



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**SOLUCIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA,
HIDROLÓGICA, HIDRÁULICA Y ESTRUCTURAL DE LA
ALCANTARILLA QUE SIRVE A LA AUTOPISTA CUENCA-
AZOGUES, ABSCISA KM. 4+667.**

“Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera Civil”

Autora:

Liliana Alexandra Veintimilla González

Director:

Ing. Felipe Eduardo Cisneros Espinoza Ph.D.

Tutor:

Ing. Wilson Fabián Cordero Gulá

CUENCA – ECUADOR

2015



RESUMEN

El principal problema que afecta a la autopista Cuenca-Azogues son los derrumbes y deslizamientos debido al tipo de material de la zona. Esta tesis, tiene por objetivo analizar la zona de ubicación y dar una solución geológica, geotécnica, hidrológica, hidráulica y estructural para la construcción de la alcantarilla, Abcisa Km. 4+667, que sirve a la vía, considerando la mejor relación costo – beneficio para los transeúntes, tanto en lo que se refiere a construcción y mantenimiento de la misma. Se realiza sondeos a percusión, pruebas SPT y sísmica de refracción para determinar las características del suelo de la zona de emplazamiento. La solución considera la reconstrucción del taneg de la quebrada a la cota de entrada de la alcantarilla. El caudal generado es conducido por un canal de aproximación hasta la alcantarilla para ser descargado a su cauce natural por medio de un dissipador de energía. Los taludes realizados son cubiertos con dos capas de geomembrana que llevan en su interior una capa de geotextil. Para el diseño hidráulico y estructural se empleó los programas HY-8 7.0, H Canales, Excel y RAM Advanse. El diseño de la alcantarilla incluye los cabezales, canal de aproximación y dissipador de energía. En este documento también se encuentran las cantidades de obra totales del proyecto.

Palabras claves:

Derrumbe, deslizamiento, alcantarilla, transeúntes, suelo, cauce natural, quebrada, taneg, caudal, talud, geomembrana, geotextil.



ABSTRACT

The main problems affecting the Cuenca-Azogues highway in Ecuador are landslides and soil collapse due to the material type in the area. This thesis aims to analyze the location area and provide a geological, geotechnical, hydrological, hydraulic and structural solution for the construction of a sewer in the abscise km 4+667. The study considers the best cost-benefit relationship for users, in terms of both construction and maintenance criteria. Percussion drilling, SPT testing and seismic refraction are performed to determine the soil characteristics in situ. The solution considers the reconstruction of the creek taneg at the sewer entrance level. The generated flow is then conducted by an approach channel to the sewer and discharged to its natural channel through an energy sink. The slopes are covered with two layers of geomembrane with internal geotextile sheets. For hydraulic and structural designs, the software HY-8 7.0, H Canales, Excel and Ram Advanse are used. The sewer design includes the heads, approach channel and an energy sink. In this document, the total amounts of project materials are also included.

Key Words:

Collapse, lanslide, sewer, pedestrians, soil, natural channel, creek, taneg, flow, slope, geomembrane, geotextile.



ÍNDICE DE CAPÍTULOS

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.	CONCLUSIONES.	78
5.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	79
6.	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
1.1.	JUSTIFICACIÓN	14
1.2.	ANTECEDENTES.....	15
1.3.	OBJETIVOS	15
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1.	MARCO TEÓRICO	16
2.1.1.	GEOLOGÍA.....	16
2.1.2.	GEOTÉCNIA.	17
2.1.2.1	MECÁNICA DE SUELOS	17
A.	ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS	17
B.	TIPOS DE SUELOS	17
C.	PROPIEDADES DE LOS SUELOS	19
2.1.3.	HIDROLOGÍA	24
2.1.3.1.	ESCORRENTÍA.....	24
A.	MÉTODO RACIONAL	25
2.1.3.2.	EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN	29
2.1.3.3.	INFILTRACIÓN	29
2.1.4.	HIDRÁULICA.....	30
2.1.4.1.	DISEÑO HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS	30
A.	FLUJO CON CONTROL DE ENTRADA	31



B.	FLUJO CON CONTROL DE SALIDA	31
2.1.5.	ESTRUCTURAS DE DRENAJE VIAL	35
2.1.5.1.	DRENAJE SUPERFICIAL.....	35
A.	ALCANTARILLAS.....	35
2.1.6.	CÁLCULO Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS.....	38
2.1.6.1.	CARGAS.....	38
2.1.6.2.	SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO.....	39
A.	REQUISITOS GENERALES.....	39
2.2.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
2.2.1.	INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL CANTÓN AZOGUES.....	40
2.2.2.	ALCANTARILLA ABSCISA KM 4+667.....	41
2.2.2.1.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	41
2.2.3.	MEDIO ABIÓTICO	42
2.2.3.1.	TOPOGRAFÍA.....	42
2.2.3.2.	GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA.....	43
A.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE.	43
B.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	44
2.2.3.3.	HIDROGRAFÍA.	48
A.	CUENCA DEL RÍO PAUTE	48
B.	CUENCA DEL RÍO BURGAY	49
2.2.3.4.	CLIMA.	49
2.3.	INFORMACIÓN BÁSICA.....	50
2.3.1.	INFORMACIÓN GEOLÓGICA.....	50
2.3.1.1.	MEDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO AGUAS ARRIBA DE LA ALCANTARILLA ...	50
2.3.1.2.	MEDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO AGUAS ABAJO DE LA ALCANTARILLA.....	53
2.3.2.	INFORMACIÓN GEOTÉCNICA.....	55
2.3.3.	INFORMACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.	57
2.3.4.	INFORMACIÓN GEOMÉTRICA.	57
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
3.1.	GEOLOGÍA.....	58
3.2.	GEOTÉCNIA.....	58
3.3.	HIDROLOGÍA	60
3.4.	HIDRÁULICA.....	62
3.5.	ESTRUCTURAL.....	66
3.5.1.	METODOLOGÍA PARA CONSTRUCCIÓN DE LAS ALCANTARILLAS.....	72



3.5.2.	PLANILLA DE ACEROS	73
3.5.3.	CANTIDADES DE OBRA.	74
3.5.4.	EMPLAZAMIENTO DE LA ALCANTARILLA DISEÑADA EN LOS PLANOS TOPOGRÁFICOS Y ESTRUCTURALES.	77
4.	CONCLUSIONES.	78
5.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	79
6.	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1:	Límites de Atterberg.....	20
Figura 2-2:	Carta de plasticidad.....	22
Figura 2-3:	Principios de compactación.	23
Figura 2-4:	Ciclo Hidrológico	25
Figura 2-5:	Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación.	27
Figura 2-6:	Curvas IDF para Cuenca. Estación Aeropuerto.	29
Figura 2-7:	Flujo con control de entrada. Caso típico. (Carciente 1985)	31
Figura 2-8:	Flujo con control de entrada caso típico. (Carciente 1985).....	31
Figura 2-9:	Flujo con control de salida. Caso típico. (Carciente 1985).....	32
Figura 2-10:	Flujo con control de salida. Caso Típico. (Carciente 1985)	32
Figura 2-11:	Clasificación del flujo con control de salida.	33
Figura 2-12:	Definición esquemática del flujo en alcantarillas.....	33
Figura 2-13:	Tipos de Flujos en las Alcantarillas. (IMFIA & MTOP, 2000)	34
Figura 2-14:	Características del Camión de diseño.....	39
Figura 2-15:	Cantones de la Provincia del Cañar.	40
Figura 2-16:	División Parroquial del Cantón Azogues.....	41
Figura 2-17:	Autopista Cuenca – Azogues / Mapa Vial del Ecuador.....	42
Figura 2-18:	Topografía de la Parroquia Javier Loyola.....	43
Figura 2-19:	Topografía del Área de Influencia	43
Figura 2-20:	Estratigrafía de las formaciones de la Cuenca de Cuenca.	44
Figura 2-21:	Área de Influencia (Google Earth)	45
Figura 2-22:	Mapa Geológico de la zona de influencia.	45
Figura 2-23:	Litología de la Zona.....	48
Figura 2-24:	Cuenca del Río Burgay.	49
Figura 2-25:	<i>Relleno de la Alcantarilla, aguas arriba.....</i>	51
Figura 2-26:	<i>Entrada de la alcantarilla</i>	51
Figura 2-27:	<i>Vista de la escombrera aguas arriba.....</i>	52
Figura 2-28:	<i>Talud del pedraplen.....</i>	53
Figura 2-29:	<i>Salida de la alcantarilla</i>	53
Figura 2-30:	<i>Estructura del pavimento viejo</i>	54
Figura 2-31:	<i>Vista aguas abajo de la alcantarilla</i>	54
Figura 2-32:	<i>Perfil de la Alcantarilla.....</i>	57



Figura 2-33: Vista en planta de la Alcantarilla.....	57
Figura 3-1: Flujo a través de la alcantarilla. Tipo 2	63
Figura 3-2: Coeficiente de descarga.....	63
Figura 3-3: Relación entre y_1D , CD y tirante crítico	63
Figura 3-4: Diseño del Canal de Aproximación.....	64
Figura 6-1: Tipos de tejidos en geotextiles.....	100
Figura 6-2: Biomantas	101
Figura 6-3: Biomanta en talud de autopista Cuenca-Azogues.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Coeficientes de Escorrentía (C), según Benítez.	26
Tabla 2-2: Coeficientes de Escorrentía (C), según V. Molina.	27
Tabla 2-3: Ecuaciones representativas de la Zonificación.	28
Tabla 2-4: Valores Pluviométricos Mensuales.....	28
Tabla 2-5: Cálculo de Intensidad de Precipitación. (Estación Aeropuerto).....	28
Tabla 2-6: Clasificación de los tipos de flujo en Alcantarillas. (IMFIA & MTOP, 2000)	34
Tabla 2-7: Valores estimados a partir de características físicas.	46
Tabla 2-8: Valores estimados a partir de características físicas.	47
Tabla 2-9: Valores estimados a partir de características físicas.	48
Tabla 2-10: Ubicación de los sondeos.....	55
Tabla 2-11: Datos de Laboratorio	56
Tabla 3-1: Parámetros de resistencia y deformación del suelo. (Sondeo No. 1)	59
Tabla 3-2: Parámetro de resistencia y deformación del suelo. (Sondeo No. 2)	59
Tabla 3-3: Capacidad Portante.	59
Tabla 3-4: Capacidad Admisible a la salida de la alcantarilla.	59
Tabla 3-5: Capacidad Admisible por limitación de Asentamientos.	59
Tabla 3-6: Información Hidrológica.	60
Tabla 3-7: Características de la Cuenca de Aporte.	61
Tabla 3-8: Coeficientes de Escorrentía	61
Tabla 3-9: Tiempo de Concentración.....	61
Tabla 3-10: Intensidad de Precipitación.....	62
Tabla 3-11: Cálculo del Caudal de Drenaje.....	62
Tabla 3-12: Diseño de Disipador de Energía.	65
Tabla 3-13: Planilla de aceros para la Alcantarilla, Cabezal y Transición	74
Tabla 3-14: Planilla de aceros para el Canal de Desfogues.....	74
Tabla 3-15: Tipo de Doblado de los Aceros.....	74
Tabla 6-1: Características y Condicionantes de la Reptación (Creeping).....	97
Tabla 6-2: Diferencias entre Reptación y Deslizamiento.	98
Tabla 6-3: Compactaciones recomendadas para rellenos secos sin previa compactación.	99



ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Tipo de Climas	81
Anexo 2: Ensayos realizados en la zona de estudio.....	82
Anexo 3: Formaciones geológicas presentes en el área de estudio.....	85
Anexo 4: Resultados de Sondeos.....	86
Anexo 5: Análisis de taludes.....	90
Anexo 6: Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.....	94
Anexo 7: Coeficientes C_k , C_q y C_a	95
Anexo 8: Cuenca del Río Paute.....	96
Anexo 9: Mecánica de Rocas.....	97
Anexo 10: Diagramas Estructura Modelada en RAM Advanse	103



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Liliana Alexandra Veintimilla González, autora de la tesis *"Solución Geológica, Geotécnica, Hidrológica, Hidráulica y Estructural de la Alcantarilla que sirve a la Autopista Cuenca – Azogues, Abscisa Km. 4+667"*, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 17 de Marzo de 2015

Liliana Alexandra Veintimilla González

C.I.: 0301635538



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Liliana Alexandra Veintimilla González, autora de la tesis *"Solución Geológica, Geotécnica, Hidrológica, Hidráulica y Estructural de la Alcantarilla que sirve a la Autopista Cuenca - Azogues, Abscisa Km. 4+667"*, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 17 de Marzo de 2015

Liliana Alexandra Veintimilla González

C.I: 0301635538



SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
A.E.N.O.R	Asociación Española de Normalización y Certificación
A.S.T.M	American Society for Testing Materials
C.B.R.	California Bearing Ratio
D.I.N.	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
D.N.V.	Dirección Nacional de Vialidad
ECB	Erosion Control Blanket
FONAPA	Fondo Ambiental para la Protección del Agua
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
SNI	Sistema Nacional de Información
SPT	Standard Penetration Test
UIAT	Unidad de Investigación de Accidentes de Tránsito



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios quien inspira mi espíritu para cumplir mis metas. A mis padres: José Julio y Aida Luz quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos incondicionales. A mi esposo Johnny Fernando, quien en todo momento me apoyó y alentó a no rendirme. A los tesoros más valiosos que la vida me ha dado mis hijos Mateo Fernando y Juan José, mi principal motor para salir adelante.

Liliana



AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros: Fabián Cordero Gulá, Felipe Cisneros Espinoza, Cristian Coello docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, Oscar Dávila, Franklin Ordoñez, Gilberto Ortiz, funcionarios de la Constructora Hidalgo & Hidalgo y Paola Wilches, quienes han apoyado este trabajo con información básica de la zona, además de sus conocimientos, que han sido muy importantes para su desarrollo.

Liliana Alexandra Veintimilla González



1. INTRODUCCIÓN

Proveer un adecuado sistema de drenaje, es uno de los factores más importantes en un proyecto vial, ya que un inadecuado manejo del agua puede conducir al deterioro o pérdida total de la vía en cuestión.

En la construcción de vías de comunicación, las alcantarillas son estructuras fundamentales para el control y manejo efectivo del agua, siendo su principal objetivo conducir el agua que se acumula por lluvia u otras causas, de un borde a otro de la vía, con el fin de poder descargarlas hacia una quebrada o curso natural.

El Estado, a través del MTOP, advirtió la necesidad de intervenir en la ampliación de la autopista Cuenca-Azogues-Biblián debido a la cantidad de vehículos que circulan entre los tres cantones (18000 vehículos por día)¹ y por los accidentes que sufrían los conductores y peatones. Por lo que, la vía está siendo ampliada a cuatro carriles con un parterre central, y una ciclo vía al costado. Además, el mejoramiento de la vía tiene como principales objetivos estabilizar los deslizamientos y mejorar las estructuras de drenaje.

En la abscisa Km 4+703 de la autopista Cuenca–Azogues, la presencia de arcilla y suelos expansivos, son razones por las cuales se dan constantemente deslizamientos y derrumbes, motivos necesarios para el estudio y análisis de la construcción de la alcantarilla.

Para el cálculo y diseño de la alcantarilla en mención, se requiere conocer datos importantes de la zona como: topografía, hidrología, hidráulica, geología y geotécnica; los cuales determinan la geometría de la alcantarilla, en tanto que, estructuralmente se debe asegurar la permanencia y funcionalidad durante la vida útil prevista.

Estos criterios serán puestos en práctica al analizar las soluciones geológica, geotécnica, hidráulica, hidrológica y estructural para el diseño de la alcantarilla.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Según datos de la UIAT de la Policía Nacional, por la autopista Cuenca-Azogues-Biblián y la Circunvalación Sur circulan alrededor de 18.000 vehículos diarios.

El tramo, Guanguarcucho - Azogues está siendo ampliado a cuatro carriles con un parterre central, y una ciclo vía al costado. Entre otras obras, se mejorará los canales de drenaje y se estabilizará los deslizamientos.

Este tema se considera de suma importancia, por cuanto el desarrollo vial requiere de ingenieros especialistas o expertos en las áreas de geología, geotécnica, hidráulica e hidrología, y dentro de ello desde luego de ingenieros estructurales que puedan abordar con solvencia las diferentes obras estructurales inherentes a la vía, entre las cuales las alcantarillas como hemos dicho son imprescindibles.

¹ UIAT: Unidad de Investigación de Accidentes de Tránsito



Antes de llevar acabo la ejecución del proceso constructivo de una carretera, el ingeniero debe conocer las condicionantes que afectan a la construcción. Estas condicionantes las encontramos en los diseños, especificaciones técnicas y memorias de cálculo del proyecto, sin dejar a un lado el conocimiento del terreno que se va a ejecutar el replanteo e instalación de las obras de drenaje, alcantarillas.

Como se conoce de manera general la zona en la que se construirá la alcantarilla consta de terreno arcilloso y suelos expansivos, por lo que el estudio de las soluciones es muy importante para su diseño y calculo estructural.

1.2. ANTECEDENTES

En la autopista Cuenca – Azogues, existen sectores de la calzada que se encuentran destruidos por el deslizamiento de tierras. Los estudios de factibilidad de estos trabajos los ejecutó la Firma Consultora Caminosca, entre los años 2010 y 2012, por un monto aproximado de 1.200.000 dólares. Mientras que la ejecución del proyecto lo realiza la Empresa Hidalgo & Hidalgo por un monto aproximado de 72.000.000 de dólares.

En épocas de invierno, aparecen pasos de agua que provocarían daños en la autopista, por ello se debe realizar la construcción de alcantarillas, ellas permiten el paso controlado de agua y protegen el terraplén de la vía, con rellenos en el sector y la estabilidad de los taludes de la alcantarilla.

Para la realización de la presente tesis y la ejecución de sus objetivos, se tomó parte de la información básica proporcionada de estudios y ensayos anteriores como: penetración, CBR, Proctor Modificado, realizados por las Empresas Hidalgo & Hidalgo y Caminosca e ingenieros interesados en el tema como los ingenieros Fabián Cordero, Oscar Dávila, Gilberto Ortiz, y Franklin Ordoñez.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1.OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio general acerca de las soluciones: geológica, geotécnica, hidrológica, hidráulica y diseño estructural de la alcantarilla, sus cabezales, y canal de descarga.

1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación en general de la alcantarilla Abscisa Km 4+667 en la Autopista Cuenca – Azogues.
- Análisis Geológico, Geotécnico, Hidrológico e Hidráulico.
- Determinación de cargas actuantes sobre la alcantarilla.
- Cálculo y Diseño Estructural de la alcantarilla en general.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. GEOLOGÍA.

La geología estudia los cambios sucesivos que han operado en los reinos orgánicos e inorgánicos en la naturaleza. Además, los procesos geológicos y sus efectos.

En la actualidad la geología tiene una importancia fundamental en la exploración de yacimientos de minerales (Minería), de hidrocarburos (Petróleo y Gas Natural), y la evaluación de recursos hídricos subterráneos (Hidrogeología). También tiene importancia fundamental en la prevención y entendimiento de desastres naturales como remoción de masas en general, terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, entre otros. Aporta conocimientos clave en la solución de problemas de contaminación medioambiental, y provee información sobre los cambios climáticos del pasado. Juega un rol importante en la Geotécnica y la Ingeniería Civil.

El estudio geológico – geotécnico debe contener todos los datos relevantes para la correcta ejecución del proyecto y se elabora en base a ensayos de campo y laboratorio adecuados al tipo de proyecto, incluyendo las recomendaciones propias en función de la naturaleza de las actuaciones (explanadas, estructuras, taludes, etc.).

La **geología estructural** es aquella que se encarga del estudio de las estructuras de la corteza terrestre. De esta manera, analiza la relación entre las diversas rocas que la conforman.

La **litología** es la parte de la geología que trata de las rocas: el tamaño del grano, de las partículas y sus características tanto físicas como químicas. La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, y los diferentes climas de la Tierra.

Una **roca** es una masa de materia mineral coherente, consolidada y compacta. Las rocas se pueden clasificar de muchas maneras: por su edad, por su dureza, por su origen, por su estructura, etc. Por la importancia que tienen en el relieve interesa clasificarlas en: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

La **estratigrafía**, es la descripción de todos los cuerpos rocosos que forman la corteza terrestre y de su organización en unidades distintas, útiles y cartografiables. Las unidades están basadas en sus características o cualidades a fin de establecer su distribución y relación en el espacio, su sucesión en el tiempo y para interpretar la historia geológica. Se llama **estrato** a cada una de las capas en que se presentan divididos los sedimentos, las rocas sedimentarias, las rocas piroclásticas y las rocas metamórficas cuando esas capas se deben al proceso de sedimentación.

Según el Manual de Carreteras, un **pedraplen** es un relleno conformado por suelos gruesos, con escaso contenido de finos. Debido a su composición los Pedraplenes poseen gran resistencia a las sobrecargas, lo cual los hace preferibles para obras viales con alta circulación de camiones y/o maquinaria pesada, vías ferroviarias y explanadas marítimas.



Una **falla** es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociados con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la Tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la Tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos. Las fallas inactivas son aquellas que en algún momento tuvieron movimiento a lo largo de ellas pero que ya no se desplazan. El tipo de movimiento a lo largo de una falla depende del tipo de falla.

2.1.2. GEOTÉCNIA.

El término “geotécnia” hace alusión al conjunto de reconocimientos y ensayos o pruebas realizadas al terreno y a la interpretación de los datos obtenidos en los mismos, que permiten caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio y sus propiedades, en función de los objetivos y características del proyecto.

Un terreno se inestabilizará cuando a las causas condicionantes (intrínsecas o propias de él), se suman causas desencadenantes que inician el fenómeno de inestabilidad, una causa desencadenante pequeña puede ser suficiente para provocar una sensible aceleración de la inestabilidad.²

2.1.2.1 MECÁNICA DE SUELOS

A. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas:

- **Física:** debida a cambios térmicos y a la acción del agua.
- **Química:** originada por fenómenos de hidratación, disolución, oxidación, cementación, etc.
- **Biológica:** producida por la actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico - químico, actuando de elemento catalizador, etc.³

B. TIPOS DE SUELOS

Para estudiar un material complejo como el suelo (con diferente tamaño de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades. Así se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (Normas D.I.N., A.S.T.M., A.E.N.O.R., etc.):

- **Gravas:** con tamaño de grano entre unos 8 – 10 cm y 2 mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- **Arenas:** con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.

² Bonnard, 1994

³ Luis González de Vallejo, Ingeniería Geológica, Cap. II



- **Limos:** con partículas comprendidas entre 0.060 y 0.002 mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores.
- **Arcillas:** formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños.³

ARCILLAS EXPANSIVAS

Bajo este nombre se incluyen aquellos suelos arcillosos cuya estructura mineralógica les permite absorber agua con un cambio de volumen importante. Las moléculas de agua penetran en la red cristalina, entre las cadenas de silicatos que están unidas por enlaces débiles, disminuyendo o anulando los mismos, pasando la red cristalina a ocupar un volumen aparente, sin que se produzcan reacciones químicas. Si después cambian las condiciones esas moléculas de agua pueden salir de la red y producirse una disminución de volumen o retracción.

Expansividad es el aumento de volumen por absorción de agua, y **retracción** es la disminución de volumen por eliminación del agua. El cambio de volumen está condicionado por factores geológicos y factores como: las variaciones climáticas, la vegetación y los cambios hidrológicos.

Los suelos potencialmente expansivos y problemáticos se sitúan en zonas de climas áridos y semiáridos, como la franja mediterránea, Sudáfrica, sur de Norteamérica, norte de Sudamérica, etc.

A efectos prácticos, dado que la expansividad se relaciona con el contenido arcilloso, es habitual emplear parámetros de caracterización de arcillas para evaluar y graduar la posible expansividad de un suelo. Generalmente se considera cuatro grados de expansividad (I a IV), además, se utilizan otros ensayos de laboratorio de mayor calidad y realizados a propósito para evaluar la expansividad:

- El ensayo de Lambe.
- El ensayo de Presión de Hinchamiento.
- El ensayo de Hinchamiento Libre.⁴

Los suelos arcillosos blandos se caracterizan por tener baja densidad aparente seca (del orden de 0.60 a 1.40 Ton/m³) y elevado contenido de humedad (40 – 120%), llegando al 400% en suelos tipo turba. La resistencia a la penetración del S.P.T puede variar de 2 a 10 golpes/30cm, y de 150 a 800 KPa en el penetrómetro estático.

Por un lado deben determinarse los asientos instantáneos o iniciales (al final de la construcción), y por otro los asientos por consolidación del terreno. Los métodos utilizados para determinar asientos y movimientos horizontales suelen ser los habituales en mecánica del suelo:

- **Métodos edométricos**, cuando los espesores de suelo blando son menores que la anchura del terraplén.
- **Modelos de elementos finitos**, cuando el espesor es mayor que la anchura del terraplén.
- **Métodos empíricos**.⁵

⁴ Luis González de Vallejo, Ingeniería Geológica, Cap. II

⁵ Oteo, 1994



Si el coeficiente de seguridad frente al deslizamiento es bajo y los asientos muy elevados o muy lentos, se procede a realizar diversas soluciones de refuerzo y tratamiento del terreno:

- a. Precarga.
- b. Refuerzo del terreno (sobre todo en la zona del pie del terraplén) con pilotes hincados de madera.
- c. Refuerzo del terreno con vibro flotación.
- d. Refuerzo y sustitución del terreno con columnas de grava.
- e. Densificación del terreno con compactación dinámica.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS

Las estabilizaciones son procedimientos físicos y/o químicos que nos permiten modificar las características de un suelo con la finalidad de mejorar su comportamiento en cuanto a resistencia y deformación.

A continuación se mencionan los procedimientos de estabilización más comunes:

- Por medios mecánicos (compactación).
- Por drenaje.
- Por medios eléctricos (electroósmosis, pilotes electrometálicos).
- Por empleo de calor y calcinación.
- Por medios químicos, generalmente obrada o agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, asfalto.
- Pre-humectación del suelo.
- Control de humedad.
- Sustitución del suelo expansivo.
- Control de expansión.

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte solo aplicable a un número limitado de tipos de ellos.

Las propiedades de los suelos que más frecuentemente se estudian en problemas de estabilización son: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

C. PROPIEDADES DE LOS SUELOS

a) CONSISTENCIA

Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, este puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua absorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1990, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenido de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por lo tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados: *sólido*, *semisólido*, *plástico* y *líquido*.

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el *límite de contracción*. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el *límite plástico*, y de

estado plástico a líquido es el *límite líquido*. Esos límites se conocen también como *Límites de Atterberg*.

La plasticidad de los suelos se debe a la carga eléctrica de las partículas laminares, que generan campos, que actúan como condensadores e influyen en las moléculas bipolares del agua produciendo intercambio catiónicos, el grado de interacción de estas moléculas del suelos con las de agua determinan su plasticidad.

La magnitud de la plasticidad que presenta una arcilla natural depende de su composición mineralógica y contenido de humedad. Además, la consistencia de una arcilla natural varía de acuerdo con el contenido de humedad, desde un estado sólido en condición seca, pasando por un estado semisólido para bajos contenidos de humedad en que el suelo se desmorona y no presenta plasticidad, pasando también por un estado plástico para altos contenidos de humedad, hasta llegar finalmente a un estado esencialmente líquido para contenidos de humedad muy altos⁶.

LÍMITES DE ATTERBERG.

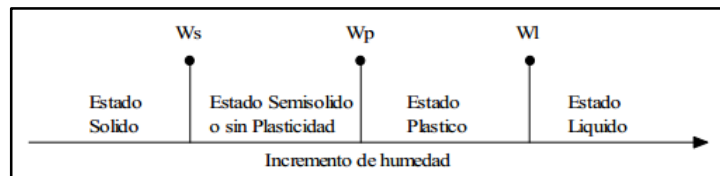


Figura 2-1: Límites de Atterberg.

▪ **Límite Líquido (LL):**

El dispositivo para determinar el límite líquido consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba de límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10mm. El contenido de agua, en porcentaje, requerido para cerrar una distancia de 12.7mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes, se define como el *límite líquido*. El procedimiento para la prueba del límite líquido está dado en la Prueba D – 4318 de la ASTM.

Casagrande (1932) concluyó que cada golpe es un dispositivo estándar para el límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo de aproximadamente 1gr/cm^2 ($\approx 0.1\text{KN/m}^2$). Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grano fino da el contenido de agua para el cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 25gr/cm^2 ($\approx 2.5\text{KN/m}^2$).

▪ **Límite Plástico (LP):**

El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de forma elipsoidal.

▪ **Índice de Plasticidad (IP):**

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, o:

$$IP = LL - LP$$

⁶ Juárez Badillo Rico, Mecánica de Suelos Tomo I



▪ **Límite de Contracción (SL):**

La masa de suelo se contrae conforme se pierde gradualmente el agua del suelo. Con una pérdida continua de agua, se alcanza una etapa de equilibrio en la que más pérdida de agua conducirá a que no haya cambio de volumen. El contenido de agua, en porcentaje, bajo el cual el cambio de volumen de la masa del suelo cesa, se define como *límite de contracción*.

$$SL = w_i\% - \Delta w\%$$

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) * (100) - \left(\frac{(V_i - V_f)\rho_w}{m_2} \right) * (100)$$

Donde:

w_i = contenido de agua inicial cuando el suelo se coloca en el recipiente del límite de contracción.

Δw = cambio en el contenido de agua.

m_1 = masa del suelo húmedo en el recipiente al principio de la prueba (gr).

m_2 = masa del suelo seco (gr).

V_i = volumen inicial del suelo húmedo (cm³)

V_f = volumen de la masa de suelo secado en horno. (cm³)

ρ_w = densidad del agua (gr/cm³).

▪ **Índice de Liquidez (LI):**

La consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural se define por una razón llamada *índice de liquidez (LI)*:

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

Donde:

w = contenido de agua del suelo *in situ*.

El contenido de agua *in situ* de una arcilla sensitiva es mayor que el límite líquido. En tal caso, $LI > 1$.

Esos suelos, al remoldearlos, se transforman en una forma viscosa que fluye como un líquido.

Los depósitos de suelos que están fuertemente sobre consolidados tienen un contenido de agua natural menor que el límite plástico. En ese caso, $LI < 1$.

Los valores del índice de liquidez para algunos de esos suelos son negativos.

▪ **Índice de Grupo (GI):**

Se encuentra expresado por la siguiente ecuación:

$$GI = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + [0.01 * (F - 15)(PI - 10)]$$

Donde:

F = porcentaje de suelo que pasa la malla No. 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

El primer término de la ecuación, es decir, $(F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)]$ es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo término, es decir, $0.01 * (F - 15)(PI - 10)$ es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:

1. Si la ecuación da un valor negativo para GI , éste se toma igual a 0.
2. El índice de grupo calculado con la ecuación se redondea al número entero más cercano.
3. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es cero.
4. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use $GI = 0.01 * (F - 15) * (PI - 10)$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

CARTA DE PLASTICIDAD:

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudió la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad que muestra la **Figura 2-2**.

La característica importante de esta carta es la línea A empírica, dada por la ecuación $PI = 0.73 * (LL - 20)$. La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquellas para limos inorgánicos se hallan debajo de la línea A. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (debajo de la línea A y con el LL variando entre 30 y 50) que los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la línea A y LL mayor que 50).

La línea U es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación para la línea U se da como. $PI = 0.9 * (LL - 8)$.

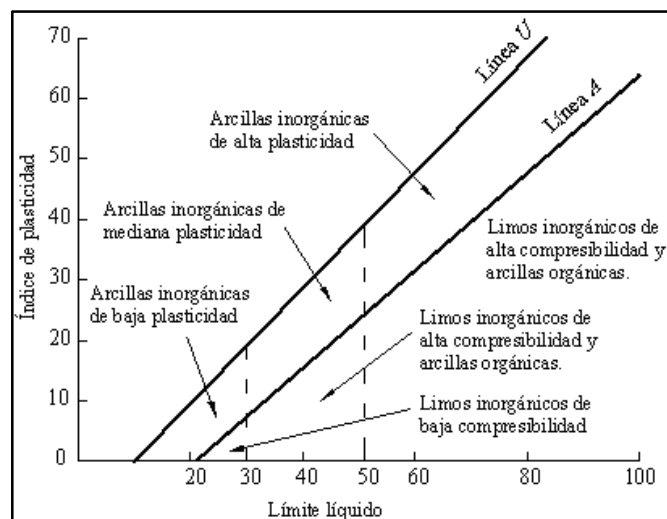


Figura 2-2: Carta de plasticidad⁷

⁷ Casagrande, 1932

b) COMPACTACIÓN

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua. **Figura 2-3.**

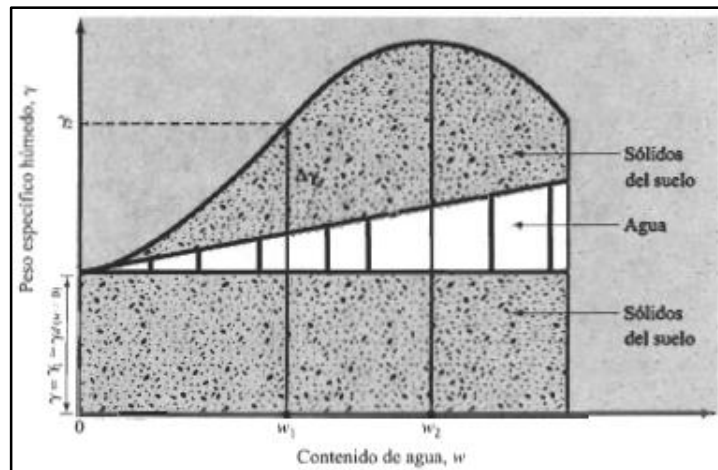


Figura 2-3: Principios de compactación.

El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama *contenido de agua óptimo*.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la Prueba Proctor de Compactación.⁸

A demás del contenido de agua, otros factores importantes que afectan la compactación son el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación.

Compactación en campo.

La mayor parte de las compactaciones de campo se hacen con compactadores de rodillos, de los cuales hay cuatro tipos:

1. Compactador de rodillos de rueda lisa (o rodillos de tambor liso):

Son apropiados para rodadas de prueba de subrasantes y para la operación final de rellenos con suelos arenosos y arcillosos. Estos cubren el 100% bajo las ruedas con presiones de contacto con el suelo de 310 hasta 380 KN/m², y no son apropiados para producir altos pesos específicos de compactación al usarse en capas gruesas.

2. Compactador de neumáticos de hule.

Tienen varias hileras de neumáticos, que van colocados cerca uno de otro, cuatro a seis en una hilera. La presión de contacto bajo los neumáticos varía entre 600 y 700 KN/m² y su cobertura es aproximadamente de 70 a 80%. Los rodillos con neumáticos se usan para la compactación de suelos arenosos y arcillosos. La compactación se logra por una combinación de presión y acción de amasamiento.

⁸ Proctor, 1933



3. *Compactador de rodillos de pata de cabra.*

Son tambores con un gran número de protuberancias. El área de cada una de esas protuberancias varía entre 25 y 85cm². Los rodillos pata de cabra tienen su mayor efectividad en la compactación de suelos arcillosos. La presión de contacto bajo las protuberancias varía entre 1380 y 6900 KN/m².

4. *Compactador de rodillos vibratorios.*

Son muy eficientes en la compactación de suelos granulares. Los vibradores se unen a los rodillos lisos, a los de neumáticos o a los rodillos pata de cabra para suministrar efectos vibratorios al suelo.⁹

2.1.3. HIDROLOGÍA

La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

El estudio hidrológico, inicia con el análisis morfométrico de la cuenca, que incluye: la delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico del cauce principal, entre otros.

En la actualidad la hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los Recursos Hidrológicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación.

2.1.3.1. ESCORRENTÍA

La escorrentía es un término geológico de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

Según la teoría de Horton, se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Esta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua.

La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos, y en zonas con una cubierta vegetal escasa.

Los principales parámetros que afectan la escorrentía son:

- La intensidad de la precipitación;
- La capacidad de infiltración de una superficie particular;

⁹ Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica
Liliana Alexandra Veintimilla González

- La cobertura vegetal;
- La condición hidráulica a la que se encuentra el suelo o la roca; y,
- La pendiente.

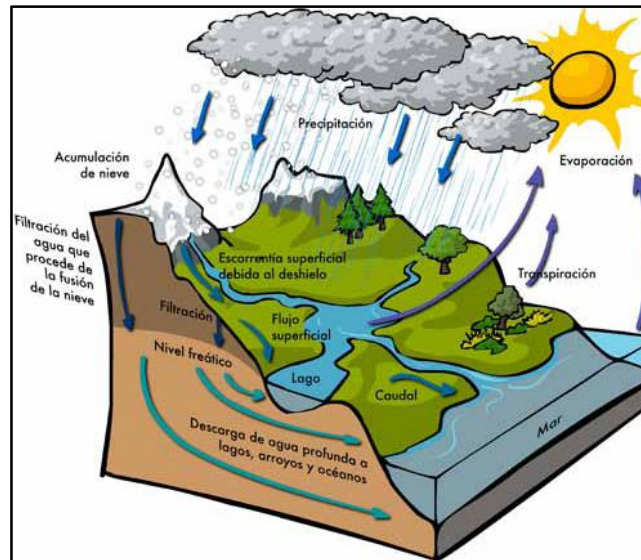


Figura 2-4: Ciclo Hidrológico

Parte del agua precipitada sobre el continente se infiltra en el suelo, desde donde puede volver a evapotranspirar o, por el contrario, percolar en el subsuelo. La otra parte se escurre superficialmente por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial. Por tanto la escorrentía es debida a la incapacidad de los horizontes superficiales del suelo para transmitir el agua de la lluvia con la misma intensidad que cae (escorrentía superficial). **Figura 2-4.**

A. MÉTODO RACIONAL

Es el método más usado para cuencas pequeñas que no excedan a 1.6 Km², que permite determinar el caudal en función de los datos de precipitación pluvial en el lugar, del área de la cuenca, de la topografía y del tipo de suelo.

El método se expresa por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q = El caudal máximo probable (m³/seg)

C = El coeficiente de escorrentía

I = La intensidad de la lluvia (mm/h), para una duración igual al tiempo de concentración.

A = El área de la cuenca de aporte (ha)¹⁰

Consideraciones del método:

- La intensidad de la lluvia permanece constante durante todo el tiempo de concentración y es uniforme en toda la cuenca;
- Las condiciones de permeabilidad permanecen constantes durante toda la lluvia;
- La duración de la lluvia debe ser igual o mayor que el tiempo de concentración t_c de la cuenca de aporte.

¹⁰ Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MTOP, 2003.

Tiempo de concentración: tiempo que demora en llegar una gota de agua desde el punto más remoto de la cuenca de aporte al punto de estudio. t_c es la medida del tiempo que le toma a la cuenca contribuir para el escurrimiento. El t_c inicial, el de ingreso al sistema de alcantarillado es de muy difícil estimación. El t_c en una zona urbana puede ser compuesto por uno o varios de los siguientes componentes:

- Tiempo de flujo en el suelo
- Tiempo de viaje a flujo libre en canales (cunetas, canales naturales o artificiales, etc.)
- Tiempo en tuberías subterráneas¹¹

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula¹²:

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

T_c = el tiempo de concentración (min).

L = la longitud del cauce principal (Km).

H = desnivel entre el extremo de la cuenca y el punto de descarga (m).

Coeficiente de Escorrentía: corresponde a la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente (escorrentía efectiva). Depende en gran medida de las características del suelo. Se utilizan tablas y gráficos para su estimación.

La **Tabla 2-1** hace referencia al tipo de cobertura del suelo, mientras que la **Tabla 2-2** a su composición litológica.¹³

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20 - 50	5 - 20	1 - 5	0 - 1
Sin vegetación	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
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Tabla 2-1: Coeficientes de Escorrentía (C), según Benítez.

¹¹ Ing. Andrés Alvarado, Curso de Sistemas de Alcantarillado, Universidad de Cuenca

¹² NEVI, 2012.

¹³ Tablas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

VEGETACIÓN	PENDIENTE (%)	TEXTURA DEL SUELO		
		Arena	Arcilla y Limos	Arcilla
Bosque	0 - 5	0.10	0.30	0.40
	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	10 - 30	0.30	0.50	0.60
Pastizales	0 - 5	0.10	0.30	0.40
	5 - 10	0.16	0.36	0.55
	10 - 30	0.22	0.42	0.60
Terrenos de Cultivo	0 - 5	0.30	0.50	0.60
	5 - 10	0.40	0.60	0.70
	10 - 30	0.52	0.72	0.82

Tabla 2-2: Coeficientes de Escorrentía (C), según V. Molina.

La intensidad de la lluvia: Ligada a la duración del evento. Es necesario obtener las características de una tormenta y las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), únicas para cada lugar.

En la **Figura 2-5** se muestra la zonificación realizada por el INAMHI en el año de 1999.

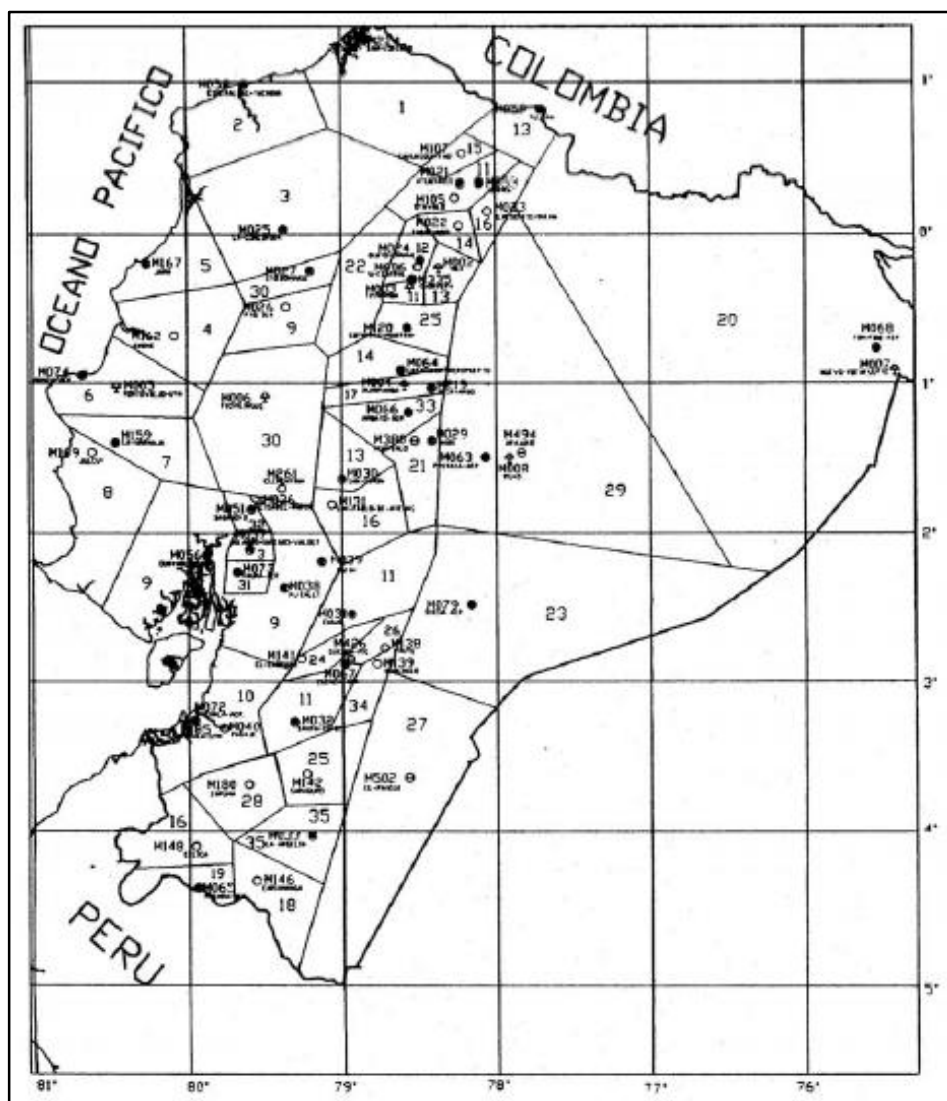


Figura 2-5: Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación.¹⁴

¹⁴ INAMHI, 1999



La alcantarilla de estudio se encuentra dentro de la Zona 11 o en la zona de la estación pluviométrica M426, correspondiente al Cantón Cuenca. (*Figura 2-5*)

Para el cálculo de intensidad de precipitación se utiliza las ecuaciones definidas por el INAMHI. (*Tabla 2-3*)

ZONIFICACIÓN DE INTENSIDADES		
ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LAS ZONAS		
ZONA	DURACIÓN	ECUACIÓN
11	5 min < 60 min	$I_{TR} = 132.27 * t^{-0.5153 * Id_{TR}}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 578.56 * t^{-0.8736 * Id_{TR}}$

*Tabla 2-3: Ecuaciones representativas de la Zonificación.*¹⁵

VALORES PLUVIOMÉTRICOS MENSUALES (mm)															
CÓD.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL	Máxima en 24 Hrs.	Número de días
M426	29.3	112.6	69.4	112.1	84.2	107.1	93.7	20.6	40.7	28.2	138.3	161.2	997.4	41.9	23-Dic

*Tabla 2-4: Valores Pluviométricos Mensuales.*¹⁶

Área de drenaje: Se puede determinar en las cartas topográficas del IGM (escala 1:25000), o en fotografías aéreas, y se considera como la superficie en proyección horizontal limitada por el parte-aguas. Esta área se calcula por cualquier método y se expresa en hectáreas o en kilómetros cuadrados.

Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia): son la relación entre la intensidad de precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observan. (*Tabla 2-5 y Figura 2-6*).

PERIODO RETORNO	I N T E N S I D A D			I = A[t+C] ^B		
	Para 5 ≤ t ≤ 60 minutos			Para 60 ≤ t ≤ 1440 minutos		
	A	B	C	A	B	C
2	342.83	-0.6405	3.10	2521.50	-0.9989	45.00
3	366.29	-0.6164	3.00	3205.50	-1.0145	45.00
5	399.11	-0.5992	3.00	3985.00	-1.0273	45.00
10	436.25	-0.5802	2.90	5113.20	-1.0428	46.00
20	477.58	-0.5687	2.90	6264.10	-1.0548	47.00
50	531.84	-0.5574	2.90	7797.40	-1.0667	48.00
100	566.15	-0.5480	2.80	8854.00	-1.0719	48.00

*Tabla 2-5: Cálculo de Intensidad de Precipitación. (Estación Aeropuerto)*¹⁷

¹⁵ Luis Rodríguez Fiallos, Estudio de lluvias intensas, INAMHI, 1999

¹⁶ INAMHI, Anuario Meteorológico 2010.

¹⁷ Ing. Rafael Estrella, Segunda Etapa de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca, 1998.

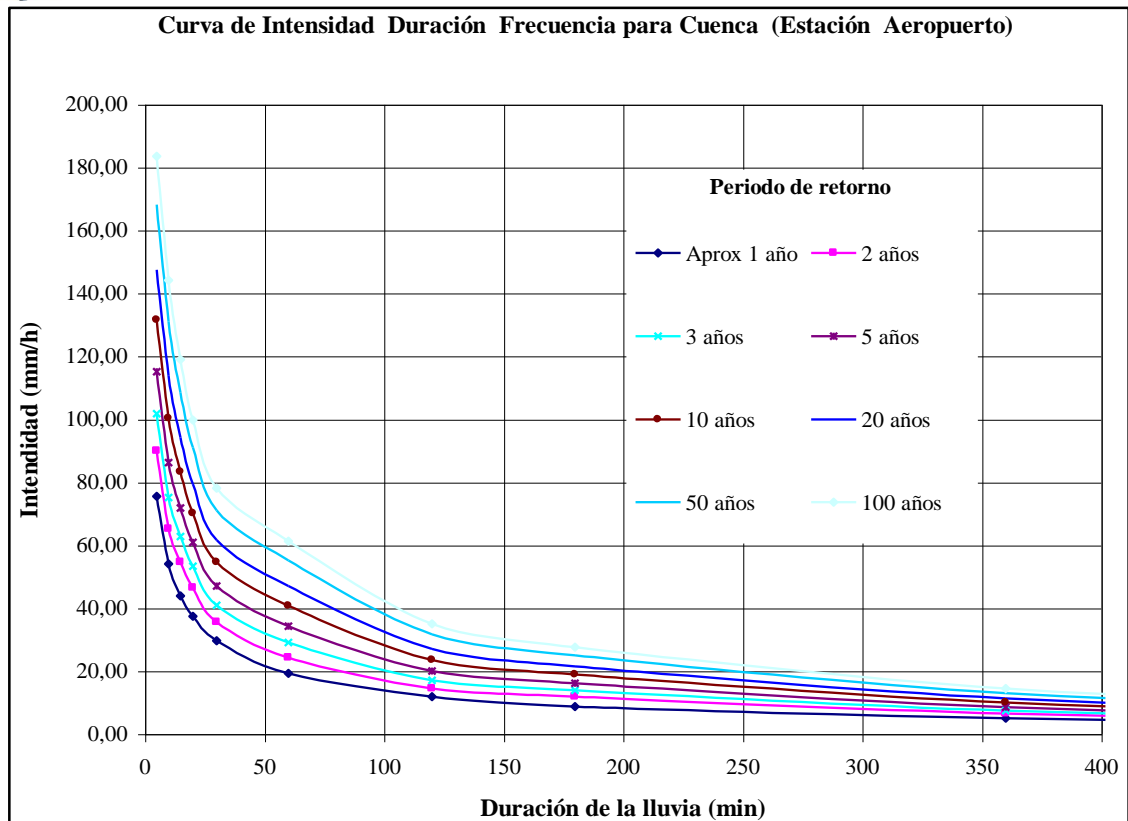


Figura 2-6: Curvas IDF para Cuenca. Estación Aeropuerto.¹⁸

2.1.3.2. EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

Dentro del intercambio constante de agua entre los océanos, los continentes y la atmósfera, la evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor (*Figura 2-4*).

La evaporación y evapotranspiración se deben a los principales factores medio ambientales presentes en cada zona, y son:

- Radiación solar.
- Temperatura del aire.
- Humedad atmosférica.
- Presión Atmosférica.
- Altitud.
- El viento.
- El tamaño de la masa de agua.
- Tipo de suelo y planta.

2.1.3.3. INFILTRACIÓN

La infiltración (*Figura 2-4*) está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar y contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo.

¹⁸ Ing. Rafael Estrella, Segunda Etapa de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca, 1998.



Una vez que el agua se ha infiltrado en el suelo, permanece allí y se filtra al agua subterránea, o pasa a formar parte del proceso de escorrentía subsuperficial.

El índice de infiltración o capacidad media de infiltración es utilizado para calcular el escurrimiento en grandes áreas, donde sería difícil aplicar la curva de capacidad de infiltración. Este es equivalente a la velocidad media de infiltración.

2.1.4. HIDRÁULICA

Los criterios para definir la capacidad hidráulica de una obra de drenaje lateral son: la vida útil de la obra, el tipo de estructura, la facilidad de reparación y ampliación, y el peligro de pérdida de vidas humanas. Según estos criterios, en la práctica mundial, las alcantarillas para carreteras, fuera de áreas urbanas, se dimensionan para un caudal con un periodo de retorno considerable¹⁹.

La hidráulica es una rama de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería, que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a las condiciones a que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

La finalidad del diseño hidráulico de las alcantarillas es encontrar el tipo y tamaño de las mismas que desagüen de la manera más económica la corriente originada por una lluvia de frecuencia establecida.

Generalmente, la alcantarilla reduce el cauce de corriente, ocasionando un represamiento del agua a su entrada y un aumento de su velocidad dentro del conducto y a la salida. El éxito del diseño hidráulico radica, en proveer una estructura con capacidad de descargar una cierta cantidad de agua dentro de los límites establecidos de elevación del nivel de las aguas y de velocidad. Cuando la altura y la descarga han sido determinadas, la finalidad del diseño es proporcionar la alcantarilla más económica, la cual será la que con la menor sección transversal satisfaga los requerimientos del diseño.

2.1.4.1. DISEÑO HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS

En síntesis, el diseño de alcantarillas consiste en determinar el tipo de sección, material y embocadura de la alcantarilla que, para la longitud y pendiente que posee, sea capaz de evacuar el caudal de diseño, provocando un nivel de agua a la entrada que no ponga en peligro la falla estructural ni funcional de la estructura que se desea atravesar, optimizando los recursos disponibles. Es decir, busca la solución técnico – económica más conveniente.

De acuerdo a las dimensiones, material, caudal, condiciones de entrada y de salida, etc. de la alcantarilla, irán variando las características hidráulicas del flujo; pudiendo variar desde un flujo a superficie libre con un tirante pequeño, hasta un conducto a presión, cuando fluye totalmente llena. En el primer caso, podría dimensionarse la alcantarilla empleando la teoría de flujo en canales abiertos, mientras que en el segundo caso, con las ecuaciones de la teoría de conductos. Entre ambas condiciones extremas se plantean un gran número de casos con soluciones más o menos complejas. En conclusión, el análisis hidráulico teórico del escurrimiento en el interior de una alcantarilla es muy complejo.

¹⁹ Harrigan, 1998

A. FLUJO CON CONTROL DE ENTRADA

En el flujo con control de entrada, la capacidad de descarga de una alcantarilla está regida en su entrada. Por eso, las variables que intervienen son:

- Tipo y dimensiones de la sección transversal.
- Geometría de la embocadura.
- Nivel de agua a la entrada.

Si bien no es sencillo predefinir cuando un flujo tendrá control de entrada, los casos más típicos son aquellos en los cuales:

1. La entrada está descubierta y la pendiente es supercrítica. **Figura 2-7.**

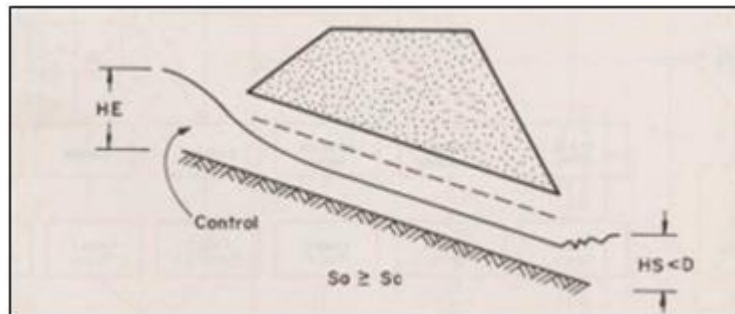


Figura 2-7: Flujo con control de entrada. Caso típico. (Carciente 1985)

2. La entrada está sumergida, y sin embargo no fluye lleno el conducto, **Figura 2-8,** pudiendo ser subcrítica o supercrítica la pendiente.

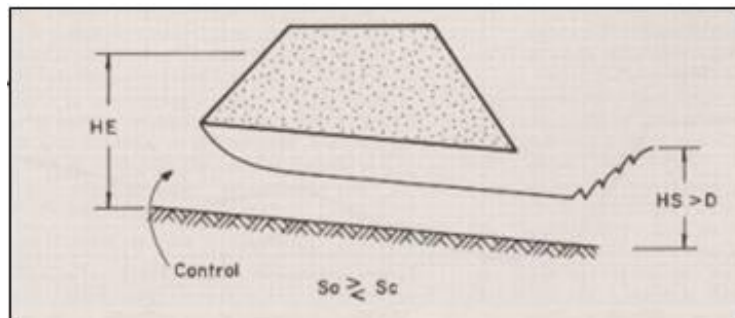


Figura 2-8: Flujo con control de entrada caso típico. (Carciente 1985)

Nótese que en los casos típicos, el tirante crítico se forma en las proximidades de la sección de entrada a la alcantarilla, quedando aguas arriba de dicha sección un remanso en flujo subcrítico, y aguas abajo, un flujo supercrítico. De modo que el nivel de agua en la entrada a la alcantarilla se ve influenciado por la sección de entrada, no afectándole de manera alguna lo que ocurra debajo de dicha sección.

B. FLUJO CON CONTROL DE SALIDA

En el flujo con control de salida, el tirante a la salida de la alcantarilla gobierna el remanso hacia aguas arriba, o sea que gobierna el flujo adentro de la alcantarilla, siendo en consecuencia, este de tipo subcrítico, pudiendo ser la pendiente del fondo de la alcantarilla subcrítica o supercrítica. De modo que todo lo que ocurre desde la sección de salida hacia aguas arriba tiene influencia en el nivel a la entrada de la alcantarilla. Por eso, las variables que intervienen en este tipo de flujo son las mismas que intervienen en el control de entrada, más las que corresponden al tramo entre esta sección y la de salida:

- Tipo y dimensiones de la sección transversal.
- Geometría de la embocadura.
- Nivel de agua a la entrada.
- Nivel de agua a la salida.
- Pendiente del conducto.
- Rugosidad del conducto.
- Longitud del conducto.

Al igual que en control de entrada, tampoco aquí es sencillo predefinir cuando un flujo tendrá control de salida, los casos más típicos son aquellos en los cuales:

1. La altura del agua no sumerge la entrada y la pendiente del conducto es subcrítica **Figura 2-9**.

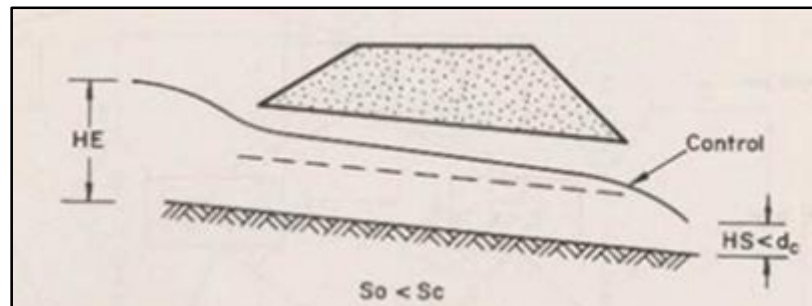


Figura 2-9: Flujo con control de salida. Caso típico. (Carciente 1985)

2. La alcantarilla fluyendo a plena capacidad **Figura 2-10**.

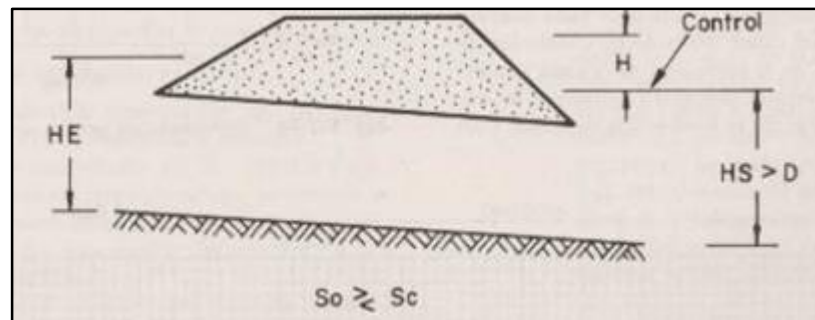


Figura 2-10: Flujo con control de salida. Caso Típico. (Carciente 1985)²⁰

En el caso de flujo con control de salida comienzan a intervenir en el cálculo las características del flujo en la alcantarilla y a la salida de la misma. Desde el punto de vista del cálculo conviene identificar distintos tipos de escurrimiento en alcantarillas con control de salida.

La **Figura 2-11**. Presenta cuatro tipos de flujo con control de salida:

- a. Caso de sección llena con nivel aguas abajo por encima del dintel de la sección de salida.
- b. Caso de sección llena con nivel aguas abajo por debajo del dintel de la sección de salida.
- c. Caso de sección parcialmente llena en un tramo del conducto.
- d. Caso de sección parcialmente llena en todo el conducto.²¹

²⁰ Carciente 1985

²¹ Ing. Facundo J. Alonso, Diseño Hidráulico de Alcantarillas, 2005

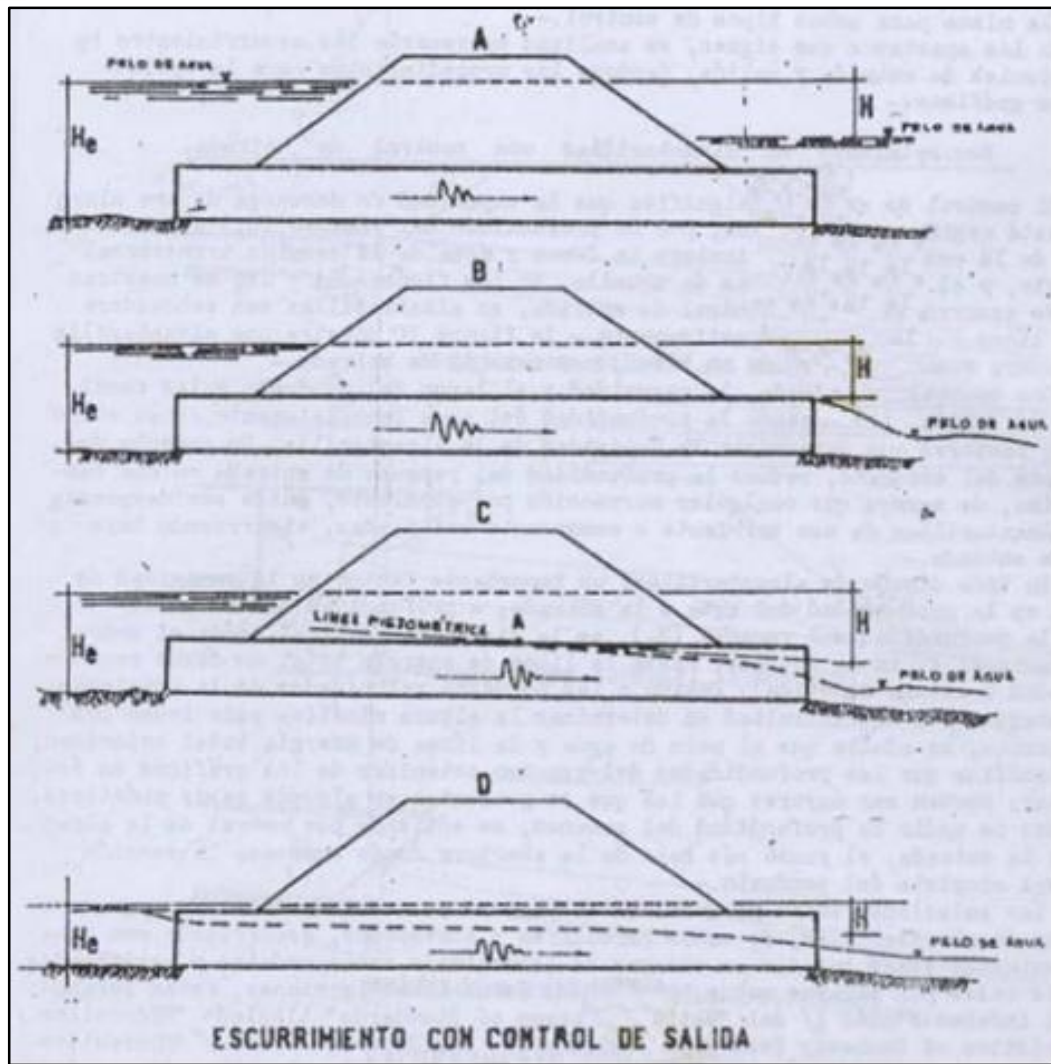


Figura 2-11: Clasificación del flujo con control de salida.²²

ECUACIONES DE FLUJO EN ALCANTARILLAS

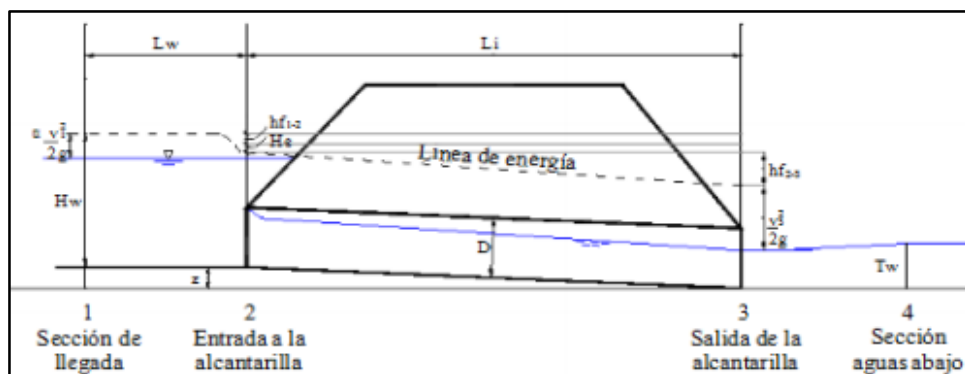


Figura 2-12: Definición esquemática del flujo en alcantarillas.²³

Las ecuaciones de flujo en una alcantarilla se determinan aplicando las ecuaciones de continuidad y energía entre la sección de llegada y una sección aguas abajo que normalmente se encuentra dentro de la alcantarilla. La ubicación de la sección aguas abajo depende del tipo de flujo dentro de la alcantarilla. En el cálculo del flujo a través de alcantarillas se distinguen seis categorías de flujo:

²² Rühle, DNV, 1966

²³ IMFIA & MTOP, 2000

Tipo 1: Tirante crítico a la entrada.

Tipo 2: Tirante crítico a la salida.

Tipo 3: Flujo subcrítico en toda la alcantarilla.

Tipo 4: Salida ahogada.

Tipo 5: Flujo supercrítico a la entrada.

Tipo 6: Flujo lleno a la salida.

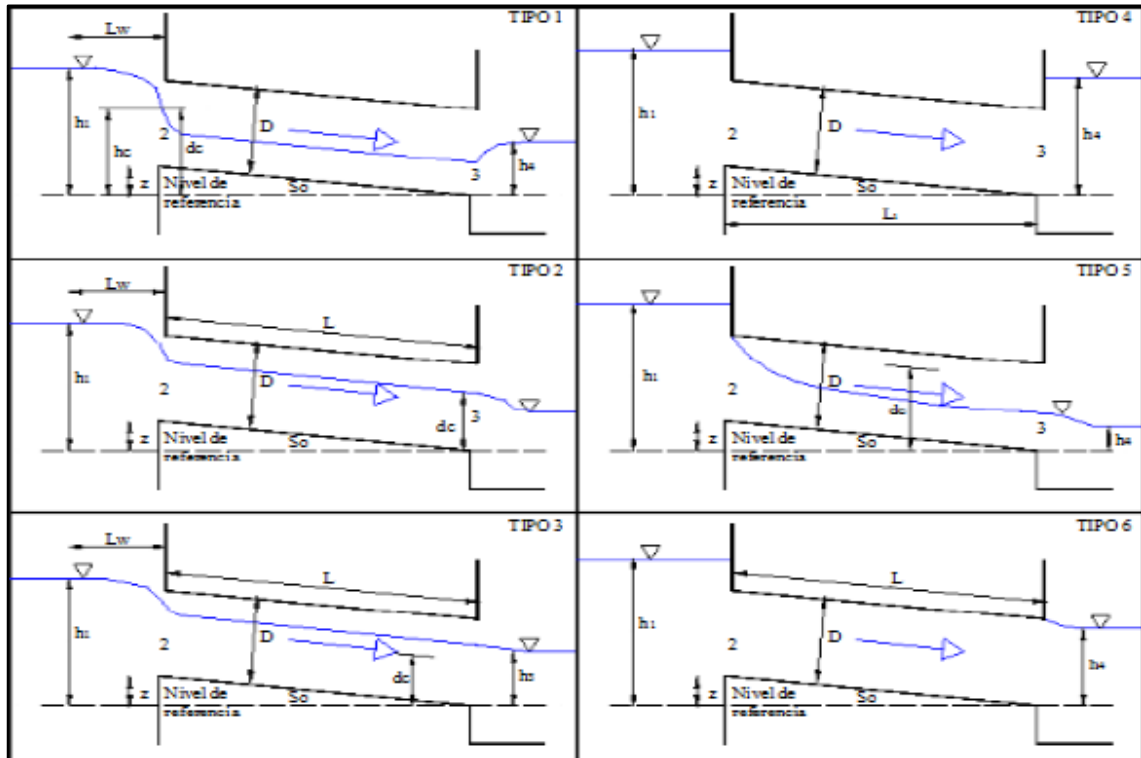


Figura 2-13: Tipos de Flujos en las Alcantarillas. (IMFIA & MTOP, 2000)

Tipos de flujo en alcantarillas		Ecuación de gasto
Tipo 1	Tirante crítico a la entrada ($h_1 - z$)/ $D < 1.5$ $h_1/h_c < 1.0$ $S_0 > S_c$	$Q = C_{D1} A_c \sqrt{2g \left(h_1 - z + a_1 \frac{v_1^2}{2g} - y_c - h_{f1-2} \right)}$
Tipo 2	Tirante crítico a la salida ($h_1 - z$)/ $D < 1.5$ $h_1/h_c < 1.0$ $S_0 < S_c$	$Q = C_{D2} A_c \sqrt{2g \left(h_1 - z + a_1 \frac{v_1^2}{2g} - y_c - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)}$
Tipo 3	Flujo subcrítico en toda la alcantarilla ($h_1 - z$)/ $D < 1.5$ $h_1/h_c > 1.0$ $h_1/D \leq 1.0$	$Q = C_{D3} A_1 \sqrt{2g \left(h_1 + a_1 \frac{v_1^2}{2g} - h_1 - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)}$
Tipo 4	Salida ahogada ($h_1 - z$)/ $D > 1.0$ $h_1/D > 1.0$	$Q = C_{D4} A_c \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 + (2gC_{D4}^2 n^2 L / R_0^{4/3})}}$
Tipo 5	Flujo supercrítico a la entrada ($h_1 - z$)/ $D \geq 1.5$ $h_1/D \leq 1.0$	$Q = C_{D5} A_0 \sqrt{2g(h_1 - z)}$
Tipo 6	Flujo lleno a la salida ($h_1 - z$)/ $D \geq 1.5$ $h_1/D \leq 1.0$	$Q = C_{D6} A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2 - h_{f2-3})}$

Tabla 2-6: Clasificación de los tipos de flujo en Alcantarillas. (IMFIA & MTOP, 2000)²⁴

²⁴ IMFIA & MTOP, 2000



2.1.5. ESTRUCTURAS DE DRENAJE VIAL

El drenaje vial son elementos estructurales que consisten en la evacuación de las aguas superficiales y en ocasiones de las aguas freáticas lejos del área de influencia de la carretera, a fin de proteger en forma conveniente, segura y económica la inversión realizada en la construcción, la vida de las personas y las propiedades.

Las estructuras de las carreteras que controlan el drenaje comprenden el pavimento, el ancho de la faja vial, los taludes, cunetas y contra cunetas longitudinales, las alcantarillas y los puentes. Las dimensiones de la estructura dependen de la cantidad de agua que se desea eliminar.

Una vía de comunicación no solo exige una adecuada planeación económica, una selección conveniente de la ruta y materiales de construcción a emplear, sino el diseño racional de estructuras de drenaje, capaces de desalojar en todo momento en forma eficiente el escurrimiento de las lluvias en cualquier tramo de la carretera.

OBJETIVOS DE LAS OBRAS DE DRENAJE

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino.
- Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino.
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.
- De la construcción de las obras de drenaje, dependerá en gran parte la vida útil y facilidad de acceso del camino.

2.1.5.1. DRENAJE SUPERFICIAL.

El drenaje superficial se construye sobre la superficie del camino o terreno, con funciones de captación, salida, defensa y cruce, algunas obras cumplen con varias funciones al mismo tiempo.

En el drenaje superficial encontramos: Cunetas, Contra cunetas, Bombeo, Zampeados, y Drenaje transversal.

DRENAJE TRANSVERSAL

- PUENTES: son estructuras de más de seis metros de luz.
- BOVEDAS: Las bóvedas de medio punto construidas con mampostería son adecuadas cuando requerimos salvar un claro con una altura grande de la rasante al piso del río.
- ALCANTARILLAS: son estructuras transversales al camino que permiten el cruce del agua.

A. ALCANTARILLAS

Las alcantarillas son conductos cerrados que se construyen transversales a un terraplén y por debajo de este, con el objeto de conducir agua de lluvia proveniente de las cunetas y contra cunetas hacia cauces naturales, eliminando peligro de daños e interrupciones de tránsito.

En general, las estructuras que tienen luces menores a seis metros se llaman alcantarillas, en tanto que aquellas cuya luz sea mayor a seis metros se denominan puentes. La parte superior de una alcantarilla generalmente no forma parte del pavimento de una carretera.



Las alcantarillas se diseñan por lo general para un flujo máximo bajo ciertas condiciones, en tanto que los puentes se diseñan para permitir el paso de sedimentos y desechos así como de cuerpos flotantes.

La pendiente que se da a la alcantarilla en general es la pendiente del cauce natural, pero con la limitación que no genere velocidades a la salida mayores que 4.5 m/seg.

Las alcantarillas deben clasificarse principalmente desde el punto de vista de su ubicación, capacidad (diseño hidráulico) y resistencia (diseño estructural).

ELEMENTOS DE LAS ALCANTARILLAS

Estructura de Entrada:

Se refiere a todas las obras construidas con el objetivo de conducir el flujo de agua hacia la tubería y estabilizar el terraplén de la vía y/o terreno natural.

Cajas Colectoras:

Captan las aguas provenientes de las diferentes estructuras de drenaje longitudinal permitiendo su cruce bajo la vía, hacia cruces naturales u otros sistemas de desagüe. Dichas estructuras confinan la vía y dan estabilidad al extremo de la tubería.

Cabezal:

Son muros que retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de la alcantarilla, además de dar estabilidad al extremo de la tubería al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de subpresión, guiar la corriente, permitir un mayor ancho de la vía y por ende, ofrecer mayor seguridad para el conductor.

Para garantizar un buen funcionamiento de los cabezales y una mayor vida útil de los mismos, se recomienda seguir las siguientes consideraciones técnicas:

- Las dimensiones de los cabezales deben ser tales que impidan el deslizamiento de los taludes inmediatos hacia el canal de la corriente.
- La excavación requerida, para cabezales, debe quedar prevista durante la colocación de la alcantarilla.
- Los cabezales pueden ser contruidos de concreto reforzado, de mampostería o de concreto ciclópeo, entre otros.
- La construcción de los cabezales se realizará inmediatamente después de la colocación de las alcantarillas, con el fin de evitar el desacomodo de los tubos.
- No se recomienda construir cabezales en secciones de relleno, en caso de ser necesario es recomendable revestir y escalonar el canal de salida.

Alas:

Las alas ayudan a guiar el flujo hacia la alcantarilla, mejorando su desempeño hidráulico. Su orientación y su longitud se proyectan para asegurar la entrada del flujo al conducto. Atendiendo al criterio hidráulico, un ángulo de 45° es ideal para las alas, pero se podrá modificar para las condiciones especificadas en cada caso.

Canal:

Pueden ser de concreto o láminas metálicas. Tienen como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar las capas de las estructuras del pavimento.

Estructura de Salida:

Son transiciones entre la alcantarilla y el cuerpo receptor y, por lo tanto, sus criterios de diseño también se basan en no alterar drásticamente los patrones de flujo del cuerpo receptor y evitar problemas de socavación.

Vertedero:

Estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la salida de las obras de drenaje y así asegurar la entrega hacia los canales naturales u otros no erosionables.

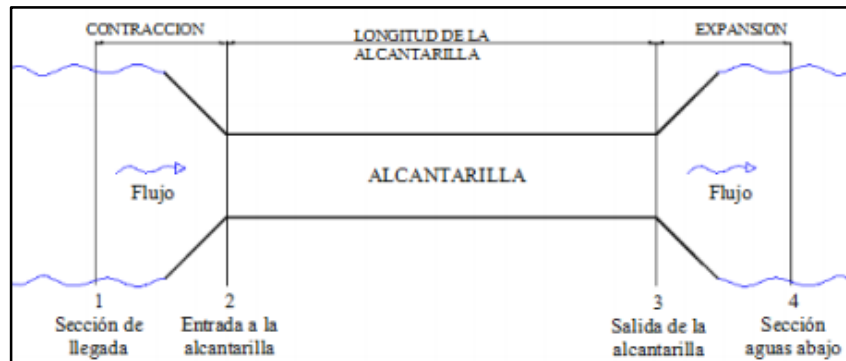


Figura 2-17: Vista en planta de una alcantarilla y secciones de control.²⁵

TIPOS DE ALCANTARILLAS

De acuerdo con la forma de la sección transversal del conducto, las alcantarillas pueden ser: circulares, rectangulares, de arco, bóvedas o de ductos múltiples.

La densidad de las alcantarillas en un proyecto vial influye directamente en los costos de construcción y de mantenimiento, por ello es importante considerar factores como: adecuada elección de su ubicación, alineamiento y pendiente a fin de garantizar un flujo libre de agua.

Las alcantarillas se pueden prefabricar o construir en el sitio. Por lo general, aquellas construidas en el sitio tienen forma cuadrada o rectangular, mientras que las prefabricadas son circulares o elípticas. A menudo se construyen pasos de dos o tres ductos en forma cuadrada o rectangular una a lado de la otra, o "baterías de tubos" unos a lados de otros. Las alcantarillas de sección cuadrada o rectangular se fabrican de concreto armado, las de forma circular se hacen con tubos de concreto o de acero corrugado. Las secciones elípticas se fabrican, por lo general, con planchas de hierro corrugado.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO HIDRÁULICO

El escurrimiento a través de una alcantarilla generalmente queda regulado por los siguientes factores:

- Pendiente del lecho de la corriente aguas arriba y aguas abajo del lugar.
- Pendiente del fondo de la alcantarilla.
- Altura de ahogamiento permitido a la entrada.
- Tipo de entrada.
- Rugosidad de las paredes de la alcantarilla.
- Altura del remanso de salida.

²⁵ IMFIA & MTOP, 2000



El estudio de los tipos de flujo a través de las alcantarillas ha permitido establecer las relaciones existentes entre la altura de agua a la entrada del conducto, el caudal y las dimensiones de la alcantarilla. Para el diseño de una alcantarilla el proyectista debe fijar:

- El caudal de diseño.
- La altura de agua permisible a la entrada.
- La altura de agua a la salida.
- La pendiente con que se colocará el conducto.
- Su longitud.
- El tipo de entrada.
- Longitud y tipo de transiciones.
- La velocidad del flujo permisible a la salida.²⁶

2.1.6. CÁLCULO Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS

El cálculo de una estructura comprende las siguientes etapas:

Primeramente es necesario elegir el esquema estructural que refleje lo más fielmente posible el comportamiento real de la estructura, adoptando luces de cálculo, forma de trabajo, dimensiones generales y relativas de las piezas, condiciones de apoyo, etc.

Luego se deben precisar las cargas permanentes y accidentales que actúan sobre la estructura, y las combinaciones de cargas que provoquen los efectos más desfavorables sobre la misma.

El cálculo de solicitaciones se efectúa suponiendo un comportamiento elástico lineal de la estructura con proporcionalidad entre solicitaciones y deformaciones. Para la comprobación o dimensionamiento de secciones se distinguen dos métodos de cálculo bien diferenciados:

- a. *Método clásico (tensiones admisibles).*
- b. *Método de cálculo en estados límites (carga última).*

2.1.6.1. CARGAS.

Las cargas que actúan sobre las estructuras pueden dividirse en tres grandes categorías: cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales.

Las cargas muertas son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida de la estructura. Generalmente la mayor parte de la carga muerta es el peso propio de la estructura. Ésta puede calcularse con buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material.

Las cargas vivas consisten principalmente en cargas de ocupación en edificios y cargas de tráfico en puentes y alcantarillas. Éstas pueden estar total o parcialmente en su sitio o no estar presentes, y pueden cambiar de ubicación. Su magnitud y distribución, son inciertas en un momento dado, y sus máximas intensidades a lo largo de la vida de la estructura no se conocen con precisión.

²⁶ Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MTOP, 2003.

Las cargas ambientales consisten principalmente en cargas de nieve, presión y succión de viento, cargas sísmicas, presiones de suelos en las porciones subterráneas de estructuras, cargas de posibles empozamientos de aguas lluvias sobre superficies planas y fuerzas causadas por cambios de temperatura. Al igual que las cargas vivas, las cargas ambientales son inciertas tanto en magnitud como en distribución.

2.1.6.2. SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO

A. REQUISITOS GENERALES.

La sobrecarga vehicular sobre las calzadas de puentes o estructuras incidentales, designada como HL-93, deberá consistir en una combinación de:

- Camión de diseño o tándem de diseño, y
- Carga de carril de diseño.

Para cada sitio específico se debería pensar en modificar el camión de diseño, el tándem de diseño y/o la carga del carril de diseño si se dan las siguientes condiciones:

- La carga legal de una jurisdicción dada es significativamente mayor que el valor típico;
- Se anticipa que la calzada soportará porcentajes de tráfico de camiones inusualmente elevados;
- Un elemento de control de flujo, como por ejemplo una señal de pare, semáforo o casilla de peaje, provoca la acumulación de camiones en ciertas áreas de un puente o que el flujo de camiones no sea interrumpido por tráfico liviano.

CAMIÓN DE DISEÑO.

Los pesos y las separaciones entre los ejes y las ruedas del camión de diseño serán como se especifica en la **Figura 2-14**. Se deberá considerar un incremento por carga dinámica. La separación entre los dos ejes de 145000 N se deberá variar entre 4300 y 9000 mm para producir las solicitaciones extremas.

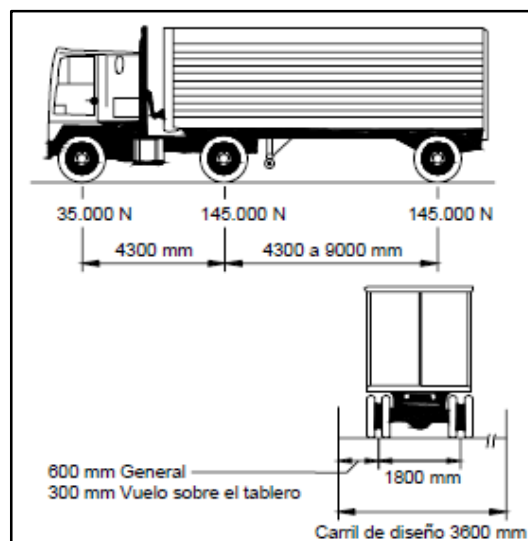


Figura 2-14: Características del Camión de diseño.²⁷

²⁷ AASHTO, 2004

TANDEM DE DISEÑO.

El tandem de diseño consistirá en un par de ejes de 110000N con una separación de 1200mm. La separación transversal de las ruedas se deberá tomar como 1800mm. Se deberá considerar un incremento por carga dinámica.

CARGA DE CARRIL DE DISEÑO

La carga de carril de diseño consistirá en una carga de 9.3N/mm, uniformemente distribuida en dirección longitudinal. Transversalmente la carga del carril de diseño se supondrá uniformemente distribuida en un ancho de 3000mm.²⁸

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL CANTÓN AZOGUES.

El Cantón Azogues es una entidad territorial subnacional ecuatoriana, es la capital de la Provincia de Cañar. Su cabecera cantonal es la ciudad de Azogues, lugar donde se agrupa gran parte de su población total.

Azogues está situada al sur de la provincia del Cañar; se extiende desde la colina de Tocanchón y Uchupucún al Norte, hasta los linderos de la Parroquia Borrero en el Sur; y desde Chaquimayllana al Este hasta las colinas de Shishiquín, Bolivia y la Concordia por el Occidente. Se ubica en la región interandina, en las coordenadas 2°44'00''S y 78°50'00''O, y una altitud de 2518 m.s.n.m. Tiene una extensión de 1.550 Km². (Figura 2-15).

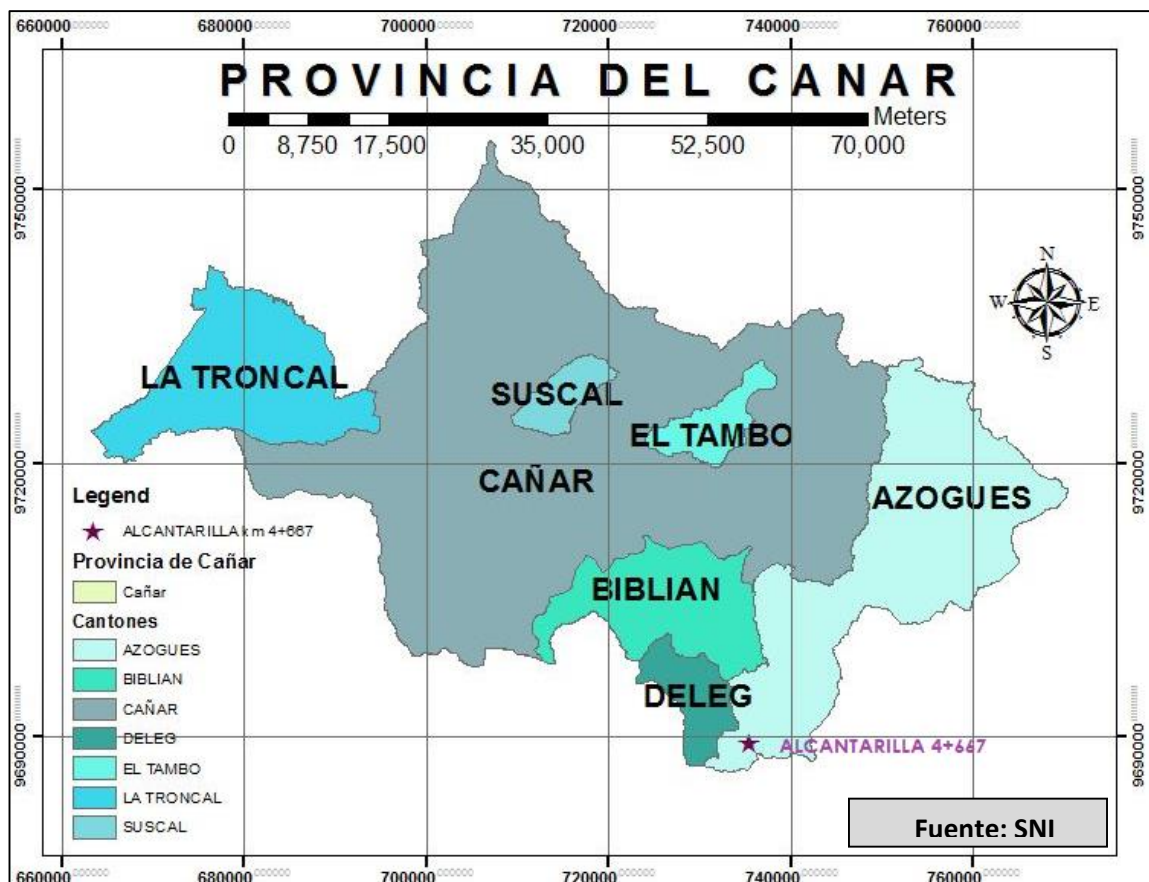


Figura 2-15: Cantones de la Provincia del Cañar.

²⁸ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Cap. III, 2004

Según el Censo del INEC realizado en el año 2010, el Cantón Azogues cuenta con 70064 habitantes (31.1% respecto a la provincia de Cañar), donde 37976 son mujeres y 32088 son hombres, distribuidos en nueve parroquias (**Figura 2-16**). El Cantón Azogues representa el 19.5% del territorio de la provincia de Cañar (aproximadamente 0.6 mil km²).

2.2.2. ALCANTARILLA ABSCISA KM 4+667.

2.2.2.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio se encuentra ubicada en Ecuador, en la Autopista Cuenca - Azogues abscisa Km. 4+667, perteneciente a la parroquia Javier Loyola del Cantón Azogues, al suroeste de la Provincia del Cañar (**Figura 2-16**).

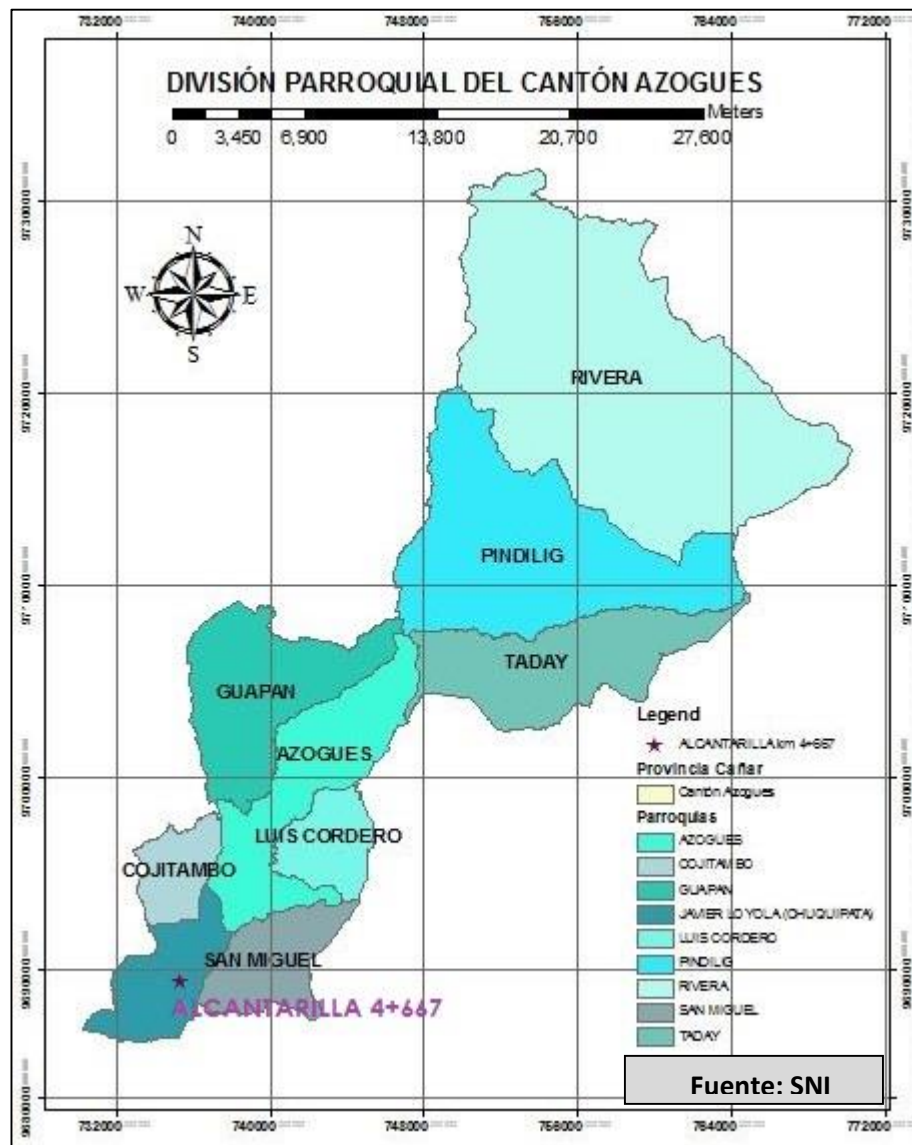


Figura 2-16: División Parroquial del Cantón Azogues

La zona está ubicada a una altitud de 2422.40 m.s.n.m., y coordenadas UTM en el cuadrante terrestre 17S, al Norte 9689320.068m y al Este 735422.082m.

En la **Figura 2-17**, se observa el mapa vial del Ecuador, detallando las vías principales del país, autopistas, además se especifica la Autopista Cuenca – Azogues.

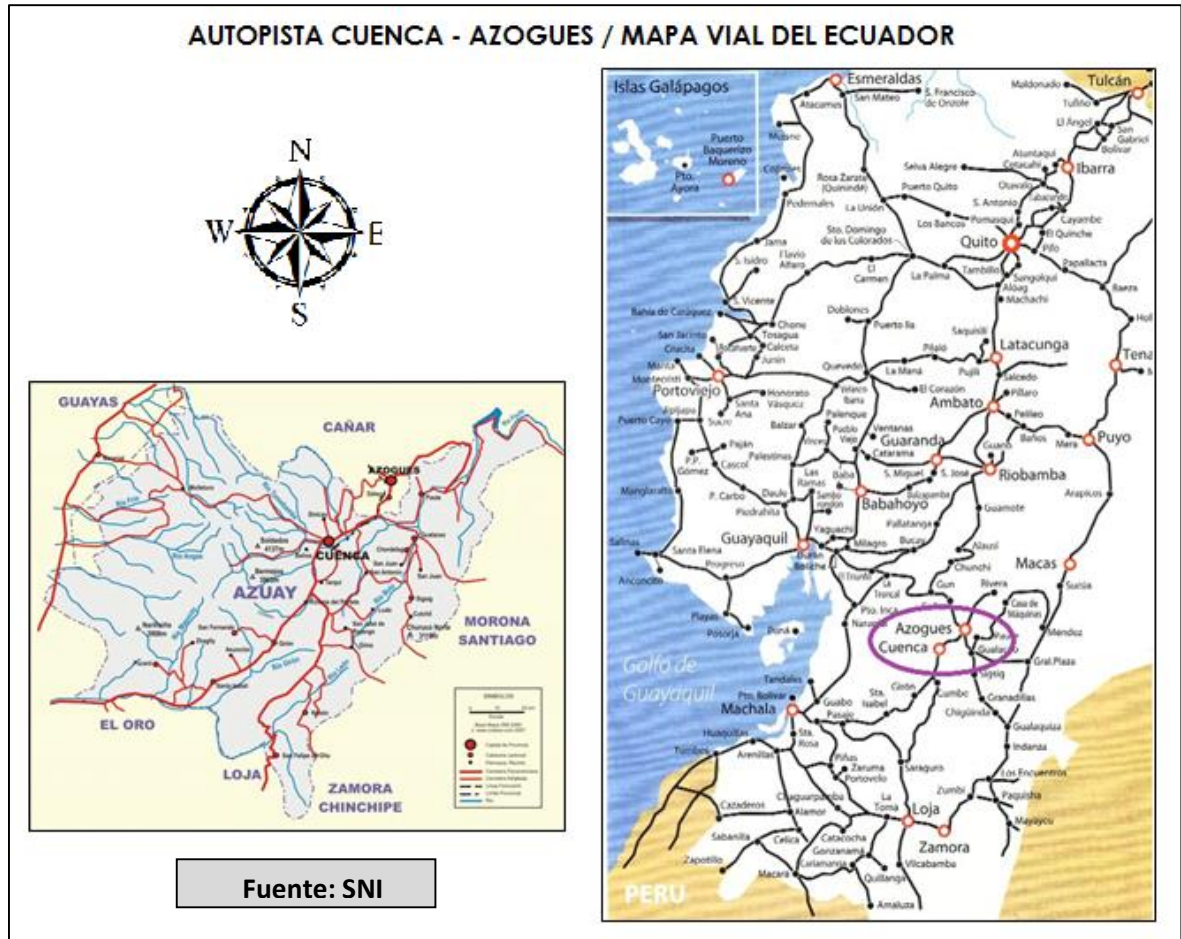


Figura 2-17: Autopista Cuenca – Azogues / Mapa Vial del Ecuador

2.2.3. MEDIO ABIÓTICO

2.2.3.1. TOPOGRAFÍA

La topografía de la parroquia Javier Loyola, cuenta con accidentes topográficos notables, debido a que se encuentra en una zona típica de montaña; la parte alta de la parroquia está a 2792 m.s.n.m., mientras que la parte baja está a 2320 m.s.n.m., la zona de estudio se encuentra a una altura de 2430 m.s.n.m. (*Figura 2-18*).

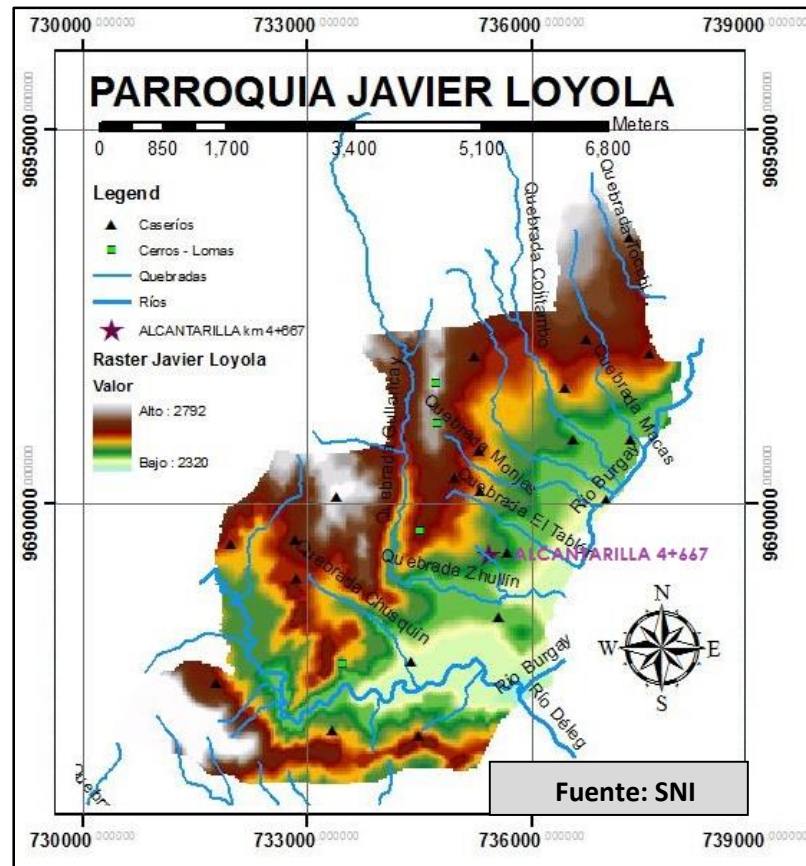


Figura 2-18: Topografía de la Parroquia Javier Loyola

La topografía del área de estudio, después de la construcción de la Autopista es regular, producto de los rellenos realizados con material de la zona (Figura 2-19).



Figura 2-19: Topografía del Área de Influencia

2.2.3.2. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA.

A. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE.

La cuenca se extiende desde Saraguro en el Sur, hasta Cañar en el Norte. Discordantemente sobre las formaciones del substrato, la Formación Saraguro, constituida de material volcánico-clástico (lavas andesíticas, piroclastos y areniscas gruesas), es principalmente desarrollada en el Norte (Alausí; 1.500m de potencia) y en el sur (Saraguro-Girón; aproximadamente 2.000m de potencia) donde se

extiende sobre la Cordillera Occidental. En el centro (Cuenca - Azogues) es casi inexistente; sin embargo, facies equivalentes pero mucho menos potentes podrían pertenecer a esta Formación. Datos radiométricos dan a la Formación Saraguro una edad Oligoceno Superior.²⁹

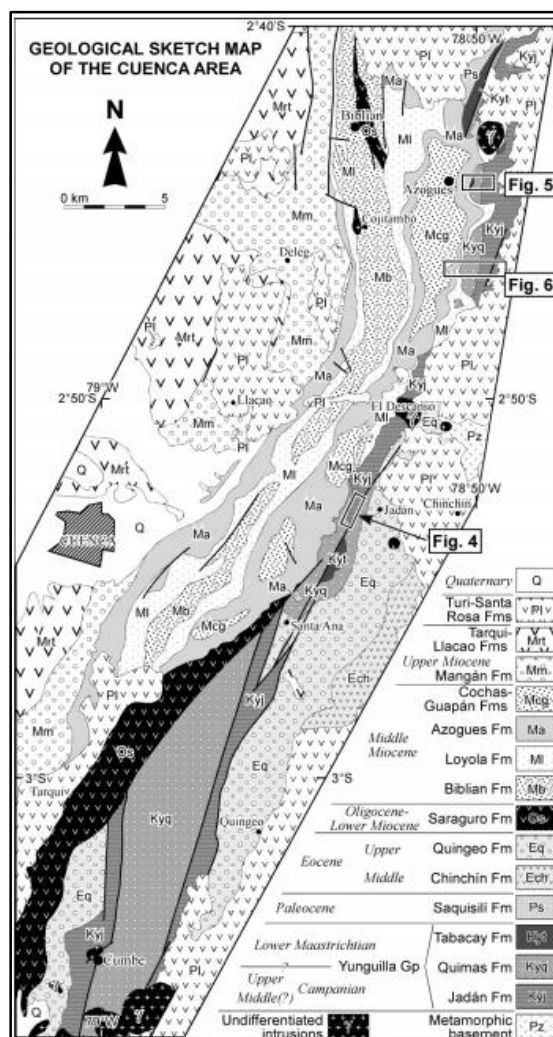


Figura 2-20: Estratigrafía de las formaciones de la Cuenca de Cuenca.³⁰

El Austro ecuatoriano y en particular la Cuenca del río Paute tiene como uno de sus mayores peligros naturales los terrenos inestables, así lo demostró el desastre de "La Josefina". Por un lado se omitió los estudios y advertencias existentes, sobre las condiciones geológicas adversas, y por otro se permitió la explotación anti técnica del macizo inestable.³¹

B. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA

El suelo está conformado por arcillas, lutitas, areniscas y conglomerados pertenecientes a la Formación Azogues (Maz), Formación Loyola (MI) y Formación Biblián (Mb); es una zona propensa a derrumbes y deslizamientos debido a la litología. *Figura 2-21.*

²⁹ Bristow y Hoffstetter, 1977

³⁰ Steinmann M. & Hungerbuhler D.,1996

³¹ Cooperación Ecuador - Suiza, Proyecto PRECURA CSS, Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Río Paute.



Figura 2-21: Área de Influencia (Google Earth)

En el **Anexo 3**, se observa el Mapa Geológico de la zona de influencia, y en la **Figura 2-22** se presenta un corte geológico de la zona de influencia.

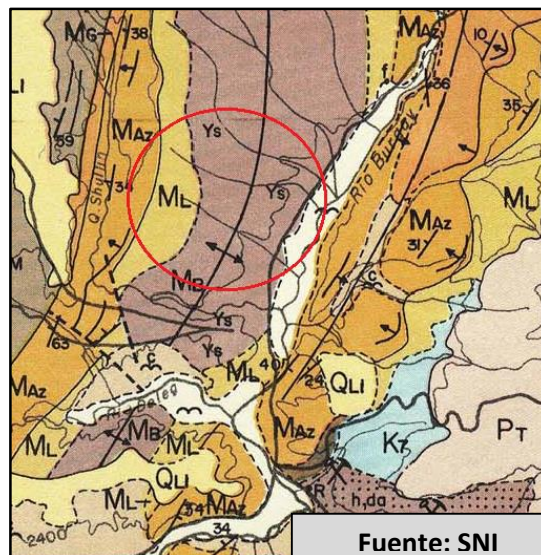


Figura 2-22: Mapa Geológico de la zona de influencia.

FORMACIÓN AZOGUES (Maz)

La Formación Azogues, está presente en la zona de estudio a lo largo de toda la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues y de Cruz Loma. Grandes cortes en areniscas de la Formación Azogues se ven en la nueva autopista Cuenca – Azogues, tramo antes de El Descanso.

Secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas.

En el centro Oeste espesor aproximado de 600 m, la formación está afectada por deformaciones post-sedimentarias, plegada fuertemente y con fallas.

Los derrumbes y caídas de bloques son típicos de esta formación, en terrenos de pendiente fuerte (condición morfológica), los deslizamientos involucran principalmente a la facie fina incompetente de los sedimentos Azogues así como a sedimentos finos de la Fm. Loyola en condiciones saturadas (condiciones geológico-geotécnicas).



Las areniscas conglomeráticas se presentan medianamente fracturadas y las juntas cerradas a abiertas, rellenas de arena y bordes rugosos deleznales, las tobas y limolitas se presentan muy fracturadas con juntas cerradas a abiertas < 10mm, con relleno limo arenoso y bordes suaves y oxidados. Las estructuras son un principal condicionante en la caída de bloques.

Permeabilidad media a alta por fracturación. Macizos poco húmedos a secos.

Macizos competentes calificados como (*Tabla 2-7*) rocas IV-III, estables en pendientes mayores a 30° caída de bloques en fuertes pendientes o taludes de corte. Algunos niveles lutíticos tienen comportamiento poco competente y pueden disminuir su resistencia al corte en condiciones húmedas a través de planos de debilidad preferenciales. Alta expansibilidad en materiales de trabajados de Azogues.

CLASIFIC. SUCS	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASIFIC. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)	
	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵	13 - 26	0.1 – 0.15	35 - 45				III
	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁸	19 - 21	0.05 – 0.1	30			4.5	IV

Tabla 2-7: Valores estimados a partir de características físicas.³²

Materiales con comportamiento rocoso, parámetros estimados a partir de las características físicas y el índice RMR

III: Areniscas y conglomerados

IV: Facies finas: tobas y lutitas

FORMACIÓN LOYOLA (MI).

Formación sedimentaria clásica fino granular, consiste en una alternancia de lutitas gris oscuro muy fisibles, limolitas que meteorizan a las arcillas de color blanco y habano, localmente lentes de areniscas limosas habanas finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas y mega brechas.

En general, las rocas se presentan deformadas y fuertemente meteorizadas, esto último ha desarrollado potentes suelos residuales arcillosos, plásticos y muy blandos que bajo condiciones de saturación son extremadamente susceptibles a erosión, deslizamiento y reptación.

Permeabilidad baja, por fracturación. Permite la infiltración de aguas freáticas pero no la transmisibilidad. Desarrollo importante de presión de poros en zonas mal drenadas y en el pie de colinas cerca o bajo los niveles freáticos. Fácil excavación con equipo liviano en estado seco. Arcillas sensible en estado húmedo. La expansividad limita su uso como relleno.

Facie arenosa de mediana competencia, pero es poco representativa. Facie fina, es fisible con desarrollo de alteración residual hasta 3m de espesor, de expansividad media – alta, bajas propiedades mecánicas y un comportamiento de suelo respecto a la resistencia al corte baja; materiales colapsables en condiciones saturadas. (*Tabla 2-8*)

³² Cooperación Ecuador - Suiza, Proyecto PRECURA CSS, Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Río Paute.

CLASIFIC. SUCS	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASIFIC. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)	
ML-CL-CH	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰	18 - 21	0.01 – 0.03	20 - 25	0.02 - 0.04	7 - 15		
SM	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶	*19 - 21	0.05 – 0.1	30 *	-	-		IV

Tabla 2-8: Valores estimados a partir de características físicas.³³

ML - CL – CH: Facie fina fisil e incompetente

SM: Areniscas con comportamiento similar a material rocoso, parámetros estimados a partir de las características físicas y el índice RMR.

FORMACIÓN BIBLIÁN (Mb).

La Formación Biblián, de edad Mioceno temprano (Bristow 1973), corresponde a los primeros depósitos detríticos continentales importantes del Terciario. Alternancias de conglomerados, areniscas y lutitas están organizadas en secuencias grano y estratodecrecientes de segundo orden presentando las características de un ambiente fluvial. La Formación puede alcanzar en ciertas partes más de 1.200m de espesor. Dentro de la sedimentación con derrame principal orientado mayormente hacia el Norte (60 medidas) se notan depósitos más proximales (conos aluviales) provenientes probablemente de los bordes laterales de la cuenca. La presencia de algunos niveles volcánicos (andesitas) y volcano-detríticos (brechas andesíticas) interestratificados en los sedimentos sugiere una actividad volcánica episódica.

En la Formación Biblián se encuentra guijarro medianamente grueso, arcillas limosas, arenosas, finas, en bloques, café rojizas y areniscas tobáceas gruesas. Aglomerados volcánicos rojos.

El relieve fortalece al desarrollo de la alteración residual. Las características de resistencia al corte disminuyen en condiciones mal drenadas y favorecen la rotura en el contacto de los suelos con los horizontes menos alterados del macizo. Indicios de expansividad media – alta, y alta plasticidad permiten comparar a los materiales superficiales con la Formación Loyola.

Erosión laminar intensa, carcavamiento y fenómenos geodinámicos superficiales se asocian con los suelos residuales de sedimentos Biblián, y la presencia de materiales fisiles en los macizos sedimentarios más profundos siempre inducen condiciones desfavorables con la saturación y el mal drenaje.

Las estructuras relícticas de las rocas originales son poco observables en los suelos residuales y la fisuración por desecación genera sistemas múltiples. El sistema de fracturamiento y estratificación no es evidente a nivel superficial.

Permeabilidad de baja a nula. Intenso escurrimiento superficial, y aguas freáticas escasas y a nivel de la base de suelos residuales. Excavación fácil; se puede hacer manualmente o con maquinaria liviana. Material no utilizable para aplicaciones ingenieriles.

El relieve favorece al desarrollo de la alteración residual. Las características de resistencia al corte disminuyen en condiciones mal drenadas y favorecen la rotura en el contacto de los suelos con los horizontes menos alterados del macizo. Indicios

³³ Cooperación Ecuador - Suiza, Proyecto PRECURA CSS, Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Río Paute.

de expansividad media alta, y alta plasticidad permiten comparar a los materiales superficiales con Loyola. (**Tabla 2-9**)

c	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASIFIC. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	Cu (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)	
ML-CL CH-SM	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	17 - 19	0.02-0.05	18 - 25	0.05 - 0.1	10 - 15		

Tabla 2-9: Valores estimados a partir de características físicas.³⁴

De acuerdo a los estudios realizados anteriormente en la zona se sabe que el suelo es arcilloso, con problemas de suelos expansivos y deslizamientos (**Figura 2-23**).



Figura 2-23: Litología de la Zona

2.2.3.3. HIDROGRAFÍA.

A. CUENCA DEL RÍO PAUTE

El Río Paute se encuentra a 2°15' y 3°15' Sur, 78°30' y 79°20' Oeste. Se localiza en la región centro sur del Ecuador, en las Provincias Azuay y Cañar. Tiene una extensión de 5186 Km². En la parte alta se observa que la vegetación es de bosques primarios y/o páramos, y en la parte media y baja se localizan los asentamientos humanos, como el de la ciudad de Cuenca.

El Río Paute es sin duda alguna, una de las cuencas más importantes del país. Este lugar es el sitio de captación de caudales de dieciocho subcuencas al principal complejo de generación hidroeléctrica del Ecuador con una contribución actual del 35% de la energía eléctrica para el Ecuador. Su tasa de deforestación anual es de aproximadamente 5.000 ha/año. Por su posición geográfica, contiene áreas protegidas y ecosistemas únicos. Cabe destacar la presencia del Parque Nacional "El Cajas" ubicado al occidente de la cuenca y el Parque Nacional Sangay en la zona nororiental.

La Cuenca Hidrográfica del Río Paute (**Anexo 8**) tiene una superficie de 644202 ha. La Cuenca Alta del Río Paute está localizada en el sector occidental de la cuenca del Paute y abarca las subcuencas de los ríos Tarqui, Yanuncay, Tomebamba, Machángara, Sidcay y Burgay.³⁵

³⁴ Cooperación Ecuador - Suiza, Proyecto PRECURA CSS, Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Río Paute.

³⁵ FONAPA, Fondo del Agua para la conservación de la cuenca del Río Paute.

B. CUENCA DEL RÍO BURGAY

La cuenca del río Burgay, está constituida por 6 microcuencas de ríos que se forman al converger las diferentes quebradas. El río Burgay se origina en las zonas altas de la cuenca a 4000 m.s.n.m.

La cuenca está conformada por ríos de montaña debido a que descienden desde los 4160 m.s.n.m. hasta los 2320 m.s.n.m. en la parroquia Javier Loyola, dónde está ubicada la alcantarilla de estudio. Esta cuenca comprende un área aproximada de 44705 ha. Toda la cuenca se puede observar en la **Figura 2-24**.

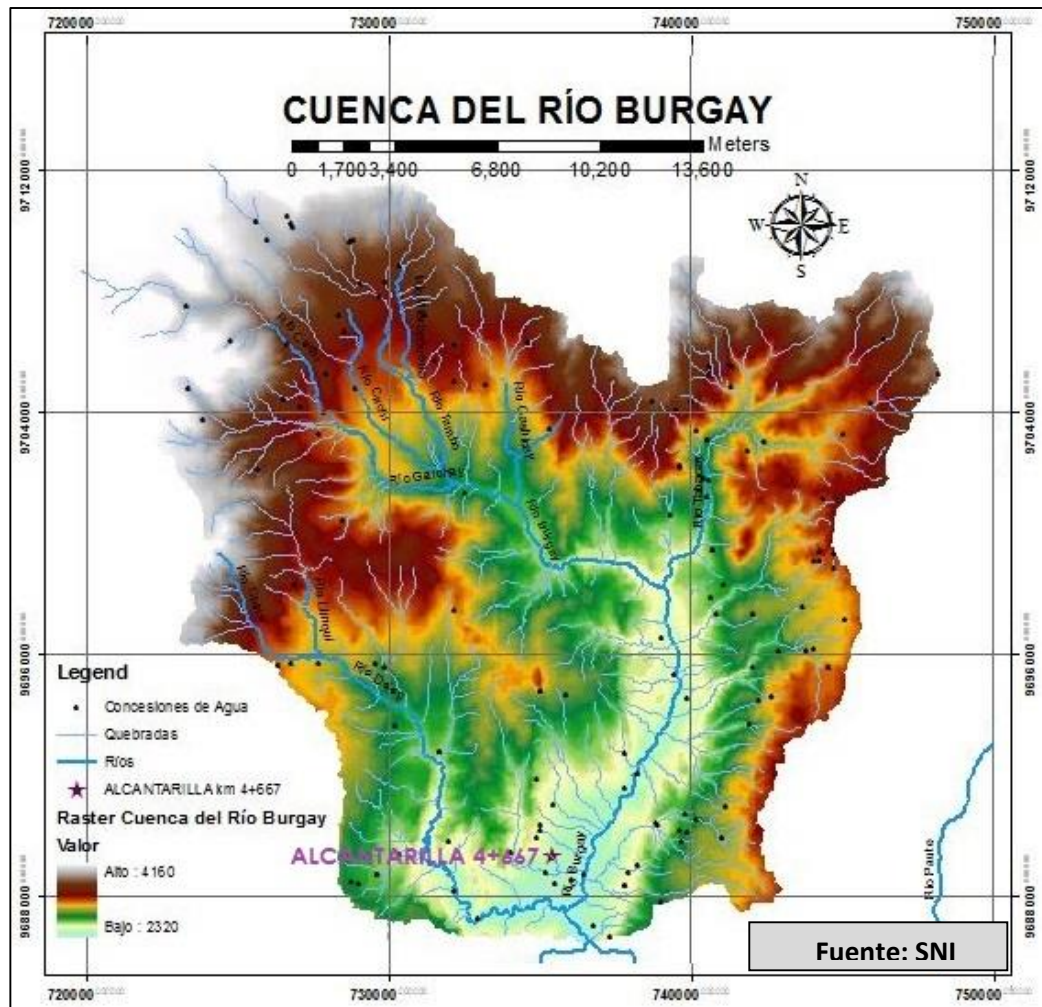


Figura 2-24: Cuenca del Río Burgay.

2.2.3.4. CLIMA.

El clima de la zona, está establecido de la misma forma que en el resto de provincias en la serranía ecuatoriana, es decir, mesotérmico húmedo y semihúmedo (**Anexo 1**). El clima es característico de los valles andinos, sano y fortificante, que varía entre los 13 y 16°C.

La temperatura media anual de la cuenca del Río Paute oscila entre los 8° C en las zonas de Soldados, Cajas y Saymirín, hasta los 30° C en la zona de Sopladora. La humedad relativa fluctúa alrededor del 90%.



2.3. INFORMACIÓN BÁSICA.

El proyecto "Ampliación de la autopista Cuenca-Azogues-Biblián", comprende tres tramos: Tramo I: El Salado-Guanguarcucho de 21Km, Tramo II: Guanguarcucho-Azogues de 13Km, y el Tramo III: Azogues-Biblián de 10Km.

La alcantarilla existente, se encuentra ubicada en el Tramo II en la abscisa Km. 4+703, a una profundidad de 14.95m de la cota de la vía. El proyecto consiste en la construcción de una nueva alcantarilla que se ubica en la abscisa Km. 4+667 a una profundidad de 7m de la cota de la vía y a 37m de distancia de la alcantarilla existente. (*Plano N°5*).

La información básica utilizada en este trabajo consta de estudios y ensayos realizados con anterioridad por parte de ingenieros especializados en el tema.

La parte Geológica y Geotécnica se desarrolla a partir de la información de los Ingenieros Oscar Dávila, Paola Wilches y Franklin Ordoñez. El tema Hidráulico e Hidrológico se desarrolla a partir de la información del Ingeniero Gilberto Ortiz; mientras que la parte Estructural a partir de la información otorgada por el Ingeniero Fabián Cordero.

2.3.1. INFORMACIÓN GEOLÓGICA.

Para conocer el contexto geológico y geotécnico de los suelos presentes en el entorno de cimentación de la alcantarilla, se realiza el análisis de la composición litológica y del comportamiento de los materiales geológicos presentes.

El subsuelo del área de la faja vial del tramo II, entre las abscisas Km 2+000 a Km 8+000, incluyendo el área de las alcantarillas, consiste de un basamento geológico que exhibe las capas arcillosas de la formación Biblián.

En las exposiciones de los taludes de corte de la vía ubicados antes y después de la alcantarilla, se observan capas masivas y fuertemente inclinadas hacia el oeste, de arcillas limosas de color morado (violeta), intercaladas con delgadas capas de arenisca arcillosa de color gris en fresco y amarillento cuando están meteorizadas. Estas últimas capas pasan a ser débiles cuando se humedecen más allá de su límite plástico.

Las capas de la formación Biblián en todo el tramo que se analiza, siguen un rumbo aproximadamente de 11 a 20 grados al Noreste y buzamientos fuertes entre 40 y 60 grados hacia el occidente. Estas capas se encuentran formando el flanco occidental de un anticlinal de eje Noroeste, conocido como anticlinal de Biblián.

2.3.1.1. MEDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO AGUAS ARRIBA DE LA ALCANTARILLA

PEDRAPLEN DE RELLENO DE LA ALCANTARILLA EXISTENTE Y LA NUEVA

El relleno de la vía existente que cubre la alcantarilla actualmente en servicio, está conformado por materiales que se han mantenido estables desde hace 20 años, que es la edad que tiene este relleno; estos materiales probablemente están constituidos por materiales arcillosos prestados de la vecindad de este sitio; sin embargo para el relleno de la ampliación vial, que cubre la alcantarilla extendida,

se han utilizado areniscas meteorizadas de color pardo amarillento, que han sido transportadas desde una cantera cercana a este sitio.

FOTO:

Figura 2-25: Relleno de la Alcantarilla, aguas arriba

RECOMENTARIO:

La capa de mejoramiento de la estructura del pavimento, en color gris, reposa sobre terrones de arenisca de color pardo. El canal que se observa a la derecha, aloja un sub-dren revestido con geotextil no tejido; este canal ha sido excavado en las arcillas moradas de la formación Biblián.

ALCANTARILLA EXISTENTE

Para la ampliación vial en este sitio se ha extendido la alcantarilla existente, tanto aguas arriba como aguas abajo.

FOTO:

Figura 2-26: Entrada de la alcantarilla

COMENTARIO:

Entrada de la Alcantarilla, donde se sugiere construir una estructura de drenaje tipo sumidero relleno de rocas.

ESCOMBRERA AGUAS ARRIBA DE LA ALCANTARILLA EXISTENTE Y LA NUEVA.

En los taludes de la escombrera se observa un apilamiento de capas horizontales y compactas de arcilla morada, el que ha sido transportado y colocado en esta desde las excavaciones ejecutadas para la ampliación de la vía. Se observa también en forma ocasional, fragmentos pétreos dispersos en las capas de arcilla.

FOTO:

Figura 2-27: Vista de la escombrera aguas arriba

COMENTARIO:

El campo arado es parte de la escombrera compactada que rellena el cauce de la quebrada y sus laderas. El hueco en la parte derecha de la foto esconde la entrada de la alcantarilla actualmente en servicio. El pedraplen que se observa a la derecha de la foto, está conformado por bloques contiguos de arenisca parda meteorizada.

Comportamiento geomecánico: Debido a la baja pendiente de la capa compactada del escombros arcilloso, y dado que las lluvias han saturado e impermeabilizado la capa superficial de esta, la infiltración hacia el interior es insignificante o nula, y en consecuencia la arcilla no alcanzará el estado viscoso-plástico que derivaría en el riesgo de soliflucción o reptación del suelo superficial, por lo que, el riesgo de que los suelos de la escombrera repten es muy bajo.

Comportamiento hidrogeológico: La escombrera debido a su composición de arcilla compactada en capas, presenta una muy baja permeabilidad, y dada su alta homogeneidad su comportamiento hidrogeológico es de acuicludo, que se define como un material geológico que no permite la entrada de agua hacia su interior, ni la salida del agua contenida en él.



2.3.1.2. MEDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO AGUAS ABAJO DE LA ALCANTARILLA.

PEDRAPLEN DE LA ALCANTARILLA EXISTENTE

FOTO:



Figura 2-28: Talud del pedraplen

COMENTARIO:

Talud del pedraplen de bloques de arenisca, provenientes de la formación Azogues a la salida de la alcantarilla; al pie de este se observa el tubo de drenaje.

ALCANTARILLA NUEVA

FOTO:



Figura 2-29: Salida de la alcantarilla

COMENTARIO:

Sitio de salida de la alcantarilla “nueva” tipo cajón, que se encuentra en una cota superior a la alcantarilla existente. Se trata de un cajón de hormigón armado que está cimentado sobre lutitas frescas, compactas, y no meteorizadas de la formación Biblián.

MATERIAL DE LA SUB-RASANTE DE LA ALCANTARILLA NUEVA

FOTO:



Figura 2-30: Estructura del pavimento viejo

COMENTARIO:

Estructura del pavimento “viejo”, cimentado sobre lutitas moradas de la formación Biblián. Nótese la buena estabilidad de la estructura del pavimento en este sitio, debido principalmente a que el agua no ha tocado la interfaz entre la capa de mejoramiento y la arcilla, por lo que la expansión de la arcilla no se ha activado en este sitio.

SUELOS SUPERFICIALES DE LA ALCANTARILLA EXISTENTE

Se han encontrado suelos superficiales solo en la zona de salida de la alcantarilla. Allí el depósito aparenta ser del tipo terraza de aluvión, sin embargo, tiene también la estructura de escombro pedregoso o material de bote sin compactar.

FOTO:



Figura 2-31: Vista aguas abajo de la alcantarilla

COMENTARIO:

Vista aguas abajo de la alcantarilla en la abscisa 4+703. En primer plano a ambos lados de la quebrada se tiene un depósito de grava areno-arcillosa, sobre el que se encuentra el trazado de la obra de disipación de energía de las aguas que circularán por la alcantarilla nueva.³⁶

³⁶ Ing. Oscar Dávila.



2.3.2. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA.

En el **Anexo 2** se presenta la información de los ensayos realizados en la zona de estudio³⁷, y en el **Anexo 3**, se observa un corte geológico de la zona de estudio.

Los objetivos del presente estudio son:

- Determinar las características físico-mecánicas de los suelos y rocas que servirán de cimentación para las estructuras comprendidas en el presente estudio.
- Evaluar la calidad de los materiales de cimentación para la infraestructura proyectada.
- Determinación de la capacidad admisible del suelo de fundación.

Se realizó dos sondeos de 6.50 m de profundidad, para lo cual se utilizó equipo de perforación por percusión. (**Anexo 4**)

De acuerdo al requerimiento, los sondeos se ubicaron a lado izquierdo de la alcantarilla, en sentido del abscisado. **Tabla 2-10.**

CONFIGURACION DEL SISTEMA DE COORDENADAS				
SISTEMA: UTM DATUM: WGS84 ZONA. 17				
ALCANTARILLA ABSCISA	SONDEO No.	Este	Norte	ELEVACION msnm
4+703	1	735380	9689324	2406
	2	735347	9689342	2406

Tabla 2-10: Ubicación de los sondeos

PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DEL SUELO.

Para la determinación de los parámetros geomecánicos de los suelos presentes en el área del proyecto, se utilizó correlaciones del número SPT.

Para materiales friccionantes se utiliza la correlación empírica propuesta por Ohsaki³⁸ que relaciona el valor N_{SPT} con el ángulo de fricción.

$$\phi = \sqrt{20 * N} + 15$$

Donde:

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo

N = número de golpes por cada 30cm de penetración del ensayo SPT.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS ENCONTRADOS.

El suelo de fundación en los sectores investigados, se encuentra constituido mayoritariamente por arenas arcillosas de mediana plasticidad catalogadas por la SUCS como SC. No se ha podido determinar nivel freático.

CAPACIDAD PORTANTE EN SUELOS

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible q_{adm} , en los suelos con comportamiento cohesivo se utiliza el criterio dado por Terzaghi y Peck para falla local, considerando los factores utilizados por VESIC para plintos aislados o cimentación directa, con un factor de seguridad de 3.

³⁷ Ing. Paola Wilches.

³⁸ Ohsaki, 1959.



De los datos de laboratorio y considerando el criterio de local general se ha obtenido los siguientes valores, **Tabla 2-11**.

SONDEO No.	PROFUNDIDAD (m)	Q_{adm} (KN/m ²)	Q_{adm} (Tn/m ²)
1	0.75	75.00	7.65
	5	330.00	33.64
2	0.75	28.00	2.85
	2	138.00	14.06
	5	346.00	35.27

Tabla 2-11: Datos de Laboratorio

La capacidad admisible para las estructuras a la salida de las alcantarillas, se ha determinado mediante la expresión de Bowles³⁹, que se basa en el Número SPT corregido:

$$q_{adm} = 11,9 N_{cor} \left(\frac{3,28B + 1}{3,28B} \right)^2 F_d \left(\frac{S_e}{25} \right) \text{ KN/m}^2$$

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD CON PLANO DE FALLA CIRCULAR

Para el análisis de la estabilidad de la pendiente del talud de salida de la alcantarilla, se utiliza el software GEOSLOPE.

La resistencia al corte, se lo ha determinado mediante correlaciones de los valores de SPT, de velocidad obtenidos en los ensayos de sismica refracción, con los parámetros de resistencia al corte de los materiales, datos de laboratorio del proceso de control de la construcción de los badenes presentes en los taludes.

Seed⁴⁰ recomienda coeficientes de aceleración de Kh 0,15 y 0,20 para sismos de magnitud 6.5 y 8.25 respectivamente. Para el presente caso se ha considerado el primer valor es decir 0.15 para el sentido horizontal y 0.11 para el vertical, y los factores de seguridad mínimos para áreas urbanas de 1.50 sin sismo y de 1.15 con sismo.

Para el análisis de los taludes del presente proyecto (**Anexo 5**), se ha considerado una primera fase con el estado actual de los rellenos ejecutados hasta agosto del 2014. En esta fase del análisis se ha considerado dos situaciones:

La primera situación llamada estado Inicial, consiste en analizar la estabilidad de los taludes sin considerar la influencia de la sobrecarga producida por la construcción de las obras de descarga de cada una de las cantarillas; una segunda fase que considera la incidencia de la misma. En todo este análisis no se considera la contribución de la resistencia a la tensión de la malla biaxial.

En una segunda fase de análisis se realizó una modelación de la propuesta utilizando la incidencia de la geomalla biaxial únicamente en los taludes cuyo factor de seguridad sea inferior al mínimo establecido.⁴¹

³⁹ Bowles, 1977.

⁴⁰ Seed, 1979.

⁴¹ Ing. Franklin Ordoñez.

2.3.3. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.

Para realizar el análisis hidrológico de la zona, primero se hace un reconocimiento de la cuenca de aporte de la alcantarilla actual abscisa Km. 4+703, para establecer la información necesaria para el diseño hidrológico de la nueva alcantarilla abscisa Km. 4+667.

En el **Anexo 6**, se presenta el mapa meteorológico del Ecuador. El **Anexo 8** y **Figura 2-24**, muestran las cuencas del Río Paute y Río Burgay, respectivamente, que son las cuencas de aporte a la alcantarilla en mayor escala. Y en el **Plano N°5** se observa la cuenca de aporte directo a la alcantarilla.

2.3.4. INFORMACIÓN GEOMÉTRICA.

La alcantarilla existente, abscisa Km 4+703, es de acero con sección circular y tiene diámetro de 1200mm, ubicada a una profundidad de 14.95m, con una cota de 2437.864 m.s.n.m., en un estrato de la Formación Biblián.

La alcantarilla nueva, abscisa Km 4+667, es de hormigón y sección de 2.5 * 3m, con una longitud de 40.8 m, sin incluir los cabezales. Ubicada a una profundidad de 7m y a una distancia de 37m de la alcantarilla existente.

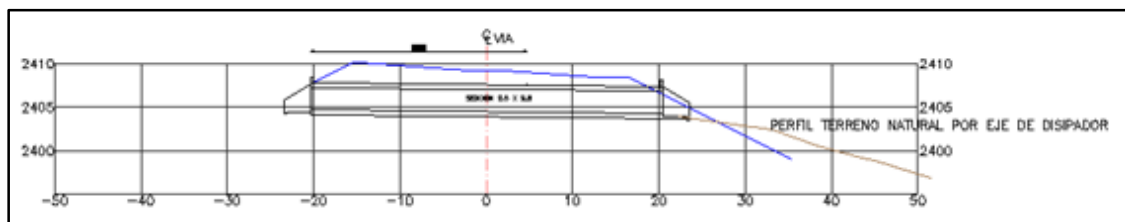


Figura 2-32: Perfil de la Alcantarilla

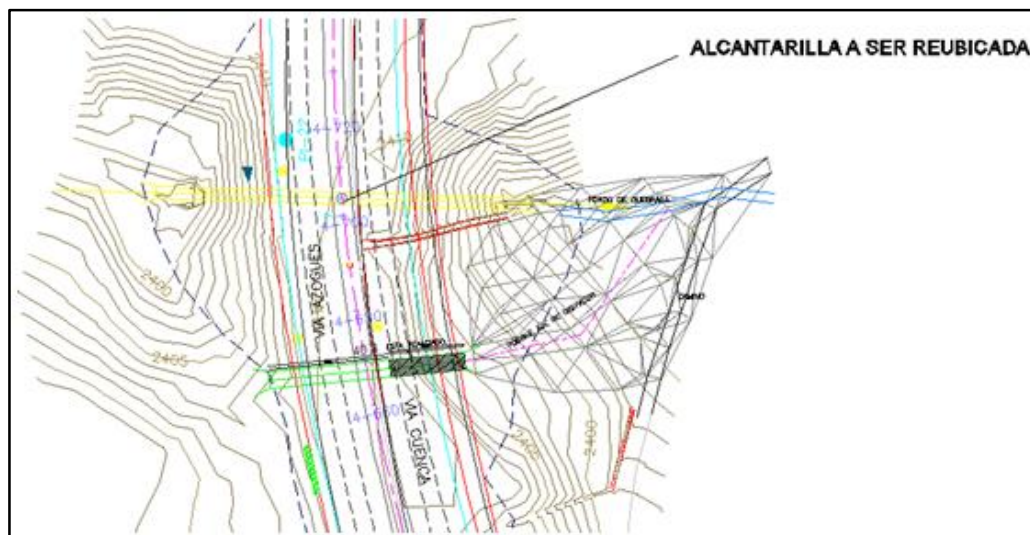


Figura 2-33: Vista en planta de la Alcantarilla.⁴²

⁴² Ing. Gilberto Ortiz.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. GEOLOGÍA

El **Anexo 2**, muestra los resultados de los ensayos de clasificación de suelo de la zona y de compactación Proctor, que sirven para establecer la composición del subsuelo y las características físico-mecánicas generales de los materiales. Los trabajos de campo consistieron en la realización de: sondeos a percusión, pruebas de penetración estándar (pruebas SPT) y sísmica de refracción.

Los suelos a la entrada de la alcantarilla, se encuentran constituidos por arenas arcillosas de mediana plasticidad y arcillas inorgánicas de alta plasticidad catalogadas por la SUCS, (**Figura 2-2**) como SC y CH respectivamente.

La solución comprende completar el relleno de la escombrera, pero solo con material arcilloso, hasta conectarse con la superficie del talud de relleno de la alcantarilla. Incluso puede cubrirse este talud con suelo arcilloso para que su revegetación sea eficaz, para el control de la erosión y así evitar que lleguen sedimentos finos al sumidero.

El relleno nuevo, está conformado como un pedraplen de arenisca a ambos lados del relleno antiguo de la alcantarilla, aun cuando no es expansivo, es muy poroso y permeable, por lo que puede recibir y almacenar agua en su interior.

EL suelo de esta obra tiene una relación de grava/arena-arcillosa estimada en 40/60; su matriz es permeable y fácilmente erosionable por el agua, por lo que este suelo deberá retirarse en la faja de cimentación de la obra de disipación y reemplazarse por arcilla compactada que puede obtenerse cerca de este sitio de afloramientos frescos de la Formación Biblián. Este reemplazo de suelo garantiza la impermeabilidad de la cimentación y la estabilidad de la obra de entrega controlada de las aguas.

3.2. GEOTÉCNIA

La investigación geotécnica sirve para el análisis de la capacidad admisible del terreno, profundidad de cimentación, asentamiento permisible y tratamiento de la cimentación.

Se realizó dos sondeos de 6.50m de profundidad que llegaron hasta producir el rechazo a la penetración, para lo cual se utilizó equipo de perforación por percusión, el mismo que sirvió para realizar ensayos SPT a diferentes profundidades, a la vez que permitió la toma de muestras, y una clasificación visual - manual en campo, para determinar la consistencia de los suelos arcillosos presentes en el área del proyecto, cuyos resultados se muestran en el **Anexo 4**.

A partir de las perforaciones por percusión y ensayos SPT, se obtienen los siguientes parámetros geomecánicos:

Parámetros de resistencia y deformación del suelo (**Tabla 3-1 y Tabla 3-2**):

**Sondeo No. 1**

PROFUNDIDAD (m)	ϕ°	C (KN/m ²)	γ húmedo (KN/m ³)	E (Kg/cm ²)
0 - 1.50		58.86	16	77.25
1.50 - 7.00		206.01	17.5	123

Tabla 3-1: Parámetros de resistencia y deformación del suelo. (Sondeo No. 1)**Sondeo No. 2**

PROFUNDIDAD (m)	ϕ°	C (KN/m ²)	γ húmedo (KN/m ³)	E (Kg/cm ²)
0 - 1.50		19.62	16	66
1.50 - 2.50		98.01	16.5	89.25
2.50 - 7.00		215.82	17.5	126

Tabla 3-2: Parámetro de resistencia y deformación del suelo. (Sondeo No. 2)

Capacidad portante (**Tabla 3-3**):

SONDEO No.	PROFUNDIDAD (m)	KN/m ²	Ton/m ²
1	0.75	75	7.65
	5	330	33.64
2	0.75	28	2.85
	2	138	14.06
	5	346	35.27

Tabla 3-3: Capacidad Portante.

Capacidad admisible para la estructura a la salida de la alcantarilla (**Tabla 3-4**):

ALCANTARILLA	B (m)	qadm (KN/m ²)	qadm (Ton/m ²)
4+703	7.7	114.94	11.72

Tabla 3-4: Capacidad Admisible a la salida de la alcantarilla.

Capacidad admisible por limitación de asentamientos (**Tabla 3-5**):

SONDEO No.	PROFUNDIDAD (m)	ASENT. CENTRO (mm)	ASENT. BORDE (mm)
1	0.75	3.36	0.78
	5	8.07	1.87
2	0.75	1.01	0.23
	2	8.47	1.96
	5	4.93	1.14

Tabla 3-5: Capacidad Admisible por limitación de Asentamientos.

En la exploración subterránea, no se determinó la presencia de nivel de agua freática, razón por lo cual no se ha considerado su influencia en el análisis.

De acuerdo al proyecto geométrico, a la entrada de la alcantarilla se recomienda retirar el material bajo el emplazamiento de la misma en un espesor de 2m de profundidad y 3.60 m de ancho, ya que el relleno de pie de la vía tiene una relación H/V=2/1 o un ángulo de 27°, colocar nuevamente el material extraído pero compactado en capas no mayores de 30cm hasta alcanzar un porcentaje de compactación del 95% del proctor modificado AASHTO 180-D. En estas condiciones se prevé que la resistencia del suelo será mayor a 12 ton/m² que



deberá ser verificada previo a la construcción de la alcantarilla a la vez que se minimizarían los asentamientos por consolidación.

Los taludes realizados para el emplazamiento del canal de aproximación necesitan ser cubiertos para lograr que el agua se drene por el mismo y evitar que los finos entren al canal, para ello se cubre el exterior de los canales con dos capas de Geomembrana que llevan en su interior una capa de geotextil.

El talud de salida de la alcantarilla sin considerar la utilización de la geomalla biaxial es estable tanto en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Sin embargo se deberá tomar precauciones para garantizar la impermeabilidad del canal de desfogue, para evitar socavación bajo el mismo, también se debe revestir el talud con geomanta para control de erosión superficial.

Para todos los taludes de salida de las alcantarillas, para cálculo de empujes, se considera un ángulo de fricción de 33° y una densidad natural del material de relleno de 2Ton/m³.

3.3. HIDROLOGÍA

La alcantarilla existente es de acero de sección circular y se encuentra a 14.95m bajo la cota de la vía, lo cual conlleva problemas como el mantenimiento y disminución en las condiciones de servicio de la vía al momento de la construcción.

La solución considera elevar el cauce natural de la quebrada (aguas arriba de la vía) generando una escombrera, hasta tener una cota de 7 metros bajo la cota de la vía, con lo que se minimiza todos los impactos antes mencionados. Al realizar este relleno, el caudal generado en la cuenca de aportación debe ser conducido por un canal de aproximación hasta la alcantarilla para ser descargado a su cauce natural por medio de un dissipador de energía (la altura del relleno genera un desnivel fuerte a la salida de la alcantarilla).

La alcantarilla existente es sellada con rocas de diferentes tamaños para lograr que la misma trabaje ahora como un dren subterráneo o dren de fondo para la cuenca de aporte y ayude a que la arcilla no absorba el agua.

La información básica proporcionada se presenta en la **Tabla 3-6**.

Abscisa	Área (km ²)	Id50 (mm/h)	Hmáx (m)	Hmín (m)	L (km)	Tc (min)	I (mm/h)	C	Q (m ³ /s)
4+703	0.72	3.2	2642	2409.68	1.08	7.65	177.9	0.35	12.4

Tabla 3-6: Información Hidrológica⁴³.

A continuación se realiza un análisis detallado y comparativo de los parámetros del caudal de drenaje, con la información recibida, debido a que esta no está justificada.

De acuerdo a la información básica y el **Plano N°5**, se conoce que el área de drenaje de la cuenca de aporte es de 0.72Km², por lo que para determinar el caudal de diseño se emplea el Método Racional:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

⁴³ Ing. Gilberto Ortiz.



Donde:

Q = El caudal máximo probable (m^3/seg)

C = El coeficiente de escorrentía

I = La intensidad de la lluvia (mm/h), para una duración igual al tiempo de concentración.

A = El área de la cuenca de aporte (ha)

Las características de la cuenca de aporte se muestran en la **Tabla 3-7**.

Área (km^2)	Hmáx (m)	Hmín (m)	Desnivel (m)	L (km)
0.72	2642	2409.68	232.32	1.08

Tabla 3-7: Características de la Cuenca de Aporte.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se utiliza el programa Google Earth y luego una visita personal a la zona de estudio para corroborar la información, con lo que se conoce el tipo de cobertura influyente en el proyecto, que es una zona de cultivos de ciclo corto, con poco pasto y arbustos.

Una vez determinado el tipo de cobertura vegetal se calcula el coeficiente de escorrentía por medio de dos criterios, según la **Tabla 2-1** se dará prioridad al tipo de cobertura del suelo y la **Tabla 2-2** según su composición litológica.

La pendiente de la cuenca de acuerdo al desnivel de la misma de 19%. Para el criterio de Benítez, el tipo de suelo se considera permeable, y para el criterio de Molina, la litología de la zona es arcilla.

Uso	Tipo de suelo	Textura del suelo	Pendiente (%)	C (Benítez)	C (Molina)
Cultivos de ciclo corto y Pasto	Permeable	Arcilla	19	0.3	0.6

Tabla 3-8: Coeficientes de Escorrentía

De acuerdo con la **Tabla 3-8**, el coeficiente de escorrentía a ser empleado es el promedio de los dos estimados, siendo este **$C = 0.45$** .

El tiempo de concentración se calcula mediante:

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

L (Km)	Desnivel (m)	Tc (min)	Tc Utilizado (> 5min)
1.08	232.32	7.65	7.65

Tabla 3-9: Tiempo de Concentración.

La precipitación máxima en 24 horas se obtiene de los registros de las estaciones pluviométricas más cercanas a la zona del proyecto.

Para el cálculo de la intensidad de precipitación se utiliza las ecuaciones pluviométricas y la relación intensidad – frecuencia – duración (curva IDF), para cada una de las denominadas zonas de intensidades. Considerando un periodo de retorno de 50 años.

De la **Figura 2-5**, se determina que la alcantarilla se encuentra ubicada en la Zona 11 y la estación pluviométrica más cercana es la estación M426 perteneciente a Ricaurte – Cuenca. (**Tabla 2-4**).



A partir de la **Tabla 2-5**, se calcula la intensidad de precipitación:

IdTR (mm/h)	tc (min)	ITR (mm/h)
1.75	7.65	143.03

Tabla 3-10: Intensidad de Precipitación.

Una vez definidos estos parámetros, se procede al cálculo de los caudales máximos por escorrentía.

C	Id50 (mm/h)	Área (Ha)	Q (m ³ /seg)
0.45	143.03	72	12.9

Tabla 3-11: Cálculo del Caudal de Drenaje.

Entonces el caudal de escorrentía es de 12.9m³/seg.

3.4. HIDRÁULICA

El diseño hidráulico comprende el diseño de las estructuras de: entrada o canal de aproximación, la alcantarilla y la estructura de dissipación de energía.

Comprende el tipo de escurrimiento ya sea con control de entrada o con control de salida.

La pendiente de la alcantarilla es de 1%, que se encuentra dentro de las especificaciones de la MTOP (Sn = 0.5% - 3%).

La sección de la alcantarilla es de 2.5m de altura por 3m de base y su longitud es de 40.8m.

La velocidad de flujo a la entrada de la alcantarilla es:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{12.9}{2.5 * 3}$$

$$v = 1.72 \text{ m/seg}$$

El tipo de flujo se determina de acuerdo al número de Froude, donde:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{1.72}{\sqrt{9.81 * 40.8}} = 0.086$$

Por lo que se considera flujo subcrítico ($F_r < 1$).

En este caso se trata de un escurrimiento en la alcantarilla con control de salida, y dentro de esto es el caso 1 (**Figura 2-9**): la altura del agua no sumerge la entrada y la pendiente del conducto es subcrítica.

Según la **Figura 2-11** es el tipo D de flujo con control de salida.

El flujo a través de la alcantarilla se considera tipo 2, según la **Figura 2-13**, debido a que el tirante crítico se presenta a la salida de la alcantarilla. Para que se presente este tipo de flujo, se deben cumplir los siguientes requisitos:

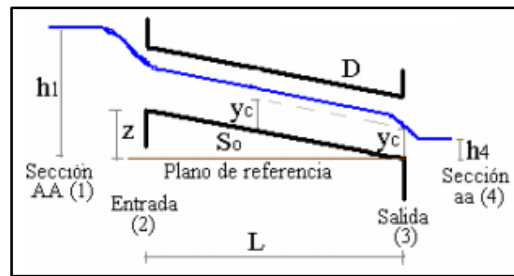


Figura 3-1: Flujo a través de la alcantarilla. Tipo 2

$$\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$$

$$1.06 < 1.5$$

$$h_4 < h_c$$

$$S_o < S_c$$

$$0.01 < 0.03$$

Se cumplen los requisitos, entonces se tiene condiciones de flujo a superficie libre en la alcantarilla, flujo tipo 2.

La alcantarilla funciona como un canal de pendiente suave en régimen subcrítico con caída libre en la salida, por lo que se tiene tirante crítico en la sección de la salida.

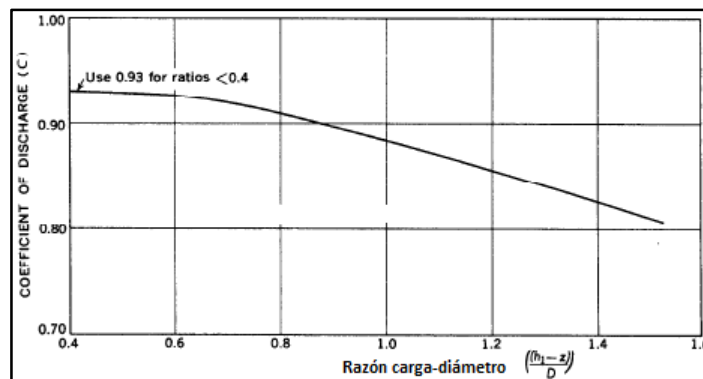


Figura 3-2: Coeficiente de descarga

De la **Figura 3-2**Figura 3-2, se determina el coeficiente de descarga $C_D = 0.88$.

El valor estimado del tirante crítico (y_c) se obtiene de la **Figura 3-3**, sabiendo que $\frac{y_1}{D} = 1.06$.

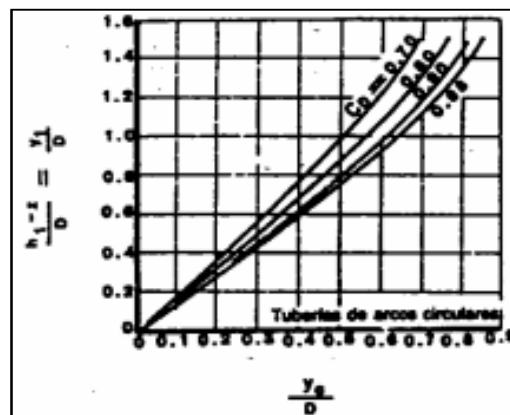


Figura 3-3: Relación entre $\frac{y_1}{D}$, C_D y tirante crítico⁴⁴

⁴⁴ Bodhaine, 1976.



Entonces:

$$\frac{y_c}{D} = 0.62$$

$$y_c = 1.55 \text{ m}$$

De la tabla presentada en el **Anexo 7**, se obtiene los siguientes valores:

$$C_k = 0.219931$$

$$C_q = 1.1627$$

$$C_a = 0.5115$$

$$k = C_k \frac{D^{8/3}}{n} = 180.86$$

$$Q_c = C_q D^{5/2} = 11.49$$

$$A = C_a D^2 = 3.20$$

Las pérdidas se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$h_{f1-2} = \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = 0.13 \text{ m}$$

$$h_{f2-3} = 0.41 \text{ m}$$

$$Q = C_D A_c \sqrt{2g \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g} - y_c - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)}$$

$$Q = 13.2 \text{ m}^3/\text{seg}$$


Entonces el Caudal que fluye a través de la alcantarilla es de $13.2 \text{ m}^3/\text{seg}$.

CANAL DE APROXIMACIÓN

El diseño y dimensionamiento se lo realiza con la ayuda del programa HCANALES.

Para el diseño del canal de aproximación se considera (**Figura 3-4**):

Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="12.97"/>	m3/s	
Diámetro (d):	<input type="text" value="3.2"/>	m	
Rugosidad (n):	<input type="text" value=".024"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value=".02"/>	m/m	



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="1.2393"/>	m	
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="2.8769"/>	m2	
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="3.1176"/>	m	
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.4984"/>		
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		
Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="4.2989"/>	m	
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.6692"/>	m	
Velocidad (v):	<input type="text" value="4.5083"/>	m/s	
Energía específica (E):	<input type="text" value="2.2752"/>	m-Kg/Kg	

Figura 3-4: Diseño del Canal de Aproximación.



El canal de aproximación es un canal de encauzamiento circular de 3200mm de diámetro tipo ármico a cielo abierto, se recomienda esta solución por considerar que este material presenta la rigidez necesaria para absorber adecuadamente las deformaciones que se puedan presentar en el suelo de fundación por consolidación.

Con un caudal de diseño de 12.9 m³/seg, una longitud del canal de 204m, un desnivel entre entrada y salida del canal de 6.6m, una pendiente promedio de 3.23% con la que las velocidades son elevadas; por esta razón se diseña el canal en tramos de 34m de longitud con pendiente del 2% y gradas de 0.50m.

DISIPADOR DE ENERGÍA:

El objetivo de esta estructura es disipar parte de la energía cinética en un flujo, para evitar el riesgo de socavación del canal aguas abajo.

Paso	Datos	Símbolo	Valor	Unidad	Criterio	Resultado	Símbolo	Valor	Unidad
	Altura de caída	h	1	m			dc/h	0.81	
	Longitud	l	5	m			dc/h	0.81	m
	Base	b	5.5	m			q	2.28329503	m ³ /s/m
							Q	12.558123	m ³ /s
							Q	45209242	l/h
Para caudales menores a 12.55812 m ³ /s El flujo es Nappe									

Tabla 3-12: Diseño de Disipador de Energía.

Del modelo realizado se tiene que el flujo en esta estructura será tipo NAPPE (Flujo escalón a escalón). Donde el flujo de cada escalón sigue una trayectoria tipo chorro, golpeando la huella del escalón aguas abajo y generando un resalto hidráulico.

Por las condiciones del proyecto y sabiendo que la estructura de disipación se cimienta en el pie de relleno de la vía, la cual tiene una relación H/V = 2/1, se optó por el diseño del disipador en forma de gradas.

Para la estabilización de la escombrera no son necesarios los subdrenes, puesto que la escombrera funciona como un acuicludo, sin embargo, la escorrentía superficial del área que ocupa la escombrera se debe encausar hacia el “sumidero” de la alcantarilla existente, la que funcionará como un subdren. El manejo de la escorrentía de esta área puede hacerse mediante la excavación de canales muy someros, en forma de espina de pez, y no revestidos, para que admitan vegetación en su interior.

La entrada a la alcantarilla debe ser estructurada como un dren-sumidero. Para la construcción de esta estructura drenante, se debe conformar un relleno cónico con bloques de rocas duras, sanas y no meteorizables, que se deben envolver con geomalla biaxial y manta filtrante de geotextil no tejido. La “tapa” de este sumidero se conforma con grandes bloques de roca sana para protegerla y evitar taponamientos durante su servicio.

Las lluvias causaran infiltraciones por la cara de los taludes del relleno nuevo, por lo que estas aguas deben ser drenadas y conducidas, en la cara aguas arriba hacia el dren-sumidero y en la cara aguas abajo hacia el cauce de la quebrada.



3.5. ESTRUCTURAL

Las estructuras a diseñar deben emplear materiales flexibles para que absorban los esfuerzos generados por el suelo.

Las cargas actuantes sobre la alcantarilla son:

Carga de tierra: será cuantificada por medio de la ecuación de Rankine⁴⁵, considerando el suelo saturado, ya que luego de una precipitación, después que el agua ha sido conducida por el canal, la tierra exterior queda saturada, mientras el canal ya está vacío.

Sobrecarga: se considera en general una sobrecarga equivalente a 60cm de tierra por cercanía al tránsito vehicular o por pendientes en el terreno circundante.

Carga de agua: no es procedente realizar cálculo para la presión interior de agua, en vista de que por la permeabilidad de los gaviones, el agua no solo corre por el interior, sino también por el fondo y las paredes, equilibrando las solicitaciones.

Materiales: los materiales a ser considerados serán:

Gaviones de alambre galvanizado: trenzado de triple torsión calibre 2.41 mm

Paso horizontal 8 cm.

Paso vertical 10 cm.

Alambre de aristas calibre 3 mm.

Resistencia $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.

Relleno de material pétreo: puede ser de canto rodado o de cantera.

Diámetro mínimo 15 cm.

Piedra sana no meteorizada.

Geotextil y Geomembrana: se cubrirá el exterior de los canales con dos capas de Geomembrana que llevan en su interior una capa de geotextil.

Los gaviones existentes cumplen todos los requisitos derivados del cálculo.

La alcantarilla es de sección monolítica rectangular, con cabezales de entrada y salida, con una pendiente de 1%. Su diseño emplea gaviones, acero corrugado multiplaca y hormigón armado.

Para el diseño y construcción se utilizan los procedimientos establecidos en la MTOP⁴⁶.

Especificaciones Técnicas:

1. Norma de diseño: AASHTO 2004
2. Sobre carga: HS-MOP.
3. Resistencia del Hormigón para Replanteo: $f'_c=140 \text{ kg/cm}^2$.
4. Resistencia del Hormigón para Estructuras: $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$. (Clase B).
5. Acero de Refuerzo Estructural: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
6. Recubrimiento de Estructuras en contacto con el suelo 5cm.

⁴⁵ Rankine, 1875.

⁴⁶ Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MTOP.



Para el cálculo y diseño de la alcantarilla se emplea los programas computacionales: Excel y RAM Advanse. Con los siguientes datos:

Cm = peso propio, para relleno, capa rodadura

Cv = carga del tránsito (10000 Kg /rueda)

Et = empuje de tierra sobre ruedas

Ea = empuje del agua

Con los coeficientes:

Carga muerta = 1.25

Empuje vertical del suelo = 1.35

Carga viva tránsito = 1.75

Coeficiente de impacto = 1.33

Para tránsito - no aplica

Empuje de tierra = 1.5

Empuje de agua = 1.5

DISEÑO DE LA ALCANTARILLA:

La estructura a construir tienen los siguientes componentes:

- Cabezal de entrada.- Hormigón Armado.
- Alcantarilla.- Hormigón armado.
- Cabezal de salida.- Hormigón Armado.
- Disipador.- Gaviones de alambre y piedra.

El cuerpo de la alcantarilla es un conjunto de ductos monolíticos colocados uno a continuación de otro, con las correspondientes juntas de dilatación entre ellos. Las dimensiones son las siguientes:

Longitud horizontal	40.8 m
Altura interior	2.5 m.
Ancho interior	2.5 m
Espesor de losa de fondo	0.25 m
Espesor de paredes	0.20 m
Espesor de tapa	0.25 m
Espaciamiento entre juntas de dilatación	5.75 m

ESPESOR DE LOSA DE TAPA

$t > 1.2(10+S/30)$ cm no menor que 16.5 cm

s = 250 cm.

t > 22 cm.

t asumido = 25 cm.

MEDIDAS DE LA SECCION DE UN METRO DE FONDO

ESPESOR DE LA TAPA	0.25 m.
ESP. LOSA DE FONDO	0.25 m.
ESPESOR DE PAREDES	0.2 m.
ANCHO CONDUCTO	2.5 m.
ALTO DE CONDUCTO	2.5 m.
ANCHO TOTAL	2.9 m.
ALTO TOTAL	3 m.

CARGA MUERTA (PESO DE LA ESTRUCTURA)



CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ESP.	P.UNIT	CANT	TOTAL Kg
Tapa	1	2.9	0.25	2400	1	1740
Paredes	1	2.5	0.2	2400	2	2400
Losa de fondo	1	2.9	0.25	2400	1	1740
Total						5880

Área de la base (un metro de largo) 2.9 m²

Peso de tapa 600 kg/m²

Peso de paredes 480 kg/m²

Reacción del fondo 828 kg/m²

CARGA VERTICAL DE TIERRA 2.2m. SOBRE LA TAPA

Elemento	espesor	p.esp.ec.	peso/m ²	
Capa rodadura	0.2	2200	440	kg/m ²
Base	0.25	2200	550	kg/m ²
Súbase	0.25	2200	550	kg/m ²
Relleno	1.7	2000	3400	kg/m ²
Total			4940	kg/m ²

Carga vertical tierra 4940 kg/m²

Reacción 4940 kg/m²

CARGA DE TRANSITO Equivale a 60 cm de tierra
Coeficiente de impacto no se aplica

Equivalente a 60 cm de tierra 1200 kg/m²

Reacción del suelo 1200 kg/m²

CARGA MÁXIMA PARA EL SUELO 8268 kg/m²

CARGA EN LAS PAREDES

EMPUJE DE TIERRA

densidad tierra	2000	kg/m ³
Ø reposo	30	grados
K=	0.33	
Sobrecarga(0,6m)	0.60	m. tierra

	Profundidad	Profundidad + sobrecarga	Empuje
Arriba	2.40	3.00	2000 kg/m ²
Abajo	4.90	5.50	3667 kg/m ²
Sector	valor		
Arriba		2000.	kg/m ²
Al fondo		3667.	kg/m ²
reacción a 2/3 de la base		9208.	kg/m ²

CARGA DE AGUA 2.5 m

En la parte alta H=0 0 kg/m²

Al fondo..... 2500 kg/m²

reacción a 2/3 de la base 4375 kg/m²

CABEZALES DE ENTRADA Y SALIDA:

Tienen una configuración tipo embudo en horizontal, están constituidos por un zampeado con alas laterales que se abren en ángulo a la entrada de 45° y a la salida de 13°; y un dentellón de borde. Sus dimensiones son:



CABEZAL DE ENTRADA:

Longitud del zampeado	2.20 m
Ancho a la entrada	7.40 m
Ancho a la salida del cabezal de entrada	2.50 m
Alto libre menor de las alas	2.40 m
Alto libre al lado que da a la alcantarilla	3.00 m
Profundidad del dentellón	0.80 m
Ancho del dentellón	0.40 m
Ángulo	45°

CABEZAL DE SALIDA:

Longitud del zampeado	2.20 m
Ancho a la entrada	2.50 m
Ancho a la salida del cabezal de salida	3.50 m
Alto libre menor de las alas	2.40 m
Alto libre al lado que da a la alcantarilla	3.00 m
Profundidad del dentellón	0.80 m
Ancho del dentellón	0.40 m
Ángulo	6°

SECCION TRANSVERSAL INTERMEDIA

Ancho	4.62 m
Alto	2.25 m

PESO DE LA ESTRUCTURA		Peso de pared /m2		600 kg/m2		
CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	P.UNIT	CANT	TOTAL
Paredes	3	2.25	0.25	2400	2	8100
Losa del fondo	2.12	5.12	0.25	2400	1	6518
				Total		14618

Área de la base (un metro de largo) 10.86m2

f.máx por estructura	1346 kg/m2
f.máx por agua.....	2250 kg/m2
f.máx...	3596 kg/m2

Reacción del suelo= Estructura-losa del fondo= 745.58 kg/m2

CARGA DE PAREDES

EMPUJE DE TIERRA Sin sobrecarga

densidad tierra	2000 kg/m3
Ø reposo	30 Grados
K=	0.33
Sobrecarga(0,6m)	2.20 m. tierra

	Profundidad	Profundidad + sobrecarga	Empuje
Profundidad superior	0	2.20	1467.
Profundidad inferior	2.25	4.45	2967.
Sector	Valor		
Arriba		1467.	
Al fondo		2967.	

MOMENTOS POR TIERRA						
AREA	BASE	ALTO	AREA	BRAZO	FACTOR	VALOR
Rectángulo	1467.	2.25	3300.	1.125	1.5	5569
Triangulo	1500.	2.25	1688.	0.75	1.5	1898
Total						7467

**MOMENTOS POR AGUA**

Altura considerada	2.25	m
Presión al fondo	2250	kg/m ²
Fuerza horizontal del agua	2531	kg
Altura de aplicación	0.75	m
Momento	1898	kg.m
Factor de carga	1.5	
Momento para diseño	2848	kg.m

CANAL DE DESFOGUE

PESO DE LA ESTRUCTURA		Peso de pared /m ²		720 kg/m ²		
CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	P.UNIT	CANT	TOTAL
Paredes	1.00	0.3	2	2400	2	2880
Losa del fondo	1.00	3.40	0.2	2400	1	1632
Total						4512

Área de la base (un metro de largo) = 3.40m²

f.máx por estructura	1327	kg/m ²
f.máx por agua	1500	kg/m ²
f.máx	2827	kg/m ²

Reacción del suelo= Estructura-losa del fondo = 847.06 kg/m²

Momento por tierra = 563 kg.m

Momento por agua = 844 kg.m

CONTRAHUELLA

Luz horizontal = 1.2 m

Momento = 312 kg.m

DISIPADOR**MEDIDAS INTERIORES DE UN CONDUCTO**

Ancho interior 5.5 m.

Altura libre 1 m.

Ancho de paredes 1 m.

MEDIDAS DE LA SECCION DE UN METRO DE FONDO

Ancho interior 5.5 m.

Alto interior 1 m.

Espesor de paredes 1 m.

Ancho total 7.5 m.

Alto total 2 m.

Momento por tierra = 422 kg.m

Coeficiente de diseño = 1.5

Momento para diseño = 633 kg.m

DENTELLONES

Pendiente del canal 20 °

**VOLUMEN DE UN METRO DE CANAL**

ELEMENTO	LARGO	ANCHO	CANTIDAD	VOLUMEN (m3)
Base	5.5	1	1	5.5
Laterales	1	2	2	4
			TOTAL	9.5

Peso unitario	2000 kg/m ³
Peso de un metro	19000 kg/m
Espacio entre dentellones	10 m
Peso total entre dos dentellones	190000 kg
Fuerza tangencial	64984 kg
Ancho dentellón	7.5 m
Altura dentellón	1 m
Área de trabajo	7.5 m ²
Empuje unitario en el suelo	0.87 kg/cm ²
Admisible	1.2 kg/cm ²

Gaviones de alambre galvanizado: trenzado de triple torsión calibre 2.41 mm, paso horizontal 8 cm, paso vertical 10 cm, alambre de aristas calibre 3 mm y resistencia $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.

Relleno de material pétreo: puede ser de canto rodado o de cantera, diámetro mínimo 15 cm y piedra sana no meteorizada.

Para el empleo del programa RAM Advanse se usa las siguientes combinaciones de cargas:

- AGUA= 1.25CM+1.35CT+1.75TR+1.5AG
AGUA= 28734.26 kg/m²
- TRRA= 1.25CM+1.5ET+1.35CT
TRRA = 21515.98 kg/m²
- TOT= 1.25CM+1.35CT+1.75TR+1.5ET+1.5AG
TOT = 35985.76 kg/m²

Donde:

$CM = \text{Carga Muerta}$
 $CT = \text{Carga de tierra}$
 $TR = \text{carga de tránsito}$
 $AG = \text{carga de agua}$
 $ET = \text{empuje de tierra}$
 $TRRA = \text{combinación tierra}$

Resultados del análisis. Envolvente de esfuerzos:

MIEMBRO 1					
Estación		Corte V2 [Kg]	ec	M33 [Kg*m]	ec
0%	Max	3433.15	AGUA	-2459.5	AGUA
	Min	-6499.25	TRRA	-3844.8	TOT
50%	Max	204.39	TRRA	295.88	TRRA
	Min	-434.04	AGUA	-4226	AGUA
100%	Max	5188.94	TRRA	-2447.6	AGUA
	Min	-1723.1	AGUA	-3740.9	TOT



MIEMBRO 2					
Estación		Corte V2 [Kg]	ec	M33 [Kg*m]	ec
0%	Max	6499.25	TRRA	3844.8	TOT
	Min	-3433.15	AGUA	2459.5	AGUA
50%	Max	434.04	AGUA	4226	AGUA
	Min	-204.39	TRRA	-295.88	TRRA
100%	Max	1723.1	AGUA	3740.9	TOT
	Min	-5188.94	TRRA	2447.6	AGUA

MIEMBRO 3					
Estación		Corte V2 [Kg]	ec	M33 [Kg*m]	ec
0%	Max	13480.5	AGUA	3844.8	TOT
	Min	10593	TRRA	2459.5	AGUA
50%	Max	0	AGUA	-3447.8	TRRA
	Min	0	AGUA	-6808.3	AGUA
100%	Max	-10593	TRRA	3844.8	TOT
	Min	-13480.5	AGUA	2459.5	AGUA

MIEMBRO 4					
Estación		Corte V2 [Kg]	ec	M33 [Kg*m]	Ec
0%	Max	-10201.13	TRRA	-2447.6	AGUA
	Min	-13088.63	AGUA	-3740.9	TOT
50%	Max	0	AGUA	6550.9	AGUA
	Min	0	AGUA	3404.3	TRRA
100%	Max	13088.63	AGUA	-2447.6	AGUA
	Min	10201.13	TRRA	-3740.9	TOT

3.5.1. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ALCANTARILLA.

La primera actividad a desarrollar es el replanteo y nivelación de las estructuras que forman parte de la alcantarilla (canal de aproximación, alcantarilla y dissipador de energía).

Una vez realizado el replanteo se procede a la construcción, la primera estructura a construir es la alcantarilla para lo cual se procede a realizar la excavación de la mitad del ancho total de la vía para la colocación del primer tramo de la alcantarilla, mientras el tráfico se desvía por la media vía donde no está intervenido.

Una vez realizada la excavación hasta el nivel de diseño se realiza el rasanteo de la zanja y la colocación de la capa de arena para proceder posteriormente a la instalación de la tubería, colocada la tubería se procede a realizar el relleno compactando en capas no superiores a 30 cm con el material de la excavación, siempre y cuando este cumpla con las especificaciones técnicas.

El procedimiento se repite para la colocación del segundo tramo de la alcantarilla.

Concluida la colocación de la alcantarilla se procede a realizar las actividades que demanda el dissipador de energía, realizando la excavación para la cimentación del dissipador de energía a la salida de la alcantarilla de acuerdo a las dimensiones y niveles establecidos en el diseño y a la construcción del dissipador de energía (con



gaviones) considerando los detalles constructivos y de impermeabilización del mismo, para concluir se procede a realizar las obras en la salida del dissipador de energía para evitar la socavación en la descarga.

A continuación se procede a realizar las actividades que demanda la construcción del sistema de drenaje en la alcantarilla existente, esto es el pozo encamisado, la prolongación de la alcantarilla y el relleno de esta con material granular, todas estas actividades de acuerdo a los planos constructivos.

Por último se procede a implementar el canal de aproximación para lo cual se realiza la excavación para la construcción del mismo realizando la reposición de material para la cimentación con las dimensiones especificadas en los planos constructivos, se compactara en capas \leq a 30 cm.

Una vez realizada la excavación y la conformación de la base del canal se procede a armar y colocar el canal de aproximación con las dimensiones especificadas en los diseños.

Por último se procede a implementar las obras de entrada hacia el canal de aproximación para evitar la socavación en la entrada de la misma y la construcción de cabezales de entrada y salida en la alcantarilla.

3.5.2. PLANILLA DE ACEROS

El diseño estructural de la alcantarilla nos da como resultado el siguiente resumen de aceros:

PLANILLA DE ACEROS PARA LA ALCANTARILLA, CABEZALES Y TRANSICIÓN										
Mc	TIPO	Ø	LONGITUD						CANTIDAD	PESO (Kg)
			A	B	C	TRASL	# TRASL	TOTAL		
ALCANTARILLA										
A1	C	14	30	350	30			410	241	1194
A2	C	18	45	350	45			440	241	2118
A3	I	12	4800			70	3	5010	38	1690
A4	C	12	4800			70	3	5010	28	1245
A5	C	20	50	350	50			450	241	2675
A6	C	14	30	350	30			410	241	1194
A7	C	16	40	355	40			435	482	3309
A8	C	12	25	355	25			405	482	1733
A9	I	12	5010			70	4	5290	48	2254
DENTELLONES										
D1	W	12	36	105	25			296	70	184
D2	C	10	15	680	15			710	16	70.04
D3	W	12	20	60	25			190	32	53.98
D4	C	10	15	290	15			320	8	15.78
CABEZALES										
C1	C	14	30	610	30			670	12	97.16
C2	C	20	55	610	55			720	12	213.1
C3	L	10	15	280				295	60	109.1
C4	L	20	55	305	55			415	16	163.8
C5	L	14	30	305				335	16	64.77
C6	L	10	20	300				320	24	47.35
C7	L	10	20	330	20			370	24	54.75



TRANSICIÓN											
T1	C	20	55	395	55			505	12	149.5	*
T2	C	14	30	395	30			455	12	65.98	*
T3	C	10	20	280	20			320	30	59.19	*
T4	L	20	55	305				360	24	213.1	*
T5	L	14	30	305				335	24	97.16	*
*Longitud Variable									TOTAL	19071.89	

Tabla 3-13: Planilla de aceros para la Alcantarilla, Cabezal y Transición

PLANILLA DE ACEROS PARA EL CANAL DE DESFOGUE										
Mc	TIPO	Ø	LONGITUD						CANTIDAD	PESO (Kg)
			A	B	C	TRASL	# TRASL	TOTAL		
S1	C	12	30	390	30			450	556	2221.32
S2	I	10	6940			70	7	7430	30	1374.27
S3	L	12	30	215				245	1540	3349.73
S4	I	10	6940			70	7	7430	28	1282.65
S5	C	10	25	390	25			440	72	195.32
S6	Z	10	25	135	25			185	288	328.49
S7	C	12	30	390	30			450	208	831.00
S8	Z	10	25	260	25			310	256	489.29
S9	C	12	30	390	30			450	58	231.72
S10	Z	10	25	670	25			720	32	142.05
S11	W	12	30	95	25			150	20	26.63
S12	C	10	15	390	15			420	8	20.72
									TOTAL	10493.19

Tabla 3-14: Planilla de aceros para el Canal de Desfogue

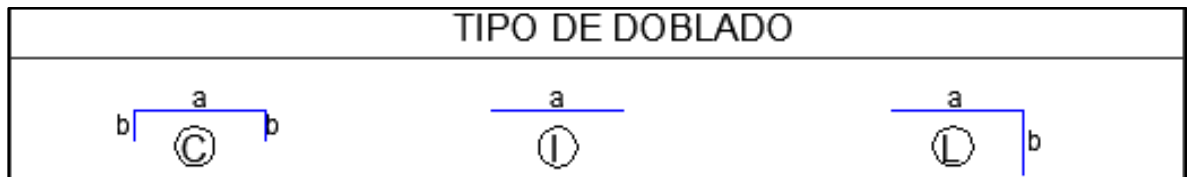


Tabla 3-15: Tipo de Doblado de los Aceros

3.5.3. CANTIDADES DE OBRA.

VOLUMEN DE MATERIALES – CANAL DE APROXIMACIÓN

EXCAVACION

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Cabeza	14.5	10	1	1	145.00	m3
Canal	215	7.5	1	1	1612.50	m3
Canal tributario	35	4	1	1	140.00	m3
Dren perimetral	615	0.6	1	1	369.00	m3
TOTAL					2266.50	m3

DESALOJO

CONCEPTO	EXCAVADO	FAC.ESPONJ.	VOLUMEN	UNIDAD
De lo excavado	2266.50	1.25	2833.13	m3

GAVIONES (se indica el volumen contenido)

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Cabeza	14.5	10	1	1	145.00	m3
Laterales de cabeza	10	1	1	2	20.00	m3
Canal	215	7.5	1	1	1612.50	m3
Laterales	215	1	1	2	430.00	m3
Escalonado	7.5	0.5	1	5	18.75	m3
Canal tributario	35	4	1	1	140.00	m3
Laterales de Tributario	35	1	1	2	70.00	m3
TOTAL					2436.25	m3



ALAMBRE DE AMARRE Ø 3 mm

CONCEPTO	VOL GAV.	#/m3	LONGITUD	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen gaviones	2436.25	160	0.2	77960.00	m3
Peso/m	0.0555	Kg/m		4327	kg

PIEDRA PARA GAVIONES

CONCEPTO	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen Gaviones	2436.25	m3

PIEDRA PARA DRENES

CONCEPTO	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen drenes	369.00	m3

GEOMEMBRANA

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Cabeza	14.5	10	1	145.00	m2
Laterales de cabeza	10	2.3	2	46.00	m2
Canal	215	7.5	1	1612.50	m2
Laterales de canal	215	2	2	860.00	m2
Escalonado	0.5	1	10	5.00	m2
Canal tributario	35	4	1	140.00	m2
Laterales canal tributario	35	2.3	2	161.00	m2
Dren perimetral	615	3.2	1	1968.00	m2
TOTAL				4937.50	m2

GEOTEXTIL

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Cabeza	14.5	10	2	290.00	m2
Laterales de cabeza	10	2.3	4	92.00	m2
Canal	215	7.5	2	3225.00	m2
Laterales de canal	215	2.3	4	1978.00	m2
Escalonado	0.5	1	20	10.00	m2
Canal tributario	35	4	2	280.00	m2
Laterales canal tributario	35	2.3	4	322.00	m2
Dren perimetral	615	3.2	1	1968.00	m2
TOTAL				8165.00	m2

VOLUMEN DE MATERIALES – DISIPADOR DE ENERGÍA

EXCAVACION

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Canal	24	7.5	1	1	180.00	m3
Salida	30	10.5	1	1	315.00	m3
	8.95	15	1	1	134.25	
Dren perimetral	435	0.6	1	1	261.00	m3
TOTAL					890.25	m3

DESALOJO

CONCEPTO	EXCAVADO	FAC.ESPONJ.	VOLUMEN	UNIDAD
De lo excavado	890.25	1.25	1112.81	m3

GAVIONES (se indica el volumen contenido)

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Canal	24	7.5	1	1	180.00	m3
Laterales de cabeza	24	1	1	2	48.00	m3
Salida	10.5	30	1	1	315.00	m3
	8.95	15	1	1	134.25	m3
Laterales	88	1	1	1	88.00	m3
Contraheullas	7.5	1	1	10	75.00	m3
TOTAL					840.25	m3



ALAMBRE DE AMARRE Ø 3 mm

CONCEPTO	VOL GAV.	#/m3	LONGITUD	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen gaviones	840.25	160	0.2	26888.00	m
Peso/m	0.0555	Kg/m		1492.284	kg

PIEDRA PARA GAVIONES

CONCEPTO	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen Gaviones	840.25	m3

PIEDRA PARA DRENES

CONCEPTO	VOLUMEN	UNIDAD
Volumen drenes	261.00	m3

GEOMEMBRANA

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
Canal	24	7.5	1	180.00	m2
Laterales de canal	24	2.3	2	110.40	m2
Salida	30	10.5	1	315.00	m2
	74	2.3	1	170.20	m2
Dren perimetral	435	3.2	1	1392.00	m2
TOTAL				2167.60	m2

GEOTEXTIL

CONCEPTO	LARGO	ANCHO	CANTIDAD	VOLUMEN	UNID
Canal	24	7.5	2	360.00	m2
Laterales de canal	24	2.3	4	220.80	m2
Salida	30	10.5	2	630.00	m2
	74	2.3	2	340.40	m2
Dren perimetral	435	3.2	1	1392.00	m2
TOTAL				2943.20	m2

VOLUMEN DE MATERIALES

MATERIALES PARA ALCANTARILLA, CABEZALES, TRANSICIÓN

RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD
Derrocamiento de pavimento	55.50	m3
Excavación	4912.24	m3
Desalojo	6140.30	m3
Gaviones	2436.25	m3
Hormigón para replantillo	27.53	m3
Hormigón f'c=240 kg/cm2	207.86	m3
Acero en varillas fy=4200 kg/cm2	19071.85	kg
Relleno de reposición compactado	4212.47	m3
Piedra para gaviones	2436.25	m3
Piedra para drenes	369.00	m3
Geomembrana	4937.50	m2
Geotextil	8165.00	m2
Reposición de estructura vial	270.00	m2
Reposición de bordillos	30.00	m

**MATERIALES PARA DISIPADOR DE ENERGÍA**

RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD
Excavación	1209.60	m3
Desalojo	1512.00	m3
Gaviones	840.25	m3
Hormigón para replantillo	57.60	m3
Hormigón $f'c=240$ kg/cm ²	200.64	m3
Acero en varillas $f_y=4200$ kg/cm ²	10493.17	kg
Piedra para gaviones	840.25	m3
Piedra para drenes	261.00	m3
Relleno de reposición compactado	288.00	m3
Geomembrana	2167.60	m2
Geotextil	2943.20	m2

3.5.4.EMPLAZAMIENTO DE LA ALCANTARILLA DISEÑADA EN LOS PLANOS TOPOGRÁFICOS Y ESTRUCTURALES.

El diseño estructural de la alcantarilla incluyendo los cabezales, canal de aproximación y dissipador de energía se muestran en el *Plano N°2*, *Plano N°3* y *Plano N°4*, y el emplazamiento de la alcantarilla en el plano topográfico se muestra en el *Plano N°5*.



4. CONCLUSIONES.

La autopista Cuenca-Azogues juega un papel muy importante, ya que conecta estas dos ciudades con un flujo diario de 18000 vehículos, por lo que su ampliación a cuatro carriles con un parterre central, una ciclo vía al costado, y la construcción de sus diferentes obras civiles: puentes, alcantarillas, y cunetas, son de suma importancia para su correcto funcionamiento.

La construcción de alcantarillas en proyectos viales busca la solución costo-beneficio más conveniente, por lo que su diseño debe ser realizado de la mejor manera considerando todos los parámetros técnicos, económicos y sociales.

La abscisa Km 4+703 de la autopista Cuenca – Azogues está localizada en una zona de arcilla y suelo expansivo motivo principal por el cual se produce daño significativo en la vía, resultando el diseño de la alcantarilla existente deficiente, por lo que su ampliación y métodos de estabilización de taludes es muy importante para evitar su deterioro y posibles accidentes de tránsito.

El informe geológico y geotécnico recomienda el empleo de estructuras (multiplaca) como solución al material para las alcantarillas, por considerar que este material presenta la rigidez necesaria para absorber adecuadamente las deformaciones que se puedan presentar en el suelo de fundación por consolidación.

La alcantarilla existente está construida de acuerdo al curso natural de la quebrada, por lo que al cambiar la cota de la misma se altera su curso, debiendo construir un canal de transición circular tipo ármico a cielo abierto de 3200mm de diámetro con una pendiente de 2%, para drenar el agua de la cuenca de aporte hacia la entrada de la alcantarilla y colocar un dissipador de energía de gaviones en forma de gradas con paso horizontal de 8cm y un paso vertical de 10cm a la salida para evitar la socavación.

Como la zona está formada por arcilla es necesario que la alcantarilla existente no sea sellada de forma definitiva, para que esta sirva como un dren subterráneo y ayude a evitar problemas. El relleno se lo realiza con material pétreo de canto rodado o de cantera, con un diámetro mínimo de 15cm y piedra sana no meteorizada.

La geometría de la alcantarilla esta dimensionada para un caudal de entrada de 12.9m³/seg, para un flujo con control a la salida. Donde la entrada y la salida no se encuentran sumergidas, es decir, la profundidad de la entrada y la salida es menor que la profundidad crítica. Con una pendiente subcrítica de 1%.

La sustitución de la alcantarilla existente abscisa Km. 4+703 de acero por una de hormigón armado y a una cota menor del nivel de la vía es la mejor solución, ya que con esto se hace más fácil la construcción y mantenimiento de la misma, siendo la nueva abscisa Km. 4+667.

Se recomienda usar acero de refuerzo estructural de resistencia $f_y=4200$ Kg/cm², hormigón para replantillo de resistencia $f'_c=140$ Kg/cm², hormigón para estructuras de resistencia $f'_c=240$ Kg/cm² (Clase B) y recubrimiento de estructuras en contacto con el suelo de 5cm, para dar a la estructura mayor durabilidad para un periodo de diseño de 25 años.



5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB)
- Reglamento MOP-001-E, MOP-001-F
- ASSHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS adoptado por AASHTO 2004.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011
- Normas American Concrete Institute (ACI 318-08)
- Elementos de Puentes, Hidalgo Rivas
- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das
- Ingeniería Geológica, Luis I. González de Vallejo
- Diseño de estructuras de concreto, Arthur H Nilson
- Estructuras de concreto reforzado, R. Park y T. Paulay
- Diseño Hidráulico de Alcantarillas, Ing. Facundo J. Alonso (Abril 2005)
- Información del proyecto Autopista Cuenca – Azogues – Biblián.
- Proyecto PRECURA, CSS (Cooperación Ecuador - Suiza)
- Soluciones para suelos expansivos y colapsables.
- Diseño Mejorado de Alcantarillas de Drenaje Pluvial en Carreteras (Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXIV, No. 3, Sep. - Dic 2013, ISSN 1815-591X, RNPS 2066).
- Sedimentación continental en las cuencas intramontañosas terciarias del Ecuador, Christophe Noblet, Francois Dugas y Ramon Vera.
- Manual de Geología para Ingenieros, Cap. 16, Movimientos Masales, Gonzalo Duque Escobar.
- Geología, Procesos de Ladera. José Ramón Díaz de Terán Mira. Universidad de Cantabria.
- Geología General del Nororiente Ecuatoriano, A. S. Nieto, Departamento de Geología, Universidad de Illinois, Urbana.
- Análisis de la distribución espacial de lluvia en Cuencas de Montaña, P. Torres, R. Céleri, F. Cisneros, J. Feyen.
- Obra Pública, Definición, función y clasificación de los geotextiles, Arte y Cemento.
- Deslizamientos y Estabilidad de taludes en zonas tropicales, Cap. XIII: Control de Aguas Superficiales y Subterráneas, Ing. Jaime Suarez Díaz, 1998.
- Estudio de lluvias intensas, Luis Rodríguez Fiallos, INAMHI, 1999.
- Mecánica de suelos, Tomo I, Juárez Badillo Rico.
- Estabilidad de Taludes, J. Montero, 1995.
- Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Cap. XIII: Control de aguas superficiales y subterráneas, Ing. Jaime Suarez Días, 1998.
- Sistemas de Alcantarillado, Universidad de Cuenca, Ing. Andrés Alvarado.
- Drenaje Vial, Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello.
- Estudio de lluvias intensas, INAMHI, Luis Rodríguez Fiallos, 1999
- Sedimentación continental en las cuencas intramontañosas terciarias del Ecuador, Christophe Noblet - Francois Dugas - Ramón Vera.
- FONAPA, Fondo del Agua para la conservación de la cuenca del Río Paute.
- Segunda Etapa de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca, Ing. Rafael Estrella A., 1998.



6. ANEXOS



PROVINCIA DE CAÑAR - MAPA DE TIPOS DE CLIMA

ECUADOR - ESCALA 1:350.000

LEYENDA


TIPOS DE CLIMA

- ECUATORIAL DE ALTA MONTAÑA
- ECUATORIAL MESOTERMICO SEMI-HUMEDO
- NIVAL
- TROPICAL MEGATERMICO HUMEDO
- TROPICAL MEGATERMICO SEMI-HUMEDO

DESCRIPCION DE TIPO DE CLIMA	REFERENCIAL (Km ²)	PORCENTAJE (%)
ECUATORIAL DE ALTA MONTAÑA	102059	45,3
ECUATORIAL MESOTERMICO SEMI-HUMEDO	118051	51,7
NIVAL	5650	2,4
TROPICAL MEGATERMICO HUMEDO	20591	9,1
TROPICAL MEGATERMICO SEMI-HUMEDO	30920	13,5
TOTAL	226471	100,0

REMARKS: Este mapa se elaboró a partir de los datos de la Encuesta Nacional de Censos y Población y Vivienda, elaborada por el INEC, en el año 2010. Los datos fueron procesados y analizados por el equipo de trabajo del INEC.

Anexo 2: Ensayos realizados en la zona de estudio



GEOLAB
CONSTRUCCIÓN Y URBANISMO

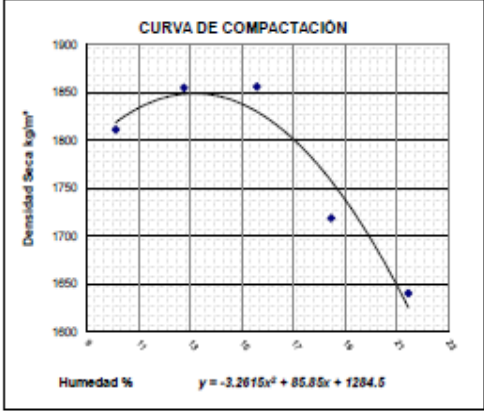
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS

Luis Serradillo 3-86 y Miguel Cordero
Tel: 2661174
Cuenca - Ecuador

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
PROYECTO: SALADO GUANGARCUCHO					POZO: 8+600 / 4+700 / 5+200 / 5+600		DESCRIPCIÓN: Material de Relleno		
DATOS DEL MOLDE					CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
Ensayo:	Tipo A				Peso Molde:	P Mol.=	6700	gr.	
Molde:	#=				Peso Martillo:	P Mart.=		gr.	
Diámetro:	φ=	15.3	cm		Altura de Caída:	Hc=	5	cm	
Longitud:	L=	11.7	cm		# de Capas:	#=	5	capas	
Área:	A=	183.85	cm²		Golpes por Capa:	gps/cap	56	gps	
Volumen:	V=(A · L)=	2151.09	cm³		Material Pasante:	#=	4	Tamiz	

EJECUCIÓN DEL ENSAYO					
DATOS PARA LA CURVA:					
MUESTRA #:	1	2	3	4	5
W. MOL.+SUE. HUM. (gr)	10990	11200	11315	11080	10985
W. SUELO HUM. (gr)	4290	4500	4615	4380	4385
HUMEDAD PROM. (%)	10.11	12.76	15.58	18.46	21.45
DENS. HUMEDA (kg/m³)	1994	2092	2145	2056	1992
DENS. SECA (kg/m³)	1811	1855	1856	1719	1640

CONTENIDOS DE HUMEDAD:															
MUESTRA #:	1			2			3			4			5		
CAPSULA #:	90	96	75	84	89	76	83	77	87	88	92	80	30	46	23
CAP. + SUELO HUM. (gr)	111.98	111.75	108.84	90.99	91.41	89.07	84.08	91.09	88.53	87.1	90.72	94	80.04	94.94	88.44
CAP. + SUELO SECO. (gr)	102.51	102.23	99.49	81.67	81.89	79.91	73.64	79.97	77.78	74.73	77.81	80.60	67.02	79.45	74.00
PESO DE CAP. (gr)	8.01	7.71	8.15	8.43	7.88	7.8	8.01	7.85	8.07	8.04	7.68	7.86	6.09	7.09	7.06
PESO DE AGUA (gr)	9.47	9.52	9.35	9.32	9.52	9.16	10.44	11.12	10.75	12.37	12.91	13.4	13.02	15.49	14.44
PESO SUELO SECO (gr)	94.5	94.52	91.34	73.24	74.01	72.11	65.63	72.12	69.71	66.69	70.13	72.74	60.93	72.36	66.94
CONTEN. DE HUM. (%)	10.02	10.07	10.24	12.75	12.86	12.70	15.91	15.42	15.42	18.55	18.41	18.42	21.37	21.41	21.57
HUMEDAD PROM. (%)	10.11			12.76			15.58			18.46			21.45		



CURVA DE COMPACTACIÓN

$y = -3.2615x^2 + 85.85x + 1284.5$

ECUACIÓN

a -3.2615

b 85.85

c 1284.5

RESULTADOS

Densidad seca máxima 1849 kg/m³

Humedad Óptima 13.16 %

LABORATORISTA

RESPONSABLE

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN (ASTM 2487)													
PROYECTO:	GUANGARUCHO SALADO BIBLIAN CUENCA AZOGUES					POZO:	4+700 / 5+200 / 5+600		MUESTRA:	MATERIAL DE RELLENO TALUD 8+600			
COLOR:	CONSISTENCIA:					PROFUNDIDAD: m							
GRANULOMETRÍA						CONTENIDO DE HUMEDAD							
Tamiz	Abertura de Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido %	Retenido Absoluta (g)	% Retenido	% Pasa	Nº Tamo	Nº Golpes	Peso Húmedo	Peso Seco	Peso Tamo	% De Humedad	% Promedio
2"	75.000	0.00					133	Humedad Natural	77.11	69.20	16.87	15.12%	15.0%
2 1/2"	63.000	0.00					131		81.27	72.70	15.06	14.87%	
2"	53.000	0.00											
1 1/2"	37.500	0.00											
1"	25.400	0.00							LÍMITE LÍQUIDO				
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							NP
Nº4	4.760	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
PASA Nº4													
Nº8	2.380	17.60	17.60	17.60	4.05%	95.95%			LÍMITE PLÁSTICO				
Nº10	2.000	5.00	5.00	22.60	5.20%	94.80%							
Nº40	0.420	186.40	186.40	209.20	48.11%	51.89%							NP
Nº100	0.149	108.40	108.40	317.60	73.04%	26.96%							
Nº200	0.075	22.00	22.00	339.60	78.10%	21.90%							
PASA Nº200	0.000	0.30	95.21	434.81	100.00%	0.00%							
TOTAL			434.81						HUMEDAD NATURAL:	15%	CLASIFICACIÓN:		
Serie gruesa									LÍMITE LÍQUIDO:	NP	SUCS:		
									ÍNDICE PLÁSTICO:	NP	AASHTO:		

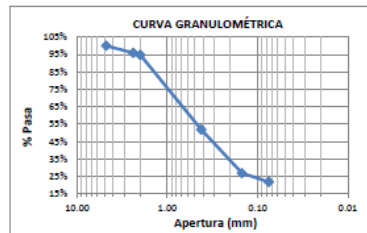
Serie gruesa

W inicial
W seco
W fin de ensayo
corr ensayo

Serie fina

W inicial
W lavado/secado
W inicial ensayo =
W fin de ensayo =
corr finos
corr ensayo

	gr
	gr
	gr
	gr
500.00	gr
339.90	gr
339.90	gr
339.70	gr
94.91	gr
0.20	gr



LABORATORISTA

RESPONSABLE

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN (ASTM 2487)														
PROYECTO:	GUANGARCUCHO SALADO BIBLIAN CUENCA AZOGUES					POZO:	4+700		MUESTRA:	2 FONDO				
COLOR:	CONSISTENCIA:					PROFUNDIDAD:	3.25		m					
GRANULOMETRÍA							CONTENIDO DE HUMEDAD							
Tamiz	Abertura de Tamiz (mm)	Retenido Pesado	Retenido %	Retenido %	% Retenido	% Pasa	Nº Tamiz	Nº Golpes	Peso Húmedo	Peso Seco	Peso Tamiz	% De Humedad	% Promedio	
3"	75.000	0.00					151	Humedad Natural	86.75	74.06	14.42	21.28%	21.6%	
2 1/2"	63.000	0.00					145		79.99	68.25	14.49	21.84%		
1 3/4"	37.500	0.00												
1"	25.400	0.00												
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%	116	37	29.93	25.30	14.97	44.82%	49.4%	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%	157	33	28.39	24.56	18.23	45.98%		
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%	140	29	29.44	24.97	15.49	47.15%		
Nº4	4.760	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%	109	25	28.11	23.59	14.42	49.29%		
PASA Nº4							127	20	29.13	24.91	16.78	51.91%		
Nº8	2.380	30.20	30.20	30.20	7.35%	92.65%	LÍMITE PLÁSTICO							30.5%
Nº10	2.000	8.40	8.40	38.80	9.45%	90.55%	139		15.74	15.39	14.26	30.97%		
Nº40	0.420	45.00	45.20	84.00	20.45%	79.55%	97		18.61	18.28	17.20	30.56%		
Nº100	0.149	29.90	29.90	113.90	27.73%	72.27%	132		16.62	16.33	15.36	29.90%		
Nº200	0.075	15.80	15.80	129.70	31.56%	68.42%	126		16.89	16.53	15.52	29.70%		
PASA Nº200	0.000	0.20	281.03	410.73	100.00%	0.00%	137		15.63	15.28	14.16	31.25%		
TOTAL		410.73					HUMEDAD NATURAL:			CLASIFICACIÓN:				
							LÍMITE LÍQUIDO:			SUCS:				
							ÍNDICE PLÁSTICO:			AASHTO:				
										A-7.6 (13)				

Sede: cuenca

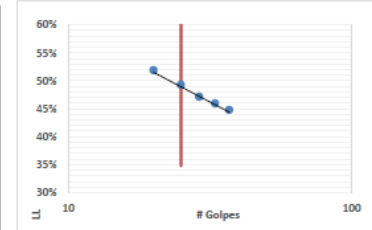
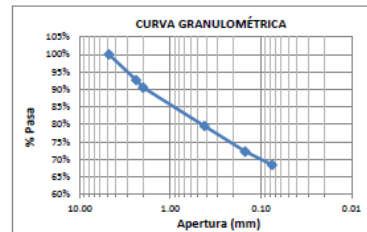
Serie gruesa

W inicial
W seco
W fin de ensayo
corr ensayo

Serie final

W inicial
W lavado/secado
W inicial ensayo =
W fin de ensayo =
corr finos
corr ensayo


	g
	g
	g
	g
500.00	g
120.50	g
120.50	g
120.30	g
280.83	g
0.20	g



LABORATORISTA

RESPONSABLE





LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS
Luis Sarmiento 1-86 y Miguel Cordero
Telf: 2881174
Cuenca - Ecuador

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN (ASTM 2487)													
PROYECTO:	GUANGARCUCHO SALADO BIBLIAN CUENCA AZOGUES					POZO:	4+700		MUESTRA:	1			
COLOR:						PROFUNDIDAD:	1.25 m						
CONSISTENCIA:							CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasa	Nº Tazo	Nº Golpes	Peso Húmedo	Peso Seco	Peso Tazo	% De Humedad	% Promedio
3"	75.000	0.00					105	Humedad Natural	89.43	76.30	15.05	11.64%	11.6%
2 1/2"	63.000	0.00					126		88.06	80.52	15.52	11.60%	
2"	53.000	0.00											
1 1/2"	37.500	0.00											
1"	25.400	0.00											
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%							
Nº4	4.760	8.20	8.20	8.20	1.83%	98.17%							
PASA Nº4													
Nº8	2.380	5.10	5.10	13.30	2.97%	97.03%							
Nº10	2.000	1.30	1.30	14.60	3.26%	96.74%							
Nº40	0.420	84.40	84.40	99.00	22.10%	77.90%							
Nº100	0.149	159.20	159.40	258.40	57.69%	42.31%							
Nº200	0.075	44.10	44.10	302.50	67.53%	32.47%							
PASA Nº200	0.000	0.40	145.45	447.95	100.00%	0.00%							
TOTAL													

Serie gruesa

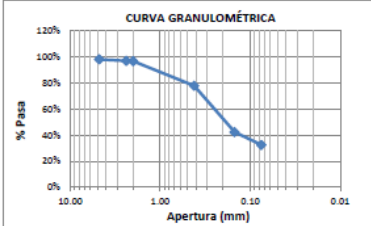
W inicial
W seco
W fin de ensayo
corr ensayo

Serie fina

W inicial
W lavado/secado
W inicial ensayo =
W fin de ensayo =
corr finos
corr ensayo

500.00 gr
302.90 gr
302.70 gr
145.05 gr
0.20 gr

CURVA GRANULOMÉTRICA



60%
55%
50%
45%
40%
35%
30%

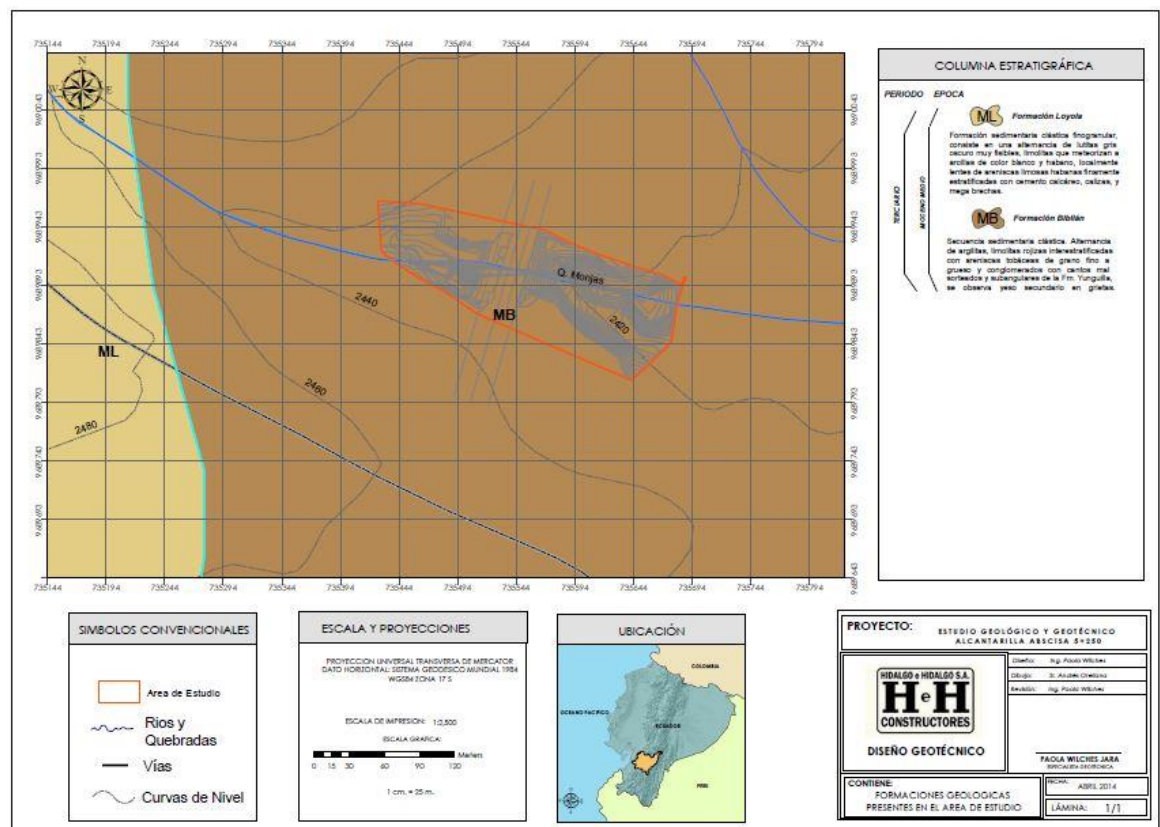
Golpes

10
100

LABORATORISTA

RESPONSABLE

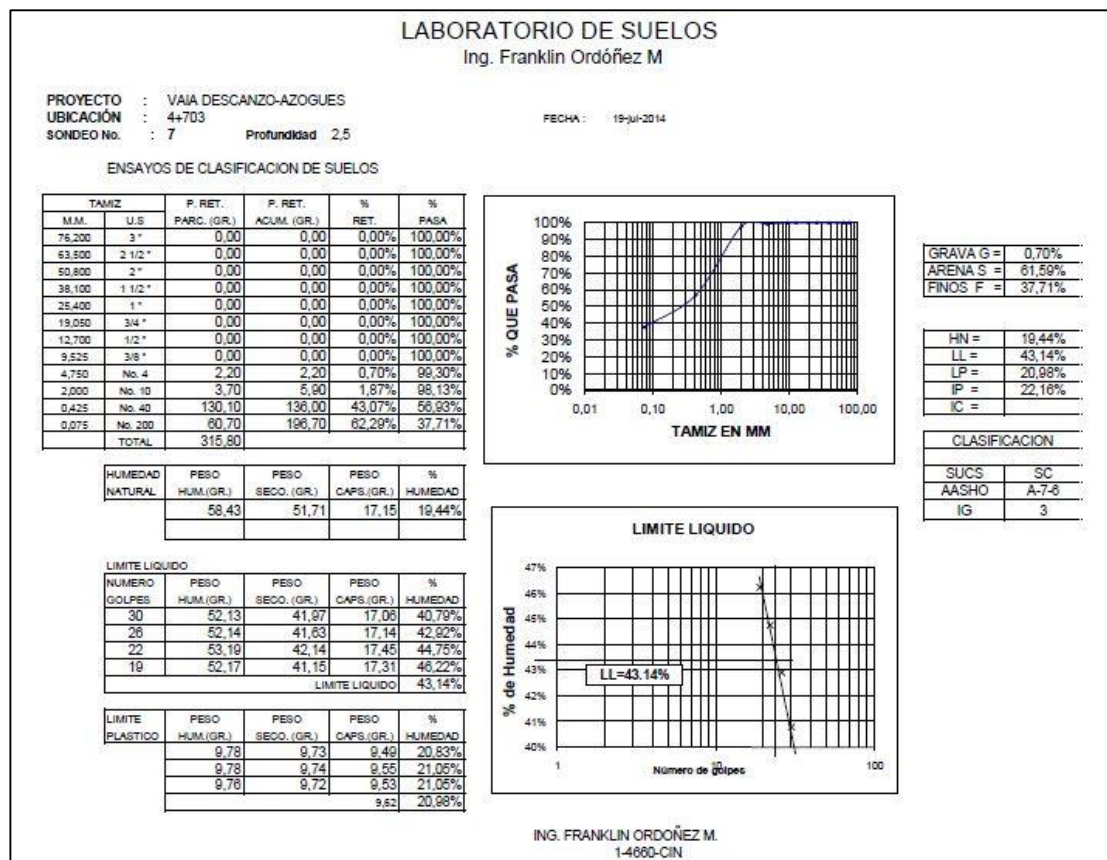
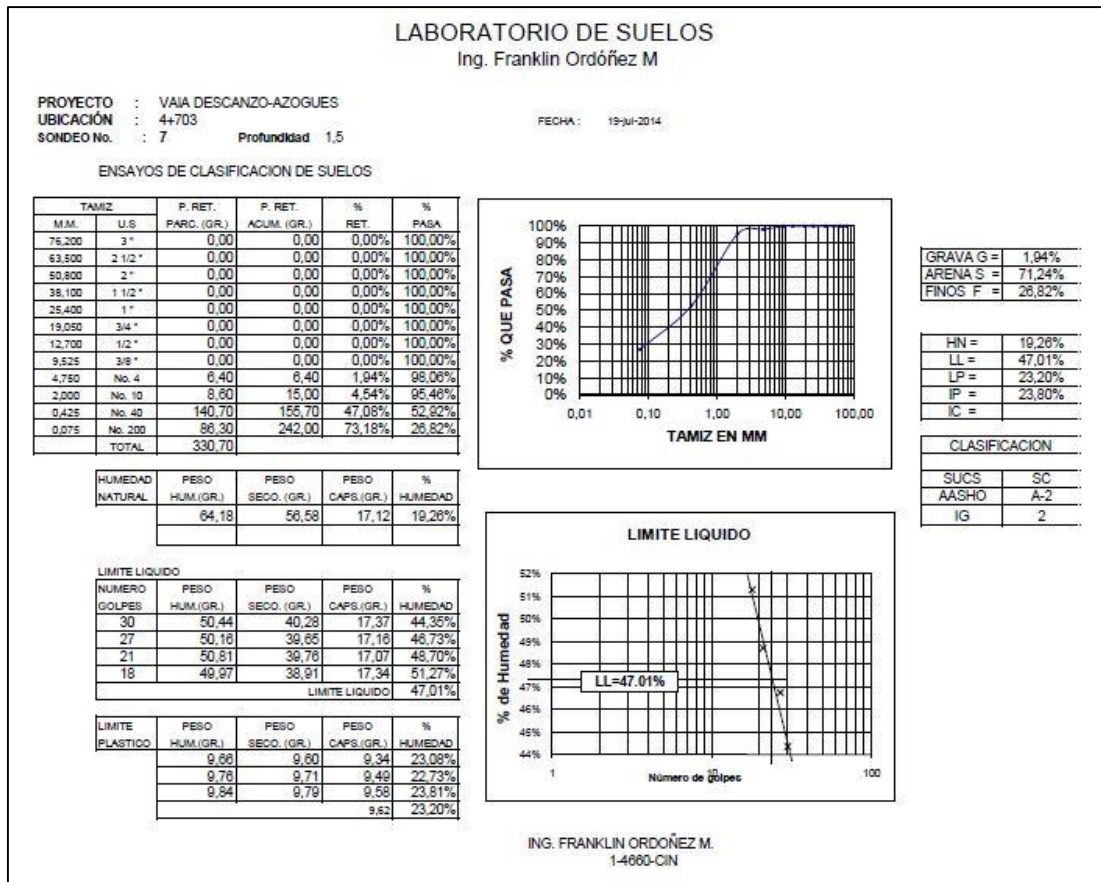
Anexo 3: Formaciones geológicas presentes en el área de estudio





Anexo 4: Resultados de Sondeos

Sondeo N°1





Sondeo N° 1

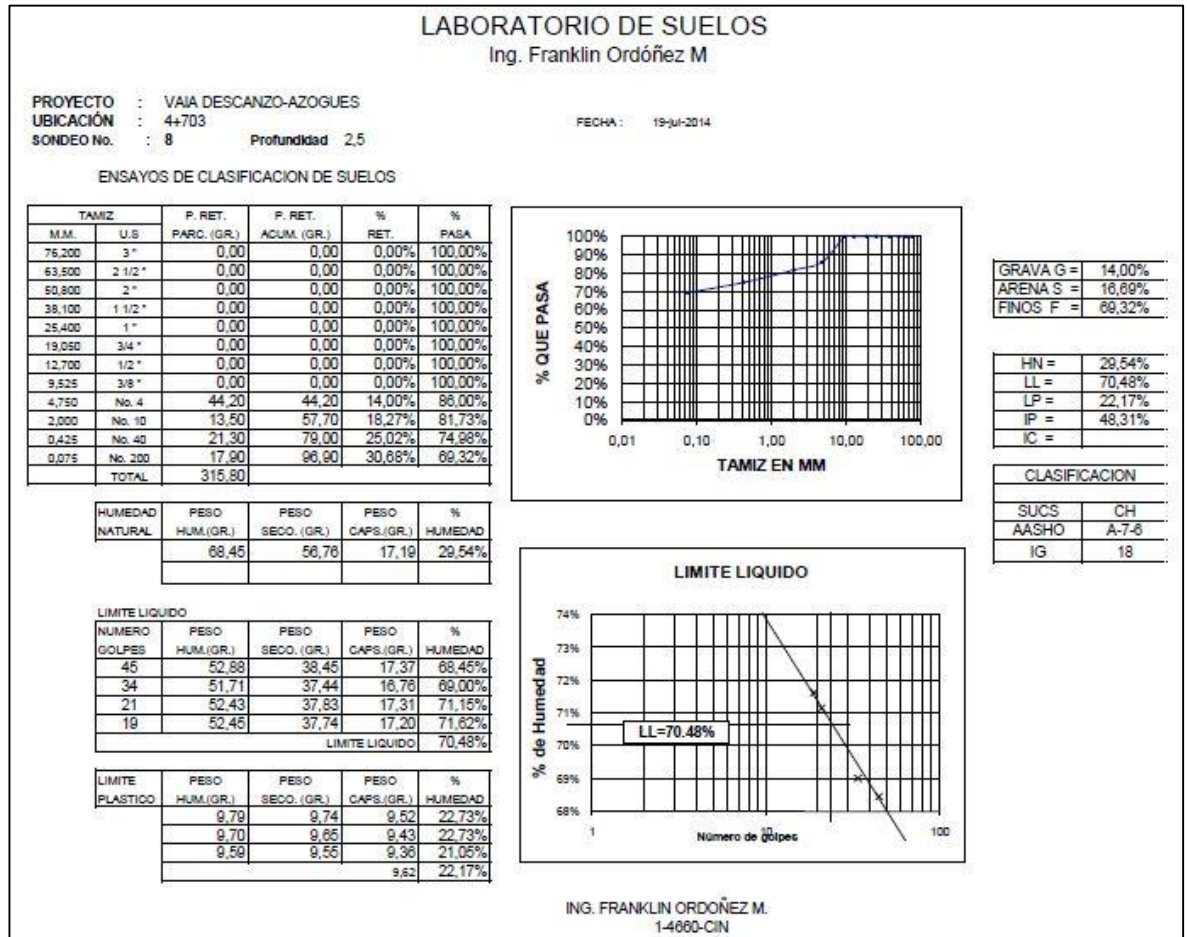


Muestra a 2.50m de profundidad

ING. FRANKLIN ORDOÑEZ M. CICA 882		PROYECTO : VIA RAPIDA EL DESCANSO-AZOGUES UBICACIÓN : Abscisa 4+880 PERFORACION No. : 7 PESO DEL MATILLO : 44 KG ALTURA DE CAIDA : 78 CM		COORDENADA UTM WG84 735380E;9689324 N												
COTAS	PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION SUCS	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCION	N ₆₀	N60 CORREGIDO	C _u ton/m ²	MUESTRAS DISTURBADAS					OBSERVACIONES	
		SIMBOLOGIA GRAFICA	DESCRIPCION DEL MATERIAL							GRANULOMETRIA (% QUE PASA)			LIMITE LIQUIDO %	LIMITE PLASTICO %		H. NATURAL %
										No.4	No.40	No.200				
2406,00	0,00		Arenas arcillosas de mediana plasticidad consistentes	SC	8	0,337	3	7	3,57							
2405,00	-1,00				21	0,402	8	16	8,15	98,1	52,92	26,82	47,01	23,2	19,26	
	-1,50															
2404,00	-2,00		Arenas Arcillosas de mediana plasticidad de consistencia dura	SC	43	0,466	20	35	17,84							
	-2,50				64	0,504	32	49	24,97	99,3	56,93	37,71	43,14	20,98	19,44	
-3,00	-3,00			Arenas arcillosas de mediana plasticidad de consistencia dura	SC	65	0,541	35	49	24,97						
	-3,50		68			0,544	37	48	24,46	99,3	56,93	37,71	43,14	20,98	19,44	



Sondeo N°2



Sondeo N° 2



Muestra a 2.50m de profundidad



LABORATORIO DE SUELOS

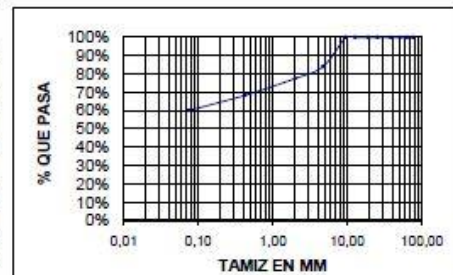
Ing. Franklin Ordóñez M

PROYECTO : VAIA DESCANZO-AZOGUES
 UBICACIÓN : 4+703
 SONDEO No. : 8 Profundidad 3,5

FECHA : 19-jul-2014

ENSAYOS DE CLASIFICACION DE SUELOS

TAMIZ	P. RET.	P. RET.	%	%
M.M.	U.S	PARC. (GR.)	ACUM. (GR.)	RET. PASA
75,200	3"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
63,500	2 1/2"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
50,800	2"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
25,400	1"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
19,050	3/4"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
12,700	1/2"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
9,525	3/8"	0,00	0,00	0,00% 100,00%
4,750	No. 4	51,10	51,10	15,94% 84,06%
2,000	No. 10	21,10	72,20	22,52% 77,48%
0,425	No. 40	29,40	101,60	31,69% 68,31%
0,075	No. 200	26,70	128,30	40,02% 59,98%
TOTAL		320,60		



GRAVA G = 15,94%
 ARENA S = 24,08%
 FINOS F = 59,98%

HN = 18,66%
 LL = 67,76%
 LP = 23,09%
 IP = 44,67%
 IC =

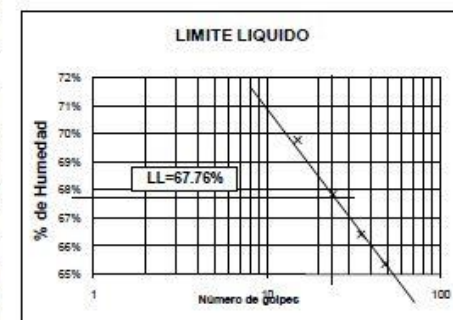
CLASIFICACION

SUCS CH
 AASHO A-7-6
 IG 15

HUMEDAD NATURAL	PESO HUM.(GR.)	PESO SECO. (GR.)	PESO CAPS.(GR.)	% HUMEDAD
	58,90	52,43	17,76	18,66%

LIMITE LIQUIDO	NUMERO GOLPES	PESO HUM.(GR.)	PESO SECO. (GR.)	PESO CAPS.(GR.)	% HUMEDAD
	48	53,58	39,15	17,07	65,35%
	35	53,65	39,25	17,57	66,42%
	24	53,32	38,72	17,20	67,84%
	15	53,48	38,80	17,76	69,77%
LIMITE LIQUIDO					67,76%

LIMITE PLASTICO	PESO HUM.(GR.)	PESO SECO. (GR.)	PESO CAPS.(GR.)	% HUMEDAD
	9,61	9,57	9,40	23,53%
	9,80	9,78	9,59	23,53%
	9,83	9,79	9,61	22,22%
			9,62	23,09%



ING. FRANKLIN ORDOÑEZ M.
 1-4660-CIN

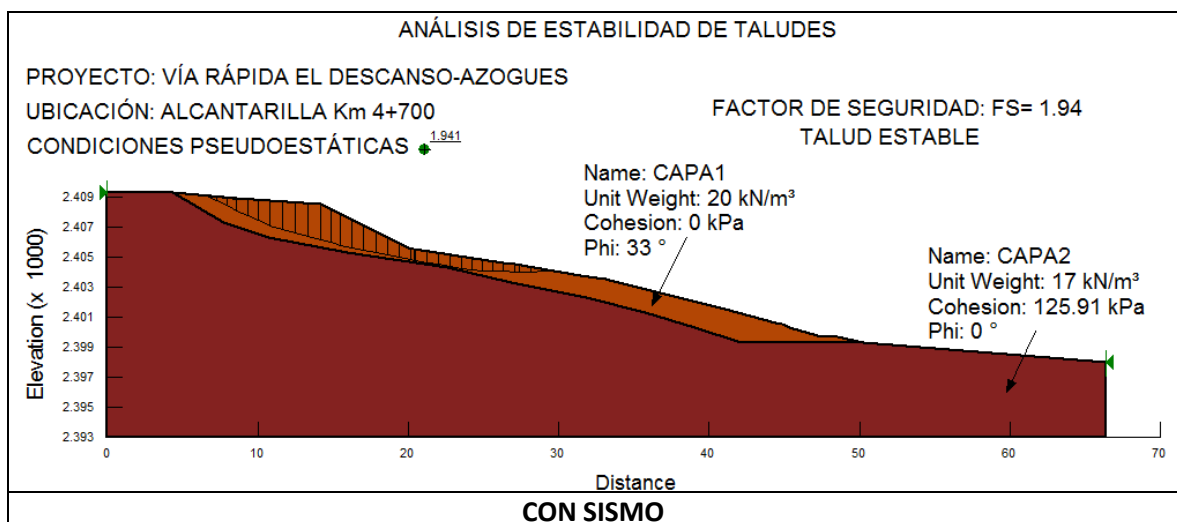
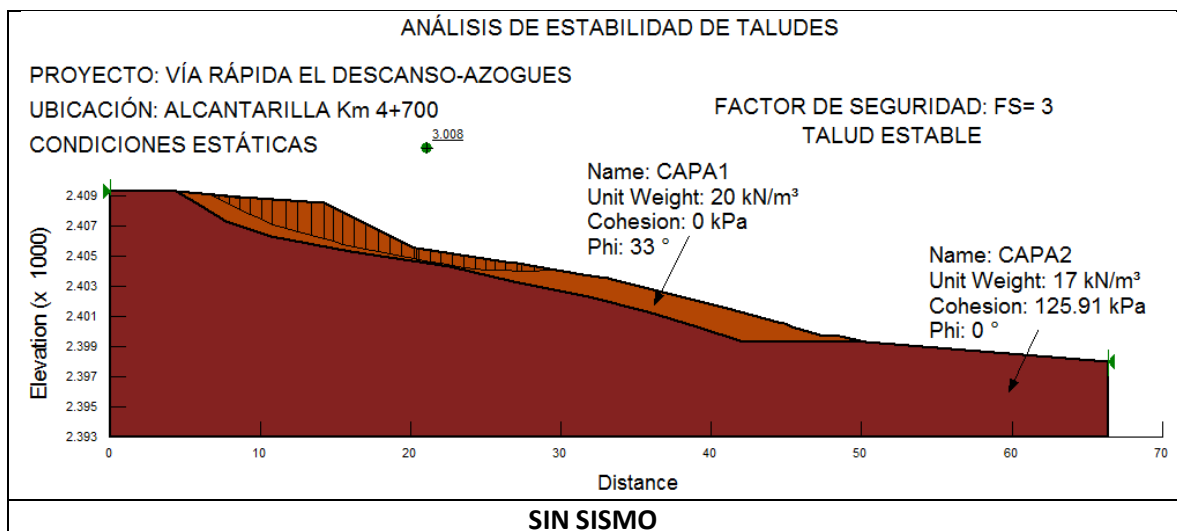
ING. FRANKLIN ORDOÑEZ M. CICA 852		PROYECTO : VIA RAPIDA EL DESCANZO-AZOGUES UBICACIÓN : Abscisa 4+680 PERFORACION No. : 8 PESO DEL MATILLO : 44 KG ALTURA DE CAIDA : 76 CM		COORDENADA UTM WG84 735350E;9689345 N												
COTAS	PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION SUCS	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCION	N ₆₀	N ₆₀ CORREGIDO	C _u tamiz	MUESTRAS DISTURBADAS					OBSERVACIONES	
		SIMBOLOGIA GRAFICA	DESCRIPCION DEL MATERIAL							GRANULOMETRIA (% QUE PASA)			LIMITE LIQUIDO %	LIMITE PLASTICO %		H. NATURAL %
										No.4	No.40	No.200				
2408,00	0,00		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad de consistencia blanda	CH	4	0,337	1	2	1,02							
2405,00	-1,00				8	0,402	3	6	3,06	86	74,98	69,32	70,48	22,17	29,54	
	-1,50															
2404,00	-2,00		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad muy consistentes	CH	20	0,466	9	16	8,15							
	-2,50				30	0,504	15	23	11,72	86	74,98	69,32	70,48	22,17	29,54	
	-3,00															
2403,00	-3,00		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad de consistencia dura	CH	50	0,541	27	38	19,36							
	-3,50				70	0,544	38	50	25,48	84,1	68,31	59,98	67,76	23,09	18,66	
	-4,00															
2402,00	-4,00		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad de consistencia dura	CH	72	0,546	39	48	24,46							
	-4,50				76	0,556	42	48	24,46	84,1	68,31	59,98	67,76	23,09	18,66	



Anexo 5: Análisis de taludes

SIN CONSIDERAR REFUERZO CON GEOMALLA BIAxIAL

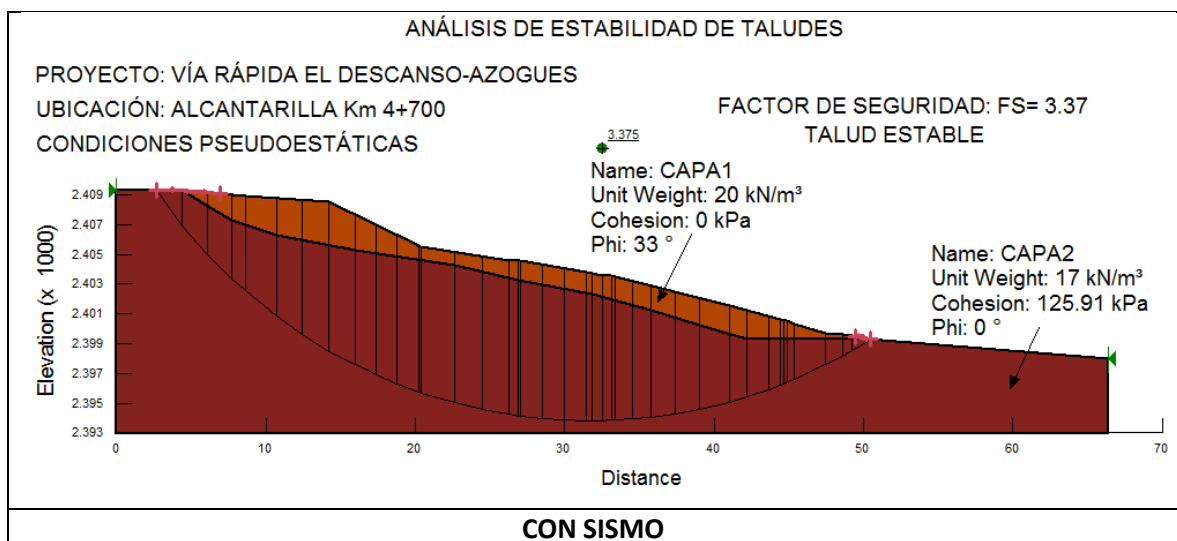
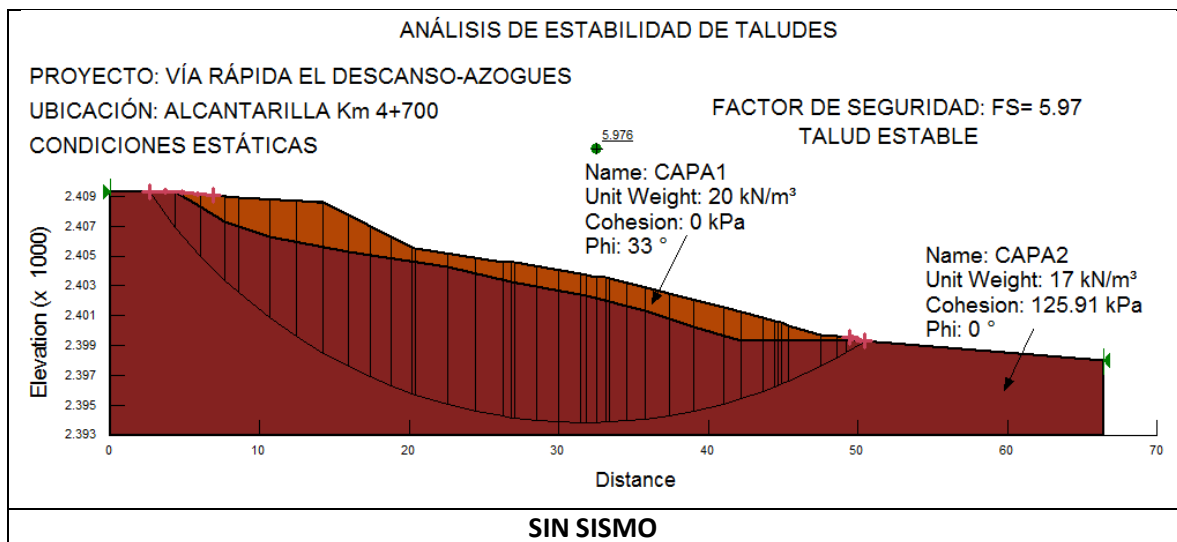
ALCANTARILLA 4+703 SIN OBRAS DE DESCARGA
ANALISIS DE FALLA EN EL TERRENO DE PRESTAMO





ALCANTARILLA 4+703 SIN OBRAS DE DESCARGA

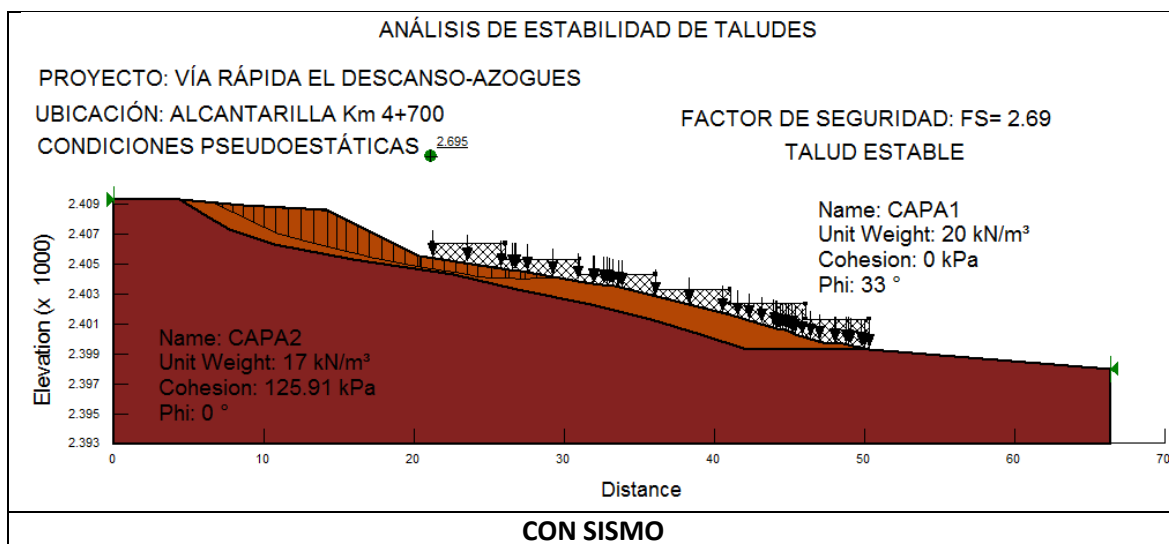
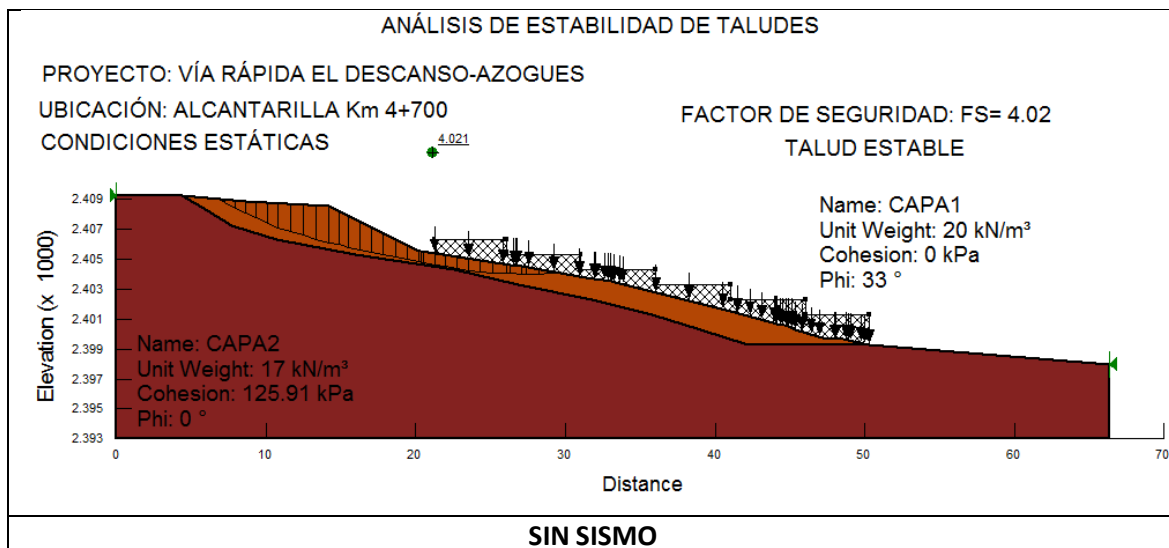
ANÁLISIS DE FALLA EN EL TERRENO NATURAL





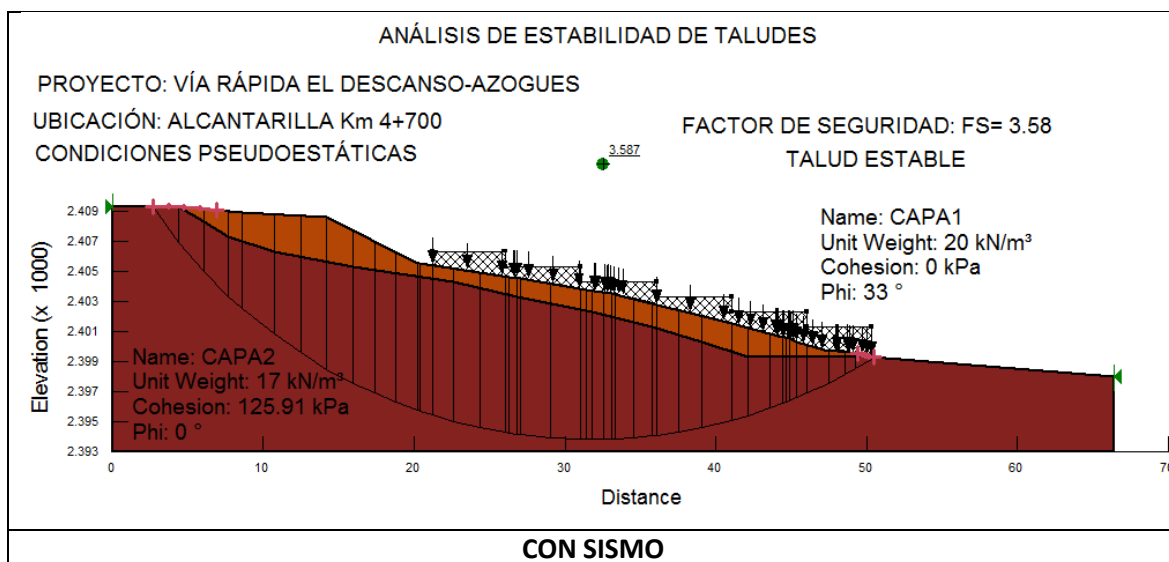
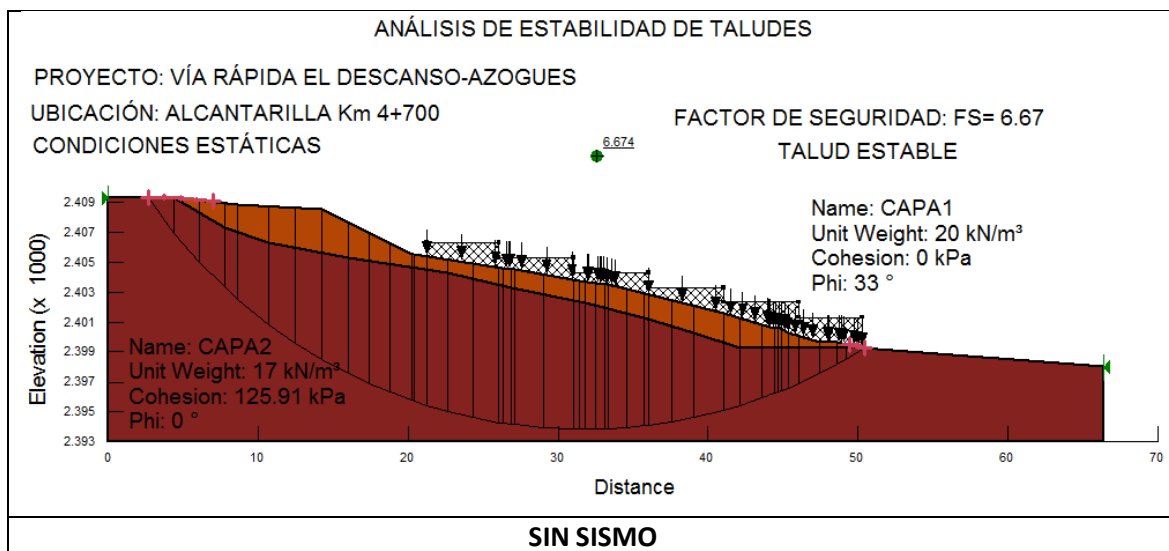
ALCANTARILLA 4+703 CON OBRAS DE DESCARGA

ANÁLISIS DE FALLA EN EL TERRENO DE PRESTAMO

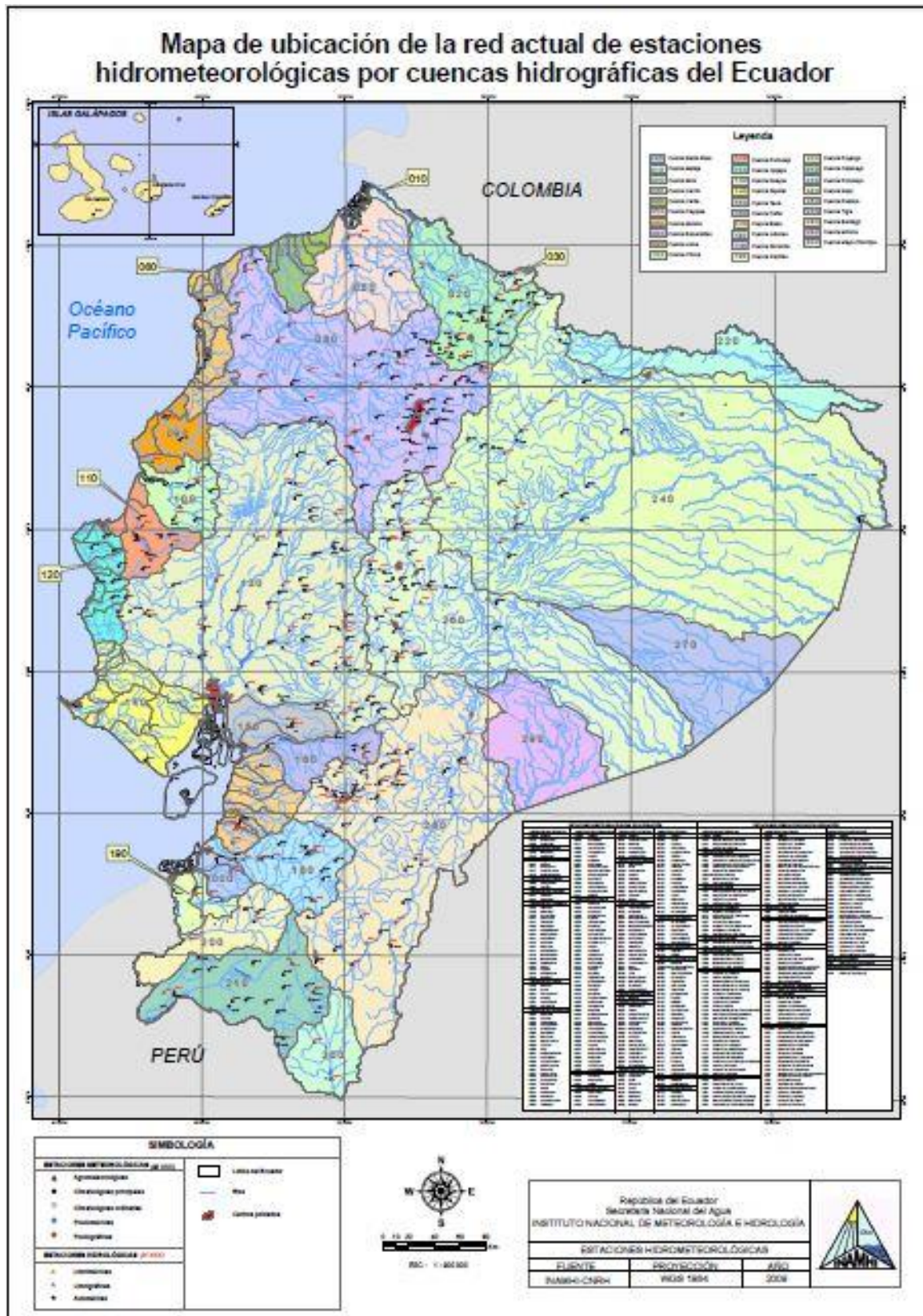




ALCANTARILLA 4+703 CON OBRAS DE DESCARGA
ANÁLISIS DE FALLA EN EL TERRENO NATURAL



Anexo 6: Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador



Anexo 7: Coeficientes C_k , C_q y C_a ⁴⁷Coeficientes C_k , C_q , C_a

y/D	C_k	C_q	C_a	y/D	C_k	C_q	C_a
0,01	0,000046	0,0003	0,0013	0,51	0,161112	0,8000	0,4027
0,02	0,000207	0,0014	0,0037	0,52	0,166362	0,8303	0,4127
0,03	0,000503	0,0030	0,0069	0,53	0,172015	0,8613	0,4227
0,04	0,000926	0,0054	0,0105	0,54	0,176995	0,8922	0,4327
0,05	0,001499	0,0084	0,0147	0,55	0,182371	0,9242	0,4426
0,06	0,002207	0,0121	0,0192	0,56	0,187830	0,9568	0,4526
0,07	0,003076	0,0165	0,0242	0,57	0,193348	0,9894	0,4625
0,08	0,004045	0,0215	0,0294	0,58	0,198867	1,0230	0,4724
0,09	0,005216	0,0271	0,0350	0,59	0,203982	1,0572	0,4822
0,10	0,006501	0,0334	0,0409	0,60	0,209635	1,0915	0,4920
0,11	0,007941	0,0404	0,0470	0,61	0,214817	1,1268	0,5018
0,12	0,009556	0,0471	0,0534	0,62	0,219931	1,1627	0,5115
0,13	0,011306	0,0561	0,0600	0,63	0,225181	1,1991	0,5212
0,14	0,013123	0,0649	0,0668	0,64	0,230363	1,2361	0,5308
0,15	0,015142	0,0744	0,0739	0,65	0,235612	1,2792	0,5404
0,16	0,017296	0,0845	0,0811	0,66	0,240861	1,3118	0,5499
0,17	0,019584	0,0952	0,0885	0,67	0,246178	1,3504	0,5594
0,18	0,022007	0,1064	0,0961	0,68	0,250821	1,3902	0,5687
0,19	0,024631	0,1184	0,1039	0,69	0,256071	1,4305	0,5780
0,20	0,027257	0,1309	0,1118	0,70	0,260714	1,4719	0,5872
0,21	0,030015	0,1440	0,1199	0,71	0,266031	1,5133	0,5964
0,22	0,033044	0,1577	0,1281	0,72	0,270607	1,5563	0,6054
0,23	0,036139	0,1720	0,1365	0,73	0,275251	1,5999	0,6143
0,24	0,039437	0,1869	0,1449	0,74	0,279760	1,6441	0,6231
0,25	0,042667	0,2024	0,1535	0,75	0,284403	1,6899	0,6319
0,26	0,046099	0,2185	0,1623	0,76	0,288239	1,7363	0,6405
0,27	0,049801	0,2351	0,1711	0,77	0,292681	1,7838	0,6489
0,28	0,053300	0,2524	0,1800	0,78	0,297123	1,8329	0,6573
0,29	0,057070	0,2701	0,1890	0,79	0,300824	1,8832	0,6655
0,30	0,061040	0,2887	0,1982	0,80	0,304458	1,9351	0,6736
0,31	0,065145	0,3075	0,2074	0,81	0,308092	1,9886	0,6815
0,32	0,069115	0,3268	0,2167	0,82	0,311592	2,0438	0,6893
0,33	0,073220	0,3467	0,2260	0,83	0,315024	2,1012	0,6969
0,34	0,077730	0,3677	0,2355	0,84	0,318381	2,1609	0,7043
0,35	0,082104	0,3887	0,2450	0,85	0,320871	2,2238	0,7115
0,36	0,086343	0,4102	0,2546	0,86	0,324109	2,2895	0,7186
0,37	0,090852	0,4328	0,2642	0,87	0,326465	2,3585	0,7254
0,38	0,095631	0,4554	0,2739	0,88	0,328686	2,4325	0,7320
0,39	0,100140	0,4787	0,2836	0,89	0,330839	2,5114	0,7384
0,40	0,105053	0,5024	0,2934	0,90	0,332118	2,5948	0,7445
0,41	0,109764	0,5272	0,3032	0,95	0,333195	2,6887	0,7504
0,42	0,114542	0,5521	0,3130	0,92	0,334204	2,7938	0,7560
0,43	0,119791	0,5775	0,3229	0,93	0,334944	2,9095	0,7612
0,44	0,124771	0,6034	0,3328	0,94	0,335071	3,0475	0,7662
0,45	0,129953	0,6299	0,3428	0,95	0,334473	3,2076	0,7707
0,46	0,134731	0,6570	0,3527	0,96	0,334002	3,4119	0,7749
0,47	0,139981	0,6846	0,3627	0,97	0,332254	3,6824	0,7785
0,48	0,145365	0,6962	0,3727	0,98	0,329817	4,0910	0,7817
0,49	0,150412	0,7415	0,3827	0,99	0,324648	4,8749	0,7841
0,50	0,155930	0,7707	0,3927	1,00	0,311794	—	0,7854

$$k = C_k \frac{D^{5/3}}{m}$$

$$Q_c = C_q D^{5/2}$$

$$A = C_a D^2$$

⁴⁷ UdelAR – FI – IMFIA, E. Lorenzo, D. Bellón & G. Lopez, 2009.





MECÁNICA DE ROCAS

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

La caracterización de las rocas y de los macizos rocosos y el estudio de su comportamiento mecánico y deformacional son complejos debido a la gran variabilidad de características y propiedades que presentan y al elevado número de factores que los condicionan.⁴⁸

1. REPTACIÓN (CREEPING).

La reptación (*creeping*), consiste en el lento descenso de los derrubios del suelo por las pendientes, cuando aumentan el volumen por efecto de las aguas pluviales o las heladas. Este efecto se da en presencia de agua en cualquier tipo de clima.

La reptación se reconoce por la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles. La velocidad se excita en épocas de invierno aunque en las zonas más profundas ésta es más uniforme. Hay reptación de suelos en zonas interfluviales (material inconsolidado y húmedo), reptación de rocas en capas inclinadas hacia valles y reptación de taludes (fragmentos de roca acumulados en cantiles).

Como medidas de mitigación y prevención, se deben realizar procesos de reforestación y estabilización de suelos (terrazas), así mismo evitar la deforestación y quema de pastizales en pendientes pronunciadas. En las zonas bajas se debe prohibir la ubicación de viviendas o construcción de cualquier obra civil **Tabla 6-1.**

GRUPO DE PROCESOS	TIPO DE PROCESO	CARACTERÍSTICAS	CONDICIONANTES
Reptación (Creeping)	Reptación Simple	Los diluvios en una vertiente resbalan por la ladera hasta la base del talud generando derrubios de gravedad ordenando los detritos según su granulometría, masa y competencia.	Fuerte intemperización, pendientes moderadas a fuertes.
	Reptación Sísmica	Las rocas pobremente cohesionadas de una vertiente in situ se movilizan hacia la base del talud debido a movimientos sísmicos, generando derrubios sin orden de granulometría.	Fuerte intemperización, pendientes moderadas a fuertes, zonas sísmicas.
	Reptación Mixta		

Tabla 6-1: Características y Condicionantes de la Reptación (Creeping)

2. DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o roca que se deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas, al superarse la resistencia al corte de estas superficies, la masa

⁴⁸ Luis González de Vallejo, Ingeniería Geológica, Cap. III
Liliana Alexandra Veintimilla González



generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes. En ocasiones, cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio de la ladera, la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas, dando lugar a un flujo. Los deslizamientos también pueden ocasionar avalanchas rocosas.

En los deslizamientos traslacionales la rotura tiene lugar a favor de superficies planas de debilidad preexistentes; en ocasiones, el plano de rotura es una fina capa de material arcilloso entre estratos de mayor competencia. Pueden darse en suelos y rocas, y las masas que deslizan en ocasiones son bloques rectangulares previamente independizados por discontinuidades o por grietas de tracción.⁴⁹

PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CORRECCIÓN

Los métodos comúnmente empleados en deslizamientos de tierras:

- Relocalización.
- Abatimiento de taludes.
- Empleo de bermas.
- Remoción de material y en la cabeza de la falla.
- Drenaje superficial y sellado de grietas.
- Modificación de rasante.
- Empleo de contrapesos.
- Muros de retención.
- Pilotaje.
- Uso de explosivos.

Los contrapesos, los muros y el empleo de explosivos deben circunscribirse a deslizamientos pequeños; muy pocas veces han sido efectivos en grandes Pedraplenes y muros. El subdrenaje, constituye uno de los tipos de solución más efectivos y muchas veces más rápidos, económicos y elegantes para deslizamientos de tierras.

La **Tabla 6-2**, muestra la diferencia entre reptación y deslizamiento:

Reptación	Deslizamiento
Movimiento lento o progresivo que se presenta cuando se supera la resistencia fundamental del material que es la resistencia a fluir.	Se inicia repentinamente cuando los esfuerzos de corte superan la resistencia interna al corte del material.
Sin superficie de falla. El movimiento es viscoso hacia la superficie y varía a plástico hacia la profundidad.	El material se desplaza sobre la superficie de falla. Sin zona de transición (importante) al flujo plástico.
Se debe a la gravedad combinada con otros fenómenos.	Puede ser continuo o intermitente y se explica sólo por acción de la gravedad.

Tabla 6-2: Diferencias entre Reptación y Deslizamiento.⁵⁰

3. ESTABILIDAD DE TALUDES

a. RELLENOS

Se entiende por relleno todo depósito de materiales de aportes de tierras procedentes de otras obras. También puede entenderse por relleno todo depósito

⁴⁹ Luis González de Vallejo, Ingeniería Geológica, Cap. XIV.

⁵⁰ J. Montero, Estabilidad de Taludes, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1995.



de escombros de demoliciones, vertederos industriales, basureros, etc., para alcanzar los niveles del proyecto, para mejorar o sustituir material natural inestable, para ocultar y confinar cimentaciones o cualquier otra excavación que lo requiera, aunque como es lógico jamás pueden ser considerados como terrenos aptos para la ubicación de cualquier tipo de construcción.

Los rellenos se clasifican de diferentes maneras:

- **Por el grado de compactación:**

Relleno a volteo. Cuando el material que se usa para el relleno se coloca en el sitio sin compactación alguna.

Relleno compactado. Cuando al material que se usa para rellenar se le aplica un proceso para aumentar su peso volumétrico (eliminación de vacíos) con el objeto de incrementar la resistencia y disminuir la compresibilidad.

- **Por el tipo de material:**

Material producto de la excavación. En ocasiones cuando el material sobre el cual se construye y sobre el que se aloja el sistema de cimentación es resistente, estable y presenta gran capacidad de cohesión al aplicar la compactación, además de no estar contaminado, se utiliza para rellenar.

Material de cantera. Cuando las características del suelo no son apropiadas para usarse como material de relleno se sustituirá por otro proveniente de un banco de préstamo. Entendiéndose por banco o cantera de préstamo el sitio de preferencia cercano a la obra y formado por material inerte, libre de contaminación y de granulometría uniforme que permita alcanzar el nivel óptimo de humedad para el proceso de compactación.

Relleno Compactado:

El objeto de un relleno compactado es densificar el suelo y se puede hacer aplicando carga con un peso estático; mediante golpes con un objeto; por vibración; por medios manuales (pisón de mano) o por medios mecánicos ligeros o pesados (vibro apisonador, placa vibratoria, aplanadoras o rodillos).

La compactación que debe obtenerse en los rellenos se especifica como un porcentaje mínimo del peso volumétrico máximo con humedad óptima que se determina en pruebas de laboratorio.

	DENSIDAD EN SECO (Kg/m3)	COMPACTACIÓN RECOMENDADA % (Prueba Proctor)
1	Menos de 1400	-
2	Desde 1400 hasta 1600	95 - 100
3	Desde 1600 hasta 1760	95 – 100
4	Desde 1760 hasta 1920	90 - 95
5	Desde 1920 hasta 2080	90 - 95
6	Más de 2080	90 - 95

Tabla 6-3: Compactaciones recomendadas para rellenos secos sin previa compactación.

b. GEOTEXTILES

El geotextil es un material textil plano, permeable, de apreciada deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas, que se emplea para aplicaciones geotécnicas. **Figura 6-1.**

Casi todas sus aplicaciones se basan en su capacidad de filtro, es decir, dejar pasar el agua y retener los finos. También es importante la alta resistencia de perforación y el espesor de algunos geotextiles en la utilización como protección de geomembranas.

Sus principales aplicaciones son: el control de la erosión, el refuerzo de suelos, la filtración y separación entre capas de materiales, el proporcionar una capa drenante y la protección de geomembranas.

Los geotextiles se caracterizan por desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocadas en el terreno, entre ellas están:

- **Filtración:** el geotextil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.
- **Separación:** separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita la mezcla de materiales.
- **Drenaje:** el geotextil conduce y evacua líquidos (agua) e incluso gases en su mismo plano.
- **Refuerzo:** aumenta la capacidad portante (resistencia al corte) del suelo y la estabilidad en la construcción.
- **Protección:** el geotextil protege a membranas y otros productos relacionados contra ataques físicos (perforaciones y desgaste).

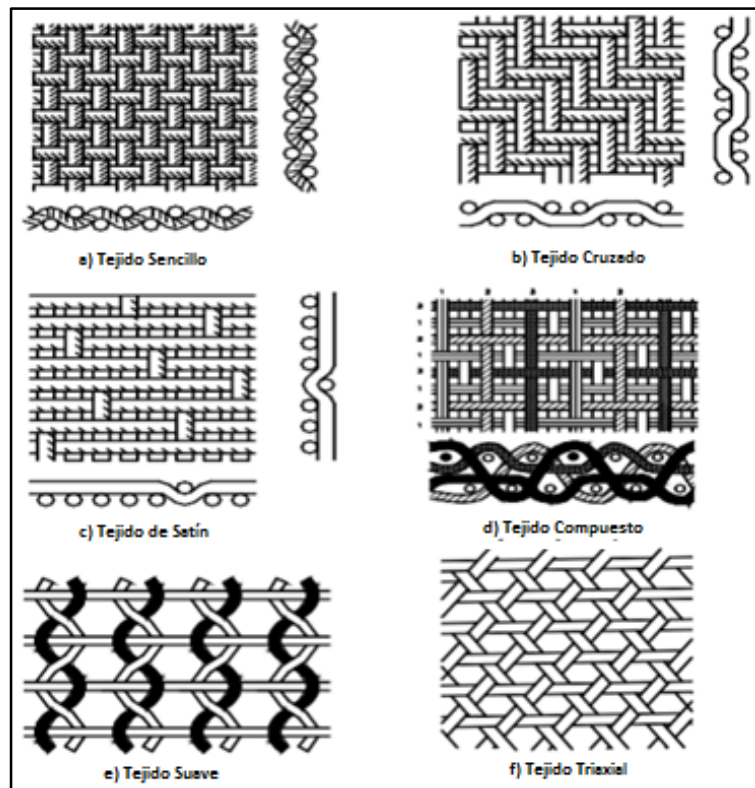


Figura 6-1: Tipos de tejidos en geotextiles⁵¹

⁵¹Ing. Jaime Suarez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Cap. XIII: Control de aguas superficiales y subterráneas, 1998.

c. **BIOMALLAS O BIOMANTAS.**

La biomanta es un geosintético también llamado ECB por sus siglas en inglés, tiene como objetivo el refuerzo del suelo mediante fibras naturales 100% biodegradables en periodos, según los requerimientos y su ubicación. Este refuerzo consiste en la vegetación de suelos con poca o gran cantidad de humedad.

Las aplicaciones de las biomantas son para:

- Control de erosión.
- Revegetación en zonas de alta y baja humedad.



Figura 6-2: Biomantas

Las biomallas o biomantas son mantas orgánicas que se caracterizan por poseer estructura plana y ser menor su estructura que los huecos que forma (*Figura 6-2*).

Se componen de fibras de paja, yute o coco, (materiales orgánicos) las cuales varían el tiempo de descomposición de la malla por lo que deben utilizarse en tratamientos a corto o mediano plazo.

Funciona ejerciendo tracción en los taludes que se instala, de esta manera permite hacer de sostén o refuerzo estructural (*Figura 6-3*).



Figura 6-3: Biomanta en talud de autopista Cuenca-Azogues.

d. **GEOMALLAS**

Se define geomalla volumétrica como una malla de polietileno y polipropileno de alta resistencia que actúa como filtro (deja pasar el agua pero no los finos) de la capa superficial del suelo, evitando el lavado de los finos e impidiendo los efectos de la erosión, a la vez que favorece la revegetación del talud de forma natural.



Se utiliza como refuerzo de:

- Taludes (proporciona una baja deformación, una reducción de impacto visual, una integración paisajística con la opción de acabado vegetalizado, todo ello con un coste de instalación más competitivo);
- Asfalto en carreteras y aeropuertos (retarda la aparición de fisuras y grietas);
- En vías férreas (en las cimentaciones sobre pilotes, evita grandes movimientos de tierras y anula los tiempos de espera para el asentamiento y consolidación de los terraplenes);
- Subsuelos (evita deformaciones a largo plazo en suelos blandos y permite la construcción de terraplenes al distribuir uniformemente las cargas);
- En vertederos (mejora la barrera mineral y permite aprovechar al máximo el espacio disponible, construyendo taludes con pendientes muy altas).

Las ventajas de este sistema son:

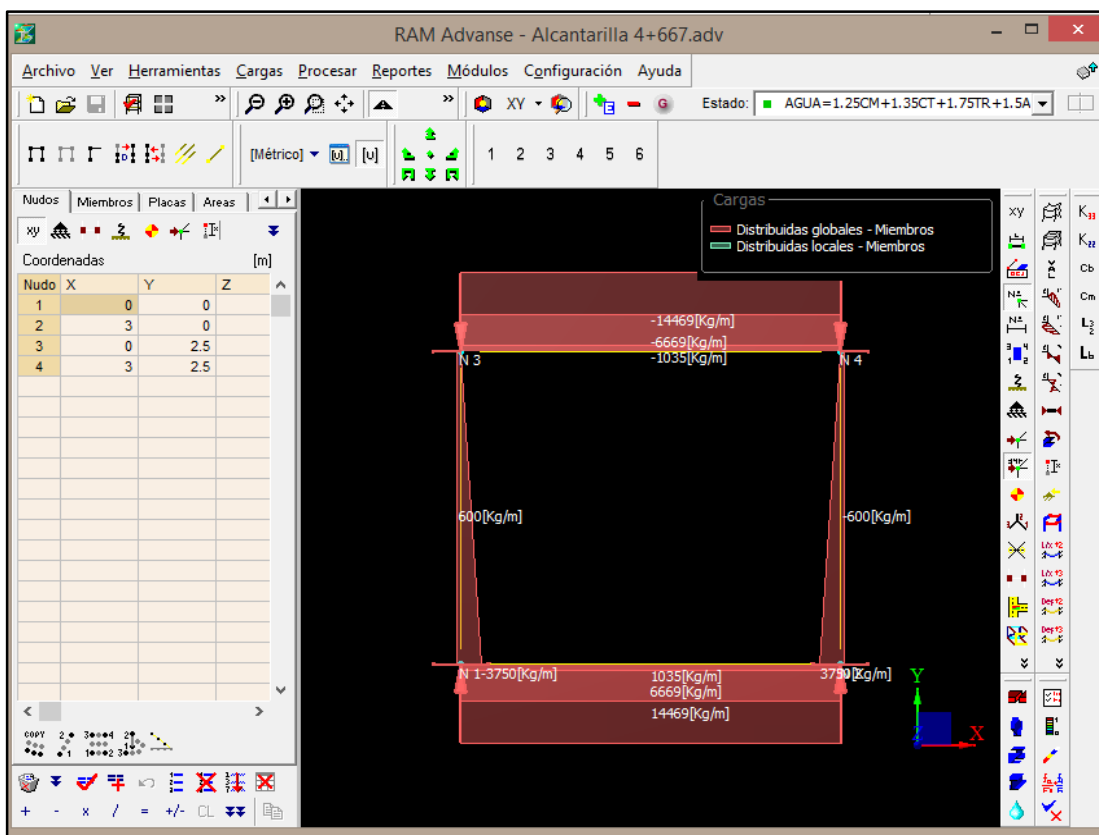
- Solución que evita el proceso de erosión, favoreciendo la revegetación.
- Reducción de la cantidad de tierra vegetal necesaria para la revegetación.
- Ejecución rápida.
- Fácil adaptación a todo tipo de terrenos.⁵²

⁵² Obra Pública, Definición, función y clasificación de los geotextiles, arte y cemento.

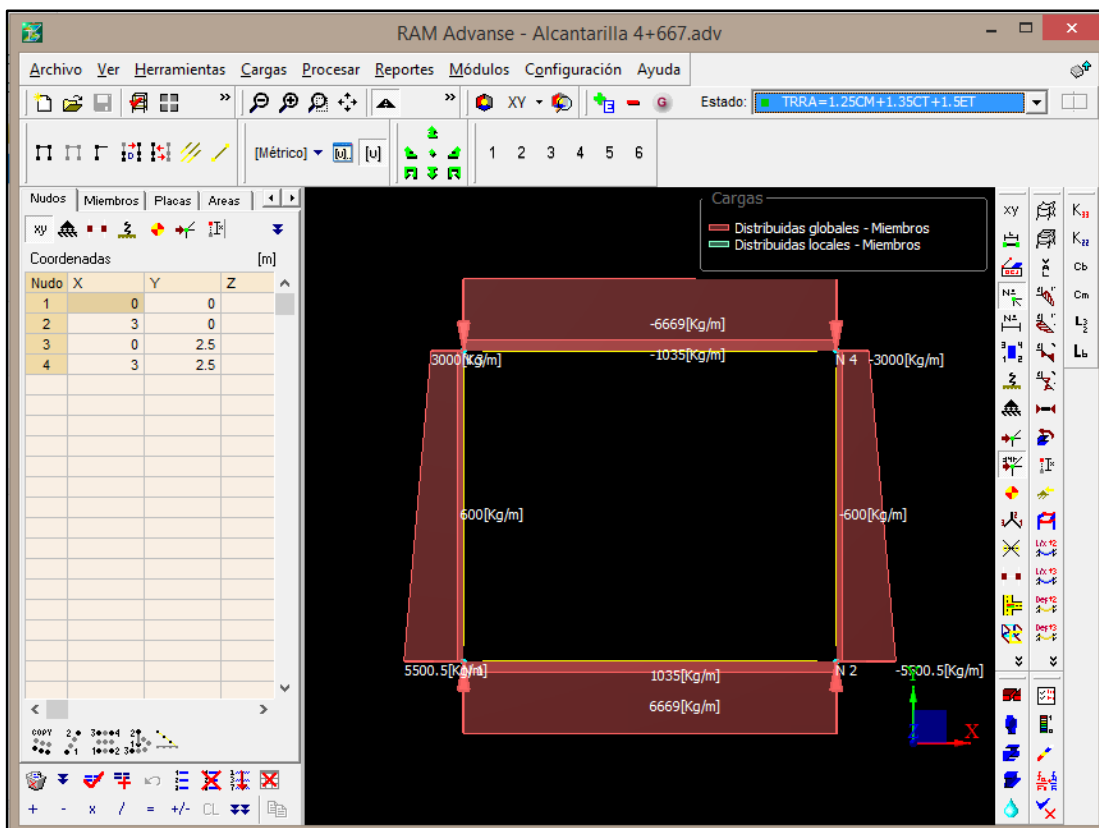


Anexo 10: Diagramas Estructura Modelada en RAM Advance

$$AGUA = 1.25CM + 1.35CT + 1.75TR + 1.5AG$$

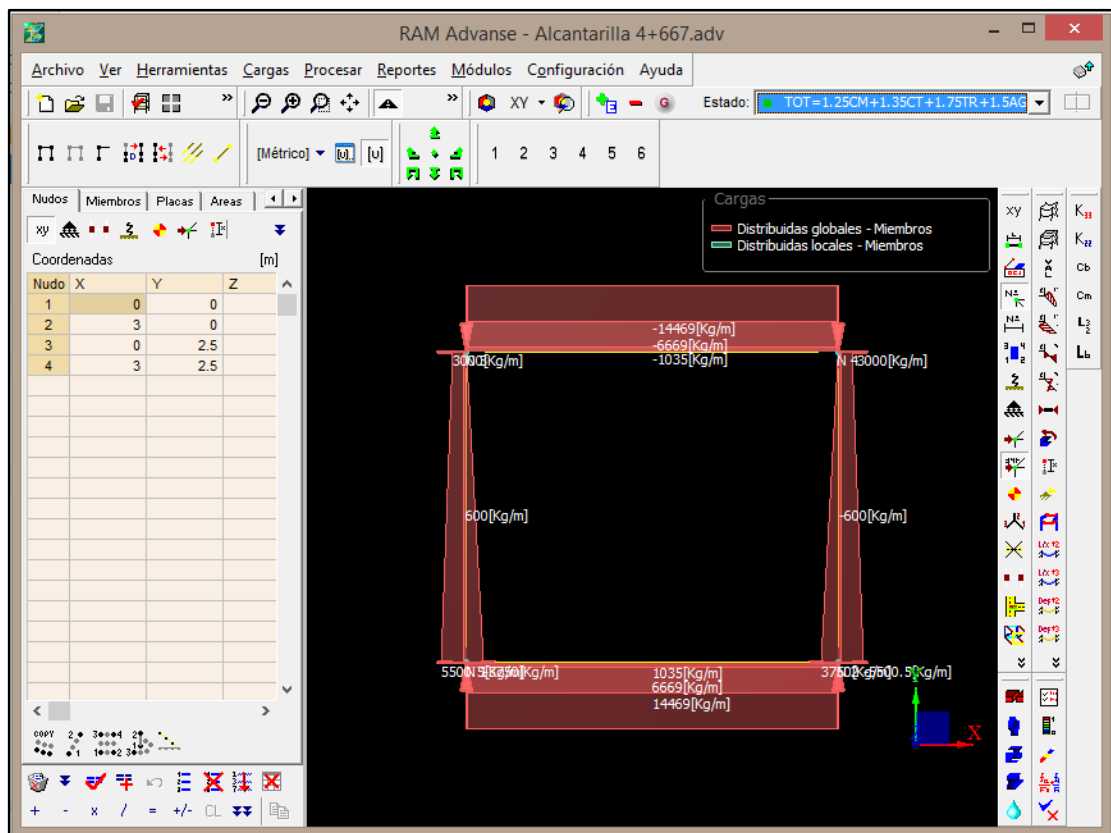


$$TRRA = 1.25CM + 1.5ET + 1.35CT$$



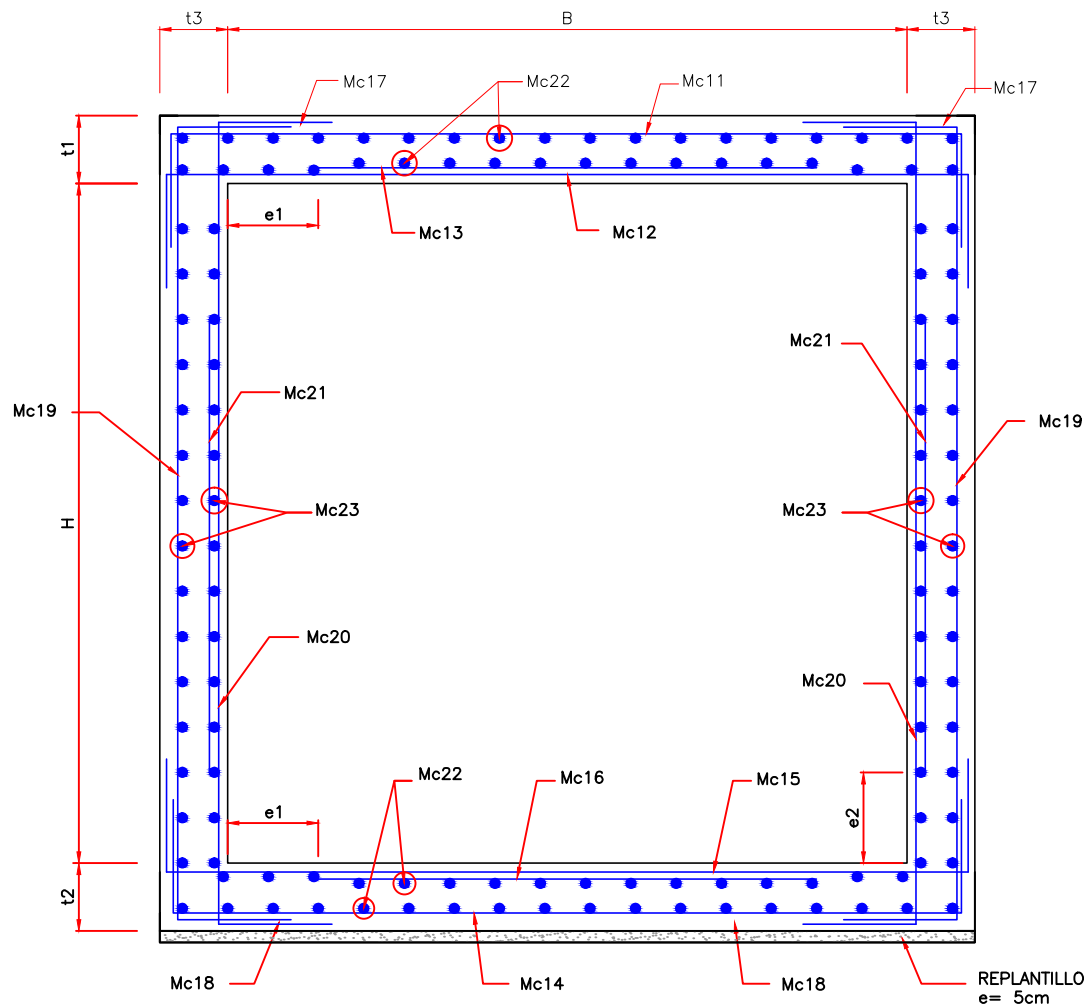


$$TOT = 1.25CM + 1.35CT + 1.75TR + 1.5ET + 1.5AG$$





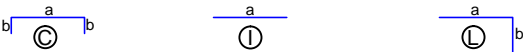
PLANOS



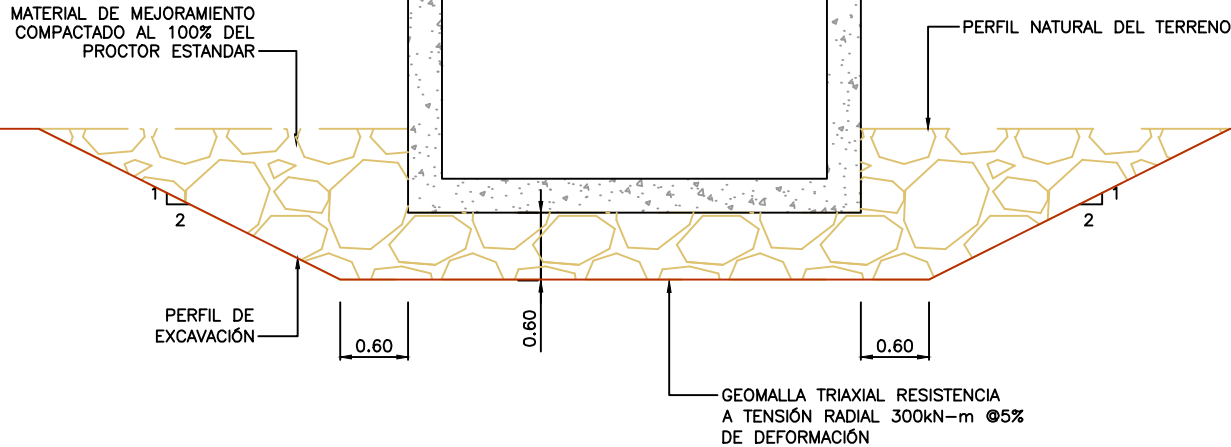
DETALLE DE LAS ALCANTARILLAS													
B (m)	H (m)	Relleno (m)	Est. Suelo (t/m2)	t1 (m)	t2 (m)	t3 (m)	e1 (m)	e2 (m)	Mc	Varillas	Tipo	a (m)	b (m)
1.0	1.0	0.6	15	0.20	0.20	0.20			11	Ø10 @ 0.20	C	1.30	0.20
									12	Ø12 @ 0.20	I	1.30	
									14	Ø10 @ 0.20	C	1.30	0.20
									15	Ø12 @ 0.20	I	1.30	
									19	Ø10 @ 0.20	C	1.30	0.20
									20	Ø10 @ 0.20	I	1.30	
									22	Ø10 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø10 @ 0.20	I	VARIA	
1.8	1.8	5.0	24	0.40	0.40	0.40	0.20		11	Ø14 @ 0.20	C	2.70	0.25
a	a	a							12	Ø12 @ 0.20	I	2.60	
2.0	2.0	10.7							13	Ø10 @ 0.20	I	1.60	
									14	Ø14 @ 0.20	C	2.70	0.25
									15	Ø12 @ 0.20	I	2.60	
									16	Ø10 @ 0.20	I	1.60	
									19	Ø14 @ 0.20	C	2.70	0.25
									20	Ø14 @ 0.20	I	2.60	
									22	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
									24	Ø12 @ 0.20	C	0.60	0.20
2.5	2.0	2.0	9	0.25	0.25	0.20			11	Ø12 @ 0.20	C	2.80	0.20
									12	Ø14 @ 0.20	I	2.80	
									14	Ø12 @ 0.20	C	2.80	0.20
									15	Ø14 @ 0.20	I	2.80	
									19	Ø14 @ 0.20	C	2.40	0.20
									20	Ø10 @ 0.20	I	2.30	
									22	Ø10 @ 0.25	I	VARIA	
									23	Ø10 @ 0.25	I	VARIA	
2.5	2.5	12.4	32	0.60	0.60	0.50	0.15	0.40	11	Ø14 @ 0.20	C	3.40	0.25
									12	Ø14 @ 0.20	I	3.30	
									13	Ø10 @ 0.20	I	2.20	
									14	Ø14 @ 0.20	C	3.40	0.25
									15	Ø14 @ 0.20	I	3.30	
									16	Ø10 @ 0.20	I	2.20	
									17	Ø10 @ 0.20	L	1.20	1.20
									18	Ø10 @ 0.20	L	1.20	1.20
									19	Ø12 @ 0.20	C	3.60	0.20
									20	Ø12 @ 0.20	I	3.50	
									21	Ø10 @ 0.20	I	1.70	
									22	Ø14 @ 0.25	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
2.5	2.5	15.0	39	0.65	0.65	0.50	0.10	0.30	11	Ø14 @ 0.20	C	3.40	0.25
		a							12	Ø14 @ 0.20	I	3.30	
		16.0							13	Ø12 @ 0.20	I	2.30	
									14	Ø14 @ 0.20	C	3.40	0.25
									15	Ø14 @ 0.20	I	3.30	
									16	Ø12 @ 0.20	I	2.30	
									17	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.20
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.20
									19	Ø12 @ 0.20	C	3.70	0.20
									20	Ø12 @ 0.20	I	3.60	
									21	Ø10 @ 0.20	I	1.90	
									22	Ø14 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
3.0	3.0	5.0	19	0.45	0.45	0.40	0.35	0.75	11	Ø12 @ 0.20	C	3.70	0.20
		a							12	Ø12 @ 0.20	I	3.60	
		6.4							13	Ø12 @ 0.20	I	2.30	
									14	Ø12 @ 0.20	C	3.70	0.20
									15	Ø12 @ 0.20	I	3.60	
									16	Ø12 @ 0.20	I	2.30	
									17	Ø10 @ 0.20	L	1.00	1.00
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.00	1.00
									19	Ø14 @ 0.20	C	3.80	0.25
									20	Ø12 @ 0.20	I	3.70	
									21	Ø10 @ 0.20	I	1.50	
									22	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.25	I	VARIA	

DETALLE DE LAS ALCANTARILLAS													
B (m)	H (m)	Relleno (m)	Est. Suelo (t/m2)	t1 (m)	t2 (m)	t3 (m)	e1 (m)	e2 (m)	Mc	Varillas	Tipo	a (m)	b (m)
3.0	3.0	15.7	36	0.70	0.70	0.55	0.10	0.40	11	Ø14 @ 0.20	C	4.00	0.25
									12	Ø14 @ 0.20	I	3.90	
									13	Ø14 @ 0.20	I	2.80	
									14	Ø14 @ 0.20	C	4.00	0.25
									15	Ø14 @ 0.20	I	3.90	
									16	Ø16 @ 0.20	I	2.80	
									17	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.40
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.40
									19	Ø16 @ 0.20	C	4.30	0.30
									20	Ø12 @ 0.20	I	4.20	
									21	Ø12 @ 0.20	I	2.20	
									22	Ø14 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
4.0	3.5	5.0	19	0.55	0.55	0.50	0.25	0.75	11	Ø12 @ 0.20	C	4.90	0.20
		a							12	Ø12 @ 0.20	I	4.80	
		6.1							13	Ø14 @ 0.20	I	3.50	
									14	Ø12 @ 0.20	C	4.90	0.20
									15	Ø12 @ 0.20	I	4.80	
									16	Ø16 @ 0.20	I	3.50	
									17	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.30
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.30
									19	Ø14 @ 0.20	C	4.50	0.25
									20	Ø12 @ 0.20	I	4.40	
									21	Ø10 @ 0.20	I	2.00	
									22	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	
4.0	4.0	2.7	13	0.40	0.40	0.35	0.65	1.00	11	Ø12 @ 0.20	C	4.60	0.20
									12	Ø12 @ 0.20	I	4.50	
									13	Ø10 @ 0.20	I	2.70	
									14	Ø12 @ 0.20	C	4.60	0.20
									15	Ø12 @ 0.20	I	4.50	
									16	Ø12 @ 0.20	I	2.70	
									17	Ø10 @ 0.20	L	1.20	1.20
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.20
									19	Ø14 @ 0.20	C	4.70	0.25
									20	Ø10 @ 0.20	I	4.60	
									21	Ø10 @ 0.20	I	2.00	
									22	Ø12 @ 0.25	I	VARIA	
									23	Ø10 @ 0.20	I	VARIA	
4.5	4.0	6.7	20	0.60	0.60	0.50	0.35	1.00	11	Ø14 @ 0.20	C	5.40	0.25
									12	Ø14 @ 0.20	I	5.30	
									13	Ø14 @ 0.20	I	3.80	
									14	Ø14 @ 0.20	C	5.40	0.25
									15	Ø14 @ 0.20	I	5.30	
									16	Ø16 @ 0.20	I	3.80	
									17	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.30
									18	Ø12 @ 0.20	L	1.20	1.30
									19	Ø16 @ 0.20	C	5.10	0.30
									20	Ø12 @ 0.20	I	5.00	
									21	Ø10 @ 0.20	I	2.00	
									22	Ø14 @ 0.25	I	VARIA	
									23	Ø12 @ 0.20	I	VARIA	

TIPO DE DOBLADO



RESUMEN DE MATERIALES									
B (m)	H (m)	Relleno (m)	t1 (m)	t2 (m)	t3 (m)	Acero (kg/m)	V. Hormigón (m3/m)		
1.00	1.00	0.60	0.20	0.20	0.20	69.13	0.96		
2.00	2.00	10.70	0.40	0.40	0.40	216.4	3.84		
2.50	2.00	2.00	0.25	0.25	0.20	146.3	2.25		
2.50	2.50	12.40	0.60	0.60	0.50	301.6	6.70		
2.50	2.50	15.00	0.65	0.65	0.50	336.8	7.05		
3.00	3.00	5.00	0.45	0.45	0.40	287.1	5.82		
3.00	3.00	15.70	0.70	0.70	0.55	428.2	6.70		
4.00	3.50	5.00	0.55	0.55	0.50	406.4	9.00		
4.00	4.00	2.65	0.40	0.40	0.35	286.0	6.56		
4.50	4.00	6.70	0.60	0.60	0.50	506.6	10.60		

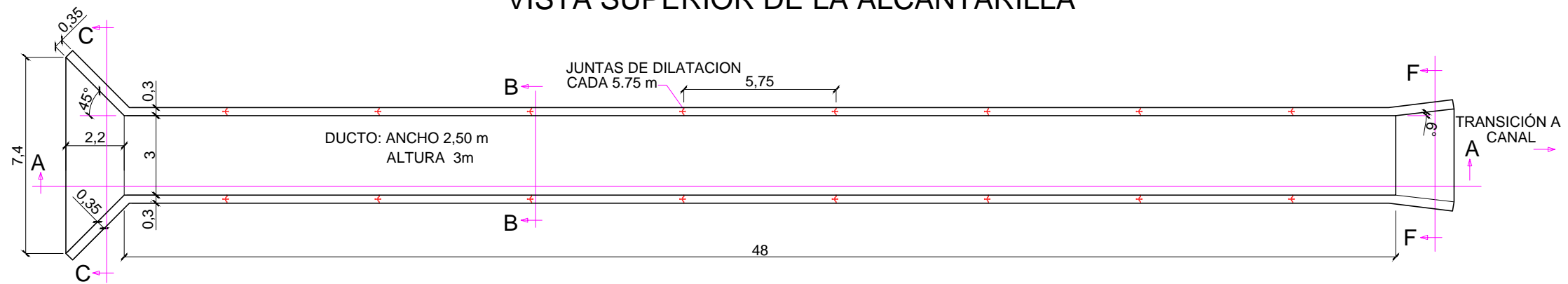


UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ALCANTARILLA TIPO CAJÓN
DETALLE DE LOS REFUERZOS

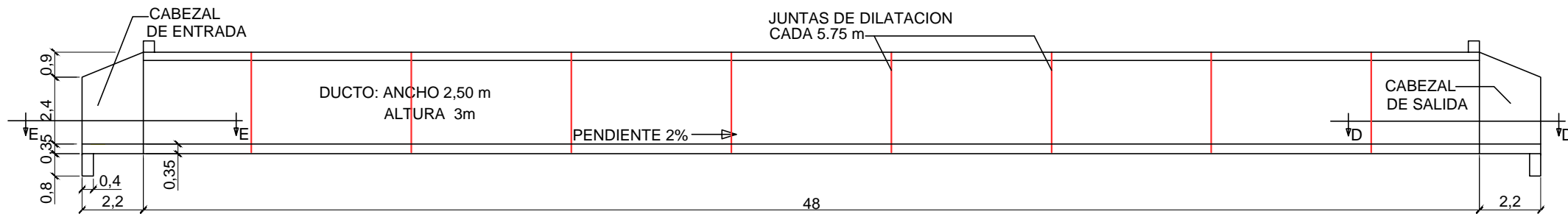
ESCALA:	FECHA:	REALIZADO POR:	FUENTE :	H O J A:
INDICADA	CUENCA, MARZO DE 2015	LILIANA ALEXANDRA VEINTIMILLA GONZALEZ		Nº: 1 6

VISTA SUPERIOR DE LA ALCANTARILLA



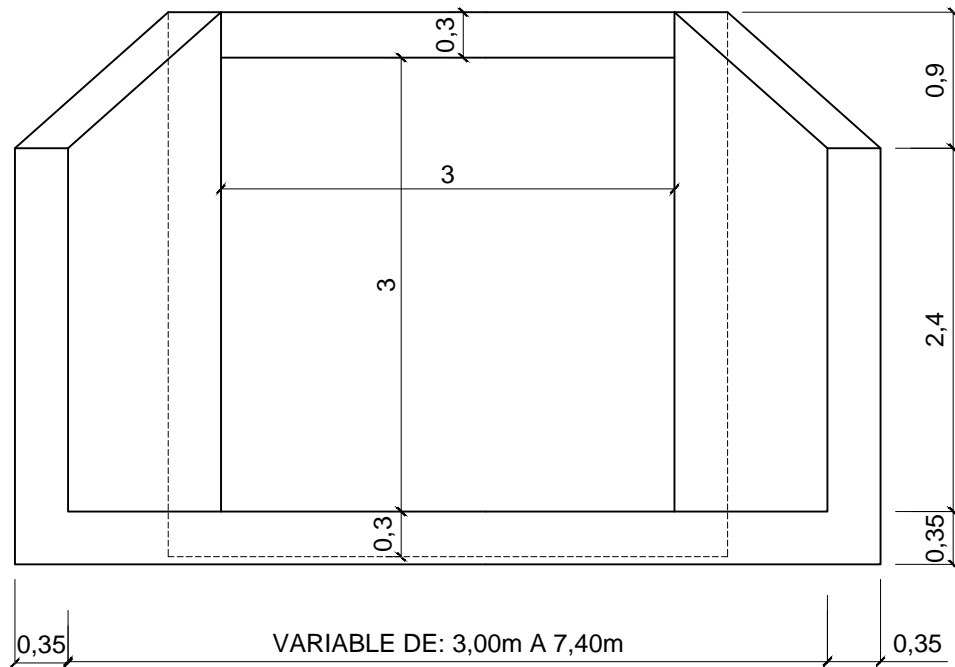
ESCALA 1:200

VISTA LATERAL DE LA ALCANTARILLA



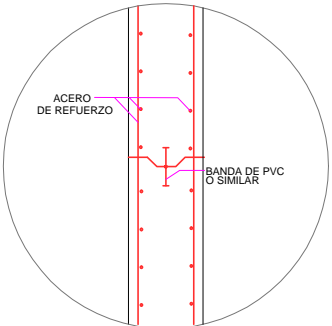
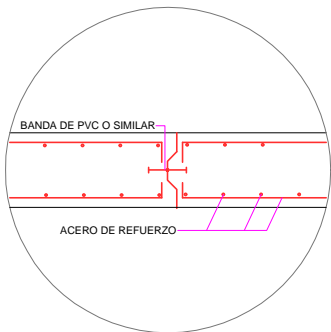
ESCALA 1:200

GEOMETRÍA DE ALCANTARILLA
ESCALA 1:50



JUNTAS DE DILATACION

JUNTAS DE CONSTRUCCION



ESC 1:40

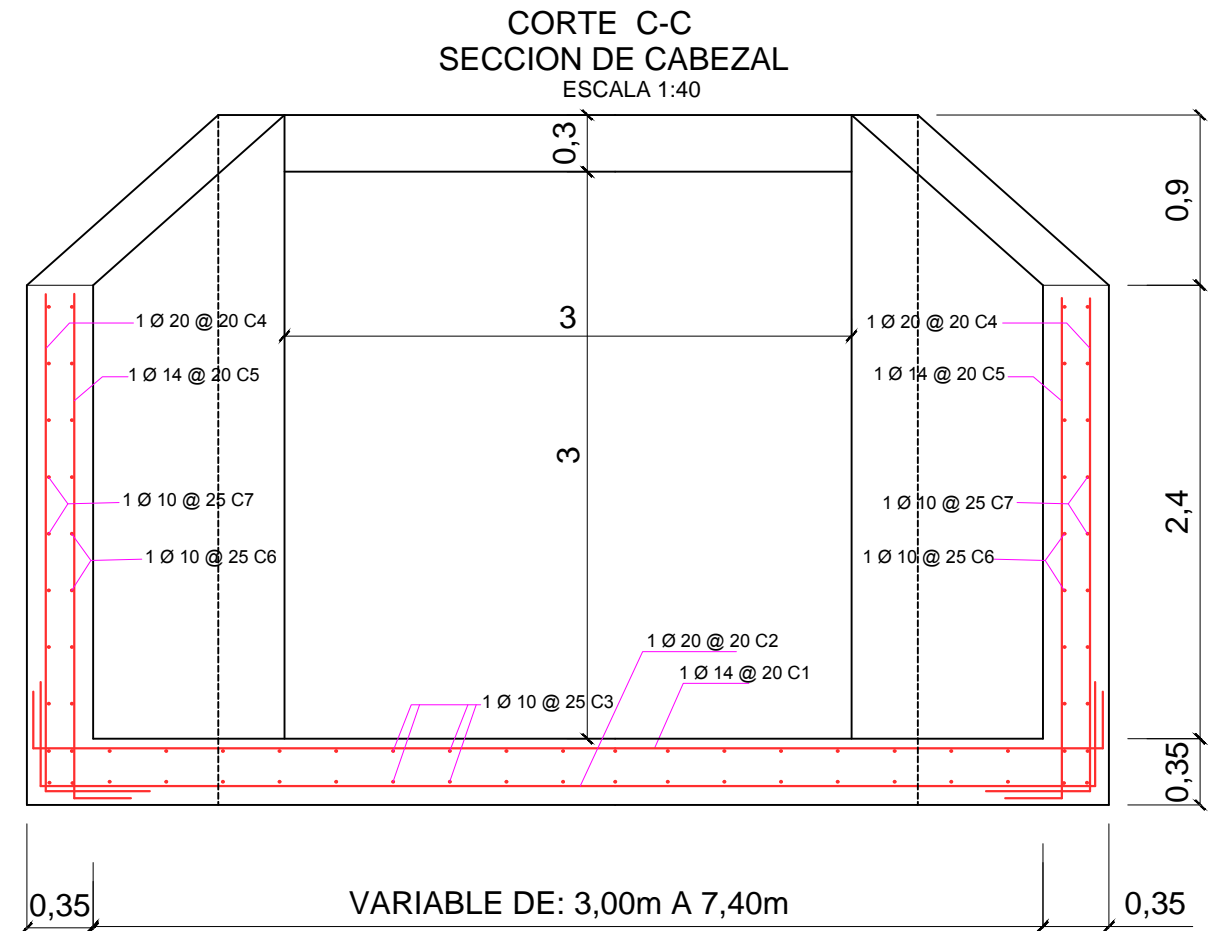
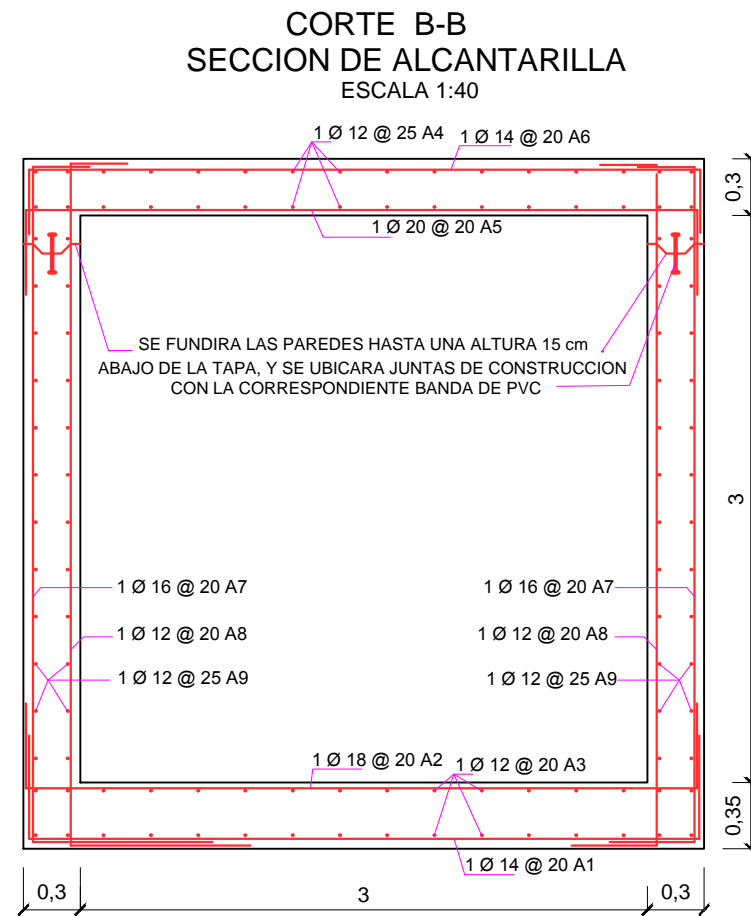
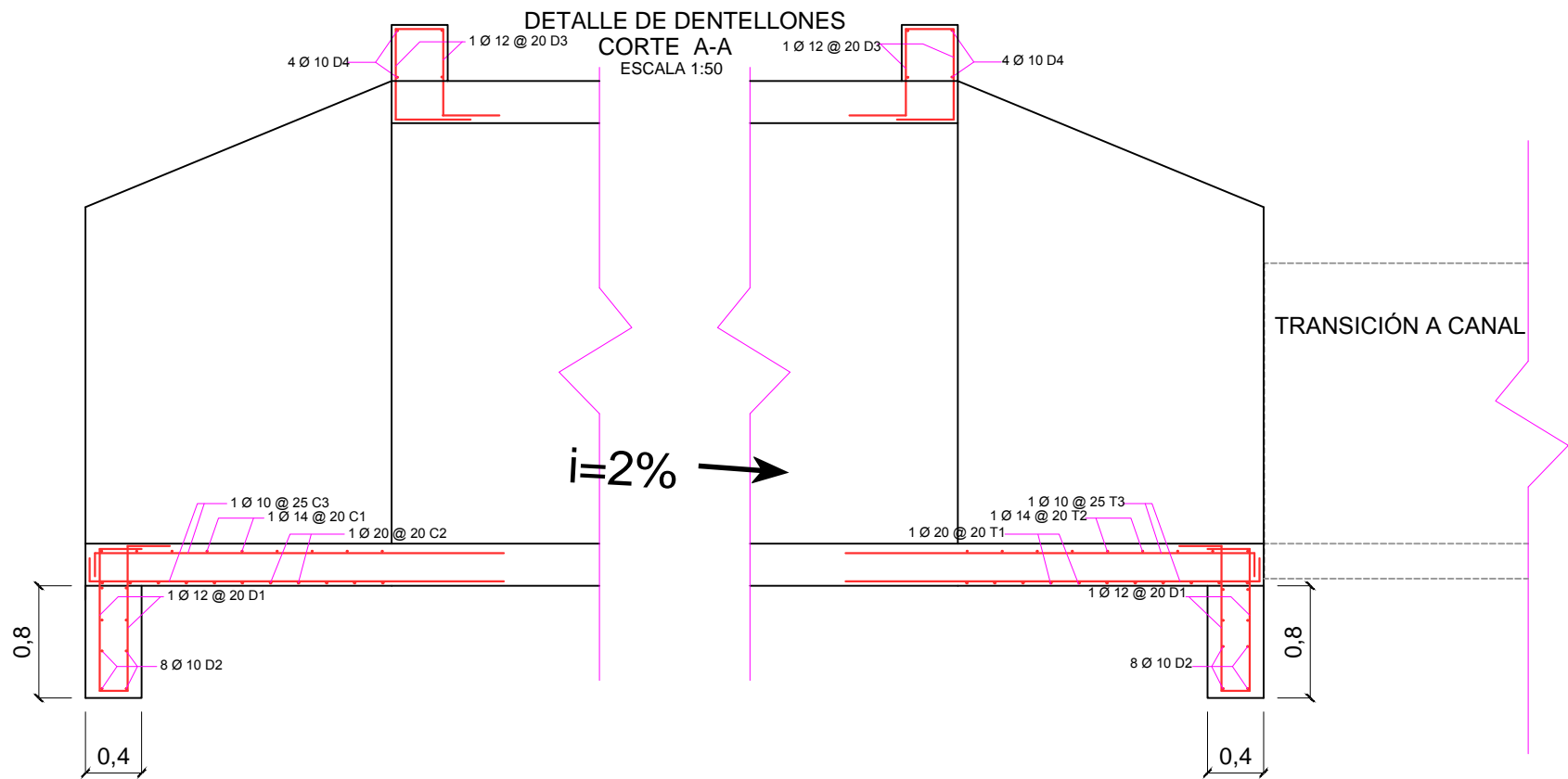
NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
2. EL RECURRIMIENTO LIBRE MÍNIMO DE LAS VARILLAS SERÁ 5cm.
3. SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ A LOS 28 DÍAS Y $f_t=140 \text{ Kg/cm}^2$ EN REPLANTILLOS.
4. SE USARÁ ACERO DE REFUERZO ASTM-A-615 (GRADO 60), $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$.
5. EL SUELO DEBERÁ TENER UN ESFUERZO ADMISIBLE DE 2 kg/cm^2 . EN CASO CONTRARIO SERÁ NECESARIO UNA REPOSICIÓN DEL SUELO.

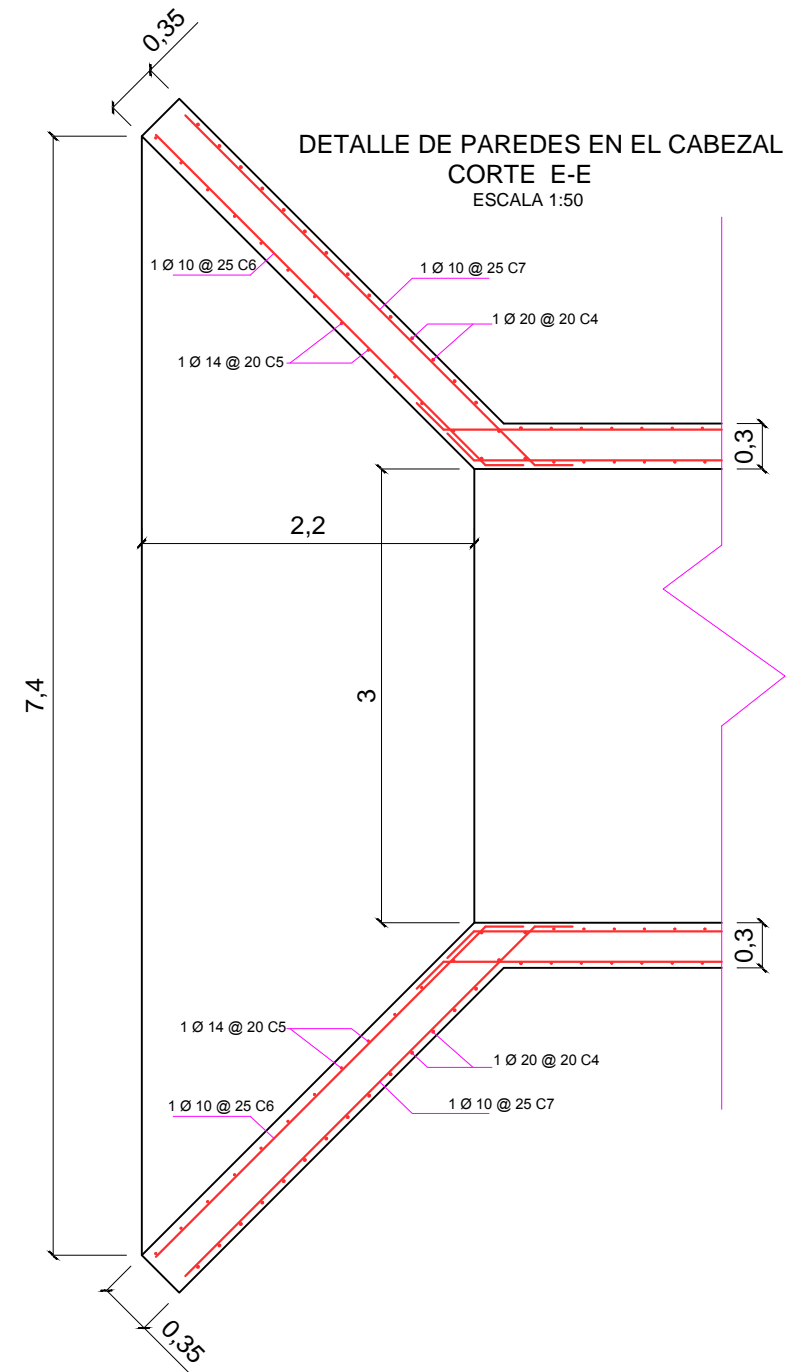
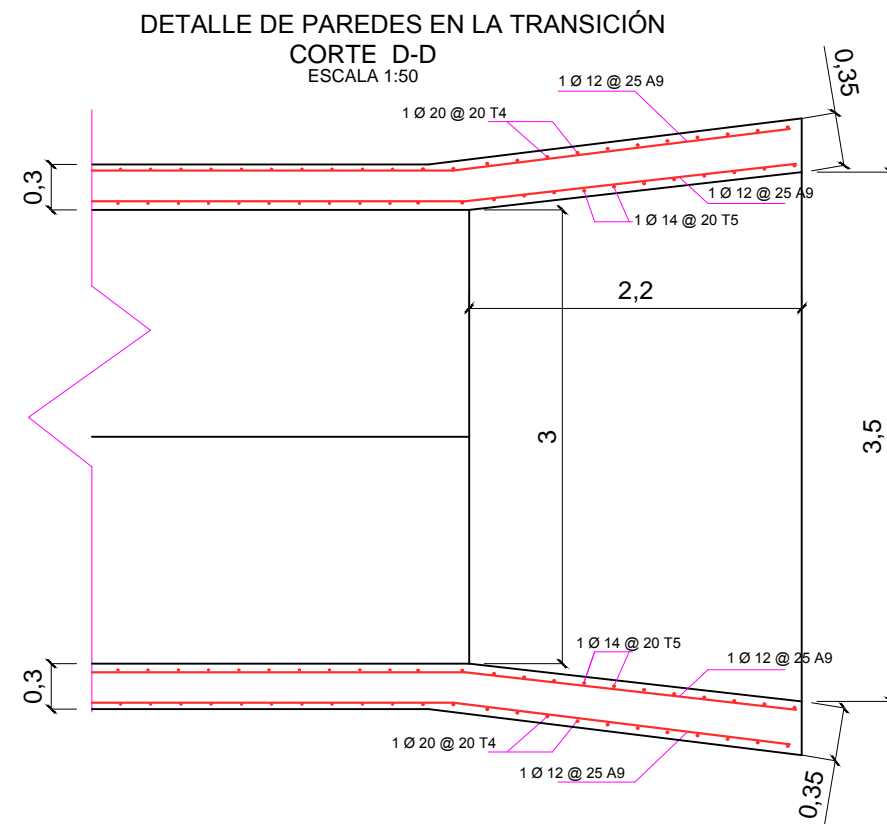
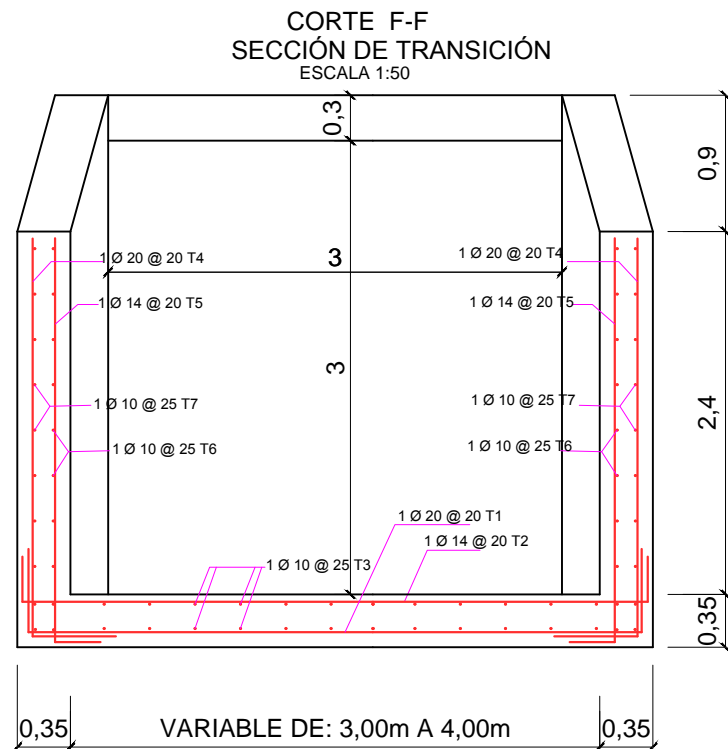
UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ALCANTARILLA TIPO CAJÓN
VISTAS DE LA ALCANTARILLA

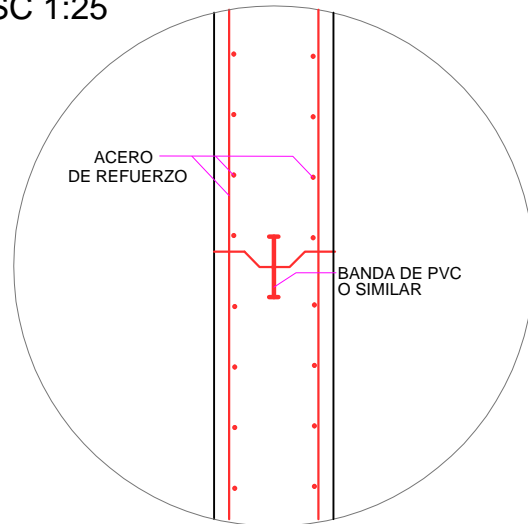
ESCALA:	FECHA:	REALIZADO POR:	FUENTE :	H O J A:
INDICADA	CUENCA, MARZO DE 2015	LILIANA ALEXANDRA VEINTIMILLA GONZALEZ		Nº : 2 6



PLANILLA DE ACERO PARA ALCANTARILLA, CABEZAL, TRANSICION										
MC	TIPO	DIA	LONGITUD			Traslape	# trasl.	TOTAL	CANTIDAD	PESO Kg
			A	B	C					
ALCANTARILLA										
A1	C	14	30	350	30			410	241	1,194.04
A2	C	18	45	350	45			440	241	2,118.24
A3	I	12	4800			70	3	5010	38	1,690.22
A4	C	12	4800			70	3	5010	28	1,245.43
A5	C	20	50	350	50			450	241	2,674.55
A6	C	14	30	350	30			410	241	1,194.04
A7	C	16	40	355	40			435	482	3,309.31
A8	C	12	25	355	25			405	482	1,733.11
A9	I	12	5010			70	4	5290	48	2,254.34
DENTELLONES									0	
D1	W	12	36	105	25			296	70	183.96
D2	C	10	15	680	15			710	16	70.04
D3	W	12	20	60	25			190	32	53.98
D4	C	10	15	290	15			320	8	15.78
CABEZAL									0	
C1	C	14	30	610	30			670	12	97.16 *
C2	C	20	55	610	55			720	12	213.08 *
C3	L	10	15	280				295	60	109.13 *
C4	L	20	55	305	55			415	16	163.75 *
C5	L	14	30	305				335	16	64.77 *
C6	L	10	20	300				320	24	47.35 *
C7	L	10	20	330	20			370	24	54.75 *
TRANSICION									0	
T1	C	20	55	395	55			505	12	149.45 *
T2	C	14	30	395	30			455	12	65.98 *
T3	C	10	20	280	20			320	30	59.19 *
T4	L	20	55	305				360	24	213.08 *
T5	L	14	30	305				335	24	97.16 *
* Longitud variable									Suman...	19,071.85



JUNTAS DE CONSTRUCCION ESC 1:25



NOTAS:

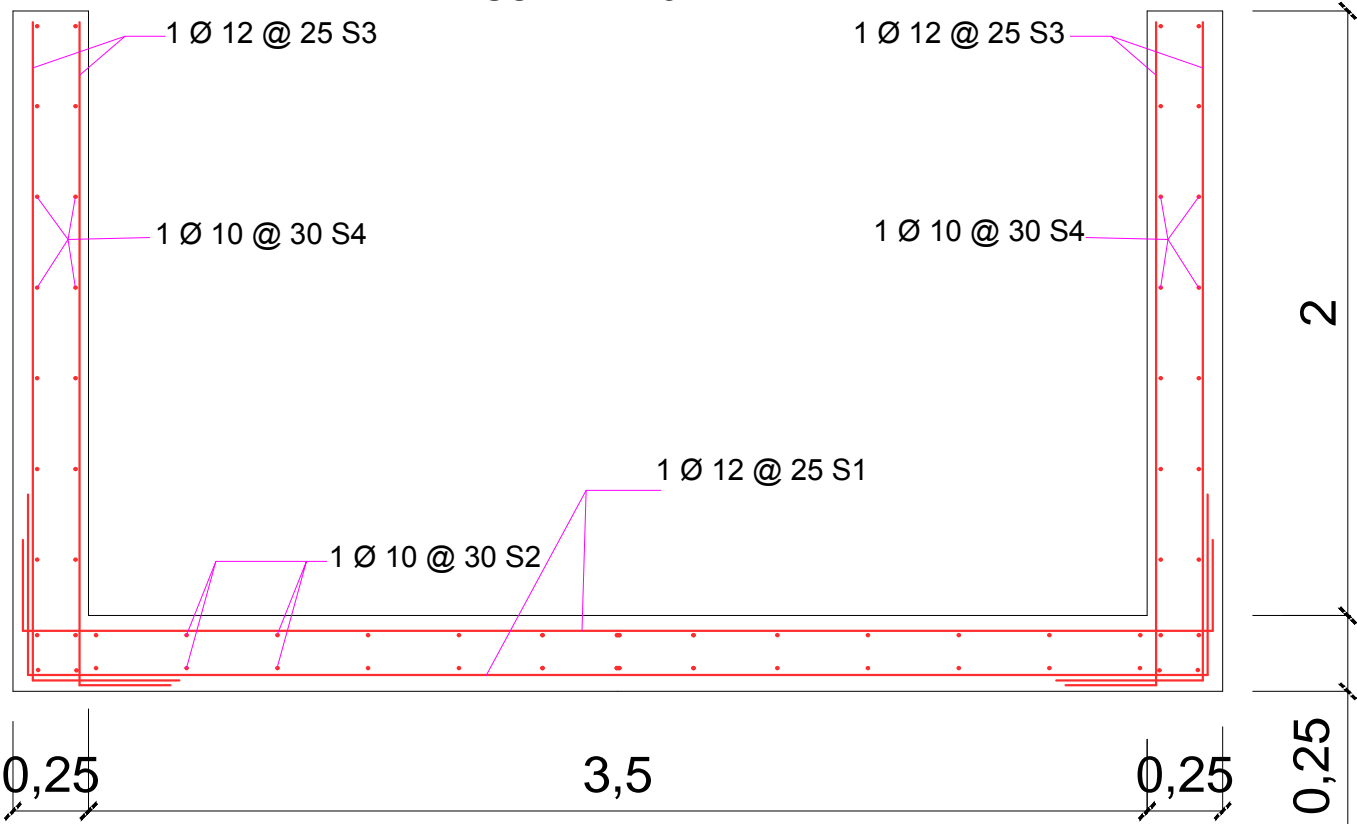
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
- EL RECUBRIMIENTO LIBRE MÍNIMO DE LAS VARILLAS SERÁ 5cm.
- SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=240$ Kg/cm² A LOS 28 DÍAS Y $f_t=140$ Kg/cm² EN REPLANTILLOS.
- SE USARÁ ACERO DE REFUERZO ASTM-A-615 (GRADO 60), $f_y=4200$ Kg/cm².
- EL SUELO DEBERÁ TENER UN ESFUERZO ADMISIBLE DE 2 kg/cm². EN CASO CONTRARIO SERÁ NECESARIO UNA REPOSICIÓN DEL SUELO.

RESUMEN DEMATERIALES ALCANTARILLA, CABEZAL, TRANSICION		
RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD
Derrocamiento de pavimento	55,50	m3
Excavacion	4912,24	m3
Desalojo	6,140,30	m3
Hormigón para replantillo	27,53	m3
Hormigón $f'c=240$ kg/cm ²	207,86	m3
Acero en varillas $f_y=4200$ kg/cm ²	19071,85	kg
Relleno de reposición compactado	4212,47	m3
Reposicion de estructura vial	270,00	m2
Reposición de bordillos	30,00	m

UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL				
ALCANTARILLA TIPO CAJÓN VISTAS DE LA ALCANTARILLA				
ESCALA:	FECHA:	REALIZADO POR:	FUENTE:	H O J A:
INDICADA	CUENCA, MARZO DE 2015	LILIANA ALEXANDRA VENTIMILLA GONZALEZ		Nº: 3
				6

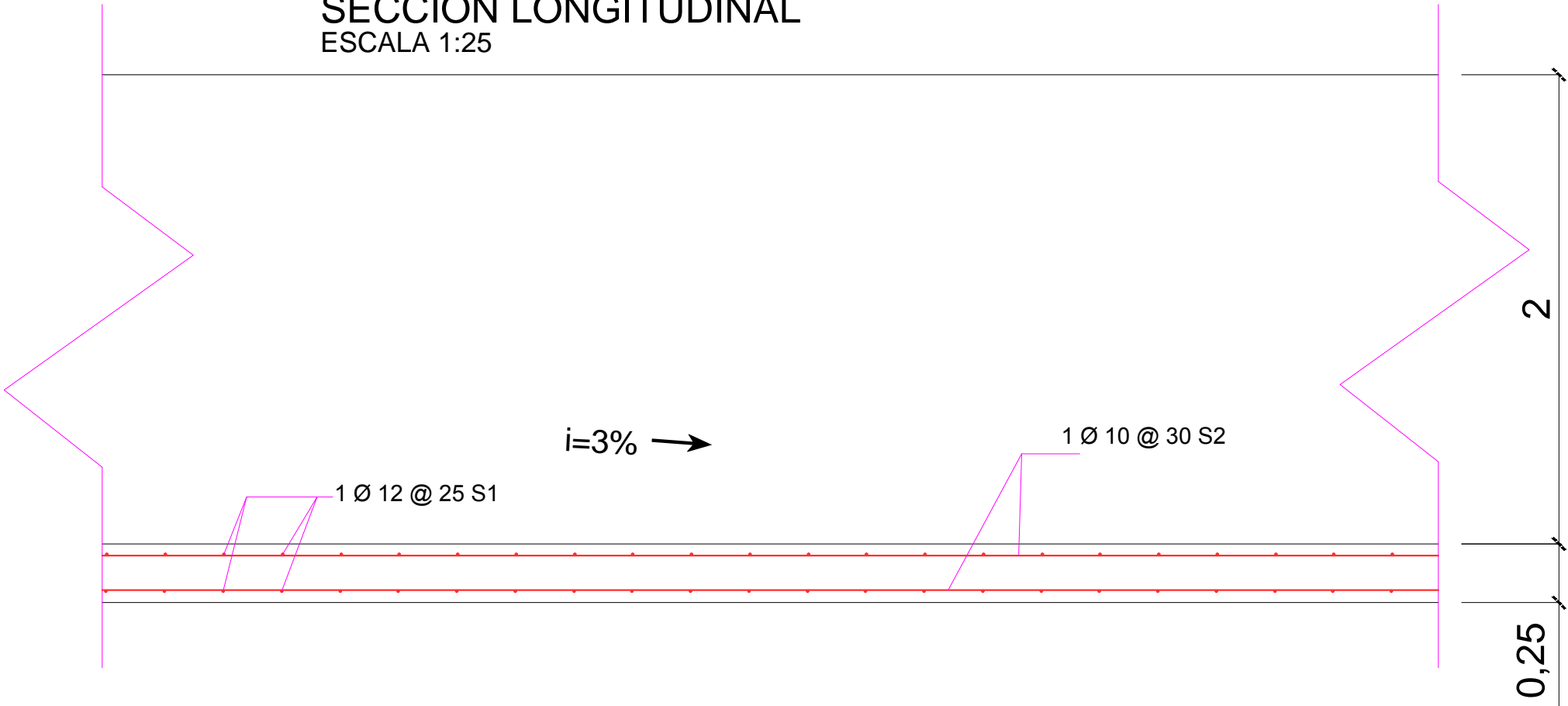
DETALLE DEL CANAL DE DESFOGUE
SECCIÓN TRANSVERSAL

ESCALA 1:25



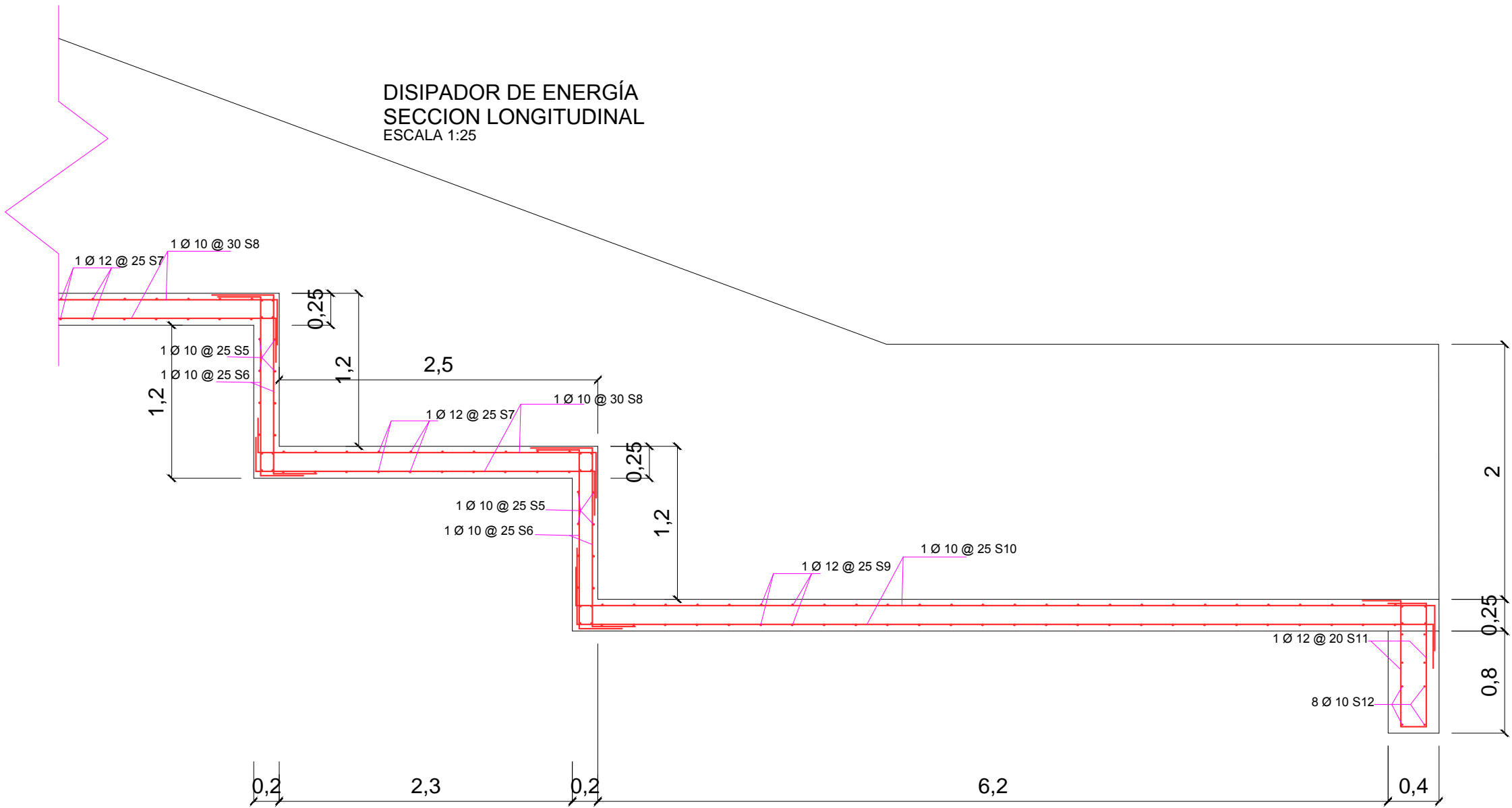
CANAL DE DESFOGUE
SECCION LONGITUDINAL

ESCALA 1:25



DISIPADOR DE ENERGÍA
SECCION LONGITUDINAL

ESCALA 1:25



PLANILLA DE ACERO PARA CANAL DE DESFOGUE										
MC	TIPO	DIA	LONGITUD			Traslape	# trasl.	TOTAL	CANTIDAD	PESO Kg
			A	B	C					
CANAL DE DESCARGA										
S1	C	12	30	390	30			450	556	2.221,32
S2	I	10	6940			70	7	7430	30	1.374,27
S3	L	12	30	215				245	1540	3.349,73
S4	I	10	6940			70	7	7430	28	1.282,65
S5	C	10	25	390	25			440	72	195,32
S6	Z	10	25	135	25			185	288	328,49
S7	C	12	30	390	30			450	208	831,00
S8	Z	10	25	260	25			310	256	489,29
S9	C	12	30	390	30			450	58	231,72
S10	Z	10	25	670	25			720	32	142,05
S11	W	12	30	95	25			150	20	26,63
S12	C	10	15	390	15			420	8	20,72
									Suman...	10.493,17

RESUMEN DEMATERIALES CANAL DE DESCARGA		
RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD
Excavacion	1209,60	m3
Desalojo	1.512,00	m3
Hormigón para replantillo	57,60	m3
Hormigón f'c=240 kg/cm2	200,64	m3
Acero en varillas fy=4200 kg/cm2	10493,17	kg
Relleno de reposición compactado	288,00	m3

NOTAS:

- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
- EL RECUBRIMIENTO LIBRE MÍNIMO DE LAS VARILLAS SERÁ 5cm.
- SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ A LOS 28 DÍAS Y $f_c=140 \text{ Kg/cm}^2$ EN REPLANTILLOS.
- SE USARÁ ACERO DE REFUERZO ASTM-A-615 (GRADO 60), $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$.
- EL SUELO DEBERÁ TENER UN ESFUERZO ADMISIBLE DE 2 kg/cm^2 . EN CASO CONTRARIO SERÁ NECESARIO UNA REPOSICIÓN DEL SUELO.

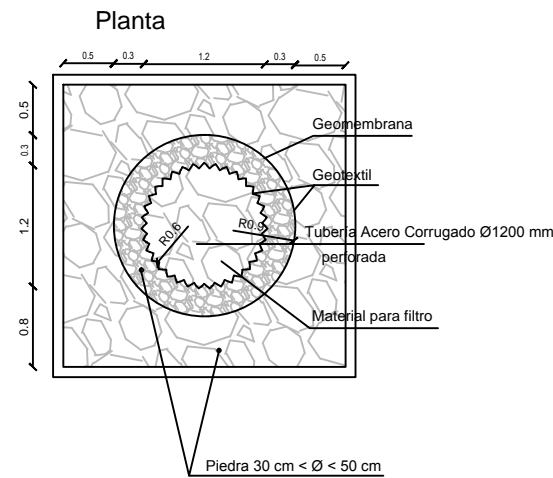
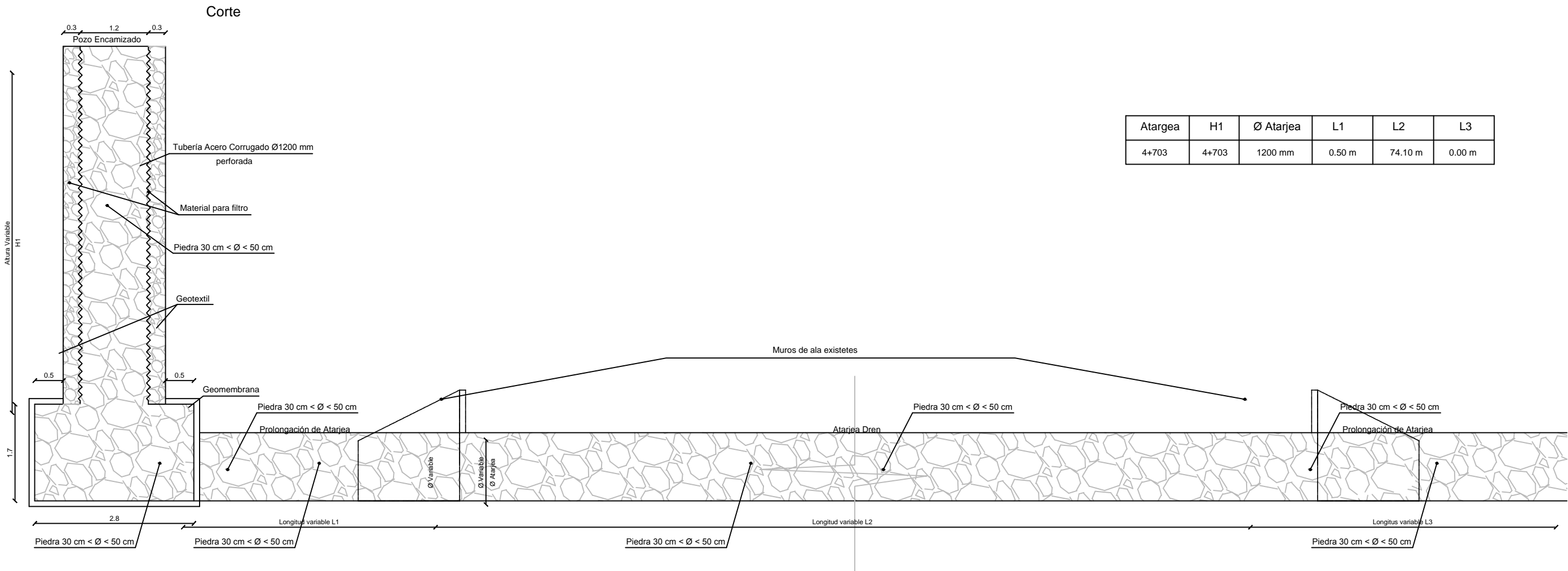
UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ALCANTARILLA TIPO CAJÓN
VISTAS DE LA ALCANTARILLA

ESCALA:	FECHA:	REALIZADO POR:	FUENTE:	H O J A:
INDICADA	CUENCA, MARZO DE 2015	LILIANA ALEXANDRA VEINTIMILLA GONZALEZ		Nº: 4 6

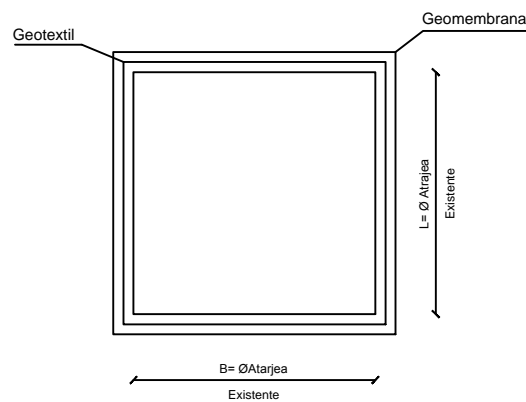
DETALLE DE POZOS ENCAMIZADOS Y DRENAJE DE ATARJEAS

ESCALA 1: 100



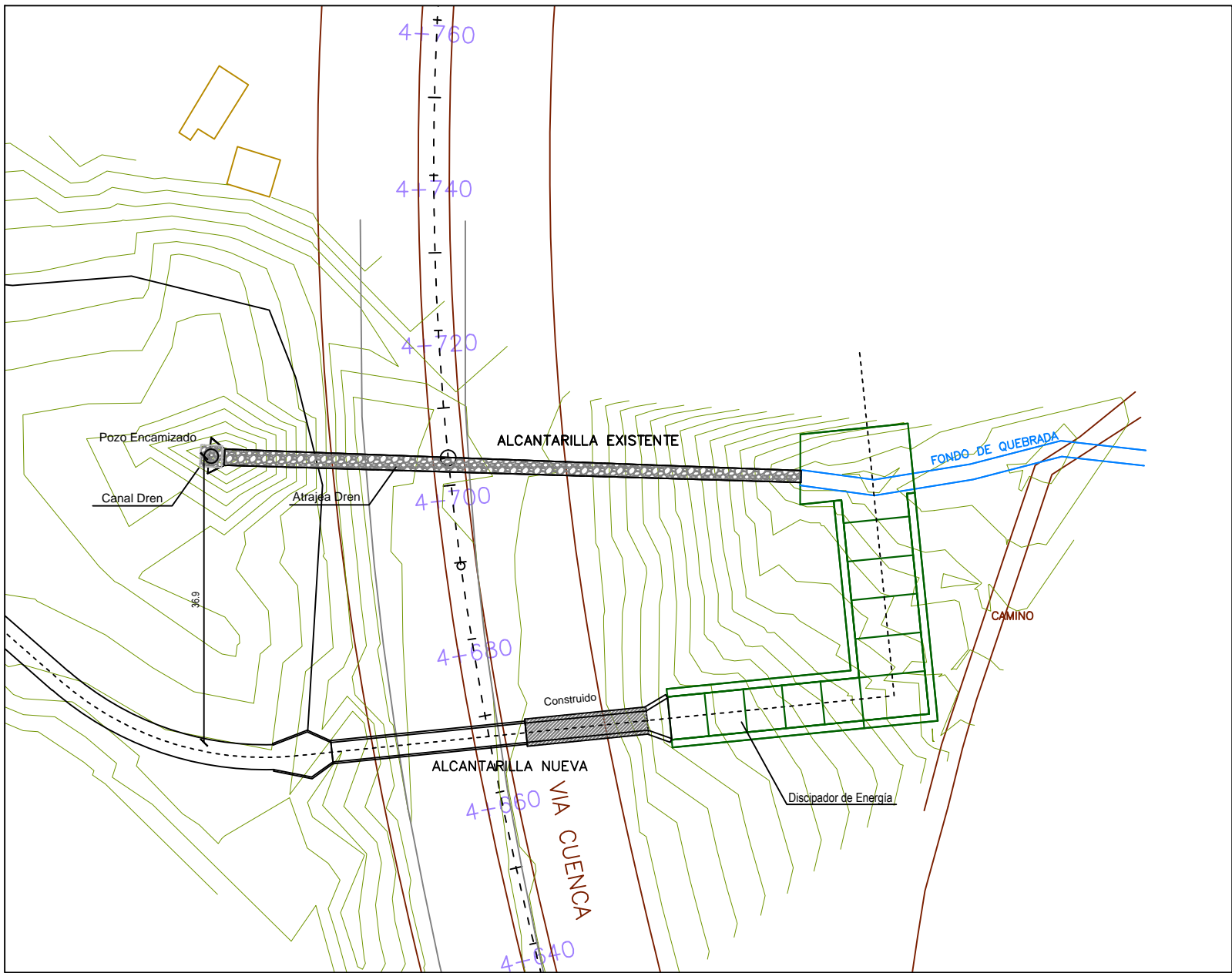
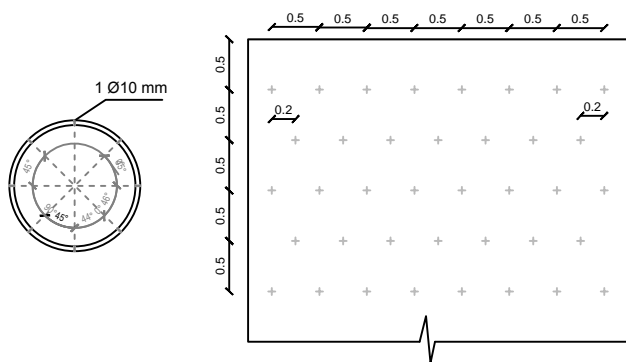
SECCION DE CANAL DREN

ESCALA 1: 10



DISPOSICION DE ORIFICIOS EN TUBERIA

ESCALA 1: 100



UNIVERSIDAD DE CUENCA					
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL					
ALCANTARILLA TIPO CAJÓN					
DETALLES DE LA ALCANTARILLA ABCISA KM 4+703					
ESCALA:	FECHA:	REALIZADO POR:	FUENTE :	H O J A:	Nº: 6 6
INDICADA	CUENCA, MARZO DE 2015	LILIANA ALEXANDRA VEINTIMILLA GONZALEZ			