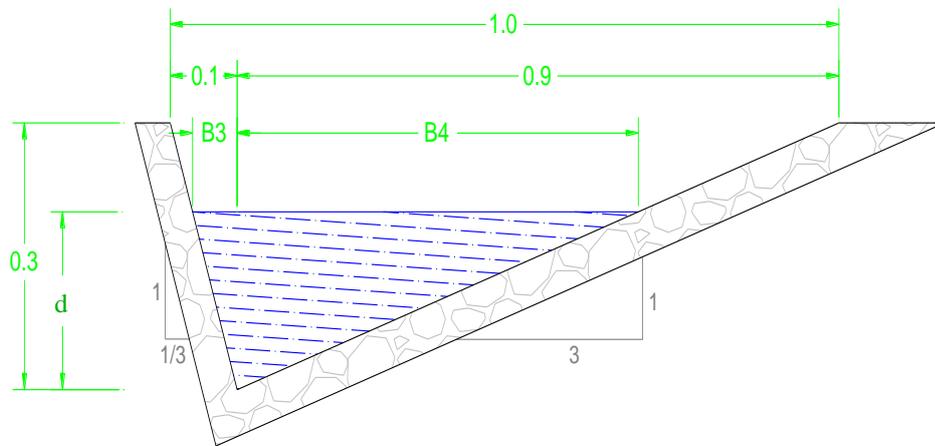
**Pm:** Perímetro mojado de la sección del canal

### 3.7.3. Sección de cuneta.

Por tanto, para la forma seleccionada de la figura 24, se pueden plantear las dimensiones en dependencia del tirante elegido, el cual debe ser menor a la altura total de la cuneta, y al cual se le denominará d:

**Figura 24**

*Modelo de sección de cuneta*



Donde se tiene que:

$$B3 = \left(\frac{1}{3}\right)d \quad y \quad B4 = (3)d$$

Por tanto:

$$A_m = B3 \frac{d}{2} + B4 \frac{d}{2} \quad y \quad P_m = [B3^2 + d^2]^{\frac{1}{2}} + [B4^2 + d^2]^{\frac{1}{2}}$$

Una vez que se eligen arbitrariamente los valores de  $d$ ,  $B3$  y  $B4$ , por iteración se debe comprobar que:

$$Q_{dis} > Q_{pr}$$

Para aseverar que el diseño de la sección cubre con la demanda de caudal probable calculado. El diseño de la sección de cuneta para el caudal propuesto en la *sección 3.7.3* se adjuntará en la *sección 4.3.1*.

### **3.7.4. Diseño de alcantarillas.**

Debido a los caudales calculados en la *sección 4.2.4*, se tendrá un caudal máximo de  $44.79 \text{ m}^3/\text{s}$  y uno mínimo de  $0.285 \text{ m}^3/\text{s}$ , por tanto, se propondrán 2 tipos de alcantarillas:

- a) Alcantarilla circular con cabezal y alas
- b) Alcantarilla tipo ducto cajón con cabezal y alas

Se calcularán caudales de diseño para cada tipo de alcantarilla planteada y se debe cumplir con la condición de que:

$$Q_{dis} > Q_{pr}$$

### **3.7.5. Caudal de diseño para Alcantarilla Circular.**

Se aplicará la misma fórmula de la *sección 3.7.2* para calcular el caudal de diseño involucrando el área y la velocidad de diseño.

#### **3.7.5.1. Velocidad de diseño del flujo.**

Se utilizará de la misma manera la fórmula de Manning propuesta en la *sección 3.7.2.1* para calcular la velocidad de diseño, que toma en cuenta el coeficiente de Manning, el radio hidráulico y la pendiente del canal.

#### **3.7.5.2. Coeficiente de Manning.**

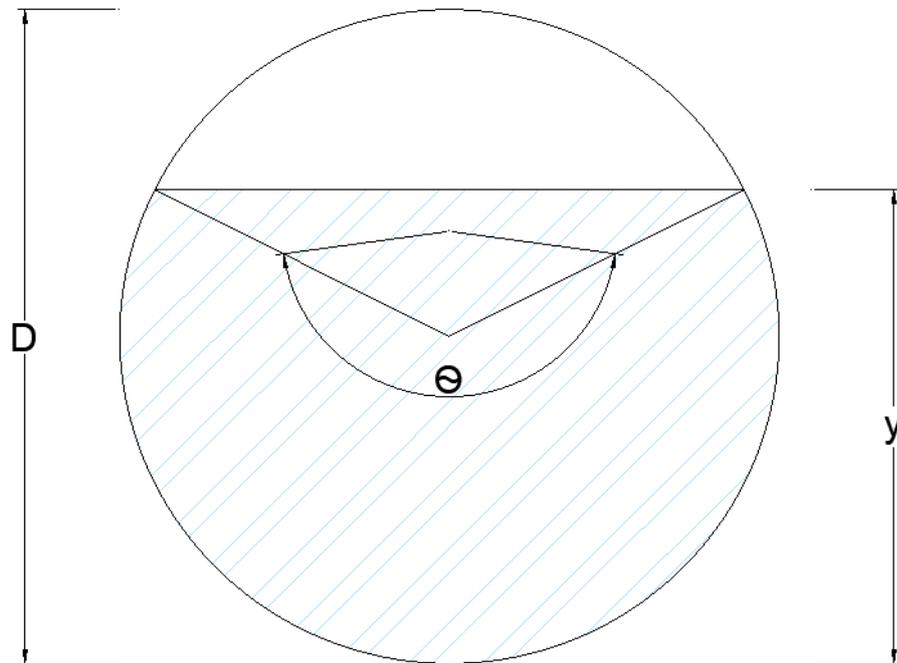
Utilizando la *figura 22* de la *sección 3.7.2.2* y sabiendo que se usará módulos tubulares de hormigón prefabricado se usará un coeficiente  $n$  de 0.012.

#### **3.7.5.3. Radio Hidráulico.**

Según la *figura 23* de la *sección 3.7.2.3* se puede plantear la sección del tubo de la siguiente manera mostrada en la *figura 25* la sección de la alcantarilla circular donde se aprecia el área de la sección mojada:

**Figura 25**

*Sección de alcantarilla circular denotando el área de la sección mojada*



Donde se tiene que:

**D:** Diámetro de la sección circular

**y:** Tirante de agua

**θ:** Ángulo medido desde centro cubriendo el espejo de agua

Y donde se puede establecer que:

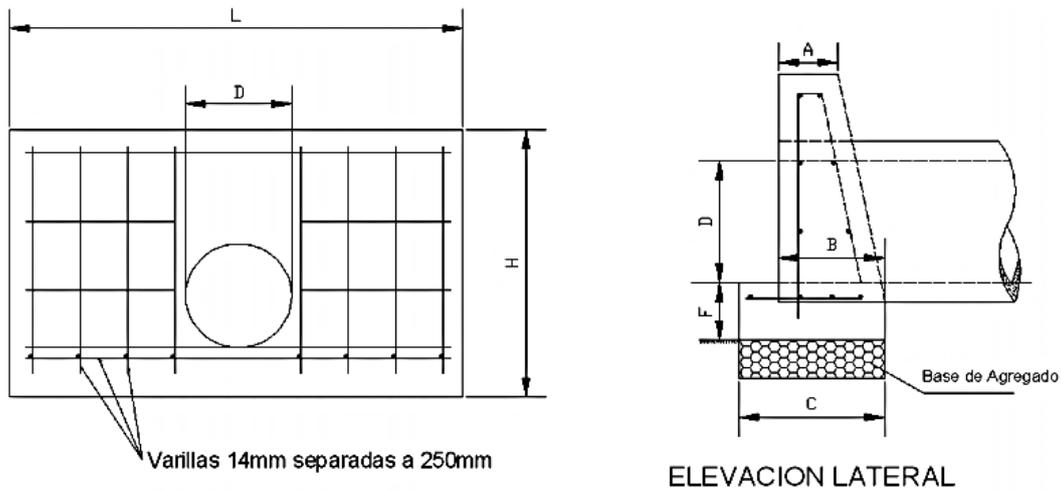
$$R = \left(1 - \frac{\text{sen}(\theta)}{\theta}\right) \frac{D}{4}$$

#### **3.7.5.4. Sección de entrada de alcantarilla.**

La MTOP (2003) emplea el siguiente esquema para el diseño del cabezal de la alcantarilla detallada en la *figura 26*:

**Figura 26**

*Esquema de diseño del cabezal de la alcantarilla*



ELEVACION FRONTAL

Nota. Tomado de MTOP (2003)

Se sugieren las siguientes medidas de la *tabla 15* para las dimensiones del cabezal en dependencia del diámetro de la alcantarilla:

**Tabla 15**

*Dimensiones del cabezal de la alcantarilla en dependencia del diámetro de la tubería escogida*

	Diámetro de Tubería (m)								
	$\Phi$	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4
Dimensiones (m)	A	0.35	0.38	0.38	0.4	0.42	0.45	0.48	0.5
	B	0.75	0.85	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
	C	1	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	D	1.15	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2
	F	0.25	0.28	0.28	0.3	0.32	0.33	0.35	0.38
	H	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3
	L	5	5.6	6	6.3	7.1	8	8.6	9.4

Nota. Tomado de MTOP (2003)

### 3.7.6. Caudal de diseño para Alcantarilla Ducto Cajón.

Se aplicará la misma fórmula de la *sección 3.7.2* para calcular el caudal de diseño involucrando el área y la velocidad de diseño.

### 3.7.6.1. Velocidad de diseño del flujo.

Se utilizará de la misma manera la fórmula de Manning propuesta en la *sección 3.7.2.1* para calcular la velocidad de diseño, que toma en cuenta el coeficiente de Manning, el radio hidráulico y la pendiente del canal.

### 3.7.6.2. Coeficiente de Manning.

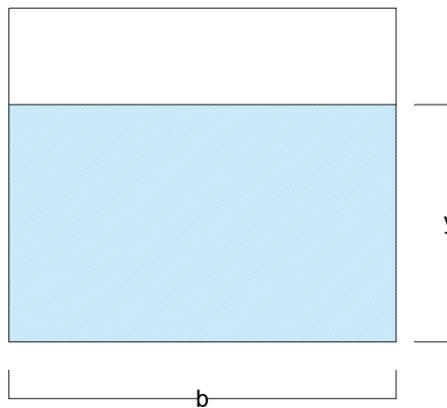
Utilizando la tabla de la *sección 3.7.2.2* y sabiendo que se usarán elementos estructurales de hormigón armado se usará un coeficiente  $n$  de 0.012.

### 3.7.6.3. Radio Hidráulico.

Para el cálculo del radio hidráulico, se presenta en la *figura 27* la siguiente sección simple:

**Figura 27**

*Sección tipo cajón típica*



Donde se tiene que:

$$R = \frac{by}{2y + b}$$

### 3.7.6.4. Sección de entrada de alcantarilla.

Se usarán las dimensiones sugeridas en la *sección 3.7.5* para alcantarillas con sección tipo tubular para las de tipo cajón, homologando la altura  $D$ .

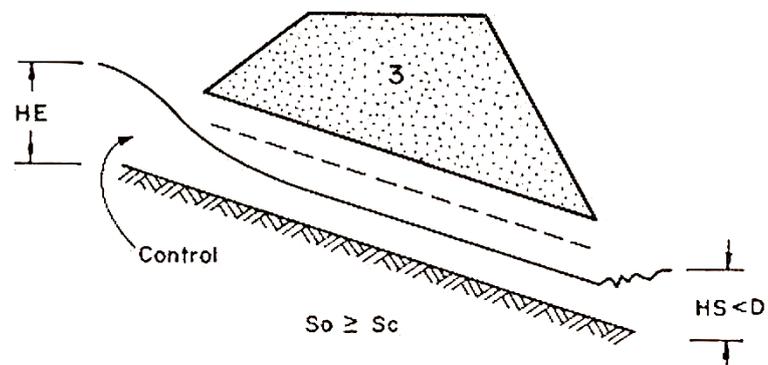
### 3.7.7. Control del flujo de entrada en las alcantarillas.

Los casos típicos donde será necesario definir un control de entrada en el flujo son en donde:

- a) La entrada está descubierta y la pendiente es supercrítica, pudiendo o no fluir llena la sección en parte del conducto detallada en la *figura 28*. (Alonso, 2005)

**Figura 28**

*Caso típico que cuenta con flujo con control de entrada*

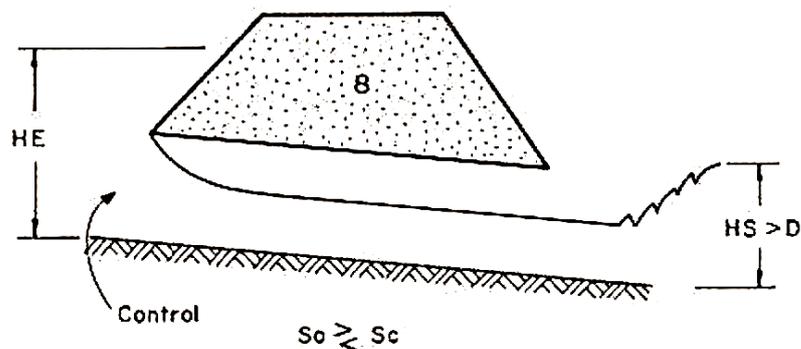


*Nota. Tomado de Alonso (2005)*

- b) La entrada está sumergida, y sin embargo no fluye lleno el conducto pudiendo ser subcrítica o supercrítica la pendiente detallada en la *figura 29*. (Alonso, 2005)

**Figura 29**

*Caso típico que cuenta con flujo con control de entrada*



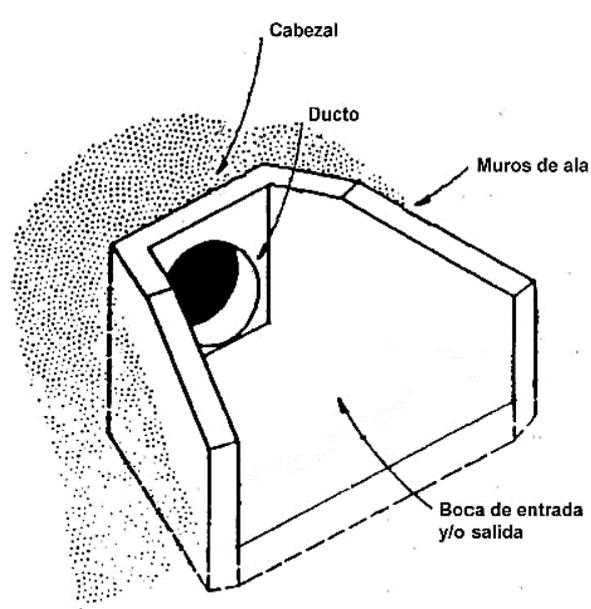
*Nota. Tomado de Alonso (2005)*

El procedimiento de cálculo del flujo de entrada no es complejo, y se define mediante los siguientes pasos:

1. Se parametriza un caudal de diseño en función de la sección de la alcantarilla.
2. Se elige un tipo de entrada, como por ejemplo el de la *figura 30*:

**Figura 30**

*Tipo de entrada con cabezal y muros de ala.*



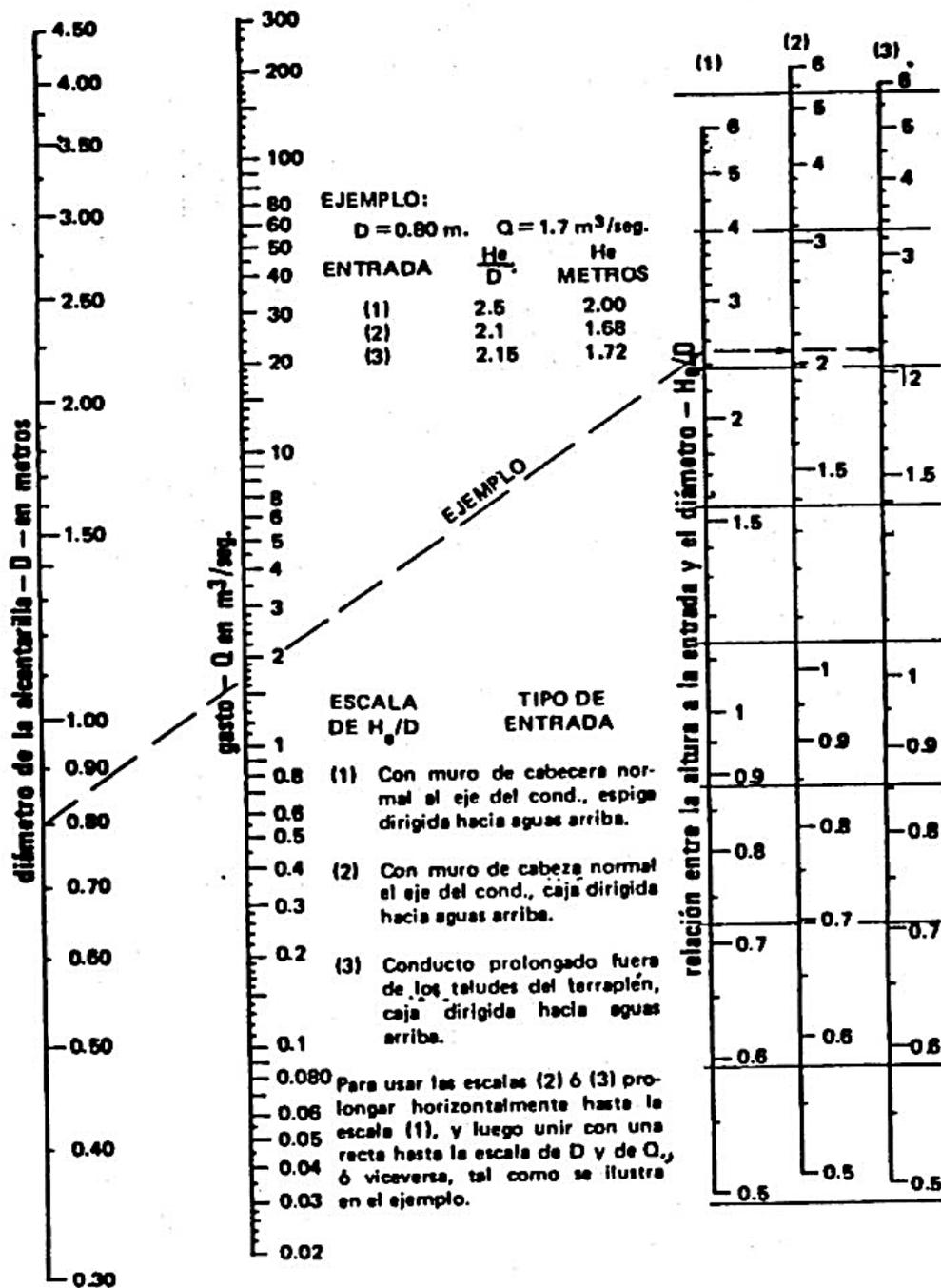
*Nota.* Tomado de *MOP (2003)*

3. Se calcula el nivel que debe formarse en la entrada ( $H_e$ ) para permitir el paso del caudal de diseño. Si el nivel no supera la altura máxima admisible para el agua a de entrada de acuerdo con los condicionantes de diseño se continúa al paso 5, si no es así se vuelve al paso 1.
4. Se debe observar que el nivel de  $H_e$  no sea demasiado pequeño, es decir que la sección de la alcantarilla no sea sobredimensionada.
5. Se adopta el modelo propuesto como una solución al problema planteado.

Para el flujo de entrada se cuentan con nomogramas que relacionan las variables involucradas, a continuación, en la *figura 31* y *figura 32* se muestra el que se usa para alcantarillas tipo tubo de hormigón y tipo cajón respectivamente:

Figura 31

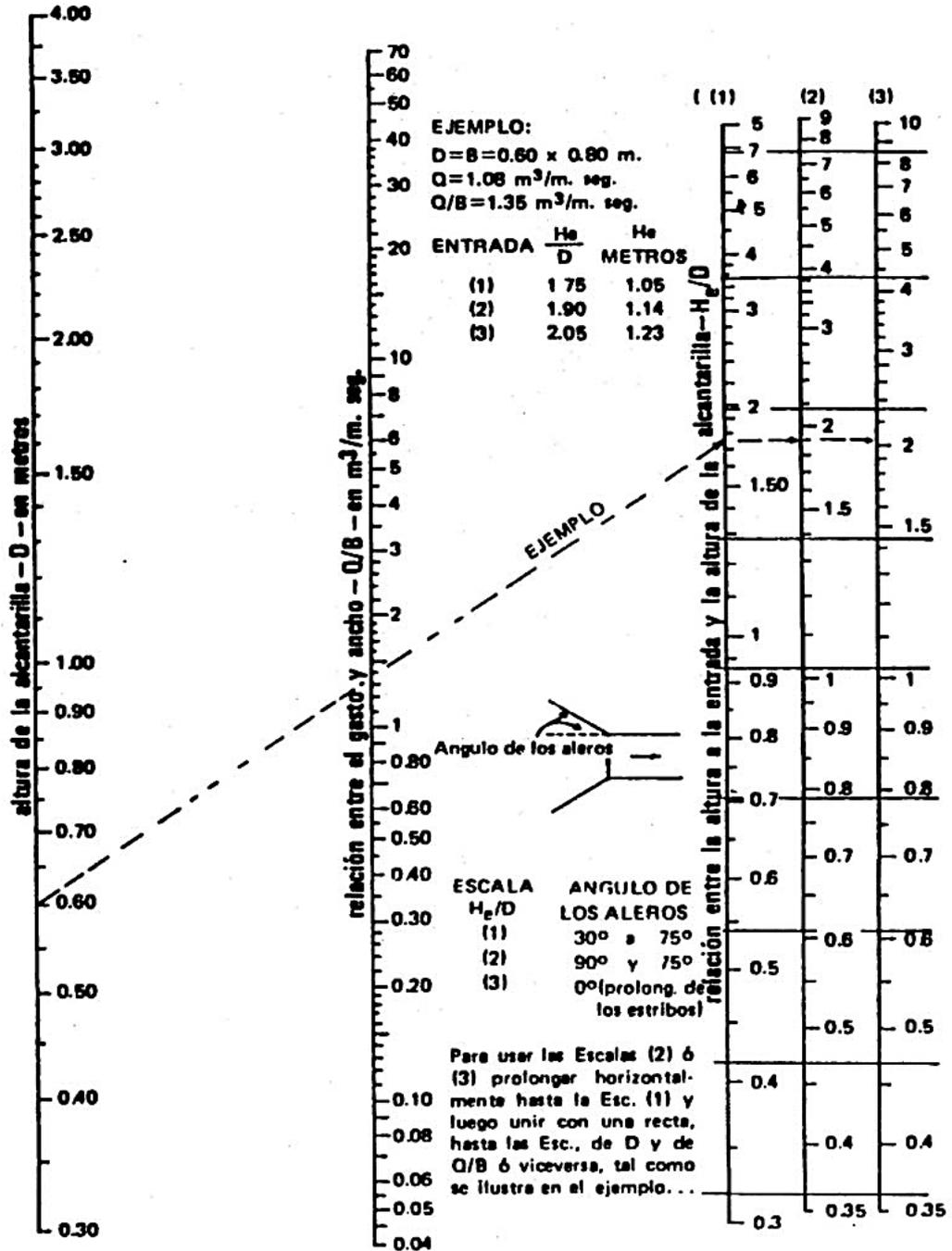
Altura a la entrada para alcantarillas de tubos de concreto con control de entrada



Nota. Tomado de MOP (2003)

Figura 32

Altura a la entrada para alcantarillas de cajón con control de entrada



Nota. Tomado de MOP (2003)

Para usar los nomogramas, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. En la primera recta o escala vertical del nomograma se busca el diámetro o dimensión de la alcantarilla a verificar.
2. Se elige el caudal de diseño en la segunda recta visible.
3. Se debe trazar una recta entre ambos puntos de manera que se prolongue hasta interceptar la siguiente recta de izquierda a derecha (tercera), luego se traza una horizontal que intercepte con las dos últimas rectas del nomograma, se elegirá el valor  $H_e/D$  que corresponde al tipo de entrada adoptado.
4. Verificar que el valor  $H_e$  se encuentra dentro de los valores de diseño, en este caso que  $H_e$  sea menor a  $D$ , pero que tampoco sea demasiado menor a este.

### **3.7.8. Control del flujo de salida en las alcantarillas.**

En un contexto de control de flujo de salida, se observa que el nivel crítico se desarrolla en las inmediaciones de la sección de salida de la alcantarilla. Hacia la parte aguas arriba de esta sección, se forma un remanso con flujo subcrítico, mientras que aguas abajo se encuentra un flujo supercrítico. (Alonso, 2005)

Por lo tanto, cualquier alteración que ocurra desde la sección de salida en dirección aguas arriba tiene un impacto significativo en el nivel en la entrada de la alcantarilla. En consecuencia, las variables involucradas en este tipo de flujo son idénticas a las que influyen en el control de entrada, además de aquellas que corresponden al tramo comprendido entre esta sección y la de salida (Alonso, 2005). Estas son:

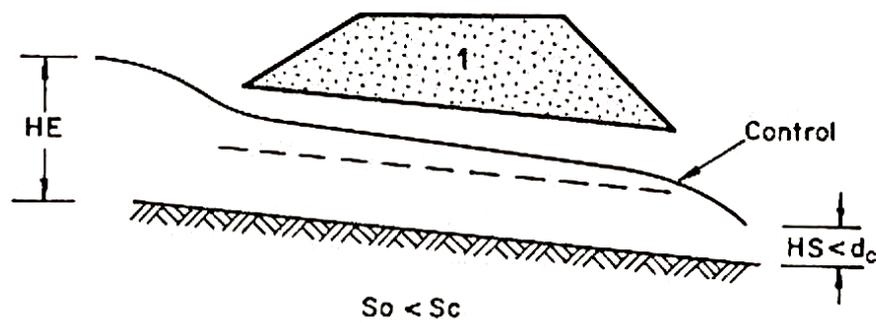
- a) Tipo y dimensiones de la sección transversal.
- b) Geometría de la embocadura
- c) Nivel de agua a la entrada ( $H_e$ )
- d) Nivel de agua a la salida ( $H_s$ )
- e) Pendiente del conducto
- f) Rugosidad del conducto ( $n$ )
- g) Largo del conducto ( $L$ )

Al igual que en el control de entrada, tampoco es sencillo predefinir cuando un flujo establecido tendrá control de salida, por tanto, se definen a continuación los casos más típicos:

- a) La altura del agua no sumerge la entrada y la pendiente del conducto es subcrítica como se observa en la *figura 33*.

**Figura 33**

*Caso (a) de un flujo con control de salida*

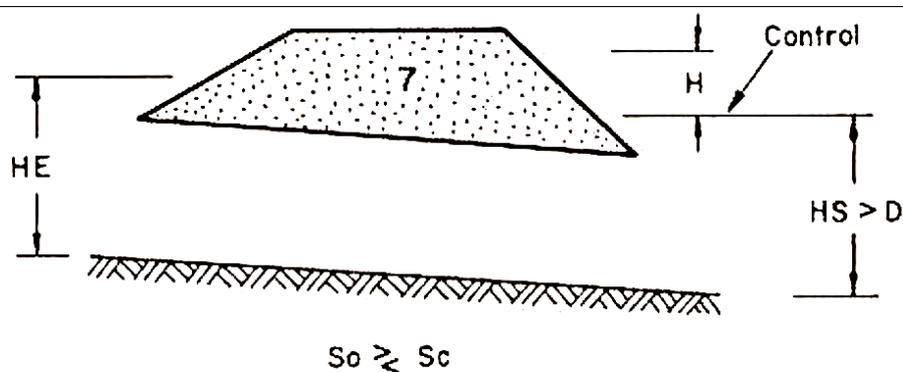


*Nota. Tomado de Alonso (2005)*

- b) La alcantarilla fluye a plena capacidad como se puede observar en la *figura 34*.

**Figura 34**

*Caso (a) de un flujo con control de salida*



*Nota. Tomado de Alonso (2005)*

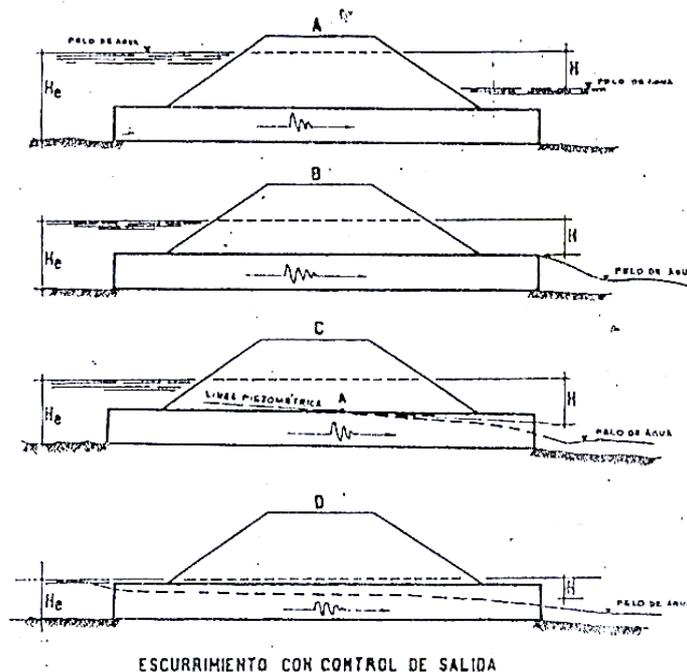
Las profundidades de flujo en las secciones aguas arriba y aguas abajo de una alcantarilla desempeñan un papel crucial en la determinación de si la alcantarilla está funcionando parcial o completamente llena. La profundidad del flujo aguas arriba, medida desde la base o el fondo en la entrada de la alcantarilla, se conoce como Profundidad Aguas Arriba. La profundidad del flujo aguas abajo, medida desde la base o el fondo en la salida de la alcantarilla, se conoce como Profundidad Aguas Abajo. (Ponce, 2017)

El objetivo principal en el diseño de una alcantarilla es calcular el tamaño mínimo necesario que permita el paso del caudal de diseño sin superar una profundidad aguas arriba predefinida. La elección del diseño específico dependerá de si el control hidráulico se encuentra en la entrada o en la salida de la alcantarilla. (Ponce, 2017)

Por tanto, se chequeará el comportamiento del escurrimiento identificando el tipo de caso presente detallado en la *figura 35* usando la ecuación de la conservación de la energía.

**Figura 35**

*Casos de escurrimiento con control de salida*



*Nota.* Tomado de Alonso (2005)

Los 4 casos se detallan a continuación:

- a) Caso de sección con un nivel de agua lleno por encima del dintel de la sección de salida.
- b) Caso de sección con un nivel de aguas abajo del dintel de la sección de salida.
- c) Caso de sección que se encuentra parcialmente llena en un tramo del conducto.
- d) Caso de sección que se encuentra parcialmente llena en todo el conducto.

Si se plantea la ecuación de energía entre dos puntos, en este caso la entrada y salida, la ecuación resulta de la siguiente manera:

$$H_e = H + H_1 - L_i$$

Donde:

**H<sub>e</sub>**: nivel del flujo a la entrada

**H<sub>1</sub>**: Nivel del flujo a la salida

**H**: Energía empleada para la obtención de energía de velocidad a la salida, más la pérdida por fricción y pérdidas a la entrada

**L**: Longitud del conducto

**i**: pendiente del conducto

A continuación, se presentan los procedimientos para el cálculo de H en la salida para cada caso descrito anteriormente.

### 3.7.8.1. Caso A.

Donde se tiene que:

$$H = h_v + h_e + h_f$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

$$h_e = k_e \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{n^2 L V^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

Por tanto, queda que:

$$H = \left( 1 + k_e + \frac{2gn^2L}{R^{\frac{4}{3}}} \right) \frac{V^2}{2g}$$

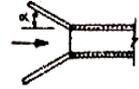
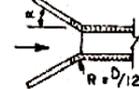
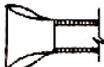
Aquí la velocidad está dada por:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ke (o también Ce), es un coeficiente experimental que tiene en cuenta las pérdidas a la entrada de la alcantarilla que se detallan en la *figura 36* y *figura 37*:

**Figura 36**

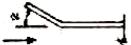
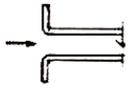
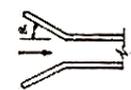
*Coeficientes Ke o Ce para sección tubulares de concreto*

		DESCRIPCION	C <sub>E</sub>
TUBOS DE CONCRETO		CAMPANA SALIENTE	0.2
		ESPIGA SALIENTE (No se recomienda su uso)	0.5
		CON ALETAS (α 0° a 90°) CAMPANA EN EL EXTREMO	0.2
		CON ALETAS (α 0° a 90°) ESPIGA EN EL EXTREMO (No se recomienda su uso)	0.5
		CON ALETAS (α 0° a 90°) REDONDEADA (Radio = D/12)	0.2
		SECCION TERMINAL PREFABRICADA DE ACUERDO CON TALUD	0.5

*Nota. Tomado de Alonso (2005)*

**Figura 37**

*Coefficientes  $K_e$  o  $C_e$  para sección tubulares de concreto*

CAJONES DE CONCRETO ARMADO		ALETAS O MUROS DE CABECERAS	$\alpha = 0^\circ$	0.7
		ARISTAS SIN REDONDEAR	$10^\circ < \alpha < 25^\circ$ $30^\circ < \alpha < 75^\circ$ $\alpha = 90^\circ$	0.5 0.4 0.5
		MURO DE CABECERA TRES ARISTAS REDONDEADAS (Radio = 1/12 dimensión cajón)		0.2
		ALETA, $\alpha$ ENTRE $30^\circ$ Y $75^\circ$ ARISTA SUPERIOR REDONDEADA (Radio = 1/12 dimensión cajón)		0.2

Nota. Tomado de Alonso (2005)

### 3.7.8.2. Caso B, C y D.

Para estos 3 casos se mantiene la consideración de la ecuación mostrada en la sección 3.7.8:

$$H_e = H + H_1 - L_i$$

Pero para la resolución correcta de la misma, solo se conocería el término  $L_i$ , por tanto, para la estimación de  $H_1$ , que es el nivel de agua en la salida de la alcantarilla, se debe adoptar el mayor entre:

- $H_s$ , que es el nivel de agua a la salida cuando es conocido
- El promedio entre  $h_c$  y  $D$ , es decir:

$$H_1 = \frac{h_c + D}{2}$$

Donde:

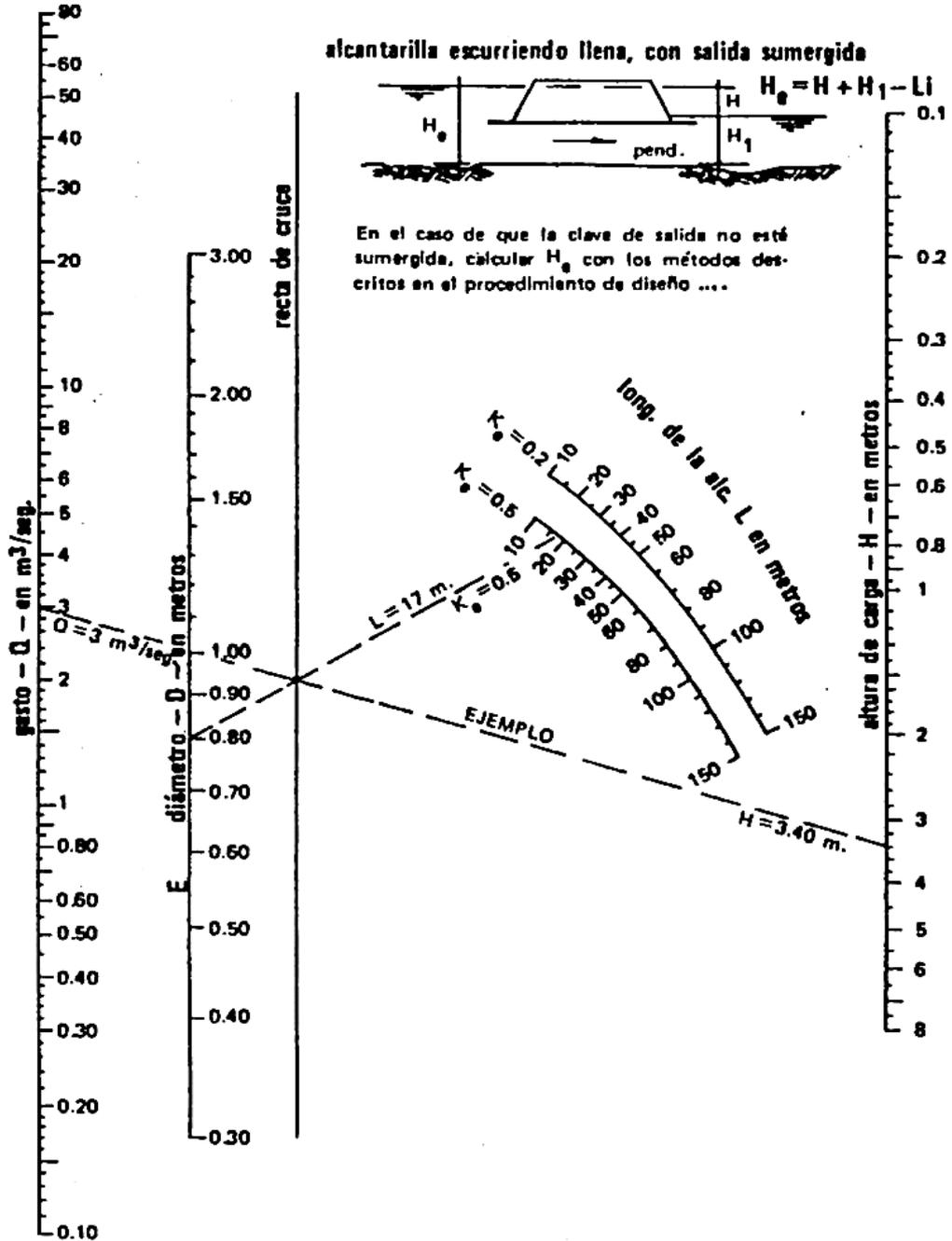
**$h_c$ :** es el tirante crítico para el caudal de diseño. Se proponen tablas para estimar el valor de manera rápida.

**$D$ :** es el diámetro o altura de la alcantarilla

Para la estimación de  $H$ , se usan los siguientes nomogramas que se observan en la figura 38 y figura 39 para alcantarillas circulares y de cajón respectivamente:

Figura 38

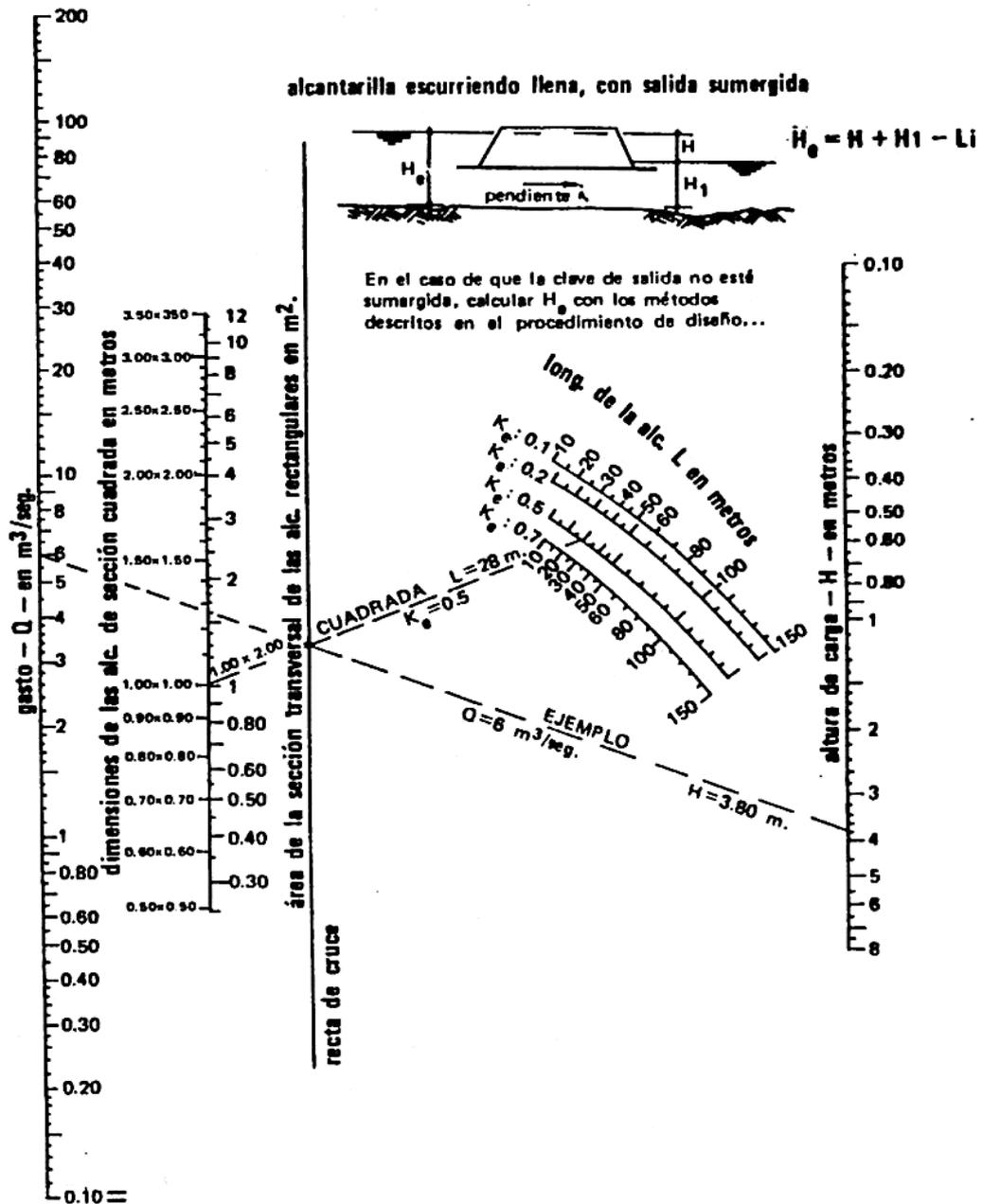
Altura de carga (H) para alcantarillas de tubos circulares de hormigón con escurrimiento lleno.  $n=0.012$



Nota. Tomado de MOP (2003)

Figura 39

Altura de carga (H) para alcantarillas de cajón, con escurrimiento lleno.  $n=0.012$



Nota. Tomado de MOP (2003)

En las *figuras 38 y 39* se presentan los nomogramas típicos para el diseño de las alcantarillas con control en la salida. Tal como se hizo con el control de entrada, se supondrá que se desea conocer el nivel del agua a la salida, con los parámetros tales como pendientes, dimensiones de sección, material, y características de entrada para un caudal de diseño dado. (Alonso, 2005)

Por tanto, el procedimiento de uso de los nomogramas se reduce a:

1. Se traza una recta que una el diámetro o dimensiones de la alcantarilla (segunda recta) con la longitud de esta (cuarta recta/curva) para definir un punto en la línea de control (tercera recta).
2. Luego se traza otra línea que comience en la primera recta, la cual indica el caudal o gasto, luego que pase por el punto de control de la tercera recta y por último que intercepte la última recta, la cual indicará la altura  $H$  en metros.

El valor obtenido del nomograma se introducirá en la ecuación de energía propuesta, que junto con  $H_1$  e  $L_i$  se obtendrá  $H_e$ . Este valor conseguido se lo deberá comparar con el  $H_e$  de entrada y se escogerá el mayor. (Alonso, 2005)

### 3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

*Tabla 16*

*Operacionalización de variables independientes*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	
<b>Independiente</b>	Características Geográficas de la región.	Parámetros pertenecientes a una región tales como: Relieve, clima, vegetación, Hidrografía. (Editorial Etecé, 2021)	Parámetros topográficos calculados en base a cartas topográficas	Áreas de cuencas y subcuencas hidrográficas y taludes	Mapas ráster digitalizados de la región con Q-GIS	m <sup>2</sup>
				Pendiente de Cauces	Altimetría o topografía de los cauces	%
				Longitud de Cauces	Topografía del Cauce	m
				Permeabilidad del suelo	Mapas de cobertura vegetal	Bajo, medio o alto
<b>Independiente</b>	Datos Hidrológicos	Son aquellos que describen el ciclo hidrológico necesarios para la prestación de recursos hídricos (Organización Meteorológica Mundial, 2021)	Información acerca de datos pluviales de estaciones meteorológicas	Intensidad de Lluvia	Método Gumbel Tipo 1	mm/h
				Tiempo de concentración	Ecuación de Rowe	min
				Período de retorno	Criterio de Diseño	años

**Tabla 17***Operacionalización de variables dependientes.*

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA</b>	
<b>Dependiente</b>	Diseño del Sistema de drenaje pluvial de la vía	La función del sistema de drenaje es evacuar el agua precedente de las precipitaciones para que no se acumule en la rasante. (CA&CCA, 2019)	Sección de cunetas y alcantarillas	Velocidad de flujo	Ecuación de Manning	m/s
				Área de sección mojada	Geometría de sección llena	m <sup>2</sup>
				Diámetro de sección	Tipo de tubo	m
				Pendiente del canal	Topografía	%
<b>Dependiente</b>	Caudales probables	El caudal probable permite determinar la demanda con la cual se diseña el sistema de drenaje (Barrera Romero, 2022)	Demanda máxima de diseño	Permeabilidad del suelo	Coficiente C	%
				Intensidad de Lluvia	Método Gumbel Tipo 1	mm/h
				Área de drenaje	Geografía	m <sup>2</sup>
				Tiempo de concentración	Fórmula de Rowe	min

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. RESULTADOS DEL OE1: DATOS GEOGRÁFICOS DE LA REGIÓN ADYACENTE A LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR

#### 4.1.1. Datos de las cuencas hidrográficas.

A continuación, se muestran las áreas y perímetros calculados con el Software Q-GIS de la región norte de la vía Sayá – El Azúcar:

**Tabla 18**

*Áreas de drenaje en el territorio de estudio*

SUPERFICIE	CLASIFICACIÓN	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (km)
1	CUENCA	4.220	8.110
2	CUENCA	2.954	5.677
3	CUENCA	2.363	1.395
4	CUENCA	8.360	13.55
		$\Sigma$ 17.896	ÁREA TOTAL DE DRENAJE

Se puede observar que la cuenca 1 y 4 son las más grandes, por tanto, son las que más caudal proporcionarán a los puntos de drenaje. En el análisis, el software arrojó pequeñas depresiones superficiales o microcuencas aledañas a las subcuencas 2 y 3, tales quebradas pequeñas se considerarán como taludes, para los cuales su drenaje será participativo directamente a las cunetas de la vía.

### 4.1.2. Datos de los cauces principales de las cuencas hidrográficas.

Los datos más importantes de la red hídrica obtenidos de QGIS y Google Earth se anexan en la tabla 19:

**Tabla 19**

*Datos de los cauces principales de las áreas de drenaje*

ÁREA	LONGITUD DE CAUCE (m)	COTA SUPERIOR (m)	COTA INFERIOR (m)
1	3310.00	124.23	88.41
2	2470.00	131.85	88.37
3	1035.00	189.41	83.91
4	4954.00	116.63	34.28

Donde se observa que los cauces de las cuencas 1 y 4 son los más extensos.

### 4.1.3. Datos de los taludes de corte.

A continuación, en la tabla 20 se muestran los datos de los taludes de corte cercanos a la vía:

**Tabla 20**

*Datos principales de los taludes de corte*

N°	ABSCISA		TALUDES				
	INICIO	FINAL	ÁREAS	ANCHO	COTA MAX	COTA MIN	PENDIENTE
	(km)	(km)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(%)
1	0+584	1+760	75940.56	156.46	113.74	106.41	4.68%
2	1+805	2+720	90750.13	594.73	143.94	91.56	8.81%
3	2+720	3+850	119911.30	374.04	144.24	101.30	11.48%
4			47672.82	262.34	111.23	86.74	9.34%
5	3+850	4+670	139174.47	275.58	121.47	85.49	13.06%
6			145294.37	215.15	64.10	61.26	1.32%
7	4+670	5+203	61096.91	148.66	71.20	60.39	7.27%
8	5+203	6+503	168741.26	309.26	68.42	37.20	10.10%

Se puede observar en la tabla 20 que los taludes 3, 5 y 8 son los de mayor pendiente, por tanto, contarán con tiempo de concentración menor.

## 4.2. RESULTADOS DEL OE2: DATOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR

### 4.2.1. Intensidades de lluvia.

A continuación, en la *tabla 21* se muestran los valores de intensidad de lluvia que serán dependientes del período de retorno y el tiempo de concentración:

**Tabla 21**

*Intensidades de lluvia en función del tiempo de duración y período de retorno*

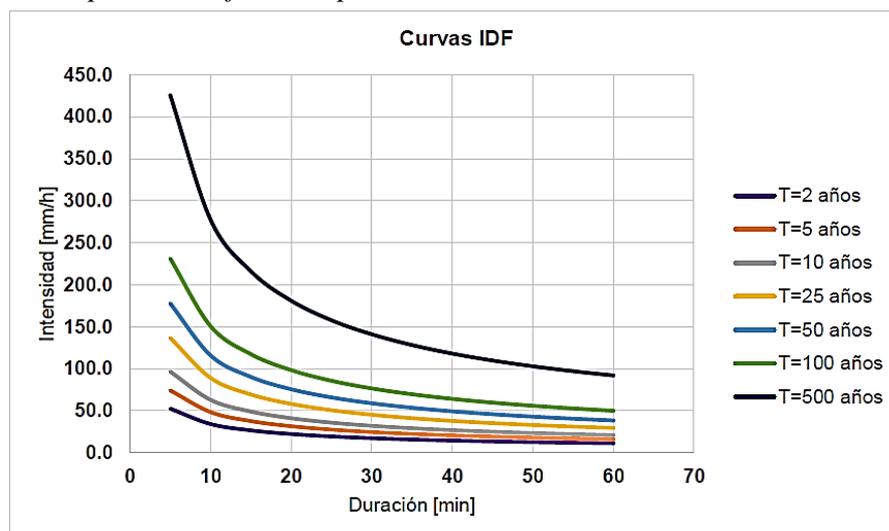
PERÍODO DE RETORNO (TR)	TABLA DE INTENSIDADES - TIEMPO DE DURACIÓN											
	DURACIÓN EN MINUTOS [min]											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	52.5	34.2	26.7	22.3	19.5	17.4	15.8	14.6	13.5	12.7	12.0	11.3
5	74.3	48.4	37.7	31.6	27.5	24.6	22.4	20.6	19.2	18.0	16.9	16.1
10	96.6	63.0	49.1	41.1	35.8	32.0	29.1	26.8	24.9	23.4	22.0	20.9
25	136.7	89.2	69.5	58.2	50.7	45.3	41.2	37.9	35.3	33.1	31.2	29.6
50	177.8	116.0	90.3	75.7	65.9	58.9	53.6	49.3	45.9	43.0	40.6	38.4
100	231.2	150.8	117.5	98.4	85.7	76.6	69.7	64.2	59.7	55.9	52.7	50.0

*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

En la *figura 40* se observa una intensidad de lluvia de entre 230 a 150 aproximadamente para lluvias de entre 5 a 10 minutos de tiempo de concentración para un período de retorno de 100 años.

**Figura 40**

*Curvas IDF para los diferentes períodos de retorno*



*Nota.* Tomado de *Mullo y Oquendo (2021)*

### 4.2.2. Caudales tributados a cunetas.

A continuación, en la *tabla 22* se muestran los caudales ( $Tr=100$  años) calculados que tributarán a las cunetas, y estas a su vez a un punto de descarga principal, es decir una alcantarilla:

**Tabla 22**

*Caudales probables de cunetas a puntos de descarga, calculado para un  $Tr=100$  años*

CAUDAL PROBABLE DE CUNETAS A PUNTOS DE DESCARGA																		
ABSCISA DE UBICACIÓN DESCARGA	ABSCISA		CALZADA				TALUDES				Tc		Tc TOTAL	INTENSIDAD	CAUDAL PROBABLE			
	INICIO	FINAL	LONGITUD	ANCHO	BOMBEO	PENDIENTE	ÁREA	ÁREAS	ANCHO	COTA MAX	COTA MIN	PENDIENTE			CALZADA	TALUD	A CUNETA	TOTAL, A PUNTO
	(km)	(km)	(m)	(m)	(%)	(%)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(%)			(min)	(min)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>1+650</b>	0+584	1+760	1176	9.7	1.50%	1.70%	11408.48	75940.56	156.46	113.74	106.41	4.68%	21.65	31.37	53.02	54.02	0.23	0.46
<b>1+960</b>	1+805	2+720	915	9.7	1.50%	2.67%	8876.50	90750.13	594.73	143.94	91.56	8.8%	15.01	26.40	41.41	62.91	0.30	0.61
<b>3+710</b>	2+720	3+850	1130	9.7	1.50%	4.32%	10962.23	119911.30	374.04	144.24	101.30	11.48%	14.67	23.45	38.11	66.20	0.42	0.84
<b>4+440</b>	3+850	4+670	820	9.7	1.50%	2.86%	7954.89	47672.82	262.34	111.23	86.74	9.34%	13.43	21.08	55.28	52.65	0.14	0.28
<b>5+090</b>	4+670	5+203	533	9.7	1.50%	6.88%	5170.68	145294.37	215.15	64.10	61.26	1.32%	6.87	15.43	33.80	71.29	0.52	1.04
<b>6+840</b>	5+203	6+503	1300	9.7	1.50%	2.53%	12611.42	168741.26	309.26	68.42	37.20	10.10%	20.08	30.12	50.21	55.87	0.49	0.99

Para el diseño de cunetas, se tomará el máximo caudal probable que transitará por el drenaje que es de  $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 4.2.3. Caudales tributados por las cuencas hidrográficas.

A continuación, en la *tabla 23* se tabulan los caudales calculados con los mismos parámetros antes mencionados en la sección 4.2.2:

**Tabla 23**

*Caudales probables proporcionados por el drenaje de las cuencas hidrográficas*

ABSCISA DE UBICACIÓN DESCARGA	ÁREA DE CUENCA (km <sup>2</sup> )	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/hr)	ESCORRENTÍA (C)	CAUDAL PROBABLE (m <sup>3</sup> /s)
		LONGITUD DE CAUCE (L) (m)	ALTURA (H) (m)	T <sub>c</sub> (min)			
<b>1+650</b>	4.220	3310.00	35.82	57.16	51.58	0.35	21.16
<b>1+960</b>	2.954	2470.00	43.48	37.83	66.51	0.35	19.10
<b>3+710</b>	2.363	1035.00	105.50	9.85	152.38	0.40	40.01
<b>6+840</b>	8.360	4954.00	82.35	66.10	47.16	0.40	43.81

Se observa que las cuencas que mayor caudal tributan son las que se encuentran en las abscisas: (i) 3+710; (ii) 6+840 teniendo un área de cuenca de 2363 km<sup>2</sup> con una longitud de cauce de 1035 m, y 8360 km<sup>2</sup> con una longitud de cauce de 4954 m respectivamente.

#### 4.2.4. Caudales totales a alcantarillas.

Se sumarán los caudales proporcionados tanto por las cunetas como por las cuencas hidrográficas para el diseño de las alcantarillas, por tanto, tomando en cuenta los datos anteriores de las *tablas 22 y 23* se tiene:

**Tabla 24**

*Caudales probables totales a los puntos de drenaje a un  $Tr=100$  años*

PUNTO DE DRENAJE	ABSCISA DE UBICACIÓN DESCARGA	CAUDAL PROBABLE TOTAL
		(m <sup>3</sup> /s)
1	1+650	21.62
2	1+960	19.71
3	3+710	40.85
4	4+440	0.285
5	5+090	1.043
6	6+840	44.79

En la tabla 24 se observa que los puntos 1, 2, 3 y 6 son los de mayor demanda, por lo que se opta para aquellos, una sección tipo cajón para el sistema de drenaje principal, mientras que para el resto de los puntos se optará por secciones tubulares de concreto.

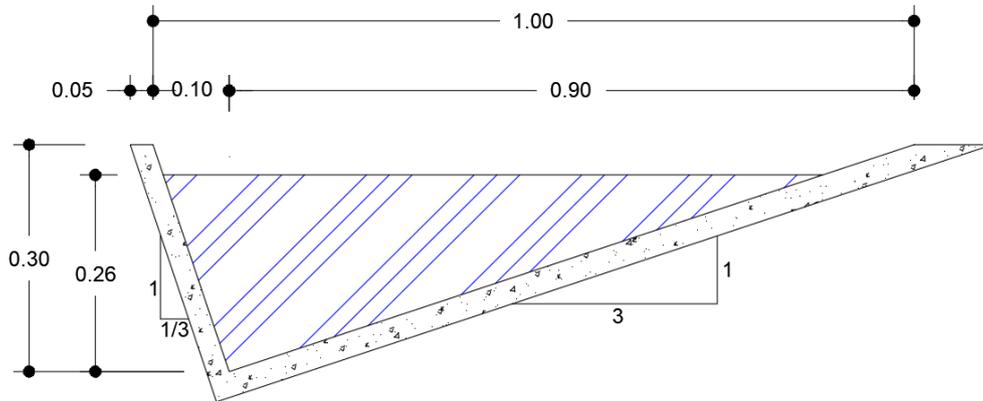
### 4.3. RESULTADOS DEL OE3: SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA LA VÍA SAYÁ – EL AZÚCAR

#### 4.3.1. Diseño de cuneta para taludes de corte.

El diseño mostrado a continuación es el escogido para suplir la demanda crítica calculada en la *sección 4.2.2*, perteneciente a las abscisas desde 4+670 a 5+203, que tiene una longitud de rasante de 0.533 km, y una pendiente longitudinal de 6.88%:

**Figura 41**

*Diseño de cuneta para taludes de corte de la vía Sayá – El Azúcar*



El diseño de la figura 41 obedece al cálculo mostrado en la tabla 25 que se presenta a continuación:

**Tabla 25**

*Datos generales de diseño de la cuneta para los taludes de corte*

<b>PARÁMETROS DE DISEÑO DE CUNETA</b>		
Coefficiente de Manning (n)	0.012	
Tirante máximo (d)	0.26	M
Pendiente más crítica (s)	6.88	%

<b>RESULTADOS HIDRÁULICOS</b>		
Distancia B3	0.087	M
Distancia B4	0.786	M
Área mojada (Am)	0.11	M
Perímetro mojado (Bm)	1.105	M
Radio hidráulico (R)	0.104	M
Velocidad promedio (V)	4.820	m/s
Caudal de diseño (Q <sub>dis</sub> )	0.55	m <sup>3</sup> /s

Se puede observar que el tirante máximo de diseño representa un 86% de la capacidad de la cuneta, además la velocidad promedio de diseño es de 4.82 m/s que es ligeramente superior al límite de diseño según la MOP (2003), que indica que a partir de 4.5 m/s el material es proclive a erosionarse, y el caudal de diseño es de 0.55 m<sup>3</sup>/s que es igual al demandado.

### 4.3.2. Diseño de alcantarillas tubulares de concreto.

Se diseñarán 2 alcantarillas de tipo tubular de concreto, para los puntos de drenaje en las abscisas: (i) 4+440; (ii) 5+090

A continuación, se anexan en la *tabla 26* los cálculos para cada punto:

**Tabla 26**

*Cálculos hidráulicos de las alcantarillas tipo tubular de concreto*

ABSCISA	CAUDAL PROBABLE	DIÁMETRO COMERCIAL (D)	LONGITUD (L)	PENDIENTE (S)	ÁREA		TIRANTE	VELOCIDAD DE DISEÑO	CAUDAL DE DISEÑO	COTAS DE ENTRADA			COTAS DE SALIDA		
					TOTAL	MOJADA				INFERIOR	SUPERIOR	CONTROL (He)	INFERIOR	SUPERIOR	CONTROL (Hs)
	m <sup>3</sup> /s	m	m	%	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m
4+440	0.285	0.53	10.50	1	0.22	0.188	0.42	1.841	0.346	72.86	73.39	73.53	72.76	73.285	73.22
5+090	1.043	0.76	10.50	1.4	0.45	0.386	0.60	2.770	1.070	62.87	63.63	63.95	62.72	63.483	63.33

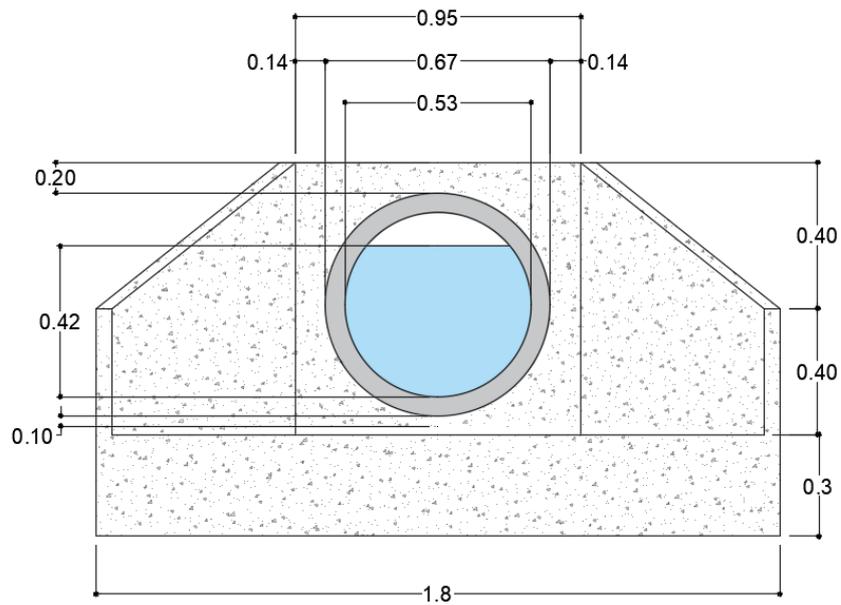
Se puede observar en la *tabla 26* que en la abscisa 4+440 se tiene un caudal probable de 0.285 m<sup>3</sup>/s y una velocidad de diseño de 1.841 m/s y en la abscisa 5+090 se tiene un caudal probable de 1.043 m<sup>3</sup>/s y una velocidad de diseño de 2.770 m/s con respecto a las velocidades están por debajo de lo permitido por el MTOP. Para estos cálculos se debe tener en cuenta que los ríos en la provincia de Santa Elena son intermitentes ya que ocurren en época de invierno.

### 4.3.2.1. Abscisa 4+440.

En las figuras 42, 43, 44 y 45 se detallan el predimensionamiento de la alcantarilla de la abscisa 4+440 en base a los caudales calculados, en cual se puede denotar la vista frontal, lateral, vista superior y transversal de la alcantarilla de entrada y de salida.

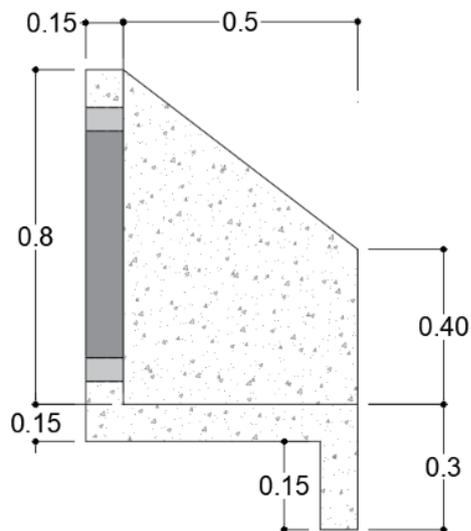
**Figura 42**

Vista frontal de la alcantarilla



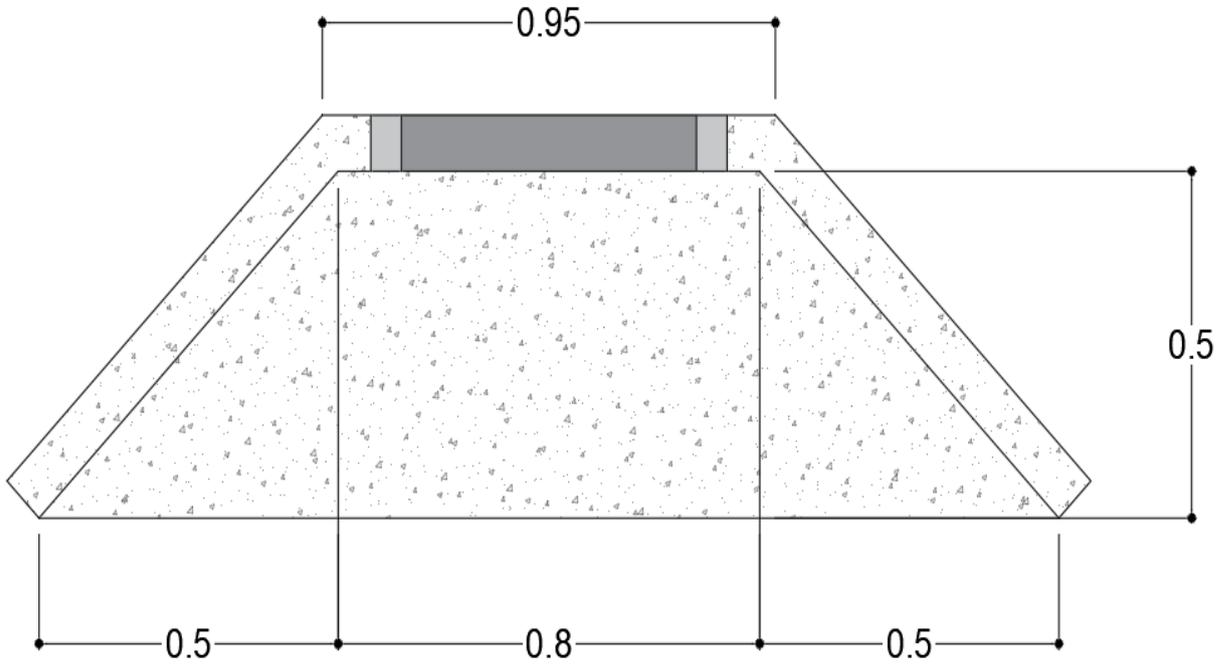
**Figura 43**

Vista lateral del cabezal



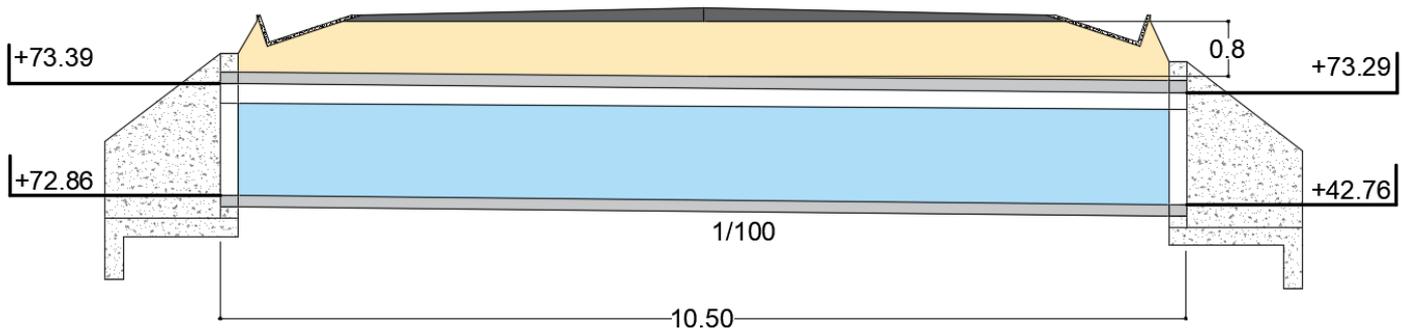
**Figura 44**

*Vista superior del cabezal de la alcantarilla*



**Figura 45**

*Vista transversal de la sección longitudinal de la alcantarilla*

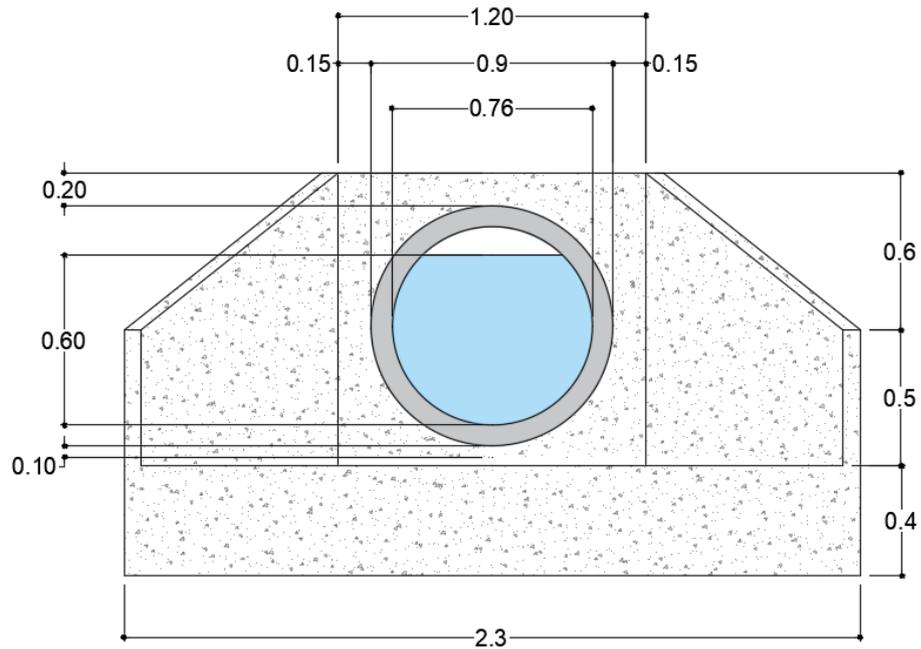


#### 4.3.2.2. Abscisa 5+090.

En las figuras 46, 47, 48 y 49 se detallan el predimensionamiento de la alcantarilla de la abscisa 5+090 en base a los caudales calculados, en cual se puede denotar la vista frontal, lateral, vista superior y transversal de la alcantarilla de entrada o de salida.

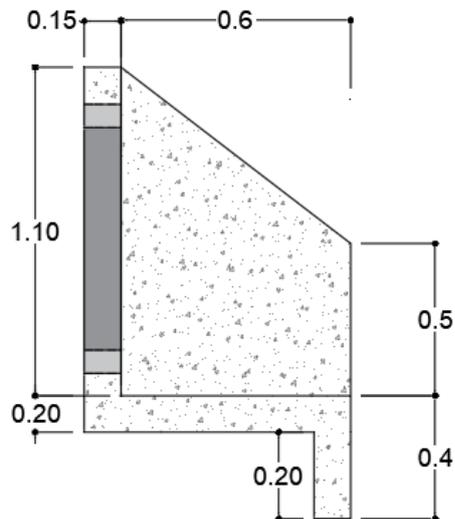
**Figura 46**

*Vista frontal de la alcantarilla*



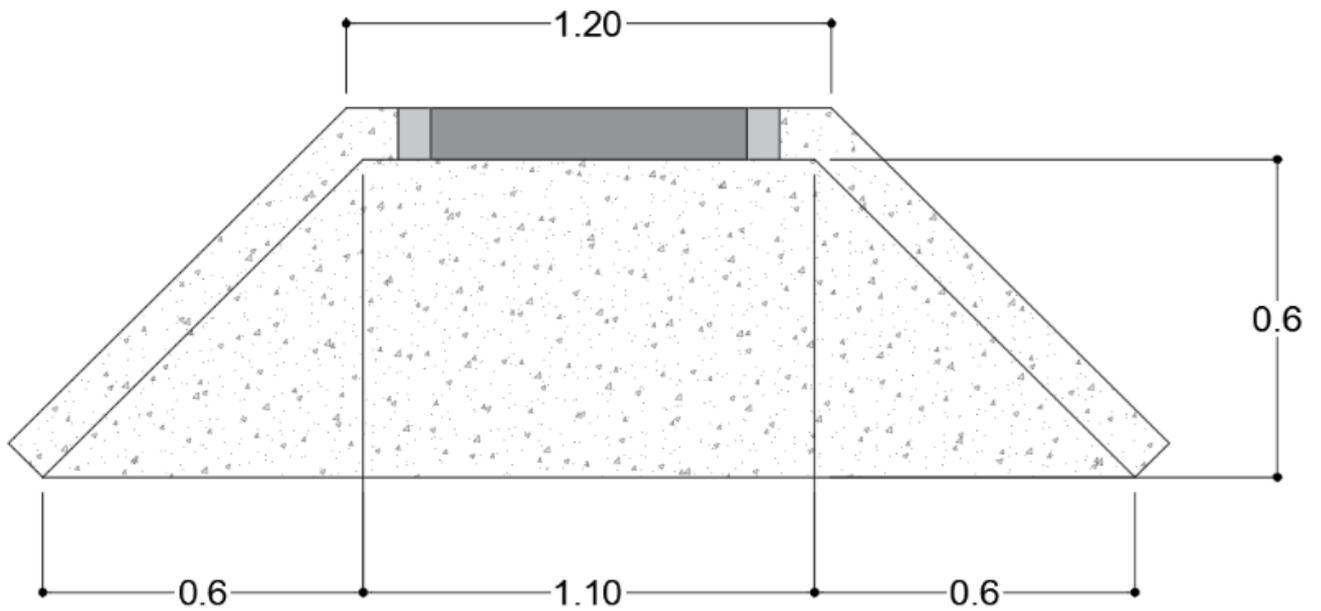
**Figura 47**

*Vista lateral del cabezal*



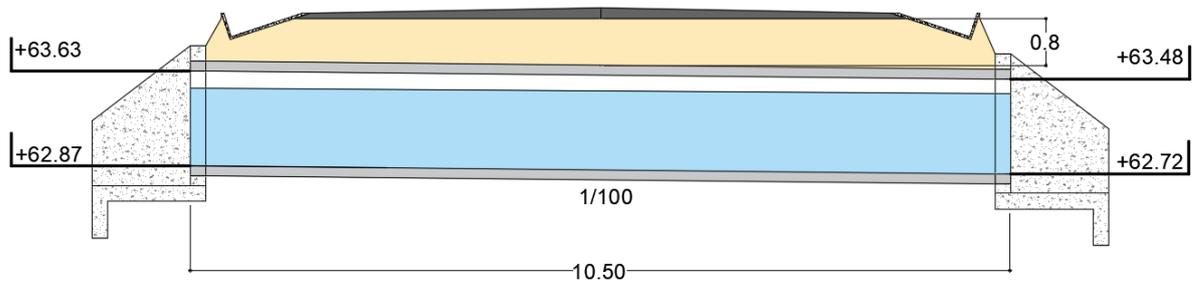
**Figura 48**

*Vista superior del cabezal de la alcantarilla*



**Figura 49**

*Vista transversal de la sección longitudinal de la alcantarilla*



### 4.3.3. Diseño de alcantarillas de concreto tipo cajón.

Se diseñarán 2 alcantarillas de tipo cajón de concreto para los puntos de drenaje más críticos, en las abscisas: (i) 1+650; (ii) 1+960; (iii) 3+710; (iv) 6+840.

A continuación, se anexan en la *tabla 27* los cálculos de las alcantarillas de tipo cajón para cada punto:

**Tabla 27**

*Cálculos hidráulicos de las alcantarillas tipo cajón de concreto*

ABSCISA	CAUDAL PROBABLE	ALTURA (D)	BASE	CAJONES	PENDIENTE (S)	ÁREA		TIRANTE	VELOCIDAD DE DISEÑO	CAUDAL DE DISEÑO	COTAS DE ENTRADA			COTAS DE SALIDA		
						TOTAL	MOJADA				INF.	SUP.	CONTROL (He)	INF.	SUP.	CONTROL (Hs)
	m <sup>3</sup> /s	m	m	#	%	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	msn	msn	msn	msn	msn	msn
1+650	21.62	1.55	1.50	3	1	6.975	5.23	1.16	4.94	25.82	85.86	87.41	88.87	85.76	87.31	87.28
1+960	19.71	1.55	1.50	3	1	6.98	5.23	1.16	4.94	25.82	85.46	87.01	88.47	85.36	86.91	86.88
3+710	40.85	2.00	1.80	3	1	10.8	8.10	1.50	5.68	46.00	80.91	82.91	84.81	80.81	82.81	82.74
6+840	44.79	2.00	1.80	3	1	10.80	8.10	1.50	5.68	46.00	31.28	33.28	35.18	31.18	33.18	33.11

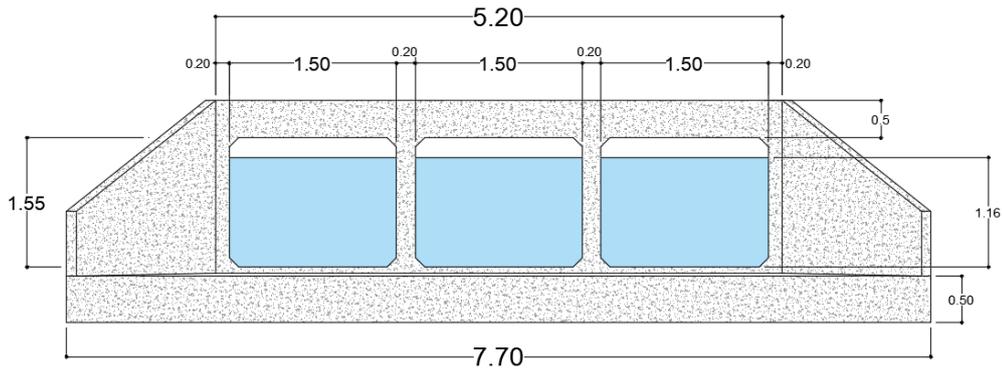
Se puede observar en la *tabla 27* que en las abscisas 1+650 y 1+960 se utilizará un caudal de diseño de 25,83 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de diseño de 4,94 m/s y en las abscisas 3+710 y 6+840 se utilizará un caudal de diseño de 46 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de diseño de 5,68 m/s. de acuerdo a la MTOP (2003) las velocidades que erosionan los materiales de hormigón se encuentran entre 4.5 y 7.5 m/s por lo tanto si cumplen. Para estos cálculos se debe tener en cuenta que los ríos en la provincia de Santa Elena son intermitentes ya que ocurren en época de invierno.

### 4.3.3.1. Abscisas 1+650 y 1+960.

En las figuras 50, 51 y 52 se detallan el predimensionamiento de la alcantarilla en base a los caudales calculados, en cual se puede denotar la vista frontal, lateral, vista superior y transversal de la alcantarilla de entrada o de salida.

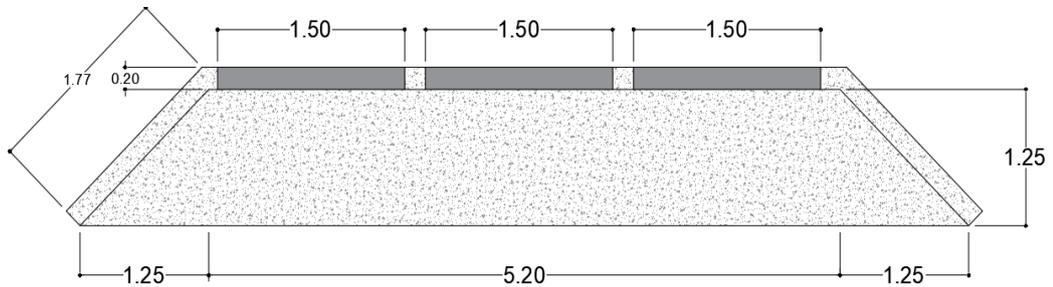
**Figura 50**

*Vista frontal del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*



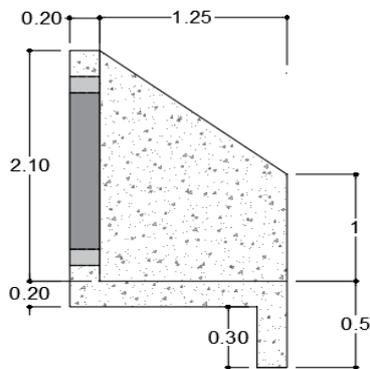
**Figura 51**

*Vista superior del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*



**Figura 52**

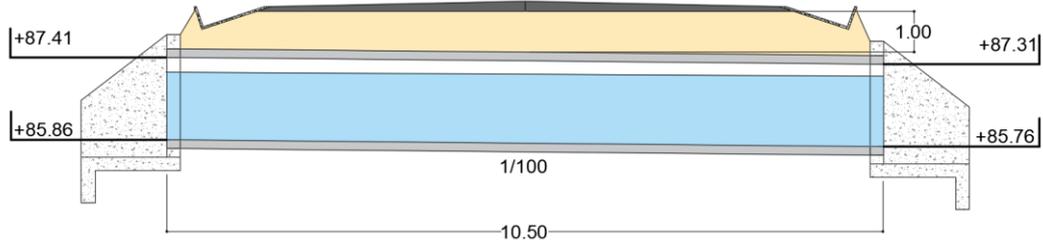
*Vista lateral del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*



En la figura 53 y figura 54 se observa la vista transversal se la sección longitudinal de la alcantarilla tipo cajón de las abscisas 1+650 y 1+960 respectivamente:

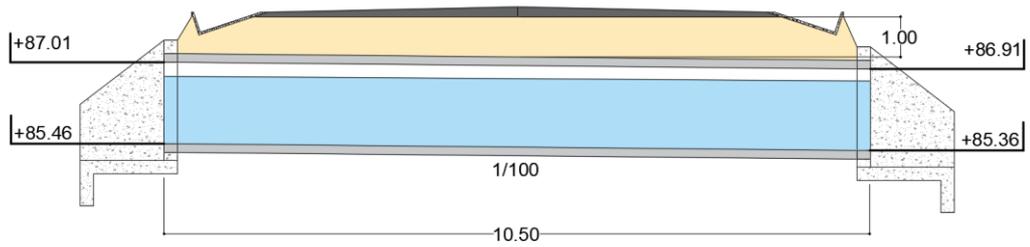
**Figura 53**

*Abscisa 1+650*



**Figura 54**

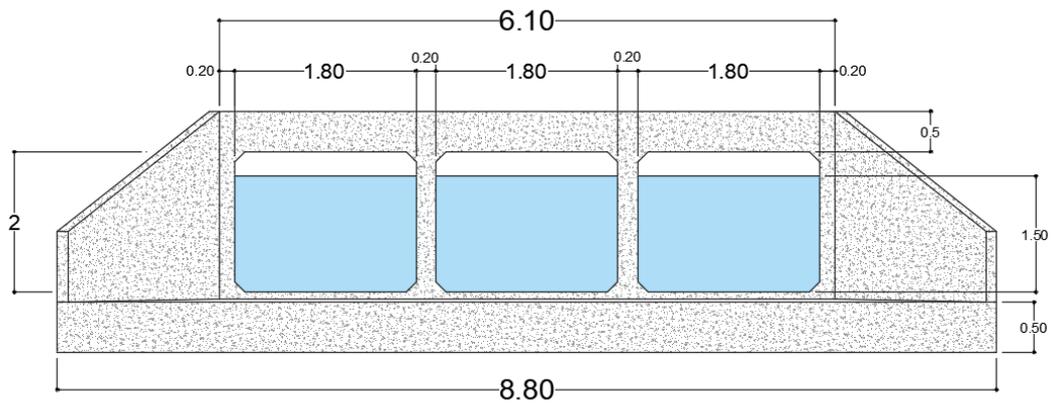
*Abscisa 1+960*



**4.3.3.2. Abscisas 3+710 y 6+840.**

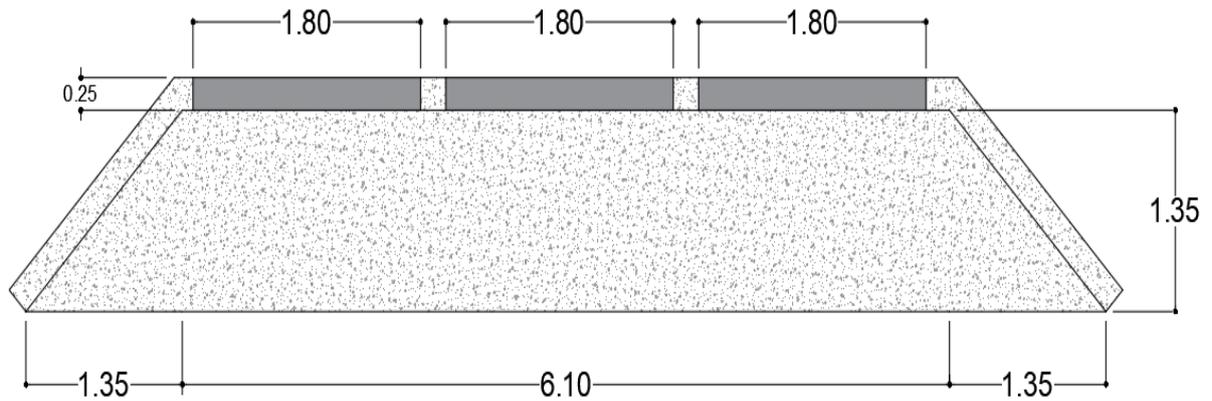
**Figura 55**

*Vista frontal del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*



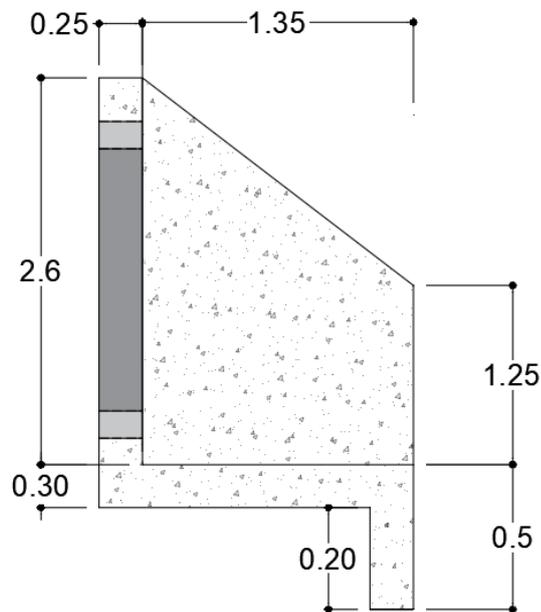
**Figura 56**

*Vista superior del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*



**Figura 57**

*Vista lateral del cabezal de la alcantarilla tipo cajón*

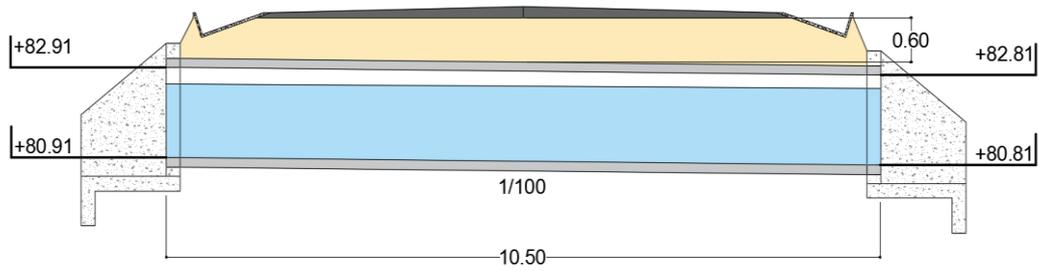


En las figuras 55, 56 y 57 se detallan el predimensionamiento de la alcantarilla en base a los caudales calculados, en cual se puede denotar la vista frontal, lateral, vista superior y transversal de la alcantarilla de entrada o de salida.

En la *figura 58* y *figura 59* se detalla la vista transversal se la sección longitudinal de la alcantarilla tipo cajón para las abscisas 3+710 y 6+840 respectivamente.

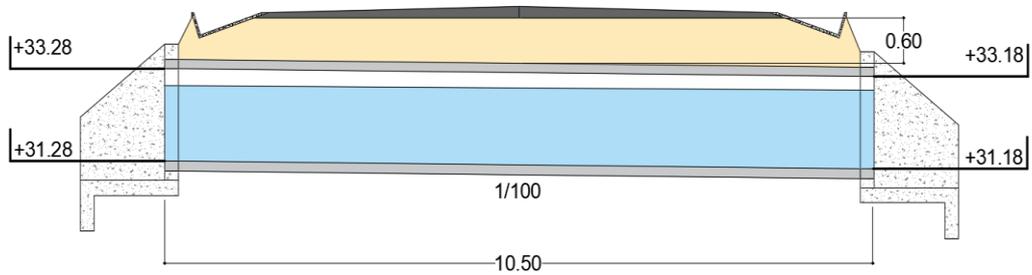
**Figura 58**

Abscisa 3+710



**Figura 59**

Abscisa 6+840



# **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

### **5.1.1. Estudio Topográfico (O.E.1).**

El estudio topográfico realizado mediante el software Q-GIS permitió una delimitación detallada de las cuencas aportantes de la región donde se encuentra la vía Sayá – El Azúcar.

La precisión de la información topográfica proporcionada contribuyó significativamente al diseño eficiente y seguro del sistema de drenaje.

### **5.1.2. Estudio Hidrológico (O.E.2).**

El análisis estadístico de los datos pluviales fue crucial para comprender los caudales probables tributados por las cuencas, subcuencas y taludes adyacentes a la vía.

La aplicación de métodos hidrológicos sólidos aseguró una evaluación precisa de las condiciones hidrológicas, proporcionando una base confiable para el diseño del sistema de drenaje.

### **5.1.3. Diseño del Sistema de Drenaje (O.E.3).**

El diseño del sistema de drenaje superficial y subterráneo se basó en los caudales probables calculados para un período de retorno conservador, asegurando la integridad estructural de la vía Sayá – El Azúcar.

La eficiencia de este sistema de drenaje propuesto contribuirá de manera efectiva a la mitigación de riesgos de inundaciones y garantiza la durabilidad a largo plazo de la infraestructura vial.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- i. Se recomienda mantener actualizado el estudio topográfico utilizando tecnologías y software de mapeo geoespacial. La evolución de las condiciones geográficas puede tener un impacto en el sistema de drenaje a lo largo del tiempo.
- ii. Para mejorar la precisión de los datos hidrológicos, se sugiere expandir el monitoreo de las condiciones pluviales y actualizar regularmente los análisis estadísticos. Esto permitirá ajustar el diseño del sistema de drenaje según cambios climáticos a largo plazo.
- iii. Antes de la implementación a gran escala, se aconseja realizar pruebas piloto del sistema de drenaje para evaluar su rendimiento práctico. Las pruebas permitirán ajustes finos y garantizarán la eficiencia operativa del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Sanchez, L. (2009). Modelo hidrológico - hidráulico para evaluar un sistema de drenaje urbano en zonas planas. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XXX(3), 1–9.  
<https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/download/65/68>
- Álvarez Sacoto, J. A., & Calle Rivera, G. F. (2013). *ESTUDIO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS PARA DRENAJE VIAL EN LA VÍA DE ACCESO AL SECTOR “LA UNIÓN” EN SANTA ISABEL – AZUAY* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>
- Ando, Y., Musiake, K., & Takahasi, Y. (1984). Modelling of hydrologic processes in a small urbanized hillslope basin with comments on the effects of urbanization. *Journal of Hydrology*, 68(1–4), 61–83.  
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90204-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90204-X)
- Aranda, J. Á., Beneyto, C., Sánchez-Juny, M., & Bladé, E. (2021). Efficient Design of Road Drainage Systems. *Water*, 13(12), 1661.  
<https://doi.org/10.3390/w13121661>
- Arroyo Quintero, H., & Garcia Diaz, H. (2016). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES* [Universidad de Cartagena].  
[https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/11227/3493/1/ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.pdf?locale=es](https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/11227/3493/1/ESTUDIO%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20HIDRÁULICO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20DRENAJE%20PLUVIAL%20EN%20CUBIERTAS%20Y%20ÁREAS%20PRIVADAS%20DE%20EDIFICACIONES.pdf?locale=es)
- Bacuilima Illescas, M. A., & Cedillo Orellana, P. E. (2012). *Estudio hidrológico para el diseño de una obra de drenaje mayor* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/769>
- Cárdenas Arichábalá, J. V., & Idrovo Gordillo, G. S. (2023). *EVALUACIÓN Y DISEÑO DE DRENAJE SUPERFICIAL EN EL SECTOR OSOYACU*

- [Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25415/1/UPS-CT010662.pdf>  
 Carrión Luzuriaga, H. D., & Orellana Paucar, C. H. (2016). *Estudio del sistema de drenaje para la vía Molleturo -Tres Marías- La Iberia, en la provincia del Azuay* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24093>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2022). Highway Planning Trends: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14(9), 5544.  
<https://doi.org/10.3390/su14095544>
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil*. PUCP. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Coral Suarez, M. A., & Carlosama, B. A. (2021a). *Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda*. Universidad Antonio Nariño.
- Coral Suarez, M. A., & Carlosama, B. A. (2021b). *Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda*. [UAN].  
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5741>
- Del Río Cervantes, A. F., & Forero Castiblanco, D. A. (2021). *ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE LA VÍA QUE CONDUCE DEL CORREGIMIENTO EL DOCE - AL CORREGIMIENTO BARRO BLANCO, ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ, ANTIOQUIA*. [Universidad Católica de Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/754ceccf-339f-4cb4-8c4a-b4b825aa2fab/content>
- Francisco, T. H. S., Menezes, O. V. C., Guedes, A. L. A., Maquera, G., Neto, D. C. V., Longo, O. C., Chinelli, C. K., & Soares, C. A. P. (2022). The Main Challenges for Improving Urban Drainage Systems from the Perspective of Brazilian Professionals. *Infrastructures*, 8(1), 5.  
<https://doi.org/10.3390/infrastructures8010005>
- Franczyk, J., & Chang, H. (2009). The effects of climate change and urbanization

- on the runoff of the Rock Creek basin in the Portland metropolitan area, Oregon, USA. *Hydrological Processes*, 23(6), 805–815. <https://doi.org/10.1002/hyp.7176>
- Gabr, M. E., El Shorbagy, A. M., & Faheem, H. B. (2022). Utilizing the Harvesting of Rainwater to Provide Safe Road Transportation Efficiency and Increase Water Resources in the Context of Climatic Change. *Sustainability*, 14(15), 9656. <https://doi.org/10.3390/su14159656>
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en Ingeniería Civil* (Primera Ed).
- García Ramírez, Y. (2021). *Guía para la elaboración de planes de tesis en Ingeniería Civil* (UTPL (ed.); Primera).
- Guan, M., Sillanpää, N., & Koivusalo, H. (2015). Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment. *Hydrological Processes*, 29(13), 2880–2894. <https://doi.org/10.1002/hyp.10410>
- Han, G., & Pepin, P. (2019). Introduction to the Special Section on the Aquatic Climate Change Adaptation Services Program. *Atmosphere-Ocean*, 57(1), 1–2. <https://doi.org/10.1080/07055900.2019.1583402>
- Horta Brito, P. R., & Pinos Plans, L. M. (2021). Simulación numérica de la red de drenaje pluvial de la cuenca Gancedo. La Habana. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLII(1), 18–32. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v42s1/1680-0338-riha-42-s1-18.pdf>
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras* (J. H. Flórez Gálvez & A. Bolaños Mora (eds.)). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentostecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Charlesworth, S., & Andrés-Doménech, I. (2016). Coupling GIS with Stormwater Modelling for the Location Prioritization and Hydrological Simulation of Permeable Pavements in Urban Catchments. *Water*, 8(10), 451. <https://doi.org/10.3390/w8100451>
- Jiménez Terán, J. M., García Pacheco, V. H., Lozano Laez, D., Zavala Arreola, O., Ortiz Cedano, A., Castillo González, E., & Romero López, R. (2018). *Manual de Apuntes de la Experiencia Educativa de Tuberías y Canales*. <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de>

Tuberias-y-Canales.pdf

- Lee, J., & Yoon, Y. (2021). Indicators development to support intelligent road infrastructure in urban cities. *Transport Policy*, *114*, 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.10.009>
- Liu, Y., Zou, Y., Wang, Y., & Wu, B. (2020). Impact of Fog Conditions on Lane-Level Speeds on Freeways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, *146*(9). <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000367>
- Lukpanov, R., Dyusembinov, D., Shakhmov, Z., Tsygulov, D., Aibuldinov, Y., & Vatin, N. I. (2022). Impregnating Compound for Cement-Concrete Road Pavement. *Crystals*, *12*(2), 161. <https://doi.org/10.3390/cryst12020161>
- Maldonado Leoro, S. X., & Rodríguez Bravo, F. A. (2012). *Análisis de alternativas de diseño de drenaje vial con aplicación de programas computacionales* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7879>
- Mohammadi, A., Igwe, C., Amador-Jimenez, L., & Nasiri, F. (2022). Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling. *International Journal of Construction Management*, *22*(12), 2364–2374. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Ponce, V. M. (2018). *DRENAJE DE CARRETERAS*. [https://ponce.sdsu.edu/drenaje\\_de\\_carreteras\\_c.html](https://ponce.sdsu.edu/drenaje_de_carreteras_c.html)
- QGIS. (2020). *QGIS 3.10 User Guide*. QGIS PROJET. <https://docs.qgis.org/3.10/pdf/es/QGIS-3.10-UserGuide-es.pdf>
- Qian, G., Wang, C., Gong, X., Zhou, H., & Cai, J. (2022). Design of Constructed Wetland Treatment Measures for Highway Runoff in a Water Source Protection Area. *Sustainability*, *14*(10), 5951. <https://doi.org/10.3390/su14105951>
- Rodríguez Merchán, B., & Calle Calva, F. (2013). *DISEÑO INTEGRAL DEL SISTEMA DE DRENAJE VIAL PARA OBRAS DE ARTE MENOR (DRENAJE LONGITUDINAL Y TRASVERSAL) PARA LA CARRETERA PACHON MINA ZHARO DE 7.2 KM UBICADA EN EL CANTON SUSCAL EN LA PROVINCIA DE CAÑAR*. [Universidad de Cuenca].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4471/1/TESINA.pdf>

Romero Vanegas, A. J., Quira Sabogal, Y. R., & Gomez Pachon, L. F. (2017). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE VIAL PARA EL TRAMO DE CARRETERA TERCIARIA SAN JOAQUÍNALTO DEL TIGRE EN EL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA* [Universidad La Gran Colombia]. [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5551/1.Tesis de grado.pdf?sequence=1](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5551/1.Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1)

Rosales Tigrero, J. A., & Vera Orrala, H. (2015). *ESTUDIO Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA MANANTIAL DE COLONCHE – BAMBIL COLLAO* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2270/1/UPSE-TIC-2015-007.pdf>

Singh, C., Madhavan, M., Arvind, J., & Bazaz, A. (2021). Climate change adaptation in Indian cities: A review of existing actions and spaces for triple wins. *Urban Climate*, 36, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100783>

Temprano, J., Arango, Ó., Cagiao, J., Suárez, J., & Tejero, I. (2007). Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. *Water SA*, 32(1). <https://doi.org/10.4314/wsa.v32i1.5240>

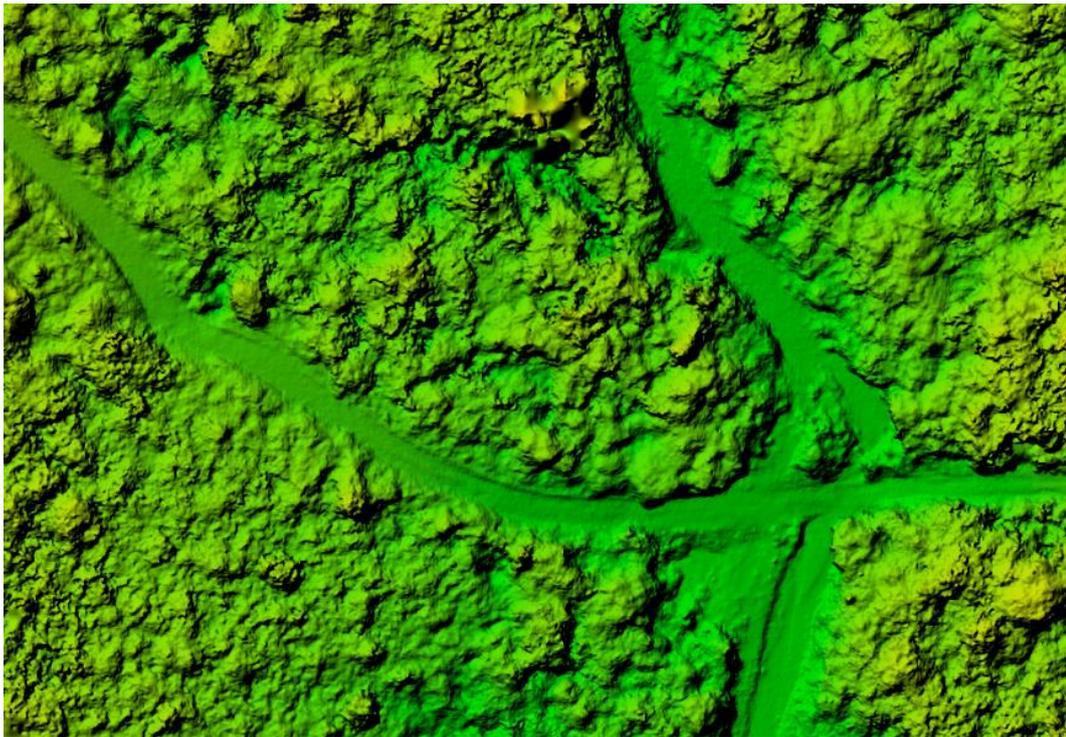
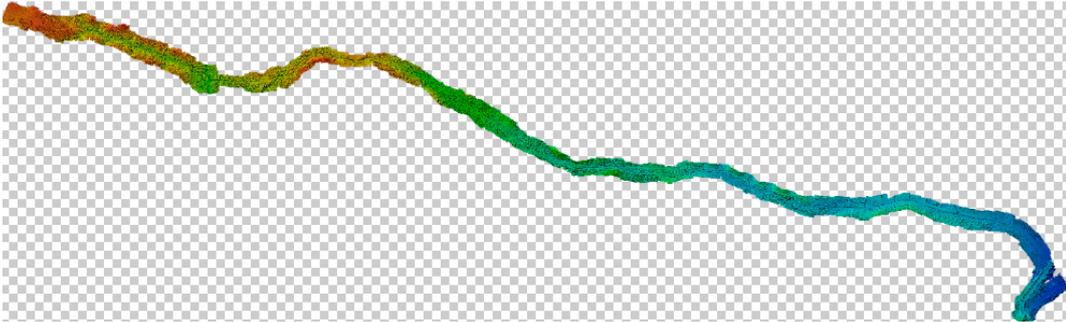
Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas* (Abya-Yala). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/[https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas hidrográficas.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf)

Zarabanda García, D. C., Zea Vasquez, J. A., & Robayo González, N. (2021). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE VIAL EN LA VÍA PRINCIPAL DEL BARRIO EL PAÍS EN EL MUNICIPIO DE IBAGUÉ - TOLIMA*. [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/ecc62c5f-9515-4b27-9931-73719c1ce643/content>

# ANEXOS

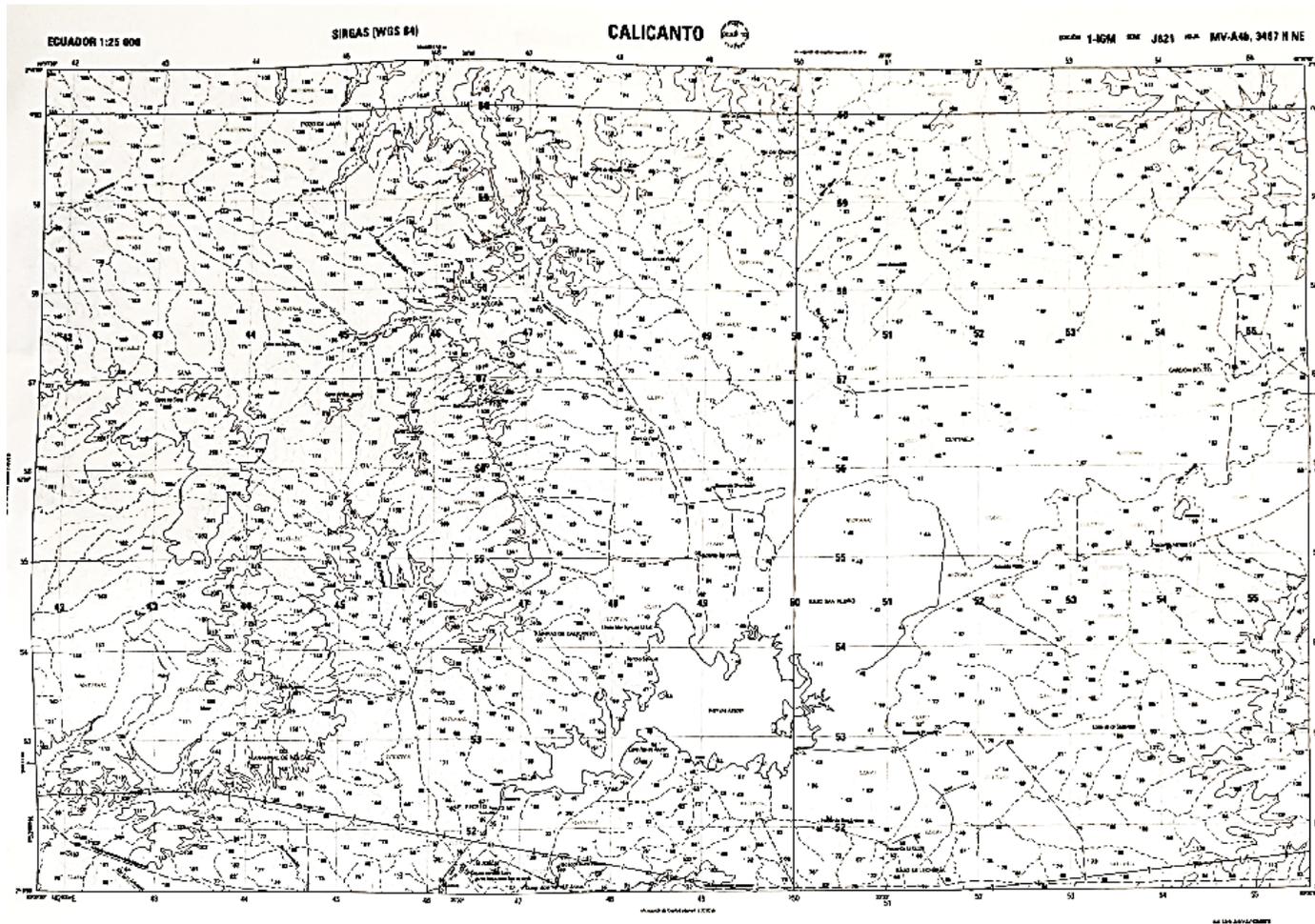
## Anexo 1

*Capa DEM usada para el cálculo altimétrico*



## Anexo 2

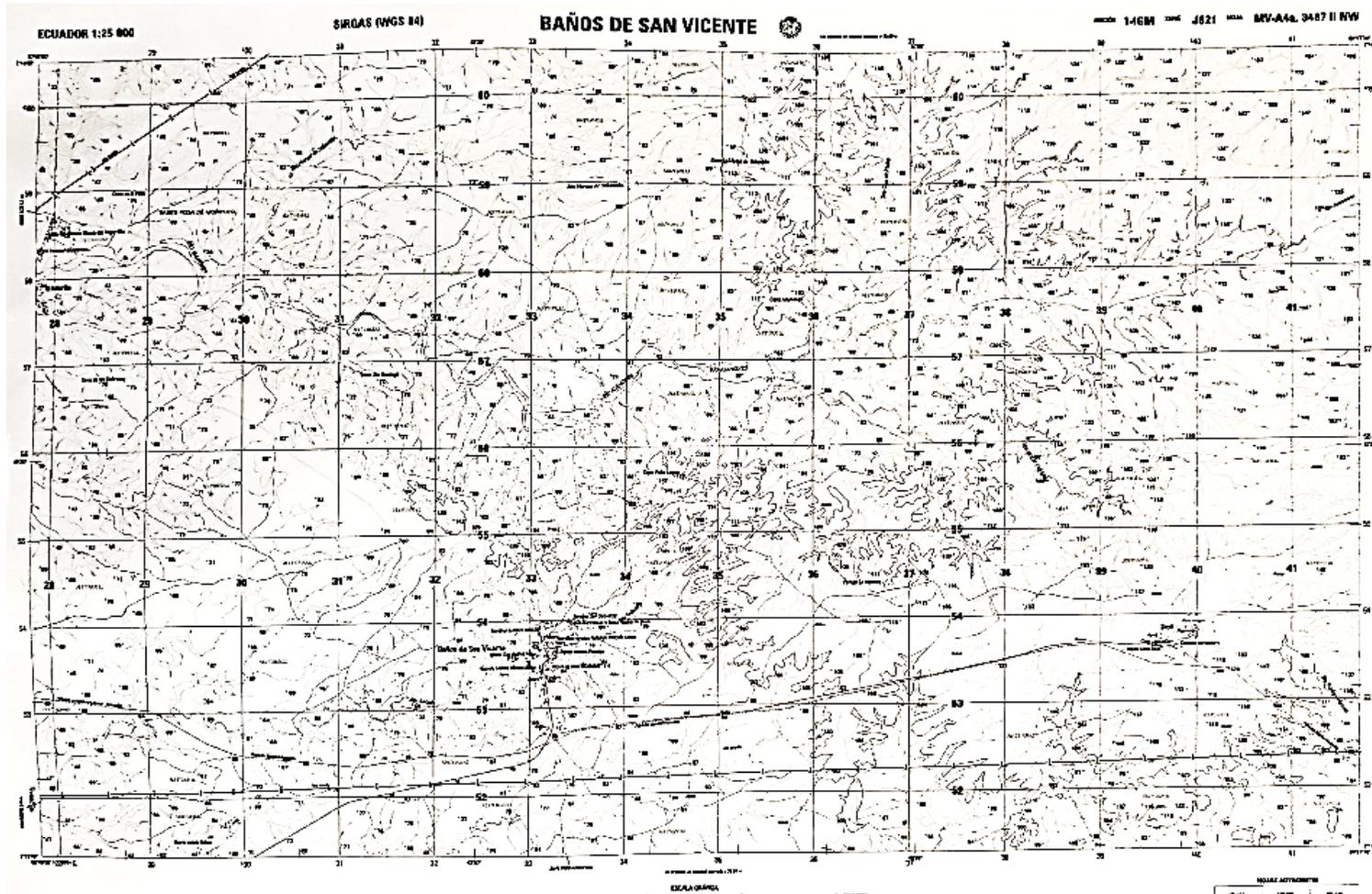
*Carta topográfica MV-A4b, 3487 II NE para la región de Calicanto en Santa Elena*



*Nota. Adquirido del Instituto Geográfico Militar (2023)*

### Anexo 3

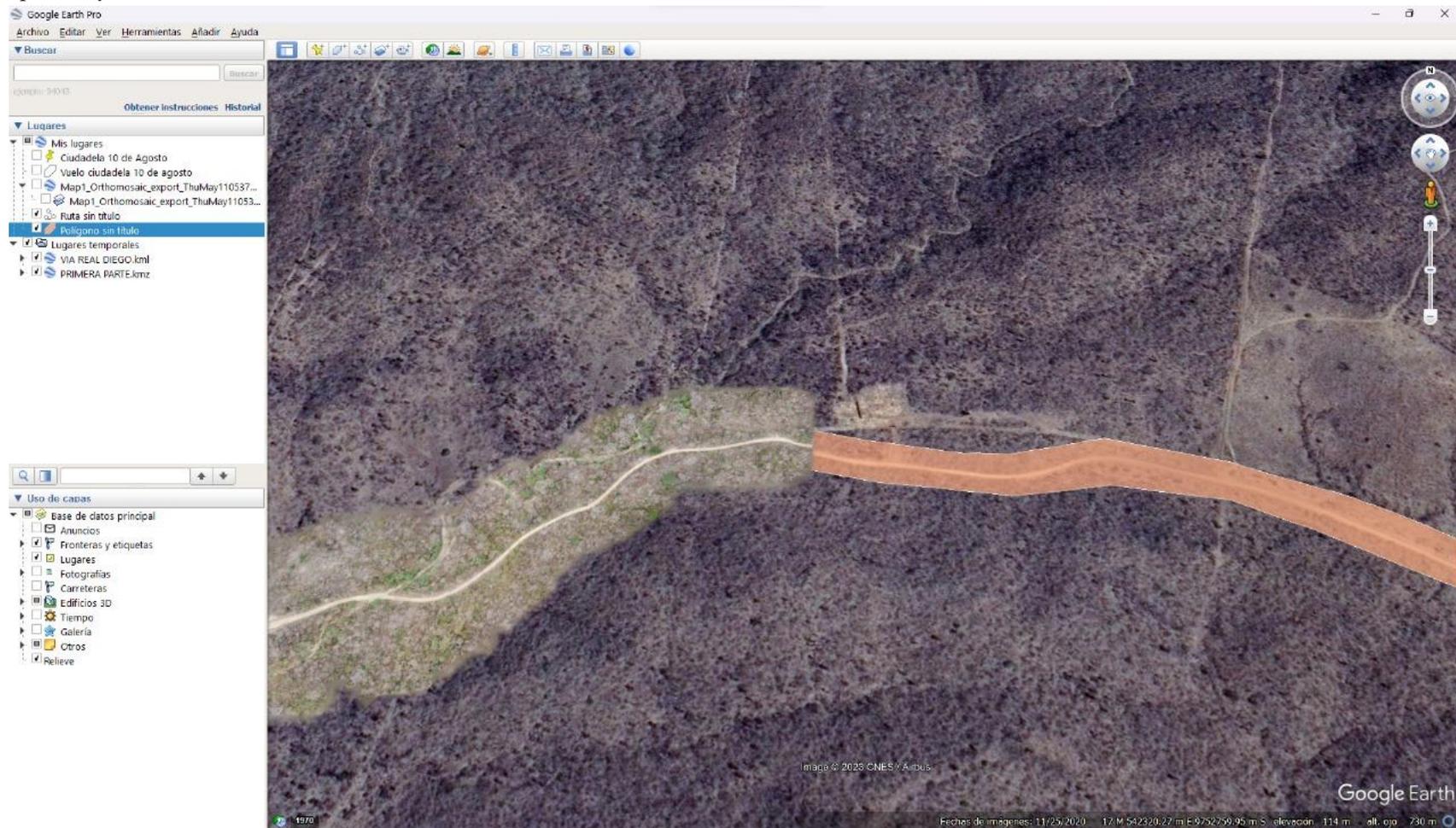
*Carta topográfica MV-A4a, 3487 II NW para la región de San Vicente en Santa Elena*



*Nota. Adquirido del Instituto Geográfico Militar (2023)*

## Anexo 4

### *Vista en planta y trazado de ruta del dron*



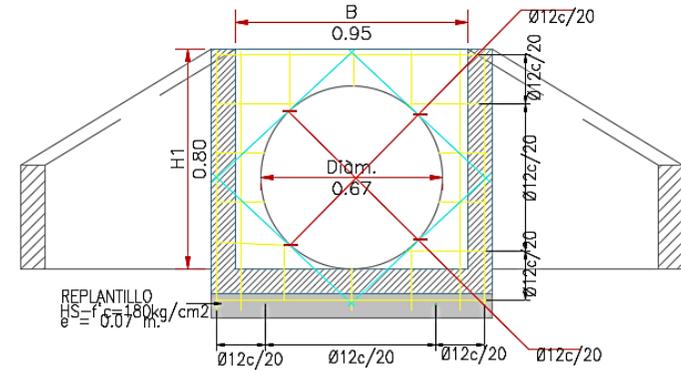
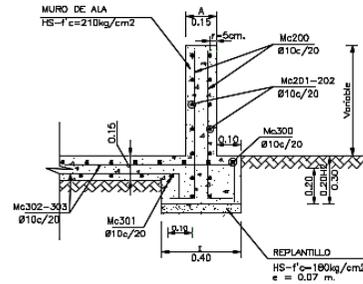
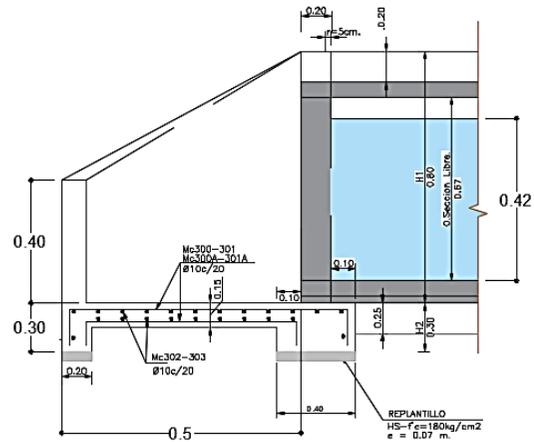
## Anexo 5

### *Levantamiento topográfico con dron*



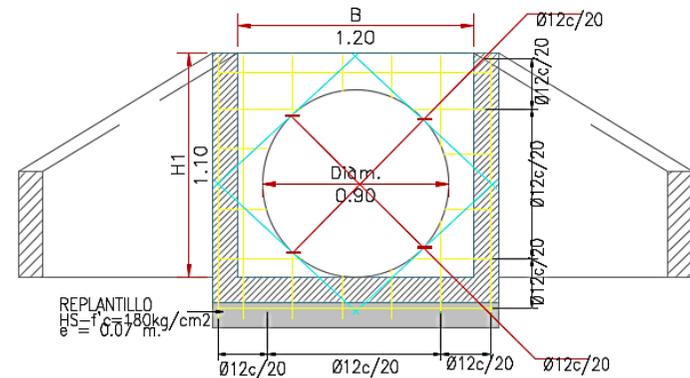
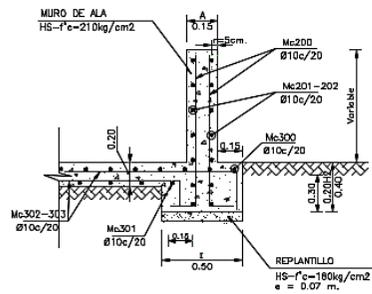
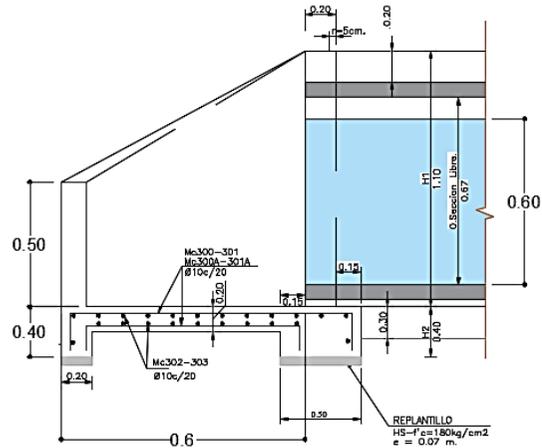
## Anexo 6

### Armadura de la alcantarilla tubular de la abscisa 4+440



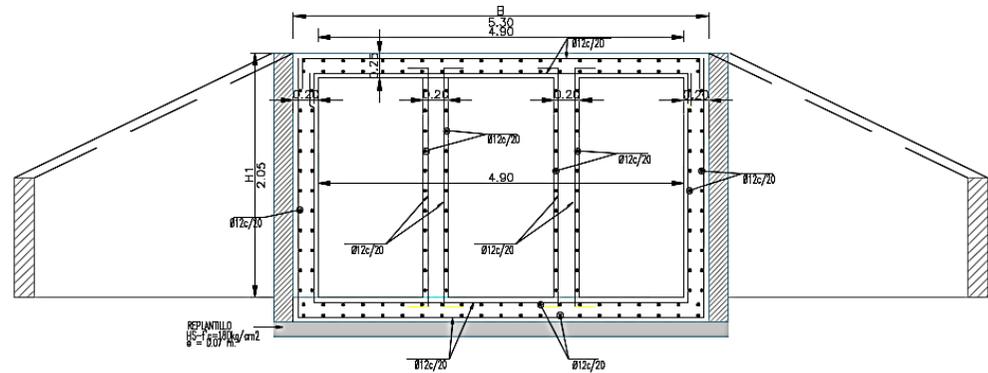
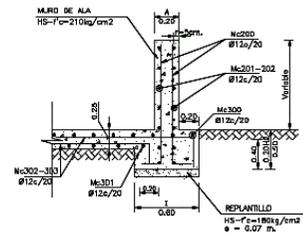
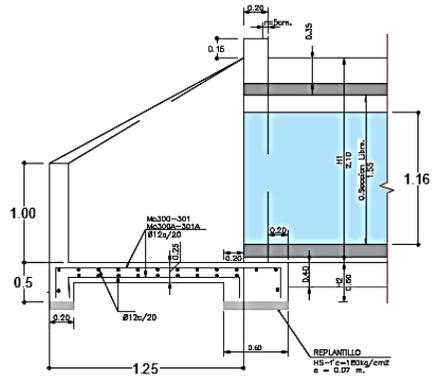
## Anexo 7

### Armadura de la alcantarilla tubular de la abscisa 5+090



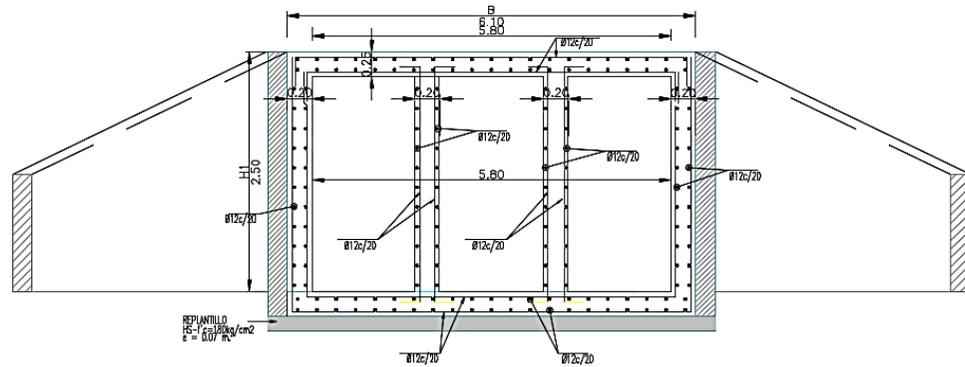
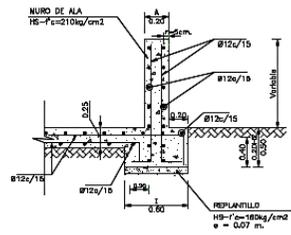
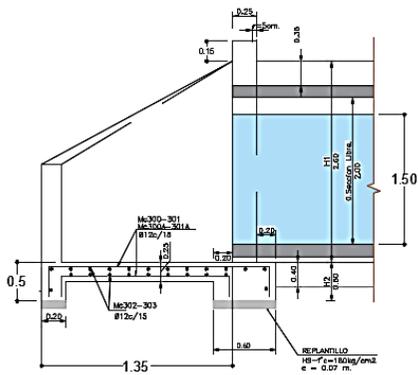
## Anexo 8

Armadura de alcantarilla ducto cajón de las abscisas 1+650 y 1+960



## Anexo 9

Armadura de alcantarilla ducto cajón de las abscisas 3+710 y 6+840



**Anexo 10**

*Diámetro comercial de tuberías de concreto reforzado*

TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO						Máxima resistencia a la compresión		
Diámetro interior		Diámetro exterior	Longitud útil en Cms	Peso aprox. pieza (kg)	Piezas trailer 30 Ton	Grado I	Grado II	Grado III
Pulg	Cm	Cm						
15"	38	49.4	2.50	596.72	42	2896	3886	5600
18"	45	57.6	2.50	736.38	41	3473	4661	6718
21"	53	67.0	2.50	910.79	33	4040	5440	7800
24"	61	76.2	2.50	1249.46	24	4636	6222	8967
30"	76	93.8	2.50	1543.71	20	5791	7772	11201
36"	91	111.2	2.50	2047.93	15	6946	9322	13436
42"	106	128.8	2.50	2498.84	12	8109	10883	15685
48"	122	147.4	2.44	3305.26	8	9264	12434	17919
60"	152	182.4	2.50	4966.54	6	11582	15545	22403
72"	183	218.6	2.00	5457.89	5	13900	18655	26886
84"	213	253.6	2.00	7500.00	4	16218	21767	
96"	244	289.6	1.80	9800.00	3	18500	24800	

Nota. Adquirido de Ductocret (2023)

**Anexo 11**

*Diámetro comercial de tuberías de hormigón simple y armado*

CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS PRODUCIDAS POR ECUACONDUCTOS C. LTDA.								
DIAMETRO INTERIOR	LONGITUD UTIL	PESO DEL TUBO (Kg)		ESPESOR DE PARED	CLASE DE TUBERÍA	RESISTENCIA MECÁNICA MÍNIMA		NORMA INEN
		(H.S.)	(H.A.)			(KN/m)	(N/m <sup>2</sup> mm)	
200	1,25	80,00		40	3	42,39		1590
250	1,25	108,75		46	3	43,00		1590
300	1,25	166,25		52	3	40,00		1590
400	1,35	298,20		60	3	49,35		1590
500	1,35	448,00		70	3	65,98		1590
600	1,35	600,00		85	3	66,84		1590
500	1,35		457,80	70	III - B		70,00	1591
600	1,35		610,50	85	III - B		72,00	1591
750	1,50		1065,00	110	III - B		73,00	1591
900	1,50		1324,50	110	III - B		73,50	1591
1000	1,50		1500,00	130	III - C		79,60	1591
1200	1,50		2160,00	150	IV - C		114,53	1591
1500	1,50		3309,60	175	IV - C		114,95	1591
1800	1,30		3528,00	200	IV - C		111,77	1591
2000	1,30		4831,20	215	IV - C		115,00	1591

Nota. Adquirido de Ecuacconductos C. LTDA. (2023)