

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS DE
DRENAJE PLUVIAL DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA
Y NEGOCIOS (FEN) EN EL CAMPUS GUSTAVO
GALINDO DE LA ESPOL”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

EDISON PAUL PARRALES BRAVO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres por su apoyo incondicional y a los profesores de la facultad que fueron parte de mi formación académica, en especial al Ing. Manuel Gómez de la Torre, director de esta tesina, y al Ing. Eduardo Santos, coordinador de la carrera de Ingeniería Civil.

DEDICATORIA

A mis queridos padres y a mis hermanos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Heinz Terán M.
DECANO DE LA FACULTAD ICT.

Ing. Manuel Gómez de la Torre. M.Sc.
DIRECTOR DE LA TESINA

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de Pregrado de la ESPOL)

Edison Paul Parrales Bravo.

RESUMEN

El campus “Gustavo Galindo V.” de la ESPOL, ubicado al noroeste de la ciudad de Guayaquil, es una ciudadela universitaria que funciona desde el año 1992, y que cuenta con la infraestructura adecuada para las actividades que en ella se realizan: edificios administrativos, laboratorios y aulas, vías de acceso y alcantarillado sanitario y pluvial.

En este trabajo se presenta el estudio del canal de drenaje pluvial de la Facultad de Economía y Negocios (FEN) y las alcantarillas asociadas a este, por lo que se recolectó información cartográfica del sitio, así como de las estructuras que conforman esta parte del sistema de alcantarillado pluvial.

Hacia este canal drena la escorrentía de cerca del 17% del área del campus. Si tomamos en cuenta que el 30% del área del campus descarga hacia los lagos artificiales y que el 53% restante lo hace hacia cauces naturales o hacia canales no revestidos (no relacionados con el canal de la FEN), tenemos que el canal de este estudio es el canal revestido más representativo del sistema de drenaje pluvial del campus.

En el capítulo 1 de este estudio se presenta información sobre el sector donde está ubicado el campus; el capítulo 2 es un compendio de los conocimientos fundamentales aplicados en este trabajo, relacionados a hidrología e hidráulica.

El capítulo 3 muestra la información relevante sobre las estructuras, a partir de los datos obtenidos en el sitio.

El capítulo 4 se centra en la determinación del sistema hidrológico del campus y sus características.

El capítulo 5 usa la información del capítulo anterior para observar lo que ocurre con las estructuras. Tanto en las alcantarillas, como en los tramos del canal se analiza el comportamiento del flujo con respecto a las características físicas de las estructuras (forma, dimensiones, ubicación, etc.).

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgieron del análisis realizado. Se espera que los resultados de este trabajo constituyan un soporte para futuras investigaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>OBJETIVOS</u>	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
<u>1 INFORMACIÓN GENERAL</u>	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Ubicación geográfica y política del campus.....	7
1.3 Estudio geológico.....	9
1.3.1 Aspectos generales.....	9
1.3.2 Geología local.....	11
<u>2 MARCO TEÓRICO</u>	16
2.1 Cuencas hidrográficas.....	16
2.1.1 Delimitación de cuencas hidrográficas.....	17
2.1.2 Parámetros geomorfológicos de las cuencas.....	18
2.1.3 Tiempo de concentración.....	21
2.2 Canales abiertos.....	22
2.2.1 Disipadores de energía.....	25

2.2.2 Flujo en canales abiertos.....	28
2.3 Alcantarillas tipo ducto cajón.....	37
2.3.1 Estructuras de entrada y de salida.....	38
2.3.2 Flujo en alcantarillas.....	40
2.4 Caudal de diseño: Método Racional.....	49
2.4.1 Periodo de retorno.....	49
2.4.2 Coeficiente de escorrentía.....	50
2.4.3 Intensidad de precipitación: curvas de Intensidad – Duración- Frecuencia (IDF).....	52
<u>3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO....</u>	54
3.1 Definición del área de estudio.....	54
3.2 Estructuras existentes en el área de estudio.....	56
3.2.1 Alcantarillas.....	57
3.2.2 Canal FEN.....	61
<u>4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</u>	64
4.1 Caracterización de las áreas de aportación.....	64
4.1.1 Delimitación de las subcuencas de drenaje.....	65
4.1.2 Parámetros geomorfológicos.....	66
4.2 Análisis de la información hidrológica del sector.....	68
4.2.1 Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).....	69

<u>5 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES.....</u>	<u>71</u>
5.1 Determinación del caudal de diseño.....	71
5.2 Funcionamiento hidráulico.....	74
5.2.1 Flujo en alcantarillas	74
5.2.2 Flujo en los tramos del canal.	79
5.3 Análisis de resultados.....	95
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</u>	<u>101</u>

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
FEN	Facultad de Economía y Negocios.
USACE	United States Army Corps of Engineers.
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator.
S. S.	Sensu Strictu.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
Ha	Hectáreas.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
IDF	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.
FGV	Flujo gradualmente variado.
FRG	Flujo rápidamente variado.
Alc.	Alcantarilla.

SIMBOLOGÍA

SC_00	Subcuenca (número).
MC_00	Microcuenca (número).
A	Área de aportación.
P	Perímetro.
S	Pendiente del cauce principal.
L_{\max}	Longitud de máximo recorrido.
F	Factor de forma.
Kc	Índice de compacidad.
t_c	Tiempo de concentración.
t_d	Tiempo de duración de la precipitación.
Tr	Periodo de retorno.
C	Coefficiente de escorrentía.
I	Intensidad de precipitación para $t_c = t_d$.
Q	Caudal.
V	Velocidad de flujo.
h_c	Profundidad crítica en alcantarillas parcialmente llenas.
y_c	Tirante crítico en canales abiertos.
h_n	Profundidad normal en alcantarillas parcialmente llenas.
y_n	Tirante normal en canales abiertos.
S_c	Pendiente crítica.
S_o	Pendiente de la alcantarilla o pendiente de fondo del canal.

A_h	Área hidráulica.
R_h	Radio hidráulico.
D	Altura de la alcantarilla.
B	Ancho de la alcantarilla.
L	Longitud de la alcantarilla.
α	Ángulo entre el muro de ala y el conducto.
b	Ancho del fondo del canal.
T	Ancho del espejo de agua.
z	Proyección horizontal de la pared del canal con respecto a la proyección vertical.
S	Longitud de la pared del canal.
g	Aceleración de gravedad.
dm	Tirante medio.
ν	Viscosidad cinemática
F_R	Número de Froude.
Re	Número de Reynolds.
He	Carga hidráulica en la entrada de la alcantarilla.
H_s	Altura en la salida de la alcantarilla.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas UTM del campus Gustavo Galindo.....	8
Tabla 1.2 Caracterización geotécnica del campus Gustavo Galindo, ESPOL. Fuente: Velásquez <i>et al.</i> (2002).....	15
Tabla 2.1 Valores de índice de compacidad.....	20
Tabla 2.2 Tipos de alcantarillas y materiales (Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003)	38
Tabla 2.3 Carga hidráulica máxima de diseño.....	42
Tabla 2.4 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	46
Tabla 2.5 Coeficiente Ke para alcantarillado.....	47
Tabla 2.6 Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial (Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003).....	50
Tabla 2.7 Coeficiente de escorrentía (C). (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003).....	51
Tabla 3.1 Dimensiones de los ductos cajón.....	59
Tabla 3.2 Dimensiones de las estructuras de entrada de los ductos cajón...	60
Tabla 3.3 Dimensiones de las estructuras de salida de los ductos cajón.	60
Tabla 3.4 Datos de los tramos del canal de la FEN.....	63
Tabla 4.1 Coordenadas UTM área de estudio	66
Tabla 4.2 Parámetros geomorfológicos de las microcuencas.....	67
Tabla 4.3 Parámetros de ajuste para las curvas IDF de la ciudad de Guayaquil.....	70
Tabla 5.1 Caudal de las microcuencas para un periodo de retorno de 100 años.....	73
Tabla 5.2 Caudal de diseño para las alcantarillas.....	74

Tabla 5.3 Datos de ingreso para el nomograma y valores de H_e/D	76
Tabla 5.4 Carga hidráulica a la entrada del ducto cajón.	76
Tabla 5.5 Tirante crítico y pendiente crítica para las alcantarillas.....	78
Tabla 5.6 Determinación del tipo de flujo a partir de la pendiente del fondo de la alcantarilla.	79
Tabla 5.7 Tirante normal y tirante crítico en las alcantarillas.	79
Tabla 5.8 Caudal acumulado en los tramos del canal de drenaje.....	80
Tabla 5.9 Características físicas de las secciones del canal.	81
Tabla 5.10 Selección del coeficiente n de Manning para los tramos del canal.	82
Tabla 5.11 Tirante crítico de los tramos del canal.....	82
Tabla 5.12 Tirante normal de los tramos del canal.	85
Tabla 5.13 Determinación del tipo de flujo en base al tirante normal.....	85
Tabla 5.14 Clasificación de las pendientes de los tramos del canal.	87
Tabla 5.15 Tirante subcrítico producido por el resalto hidráulico.....	94
Tabla 5.16 Longitud del resalto hidráulico.....	94
Tabla 5.17 Microcuencas de drenaje pluvial que aportan al canal de FEN ..	96
Tabla 5.18 Caudal de diseño de las microcuencas del área de estudio.....	97
Tabla 5.19 Datos del flujo en las alcantarillas.....	98
Tabla 5.20 Tramos del canal de la FEN.....	99
Tabla 5.21 Salto hidráulico en los tramos del canal.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Límites del Campus Gustavo Galindo V. (Fuente: Google Earth)..	8
Figura 1.2 Mapa topográfico de Ecuador y ubicación de la cordillera Chongón Colonche.....	10
Figura 1.3 Imagen satelital que muestra los 3 macro dominios geomorfológicos de la ciudad de Guayaquil. (Fuente Google Earth).....	12
Figura 2.1 Sección transversal de un canal natural (forma irregular).....	22
Figura 2.2 Secciones transversales de canales artificiales (forma geométrica regular).....	23
Figura 2.3 Elementos geométricos de un canal abierto.....	24
Figura 2.4 Vertedero de pared delgada y de pared gruesa	26
Figura 2.5 Vertedero de cimacio (Fuente: López, 1997).....	27
Figura 2.6 Flujo en canales abiertos (Fuente: Chow, 1994).....	29
Figura 2.7 Esquema de los tipos de flujo por la profundidad con respecto al tiempo y al espacio.	30
Figura 2.8 Salto hidráulico.	33
Figura 2.9 Clasificación de los perfiles de flujo gradualmente variado.....	36
Figura 2.10 Sección típica de una alcantarilla (Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003)	40
Figura 2.11 Esquema de flujo en alcantarillas.	41
Figura 2.12 Línea de energía hidráulica a flujo lleno.	43
Figura 3.1 Sectores del campus “Gustavo Galindo V.”-ESPOL. (Fuente: Google Earth).....	55

Figura 3.2 Tramo de la vía perimetral del campus: ubicación de ductos cajón y canales.....	58
Figura 3.3 Canal que atraviesa la Facultad de Economía y Negocios, ESPOL.....	63
Figura 4.1 SC_01 y las cinco áreas de aportación (MC) identificadas.....	66
Figura 4.2 Distribución temporal de la precipitación 2009, estación Radio-Sonda (INAMHI).....	69
Figura 4.3 Curvas IDF para la ciudad de Guayaquil	70
Figura 5.1 Esquema de la pendiente en el tramo 2A.	88
Figura 5.2 Rápida lisa a la salida de la alcantarilla 1.	89
Figura 5.3 Vertederos de cresta ancha al final de los tramos 1D y 1E, salto hidráulico en el tramo 1E.	92
Figura 5.4 Rápida escalonada a la salida de la alcantarilla 2, vertedero de cresta ancha al final del tramo 2A.....	92
Figura 5.5 Microcuencas del área de estudio	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Mapa geológico de Guayaquil.

ANEXO B: Planos.

B-1: Implantación general de ESPOL: Subcuencas y microcuencas de drenaje pluvial.

B-2: Subcuencas y microcuencas de drenaje pluvial - ESPOL: Subcuenca 1.

B-3: Implantación de alcantarillas y canales pluviales de la Facultad de Economía y Negocios – ESPOL.

B-4: Perfiles de los tramos del canal de la FEN.

ANEXO C: Descripción de las estructuras en el área de estudio.

ANEXO D: Gráficas para cálculos hidráulicos.

D-1: Nomogramas para alcantarillas de cajón con control a la entrada / salida.

D-2: Curvas para determinar el tirante normal y tirante crítico en canales de sección trapecial.

D-3: Coeficiente n de Manning para canales.

D-4: Tirante subcrítico del salto hidráulico en canales de sección trapecial.

D-5: Longitud de salto hidráulico en términos de y_2 .

ANEXO E: Memorias de cálculo.

INTRODUCCIÓN.

En el presente estudio se realiza el análisis de la principal estructura de drenaje pluvial del campus Gustavo Galindo de la ESPOL, conformado por tres alcantarillas de tipo ducto cajón que atraviesan la vía perimetral del campus en diferentes ubicaciones y los canales relacionados con estas alcantarillas.

El objetivo es conocer el estado actual y el comportamiento hidráulico de las estructuras ante la presencia de eventos lluviosos, esto es, determinar la capacidad que tienen las alcantarillas.

Para este trabajo se utilizó la información cartográfica, y topográfica obtenidas para el sitio, con la finalidad de delimitar las áreas de aferencia que tienen las estructuras existentes y determinar algunos parámetros que permitan describir la morfología de aquellas áreas.

Adicionalmente se tiene un informe de inspección del sitio, donde se presentan las características de las estructuras existentes: dimensiones, ubicación y descripción de materiales de construcción, con un registro fotográfico de las mismas. En resumen, se hace un levantamiento de las estructuras existentes y del terreno donde fueron construidas. El resultado es un plano con detalles del levantamiento.

En cuanto a la hidrología del sector, se utilizan datos meteorológicos de registros anuales, para determinar de forma discreta la precipitación de diseño. Luego se verifica el escurrimiento de la cuenca con el Método Racional de la United States Army Corps of Engineers (USACE), y con estos resultados se selecciona el caudal de diseño.

Posteriormente se comprueba la capacidad hidráulica de las alcantarillas, mediante el estudio de las condiciones de entrada y salida de las estructuras y la definición del tipo de flujo. Además se verifica la capacidad de los canales.

Por último se presentan las recomendaciones y conclusiones obtenidas del estudio realizado, a partir de los resultados del análisis hidráulico y de la observación en campo del área de estudio. Así mismo, se presentan recomendaciones el mantenimiento de este tipo de estructuras.

OBJETIVOS

Objetivo General.

- Determinar el comportamiento hidráulico de la principal estructura de drenaje del campus Gustavo Galindo de la ESPOL ante un evento lluvioso.

Objetivos Específicos.

- Determinar el sistema hidrológico del campus y el lugar de descarga final de la escorrentía superficial.
- Determinar el área de aportación que recibe cada alcantarilla, mediante el uso de la información cartográfica del sitio.
- Recolectar datos de las estructuras existentes y el terreno donde fueron construidas.
- Determinar el caudal de diseño a partir del análisis de los datos hidrológicos.
- Comprobar la capacidad hidráulica de las alcantarillas y canales existentes, correspondientes al área de estudio.
- Proponer recomendaciones para el mantenimiento y óptimo funcionamiento de las estructuras existentes.

CAPÍTULO I

1 INFORMACIÓN GENERAL.

1.1 Antecedentes.

La ESPOL fue creada el 29 de Octubre de 1958, mediante el Decreto Ejecutivo No. 1664 expedido por el Presidente de la República Dr. Camilo Ponce Enríquez, para satisfacer la creciente demanda de educación científico-técnica en la Costa.

Sus actividades académicas iniciaron el 25 de Mayo de 1959 en el campus Las Peñas, cuya infraestructura fue edificada con el apoyo del proyecto BID/ESPOL I.

De acuerdo a los lineamientos del Plan de Desarrollo 1983-1992, con el préstamo BID/ESPOL II, se financió la construcción del campus “Gustavo Galindo V.”.

El campus Gustavo Galindo es una ciudadela universitaria propiedad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ubicada al noroeste de la ciudad de Guayaquil, tiene una extensión de 690 Ha de las cuales 600 Ha se reconocieron como Área de Bosques y Vegetación Protectores, mediante la Resolución No. 23 del 15 de abril de 1994 y publicado en el Registro Oficial No. 472 del 29 de junio de 1994.

Las 90 Ha restantes corresponden al asentamiento de la administración general, edificios de las facultades de carreras de pregrado, biblioteca central, auditorios, centros de investigación, institutos, escuelas, empresas públicas, áreas de recreación, infraestructura vial y sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la universidad, además de terrenos de uso para la expansión futura.

Para la revisión, licitación y fiscalización de los proyectos, la Unidad Ejecutora del Proyecto BID/ESPOL II conformó la División de Ingeniería, que estaba a cargo de supervisar y recibir las obras.

Para la construcción de las facilidades del nuevo campus, se contrataron a varias empresas constructoras del medio. El consorcio NIDEC - Tokura, de la empresa de origen japonés Tokura Constructions Co. Ltd., obtuvo cuatro de los contratos de licitación para la ejecución de diversas obras en el campus, entre ellos, el contrato de licitación N° 2: "Construcción de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario y

pluvial y tratamiento de aguas servidas. Movimiento de tierra para vías y terracerías y colocación de base y carpeta asfáltica”, que se celebró el 25 de Enero de 1986 y cuyo monto original ascendía a S. /299' 922 606.46 (Suces); adicionalmente se firmaron contratos complementarios por un monto de S. / 19'226 121.20 el 7 de abril de 1988.

El plazo de ejecución, según el contrato, se debía realizar en 182 días. La ESPOL le concedió a la constructora una prórroga de 491 días debidamente justificados y 227 días que corresponden a retrasos ocasionados por el contratista que no tenían justificación alguna.

Durante la ejecución de los contratos, surgieron inconformidades entre los personeros de la contratista y los representantes del contratante (ESPOL), lo que resultó en la terminación unilateral de los contratos por parte de la universidad, en diciembre de 1990.

Hasta esa fecha se habían ejecutado el 100% de las obras de los otros tres contratos, y el 80% de los trabajos del contrato de licitación N°2. Se presume que por este motivo no quedaron respaldos de los planos de construcción, metodología constructiva y especificaciones técnicas.

Una vez que se solicitó la terminación unilateral del contrato, la Unidad Ejecutora, en vista de que las obras no se encontraban totalmente terminadas, las ejecutó por la Administración Directa.

Las actividades académicas en el campus Gustavo Galindo se iniciaron a partir del año 1992 y desde entonces la ESPOL sigue creciendo en concordancia con las necesidades de desarrollo del país.

1.2 Ubicación geográfica y política del campus.

El campus Gustavo Galindo es una ciudadela universitaria ubicada en la parroquia Tarqui, sector Prosperina, al noroeste de la ciudad de Guayaquil en la provincia del Guayas. La entrada al campus se encuentra en el kilómetro 30 ½ de la Vía Perimetral de la ciudad.

Limita al Norte con el plan habitacional Socio Vivienda, al Este con los predios del Grupo de Operaciones Especiales de la Policía Nacional (GOE) y la Vía Perimetral de la ciudad, al Sur con el colegio Balandra Cruz del Sur y Blue Hill College, y al Oeste con el cerro Blanco y otras colinas de la cordillera Chongón Colonche.

El campus tiene una extensión de 690 Ha de las cuales 90 Ha corresponden al asentamiento de los edificios e infraestructura de la universidad.

Las coordenadas UTM en las que se encuentra el campus se muestran en la Tabla 1.1 y en la Figura 1.1 se observa la ubicación del mismo.

Tabla 1.1 Coordenadas UTM del campus Gustavo Galindo.

Punto	Norte	Este
1	9763500	615900
2	9761500	615900
3	9761500	613700
4	9763500	613700



Figura 1.1 Límites del Campus Gustavo Galindo V. (Fuente: Google Earth)

Esta tesina se centra en el estudio de las estructuras del sistema de drenaje pluvial que se encuentran en la vía perimetral de la ESPOL, a la altura de la Facultad de Economía y Negocios (FEN). En las secciones 3.1 y 4.1 se describe detalladamente al área de estudio.

1.3 Estudio geológico.

En esta sección se describe la geología del sector en el que se encuentra el campus, empezando desde una perspectiva regional hasta llegar a una descripción local, basada en estudios anteriores.

1.3.1 Aspectos generales

La Cordillera de los Andes atraviesa al Ecuador continental de Norte a Sur, generando tres regiones geográficas de oeste a este:

- Litoral o Costa, frente al océano Pacífico.
- Sierra, constituida por las cordilleras Occidental y Oriental y una zona deprimida entre ambas.
- Oriente, que constituye parte de la llanura amazónica.

La región Costa, a la que pertenece el campus, se localiza al oeste de la Cordillera de los Andes. Presenta una cordillera con altitudes máximas de 800 m.s.n.m., llamada Cordillera Costanera, que bordea la línea de costa en Esmeraldas y Manabí, luego cambia de dirección a una posición casi ortogonal y toma el nombre de Cordillera Chongón-Colonche. Ésta última llega hasta los alrededores de Guayaquil, donde desaparece (ver Figura 1.2).

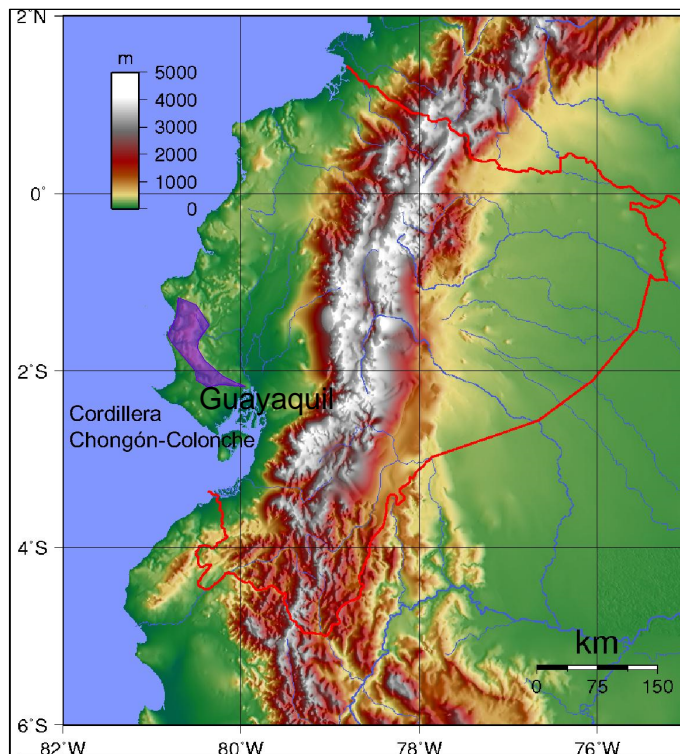


Figura 1.2 Mapa topográfico de Ecuador y ubicación de la cordillera Chongón Colonche.

De acuerdo a la historia geológica (Benítez 2005), en la región Costa durante el Cretáceo se inició el emplazamiento de rocas ígneas básicas, esencialmente basaltos, denominada Formación Piñón. Posteriormente durante el Cretáceo Superior se establece la sedimentación marina (Formación Cayo) y continúa hasta del fin del Cretáceo con una formación de origen sublitoral continental (Formación Guayaquil).

En el Eoceno Medio una nueva trasgresión marina ocurre en la zona, evidenciada por la presencia de las calizas arrecifales de la Formación

San Eduardo, la cuenca se llenó de sedimentos durante el Eoceno Medio y Eoceno Superior. A finales del Eoceno, un levantamiento tipo Horst dio lugar a la Formación de la Cordillera Chongón Colonche, llevando a la superficie rocas basálticas de la Formación Piñón y rocas detríticas de la Formación Cayo.

La Formación Cayo se subdivide de abajo hacia arriba en tres miembros:

Miembro Calentura: Compuesto de rocas volcánicas de tamaño variable desde polvo volcánico hasta bloques piroclásticos de gran tamaño.

Miembro Cayo Sensu Strictu (S.S.): Es el más representativo de esta formación, compuesto por material volcánico y detritos clásticos de origen fluvial.

Formación Guayaquil Chert: Está formada por material volcánico de textura muy fina depositada en un ambiente acuático y enriquecido de sílice, dando lugar a lutitas silicificadas en diferente grado hasta llegar a chert, en este caso con el máximo contenido de sílice.

1.3.2 Geología local.

En Guayaquil, convergen tres macro-dominios geológicos (Benítez, 2005) que son:

1. Las colinas de la cordillera Chongón –Colonche (ver sección 1.3.1).
2. El complejo deltaico- estuarino de la Ría Guayas.
3. Llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo.



Figura 1.3 Imagen satelital que muestra los 3 macro dominios geomorfológicos de la ciudad de Guayaquil. (Fuente Google Earth)

El campus, por su ubicación se encuentra en el macro-dominio 1 (colinas de la Cordillera Chongón-Colonche), donde aflora el Miembro Cayo S.S. de la Formación Cayo, y la Formación Guayaquil Chert, además del depósito coluvial que es parte de la cordillera Chongón-Colonche. Esto es corroborado en el mapa geológico de Guayaquil, Benítez 2005 (Anexo A).

El área del Campus presenta tres rangos de relieve claramente diferenciados (Velásquez et al, 2002):

El primero comprende el sector situado a partir de la Perimetral, cubriendo unas 200 Ha, está caracterizado por tener varias colinas, muchas de ellas adyacentes y con una altura que no supera los 800 m.s.n.m., poseen perfiles suaves, con vertientes de baja pendiente.

El segundo está ubicado en el sector central del Campus, con colinas que alcanzan los 180 m.s.n.m. Las colinas son alargadas, con pendientes que varían de suaves a levemente pronunciadas, esto debido a la resistencia mecánica de los estratos rocosos que afloran en dicho sector.

Finalmente se encuentra un tercer rango que abarca el sector Oeste del Campus, que se desarrolla desde los 180 hasta los 450 m.s.n.m. En esta unidad se aprecian colinas altas con variación de pendientes desde pronunciadas a muy pronunciadas en cuyas bases se han establecido depósitos coluviales con pendientes ligeramente pronunciadas, formando pequeños encañonados por donde circulan corrientes de agua con saltos hidráulicos.

En cuanto a la estratigrafía, Velásquez et al. (2002) indican que el campus tiene terrenos rocosos, con presencia de microbrechas,

areniscas y lutitas, pertenecientes a la formación Cayo, y depósitos de suelos coluviales y aluviales.

En la caracterización y zonificación geotécnica identifican cuatro tipos de terrenos basados en sus propiedades físicas y comportamiento mecánico, que se los ha resumido en la Tabla 1.2, según la cual, el área de estudio corresponde al terreno tipo B: estratos rocosos de los miembros Cayo SS y Guayaquil Chert, donde predominan las lutitas silicificadas, limolitas y areniscas de grano fino.

Los depósitos de suelo en el área de la Facultad de Economía y Negocios son arcillas finas, que corresponden a la capa de material meteorizado de los estratos rocosos antes mencionados con un espesor que fluctúa entre los 0.15 y 0.60m.

Tabla 1.2 Caracterización geotécnica del campus Gustavo Galindo, ESPOL. Fuente: Velásquez *et al.* (2002).

		Tipo de terreno			
		A	B	C	H
Ubicación		Entre la vía perimetral y el límite del área construida	Desde el área desarrollada del campus y linderos norte y sur del campus Administración central, biblioteca y FEN	-	Lindero norte del campus (CENAE)
Composición estratigráfica	Descripción	Estratos rocosos del miembro Cayo SS: Microbrechas, areniscas de grano grueso y lutitas.	Estratos rocosos del miembro Cayo SS y miembro Guayaquil Chert: Lutitas silicificadas, limolitas, areniscas de grano fino	-	-
	Peso volumétrico seco (T/m3)	2	2.2	-	-
	Peso volumétrico saturado (T/m3)	2.2	2.3	-	-
	Cohesión (T/m2)	60	120	-	-
	Fricción interna (°)	29	31	-	-
	Rumbo	NW-SE	NW-SE	-	-
	Buzamiento	S16°	S17°	-	-
Material meteorizado (suelo)	Descripción	Suelos arcillosos, limo-arenosos. Arcillas plásticas y expansivas	Arcillas finas. Depósitos aluviales de suelo arcilloso	Suelos coluviales (suelos de alta heterogeneidad)	Arcillas negras (turba)
	Espesor (m)	0.30-1.00	0.15-0.60	-	>4.00

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 Cuencas hidrográficas.

Para describir la hidrología del área de estudio, es necesario identificar el sistema hidrológico, esto es identificar las cuencas hidrográficas y definir ciertas características de ellas a partir de parámetros geomorfológicos.

Una cuenca hidrográfica es un territorio que drena en un punto común a través de un sistema de drenaje natural, que se delimita en las zonas altas con la línea de cumbres, llamada también divortio aquarum o divisoria de aguas. Toda la superficie terrestre puede dividirse en cuencas hidrográficas y el agua captada en ellas llega hasta cuerpos receptores: canales, ríos caudalosos, lagos y océanos.

2.1.1 Delimitación de cuencas hidrográficas.

El estudio de las cuencas se inicia con la delimitación de las áreas de drenaje superficial. Esta acción se cumple mediante el trazado de la línea divisoria de aguas, basándose en la topografía del sector: esta línea inicia y termina en la cota de captación (menor elevación), pasando por las zonas de mayor altitud.

Para trazar la línea divisoria de la cuenca se consideraron las siguientes recomendaciones:

1. La línea divisoria corta ortogonalmente a las curvas de nivel.
2. Cuando la divisoria va aumentando su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte convexa.
3. Cuando la divisoria va disminuyendo su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava.
4. Si cortamos el terreno por el plano normal a la divisoria, el punto de intersección con ésta ha de ser el punto de mayor altitud del terreno.
5. Como comprobación, la línea divisoria nunca debe cortar a un río o arroyo, excepto en el punto donde se desea cerrar la cuenca.

2.1.2 Parámetros geomorfológicos de las cuencas.

Área de drenaje y perímetro.

El área de la cuenca es la superficie dentro de la curva cerrada de la línea divisoria de aguas. El área corresponde a la proyección horizontal de la cuenca en el plano.

El área generalmente se expresa en kilómetros cuadrados (km²) y, en caso de que las dimensiones sean pequeñas, en hectáreas (Ha).

El perímetro es la longitud de la línea divisoria de aguas y se expresa en metros lineales (m). Ambos parámetros se los obtiene de la cartografía disponible en planos impresos o digitales.

Longitud de máximo recorrido (L_{max}).

La longitud de máximo recorrido es la medida de la mayor trayectoria de las partículas del flujo, comprendida entre el punto más alto o inicio del recorrido sobre la línea de divortio aquarum y el punto más bajo del cauce o colector común.

Factor de Forma (F).

Para expresar numéricamente el efecto de la forma de la cuenca en las características hidrológicas de la corriente, se utiliza el factor de forma.

El factor de forma es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca. Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, así, una cuenca que tiene un factor de forma con valores inferiores a 1, presenta una forma alargada y las crecidas son lentas y sostenidas, mientras que una cuenca de la misma área y mayor factor de forma, es decir, con valores mayores a 1, tiene forma ovalada y es susceptible a avenidas rápidas e intensas.

Matemáticamente, el factor de forma se define como:

$$F = \frac{A}{L_{\max}^2} \quad (2.1)$$

Donde A es el área de la cuenca y L_{\max} es la longitud de máximo recorrido.

Índice de compacidad (Kc).

También conocido como el Coeficiente de Gravelius, es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca.

Al igual que el factor de forma, este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos-pico muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos-pico más atenuados y recesiones más prolongadas.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.2)$$

Donde P es el perímetro de la cuenca y A su área.

De acuerdo con el valor de K_c , se clasifica a las cuencas de la siguiente manera:

Tabla 2.1 Valores de índice de compacidad

Clase de forma	Índice de Compacidad (K_c)	Forma de la Cuenca
I	1.0 a 1.25	Casi oval o redondeada
II	1.26 a 1.50	Oval – redonda a oval – oblonga
III	1.51 a 1.75	Oval – oblonga a rectangular - oblonga

Pendiente del cauce principal (S).

El cauce principal es el desagüe de la cuenca, es decir que transporta el flujo hacia el punto más bajo, por lo que su pendiente es uno de los parámetros que determina la rapidez del caudal de escorrentía superficial y la capacidad de concentración de la descarga.

La pendiente es la relación entre la altura total del cauce principal y la longitud del mismo:

$$S = \frac{H}{L} \quad (2.3)$$

2.1.3 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que demora una partícula de agua en desplazarse por la cuenca desde el punto más lejano hasta el punto emisor, para lo que se asume que el tiempo de duración de la lluvia es menor o igual al tiempo de concentración y que se distribuye uniformemente en toda la cuenca.

El tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, como la ecuación de Rowe:

$$t_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2.4)$$

Dónde: t_c : Tiempo de concentración (min).

L: Longitud del cauce principal (km).

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal (m/m).

Esta expresión es el producto de resultados empíricos, obtenido bajo ciertas condiciones particulares, por lo que se debe analizar la factibilidad física de los resultados obtenidos con esta expresión. Como norma general el tiempo de concentración no debe ser menor a 10 minutos a menos que se tengan mediciones en el terreno con los que se justifique adoptar valores menores.

2.2 Canales abiertos.

Los canales son conductos abiertos en los que el agua circula por gravedad y está sometida a la presión atmosférica y a otras fuerzas que generan resistencia al flujo (fricción, viscosidad, tensión superficial).

Los canales, por su origen, pueden ser canales naturales o artificiales. Los canales naturales son los arroyos, ríos, estuarios, y otros cuerpos de agua que se han formado (sin intervención humana) por el movimiento del agua sobre el suelo durante varios años. La sección transversal de un canal natural puede ser muy irregular (Figura 2.1), y sus dimensiones varían a lo largo del mismo.

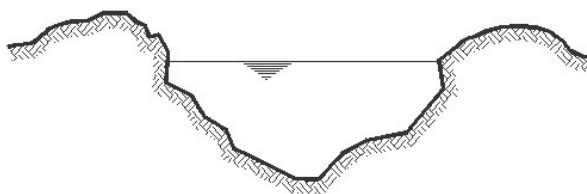


Figura 2.1 Sección transversal de un canal natural (forma irregular)

Los canales artificiales son construidos para fines de riego, drenaje, generación de energía o navegación. Se diseñan con formas geométricas regulares (Figura 2.2) y generalmente con dimensiones constantes a lo largo del canal.

La superficie de los canales puede ser revestida de materiales como hormigón, mampostería, enrocado u otros.

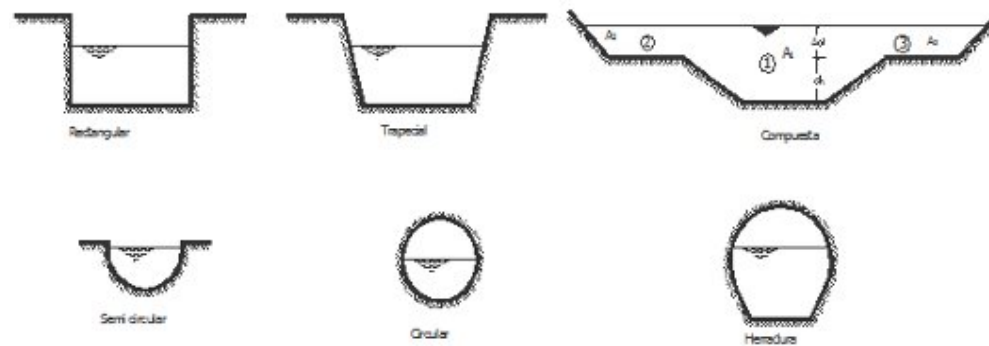


Figura 2.2 Secciones transversales de canales artificiales (forma geométrica regular)

En la Figura 2.3 se muestran las secciones más comunes para canales abiertos y sus elementos geométricos.

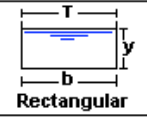

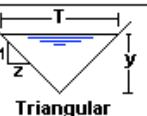

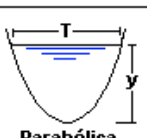
Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular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

Figura 2.3 Elementos geométricos de un canal abierto.

Donde, b : ancho del fondo del canal (m).

T : ancho superficial o espejo de agua (m).

y : Tirante de agua (m)

z : proyección horizontal de la pared del canal con respecto a la proyección vertical.

Además de estos elementos, es importante señalar los siguientes:

Área hidráulica (A): Superficie ocupada por el agua en la sección transversal del canal.

Perímetro mojado (P): Longitud de la línea del contorno del área hidráulica en la sección del canal.

Radio hidráulico (R_h): Razón entre el área hidráulica y el perímetro mojado.

2.2.1 Disipadores de energía.

Los disipadores de energía son elementos que sirven para controlar la velocidad y profundidad del flujo con el objetivo de disminuir el efecto erosivo del agua sobre las estructuras de drenaje. Generalmente se los construye a la entrada o salida de los canales, o a lo largo de un tramo del canal para amortiguar el impacto del flujo sobre las paredes y el fondo.

Vertederos.

Un vertedero es un muro o placa que retiene el flujo hasta que la altura de este supera la del vertedero y que el líquido fluye a superficie libre por acción de la gravedad.

La sección transversal de un vertedero puede tener cualquier forma (triangular, rectangular, trapecial) y dependiendo del espesor, un vertedero puede ser de pared gruesa (muro) o de pared delgada (placa).

En la Figura 2.4 se muestran los dos tipos de vertedero; donde e es el espesor, w la altura del vertedero desde el fondo del canal hasta la cresta y h es la carga hidráulica sobre él. Así para $e/h > 0.67$ se considera que se trata de un vertedero de pared gruesa.

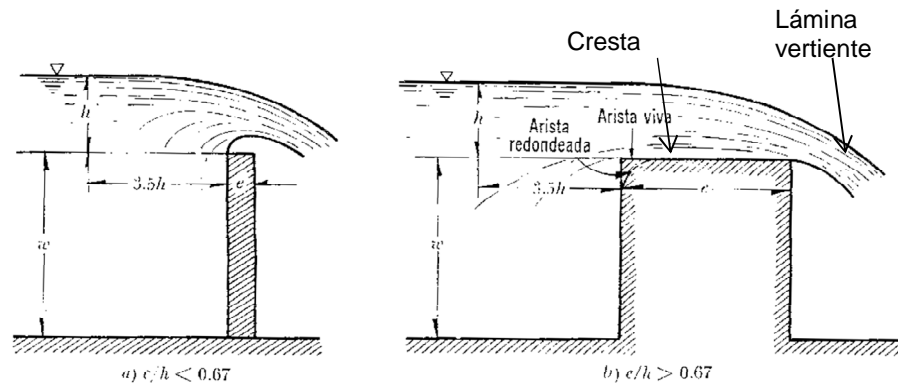


Figura 2.4 Vertedero de pared delgada y de pared gruesa. (Fuente: Sotelo, 1997)

Ambos se pueden utilizar como dispositivos de aforo en laboratorios y canales pequeños, pero el de pared gruesa también se emplea como obra de control o excedencias en canales y presas.

Los vertederos producen efectos sobre el flujo. Aguas arriba del vertedero puede producir que el flujo se estanque, haciendo que el flujo pierda energía, aumente la profundidad, y la velocidad disminuya. Aguas abajo del vertedero, el caudal es menor que el que inicial, pero el flujo es supercrítico hacia el canal.

Cuando el perfil del vertedero hacia aguas abajo tiene la forma de la parte inferior de una lámina vertiente con ventilación cayendo de un

vertedor de cresta delgada (Figura 2.5), se lo denomina de perfil estricto o cimacio y se dimensiona para un determinado caudal, con el cual la lámina de agua se adhiere a la parte inclinada del cimacio (aguas abajo), evitando el exceso de aire a la cara inferior de la lámina, alcanzando casi su eficiencia máxima de descarga.

Debido a su eficiencia, este tipo de vertedero es la que se usa en la mayor parte de estructuras de control.

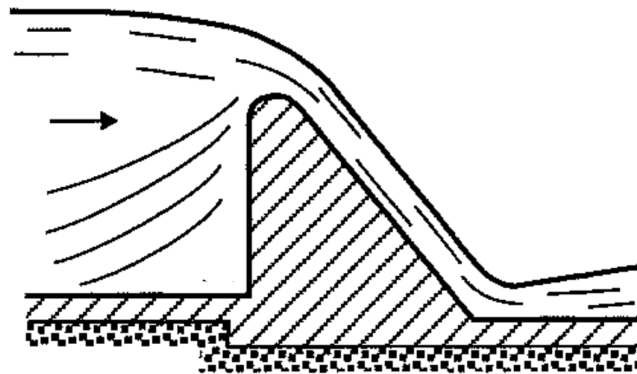


Figura 2.5 Vertedero de cimacio (Fuente: López, 1997)

La ecuación general para vertederos es la siguiente:

$$Q = C \cdot L \cdot H_e^{\frac{3}{2}}$$

Donde: Q: Caudal de descarga sobre el cimacio.

C: Coeficiente de descarga.

L: Longitud efectiva de la cresta

He: Carga total sobre la cresta.

2.2.2 Flujo en canales abiertos.

El flujo en canales abiertos conlleva un análisis más complejo que el flujo en tuberías que funcionan a sección llena, debido a que las condiciones físicas en los canales presentan más variaciones.

Esencialmente, el análisis del flujo en canales abiertos se centra en el cambio de la posición de la superficie libre con respecto al tiempo y al espacio. Esta profundidad está influenciada por las características que tienen las secciones de los canales: forma, dimensiones, rugosidad y pendiente en el fondo.

En la Figura 2.6 se muestra el esquema de flujo en canales abiertos. Por simplificar, se asume que la pendiente del fondo del canal es muy pequeña y que el flujo es paralelo, por lo que la superficie de agua coincide con la línea de gradiente hidráulico y la profundidad de agua corresponde a la altura piezométrica. La línea de gradiente hidráulico es la representación de la presión en el conducto.

La energía total del flujo en la sección con referencia a una línea base es la suma de la elevación z , el gradiente hidráulico y la altura de velocidad ($v^2/2g$). La energía se la representa con la línea de energía.

La pérdida de energía que resulta cuando el agua fluye de la sección 1 a la sección 2 es h_f .

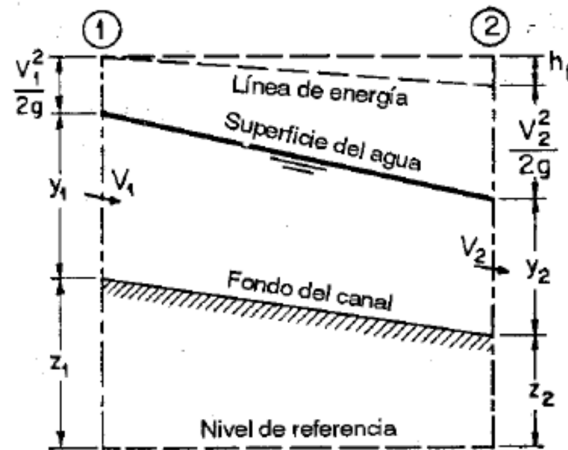


Figura 2.6 Flujo en canales abiertos (Fuente: Chow, 1994)

Tipo de flujo

Con respecto al tiempo, espacio y velocidad.

El flujo en canales abiertos se puede clasificar por el cambio de la profundidad de flujo con respecto al tiempo y con respecto al espacio.

Si la profundidad es constante en un intervalo de tiempo, el flujo es permanente, de otro modo el flujo es no permanente.

Si la profundidad es la misma en cada sección del canal, el flujo es uniforme, pero si cambia a lo largo del canal, el flujo es variado.

En el flujo variado, por la rapidez con la que cambia la profundidad del agua, se puede diferenciar al flujo como gradualmente variado (cambio

progresivo en distancias grandes) o rápidamente variado (cambio abrupto en distancias cortas).

En la Figura 2.7 se muestra el esquema de los tipos de flujo por la profundidad con respecto al tiempo y al espacio.

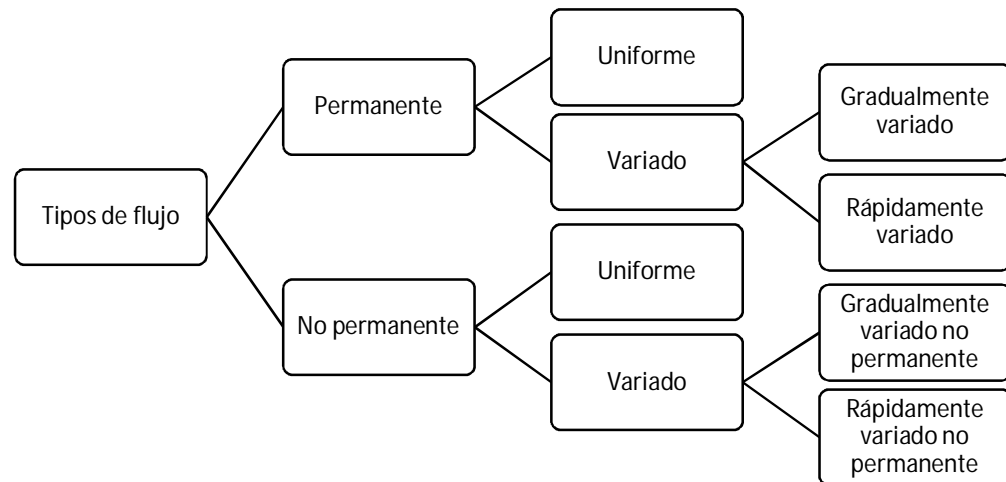


Figura 2.7 Esquema de los tipos de flujo por la profundidad con respecto al tiempo y al espacio.

Con respecto a la gravedad

El efecto de la gravedad se representa con el número de Froude, que relaciona las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitatorias:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot dm}} \quad (2.5)$$

Donde:

F_R = Número de Froude.

V = Velocidad de flujo.

g = Aceleración de gravedad (9.81m/s^2).

d_m = Tirante medio (relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre del agua).

De acuerdo al número de Froude, el flujo puede ser:

$F_R < 1$; Régimen subcrítico.

$F_R = 1$; Régimen crítico.

$F_R > 1$; Régimen supercrítico.

Con respecto a la viscosidad

El efecto de la viscosidad se representa con el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot R_h}{\nu}$$

(2.6)

Donde ν es la viscosidad cinemática.

Si $Re < 500$; el flujo es laminar.

Si $500 < Re < 2000$; el flujo está en transición.

Si $Re > 2000$; el flujo es turbulento.

En un canal abierto el efecto combinado de la viscosidad y de la gravedad puede producir cuatro regímenes de flujo:

1. Subcrítico laminar.
2. Supercrítico laminar.
3. Supercrítico turbulento.
4. Subcrítico turbulento.

Tirante crítico y tirante normal.

El tirante crítico es la profundidad del flujo para la cual el régimen es crítico, es decir, para cuando el número de Froude (F) es igual a uno. Las condiciones en que se desarrolla el régimen crítico deben satisfacer las siguientes ecuaciones, cualquiera que sea la forma de la sección.

$$\frac{Q^2}{g \cdot \cos\theta/\alpha} = \frac{A_c^3}{T_c}$$

$$E_c = \left(y_c + \frac{1}{2} \frac{A_c}{T_c} \right) \cos\theta$$

Cuando se conoce la forma de la sección y sus dimensiones, para canales rectangulares y trapeciales, se tiene las siguientes ecuaciones:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/B)^2}{g}} \quad (2.7)$$

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \left[\frac{(b + z \cdot y_c)^3}{b + 2z \cdot y_c} \right]^{1/2} \cdot y_c^{3/2} \quad (2.8)$$

El tirante normal es la profundidad que alcanza el flujo cuando se asume que el flujo es uniforme. El tirante normal se obtiene a partir de

la ecuación de Manning para velocidad en canales abiertos, y dependiendo del tipo de sección y por medio de métodos matemáticos o con el uso de curvas e iteración, se obtiene el valor del tirante.

Salto hidráulico.

El salto hidráulico es un cambio brusco de la velocidad y profundidad del flujo en una distancia corta. El flujo pasa de ser supercrítico a subcrítico, creando remolinos en la parte superficial de la lámina de agua. En esta transición se disipa una importante parte de la energía.

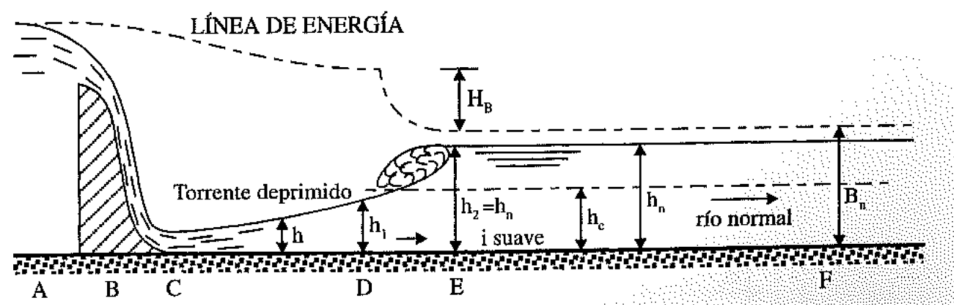


Figura 2.8 Salto hidráulico (Fuente: López, 1997)

Como es de suponerse por lo expuesto anteriormente, el tirante antes del salto hidráulico (y_1) es supercrítico y después del salto, el tirante es subcrítico (y_2). Estas profundidades pueden calcularse con la siguiente fórmula de los tirantes conjugados o con las diferentes curvas obtenidas experimentalmente, dependiendo del tipo de sección que tenga el canal.

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

En el anexo D se muestran las curvas utilizadas para calcular los tirantes.

Perfiles de flujo.

El perfil que adopta la superficie libre del agua en cualquier condición de flujo en un canal se conoce como perfil de flujo o perfil hidráulico.

La forma que adopta el perfil de flujo está relacionada con la pendiente de fondo (S_o), el número de Froude (F) y la pendiente que tenga la lámina de agua (S_f).

En cuanto a S_o , se la considera positiva cuando desciende en la dirección del flujo, negativa si asciende y cero si es horizontal. El flujo uniforme con tirante y_n solo se puede establecer para una pendiente positiva, para la cual los perfiles resultantes se los denomina de la siguiente manera:

Perfiles tipo M: pendiente subcrítica ($y_n > y_c$).

Perfiles tipo C: pendiente crítica ($y_n = y_c$).

Perfiles tipo S: pendiente supercrítica ($y_n < y_c$).

Cuando la pendiente es horizontal, $y_n \approx \infty$, el perfil es de tipo H; cuando la pendiente es negativa, y_n no existe, el perfil es de tipo A.

También se conoce que S_f y F decrecen a medida que el tirante aumenta, en flujo uniforme, $S_f = S_0$, si $y = y_n$, por lo que:

$$S_f \geq S_0, \text{ cuando } y \geq y_n$$

$$F^2 \geq 1, \text{ cuando } y \geq y_c$$

Para cualquier pendiente, caudal y sección del canal, las líneas que indican la altura de los tirantes con respecto al fondo del canal, dividen al espacio en tres zonas:

Zona 1: Sobre la línea superior.

Zona 2: Entre las dos líneas-

Zona 3: Bajo la línea inferior.

En la Figura 2.9 se muestran los perfiles de flujo para cada caso. Estos perfiles pueden combinarse de acuerdo al tipo de pendiente y características del flujo, así puede ir desde una pendiente suave a una fuerte, u horizontal, etc.

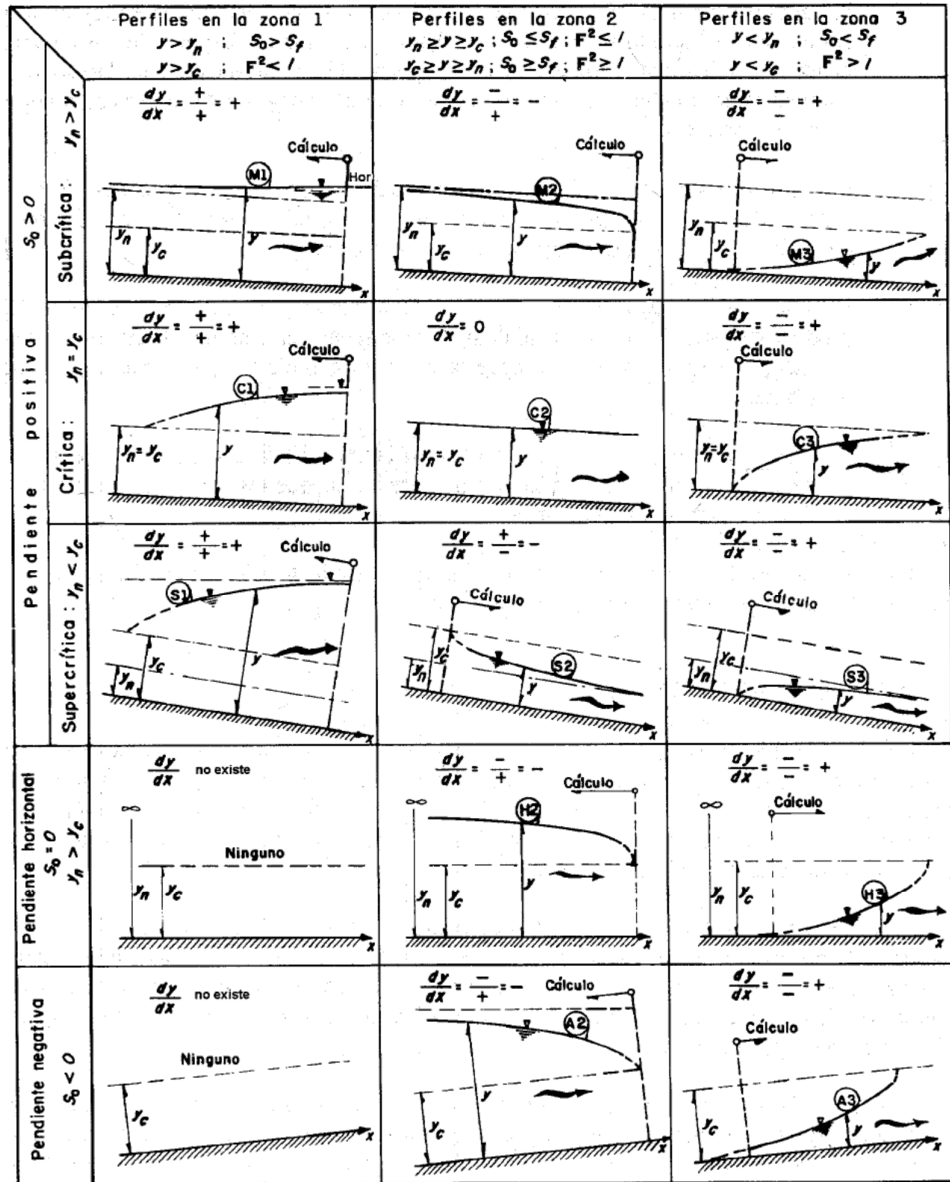


Figura 2.9 Clasificación de los perfiles de flujo gradualmente variado. Fuente:

Sotelo, 2002)

2.3 Alcantarillas tipo ducto cajón.

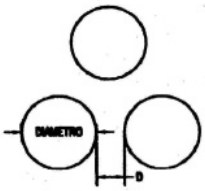

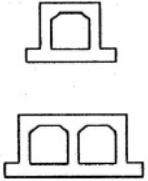
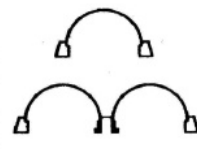
Las alcantarillas son conductos cerrados, de formas y materiales diversos (ver Tabla 2.2). En el diseño de carreteras se las categoriza como estructuras de drenaje transversal debido a que permiten el paso de agua por debajo del nivel de la sub-rasante de la vía, de un costado al otro, para mantener el patrón de drenaje natural o para encausar el agua transportada por cunetas, zanjas u otras obras complementarias hacia los puntos más bajos.

Las estructuras de drenaje transversal están conformadas por un conducto, las estructuras de entrada y de salida (cabezales y muros de ala) y otras obras complementarias que permitan mejorar las condiciones del flujo y eviten que se produzca erosión regresiva debajo de la estructura.

Para el caso de este estudio, tenemos que las alcantarillas son de tipo ducto cajón. Los ductos cajón son alcantarillas rectangulares de hormigón armado, diseñadas para soportar la carga muerta y viva debajo del pavimento o terraplén y el empuje lateral del suelo.

Dependiendo del caudal que reciban y su longitud, pueden ser ductos cajón de uno o más cuerpos, esto es: varios conductos de las mismas características instalados uno al lado del otro.

Tabla 2.2 Tipos de alcantarillas y materiales (Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003)

TIPO DE ALCANTARILLA	SECCION TIPICA	MATERIALES COMUNES
TUBO CIRCULAR SIMPLE O MULTIPLE		HORMIGON ARMADO METAL ⁽¹⁾ CORRUGADO
TUBO EN ARCO, DE TRAMO SIMPLE O MULTIPLE		METAL ⁽¹⁾ CORRUGADO
ALCANTARILLA DE CAJON SIMPLE O MULTIPLE		HORMIGON ARMADO
BOVEDA SIMPLE O MULTIPLE		METAL ⁽¹⁾ CORRUGADO SOBRE BASE DE HORMIGON ARMADO

NOTA: (1) EL METAL INCLUYE HIERRO GALVANIZADO, ACERO Y ALEACION DE ALUMINIO

2.3.1 Estructuras de entrada y de salida.

Las estructuras de entrada y salida se colocan en los extremos de las alcantarillas. Por lo general son dentellones, losas de hormigón simple, muros de ala y muros de cabecera.

Dentellón

El dentellón es un elemento vertical, de hormigón que cumple la función de una pantalla que evita que el agua socave a la alcantarilla aguas abajo, y además, desvía el nivel freático. Se lo construye antes de fundir la losa.

Losas de hormigón

Las losas de hormigón simple protegen el terreno adyacente al ducto (a la entrada o salida) contra la erosión producida por la caída del agua. Facilitan la entrada de agua al conducto y contrarrestan las fuerzas de subpresión.

Muros de cabecera y muros de ala (cabezal)

Los muros de cabecera y muros de ala son elementos de hormigón armado que retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión, acortan la longitud de la alcantarilla y dan estabilidad al extremo del ducto al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de subpresión.

Los muros de ala 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.

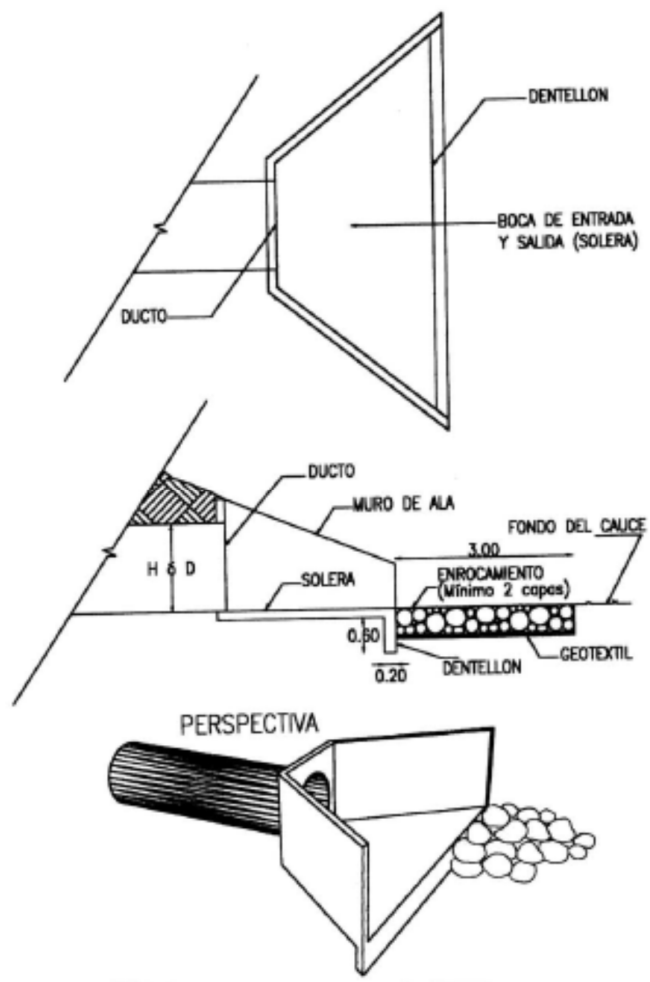


Figura 2.10 Sección típica de una alcantarilla (Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003)

2.3.2 Flujo en alcantarillas.

Las alcantarillas se dimensionan para que puedan soportar la carga hidráulica máxima en la entrada de manera que el flujo no afecte la estabilidad de la carretera, no cause daños en la alcantarilla, no

ocasiona inundaciones en los terrenos cercanos, y sobre todo, que no ponga en riesgo la seguridad y comodidad de los usuarios.

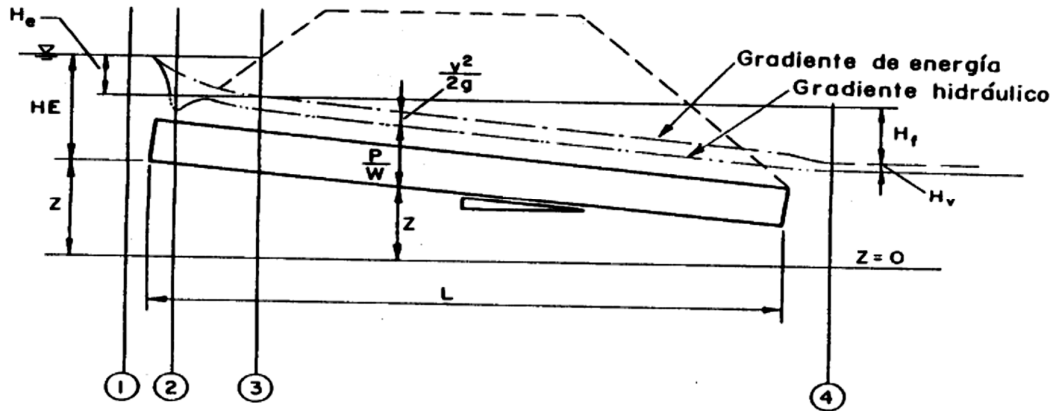


Figura 2.11 Esquema de flujo en alcantarillas.

Para el diseño se consideran dos condiciones de la sección de control (donde el tirante tiene un valor cercano al tirante crítico) del flujo:

- Flujo con control de entrada
- Flujo con control de salida

Flujo con control de entrada

En esta condición se asume que la sección de control está en la entrada de la alcantarilla y que el tirante crítico se forma en las proximidades de esta, por lo que aguas arriba de la sección el régimen es subcrítico (remanso) y aguas abajo es supercrítico, por lo que la alcantarilla puede funcionar parcialmente llena o llena en alguna parte del conducto, pero no completamente llena.

Esta sección de control está sujeta solamente a las condiciones de entrada de la alcantarilla, es decir a la carga hidráulica en la entrada (H_e), a las dimensiones de la sección transversal del conducto y a la forma de los muros de ala.

La carga hidráulica en la entrada (H_e) o profundidad de remanso es la altura a la que llega el agua en la entrada medida desde la cota invert de la alcantarilla. Dependiendo del tipo de canal que llega a la alcantarilla, la carga hidráulica máxima se establece en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Carga hidráulica máxima de diseño.

Tipo de Cauce	Tuberías	Cajones	Losas ($L \leq 6m$)
Canal	D (diámetro)	H (altura total)	H - 0.1 m
Diseño cauce natural	D + 0.3 m	H + 0.3 m	H - 0.1 m
Verificación cauce natural	D + 0.6 m	H + 0.6 m	H

Para obtener el valor de H_e se puede recurrir al nomograma “Alcantarilla de Cajón con control a la entrada” (Anexo D), donde conociendo las dimensiones del ducto cajón y el caudal que va a entrar a la alcantarilla, es posible aproximar H_e .

Flujo con control de salida.

En esta condición se asume que la sección de control está en la salida de la alcantarilla y que el tirante crítico se forma aguas arriba de esta sección, por lo que forma un remanso antes de la sección de control, dentro de la alcantarilla.

Para el flujo con control de salida se considera la influencia del nivel de agua en la entrada y en la salida, las características de los muros de ala, así como los efectos que producen las características de la alcantarilla (longitud, rugosidad, pendiente) sobre el flujo.

En la Figura 2.12 se muestra una alcantarilla sumergida en ambos extremos y la línea de energía hidráulica, se puede notar que las pérdidas de entrada (h_e), de fricción (h_f) y de velocidad (h_v) son la diferencia entre la carga en la entrada (H_e) y la profundidad en la salida (h_o).

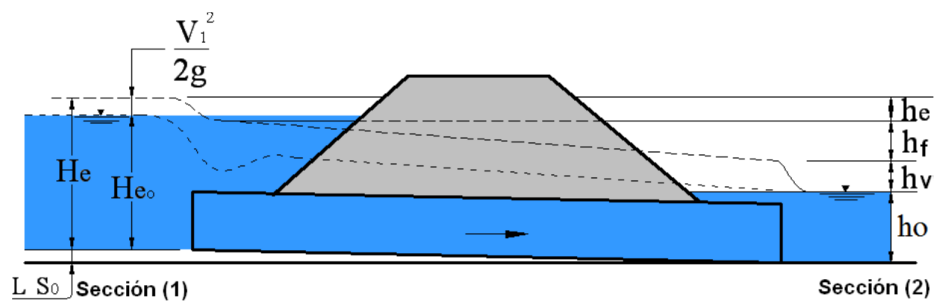


Figura 2.12 Línea de energía hidráulica a flujo pleno.

Al plantear la ecuación de energía entre la entrada y la salida de la alcantarilla, resulta la ecuación general de tipo:

$$H_e = H + h_o - L \cdot S_o$$

(2.9)

Donde:

H_e : Profundidad de agua a la entrada (m).

H : Energía equivalente a las pérdidas por la entrada, por fricción y velocidad, necesaria para que circule el caudal (m).

h_o : Profundidad de agua en la salida (m).

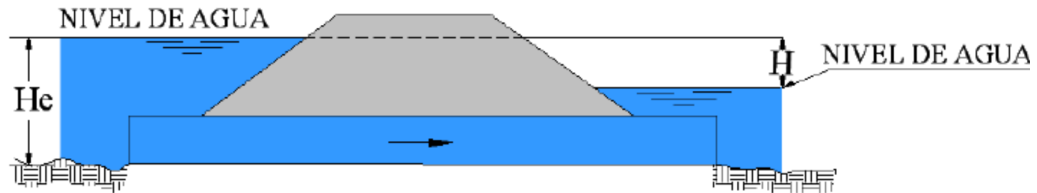
L : Longitud de la alcantarilla (m)

S_o : Pendiente de la alcantarilla.

El flujo con control de salida puede presentarse con la alcantarilla llena en toda su longitud o solo en una zona; también puede ocurrir que fluya parcialmente llena, siempre que se mantenga la premisa de que el remanso se produzca antes de la sección de control en la salida, es decir, que el flujo sea subcrítico dentro de la alcantarilla.

Con lo anterior se pueden dar dos casos: que la alcantarilla tenga la salida sumergida ($h_o > D$) o no sumergida ($h_o \leq D$), dependiendo de esto, el procedimiento de cálculo es diferente para cada uno.

a) Salida sumergida



Para el caso de la salida sumergida, H se calcula con la siguiente expresión:

$$H = h_v + h_f + h_e$$

A su vez:

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

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{2gn^2L}{Rh^{4/3}} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Que sustituyendo resulta:

$$H = \left(1 + K_e + \frac{2gn^2L}{Rh^{4/3}} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

Donde:

K_e : Coeficiente de pérdida de carga en la entrada

n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

g: Aceleración de gravedad (9.81m/s^2).

R_h : Radio hidráulico en la alcantarilla (m).

v: Velocidad media del flujo (m/s^2).

L: Longitud de la alcantarilla (m).

En la Tabla 2.4 se muestra los valores para el coeficiente de rugosidad de Manning (n) y en la Tabla 2.5, los valores para el coeficiente de pérdida de carga a la entrada (K_e).

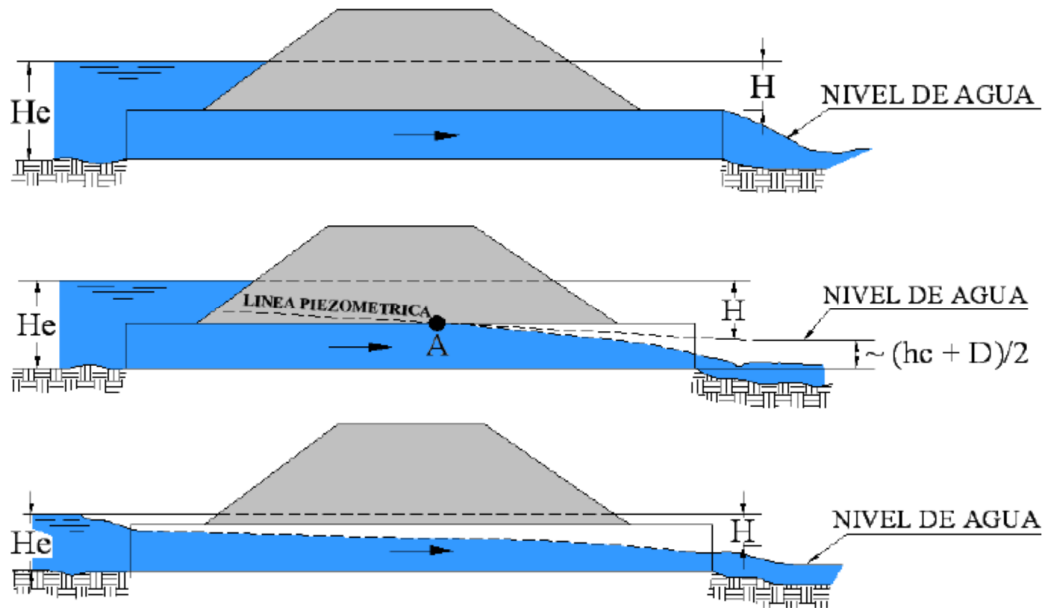
Tabla 2.4 Coeficiente de rugosidad de Manning.

Materiales	n
a) Hormigón	0,012
b) Metal Corrugado	
Ondulaciones estándar (68 mm x 13 mm)	0,024
25% revestido	0,021
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones medianas (76 mm x 25 mm)	0,027
25% revestido	0,023
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones grandes (152 mm x 51 mm)	
25% revestido	0,026
Totalmente revestido	0,012

Tabla 2.5 Coeficiente Ke para alcantarillado.

Tipo de estructura y características de la entrada		Ke
1. Tubos de hormigón.		
- Conducto prolongado fuera del terraplén.		
	- Borde ranurado	0.2
	- Borde cuadrado	0.5
- Con Muro de Frontal con o sin Alas		
	- Borde ranurado	0.2
	- Borde cuadrado	0.5
	- Borde redondeada ($r = 1/12 D$)	0.2
	- Borde biselada	0.2
2. Tubos circulares de metal corrugado		
- Conducto prolongado fuera del terraplén		
	- Sin Muro Frontal	0.9
	- Con Muro Frontal perpendicular al eje del tubo sin o con alas y bordes cuadrados	0.5
	- Con Muro Frontal perpendicular al eje del tubo sin o con alas y bordes biselados	0.25
3. Alcantarillas de cajón en hormigón armado con muro frontal paralelo al terraplén.		
	- Sin alas y bordes cuadrados.	0.5
	- Bordes y aristas redondeada ($r = 1/12 D$) o biseladas.	0.2
	- Con Alas formando ángulos entre 30° y 75° con el eje del conducto.	0.4
	- Bordes cuadrados.	0.2
	- Bordes del dintel con aristas redondeadas ($r = 1/12 D$) o biseladas.	0.5
	- Con alas formando ángulos entre 10° y 25° con el eje del conducto, y bordes cuadrados.	0.7
	- Con Alas alabeados y aristas redondeadas ($r = 1/4 D$) en el dintel.	0.1

b) Salida no sumergida



Para las alcantarillas no sumergidas, se utiliza la ecuación (2.9), de la cual conocemos los valores de L y S_o . El nivel de agua a la salida, h_o , adopta el mayor de los siguientes valores:

- T_w : Nivel de agua a la salida (si es conocido, o d_c)
- La línea piezométrica aproximada: $(d_c + D)/2$.

El valor de H se puede determinar usando el nomograma “Cajones de concreto a sección plena con control a la salida” (Anexo D), conociendo las dimensiones del ducto cajón, su longitud y caudal debe soportar la alcantarilla.

2.4 Caudal de diseño: Método Racional.

Para la estimación del caudal de diseño se puede utilizar el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad (2.11)$$

Dónde:

Q= Caudal pico de escurrimiento superficial (m³/s).

C= coeficiente de escorrentía.

I= Intensidad de precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (mm/h).

A= Área de aportación (Ha).

Este método es adecuado para el cálculo de los caudales generados en superficies menores de 1300 Ha.

2.4.1 Periodo de retorno.

El periodo de retorno es el tiempo esperado o el tiempo medio, expresado en años, en el que un valor de caudal es igualado o superado una vez.

El periodo de retorno está relacionado con la probabilidad de que ocurran esos eventos y puede ser calculado para eventos hidrológicos máximos por medio de métodos estadísticos, a partir de datos de precipitaciones máximas.

Sin embargo, para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial, de acuerdo al tipo de carretera, se pueden adoptar los siguientes valores de periodo de retorno recomendados en las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 (Tabla 2.6):

Tabla 2.6 Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial (Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003)

Tipo de carretera	Periodo de Retorno (años)
Arteriales	≥ 200
Colectoras	≥ 150
Vecinales	≥ 100

El periodo de retorno de diseño de las obras puede variarse, a juicio del ingeniero Consultor, para casos especiales, debidamente justificados.

2.4.2 Coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía determina que proporción de la cantidad total de lluvias se convierte en escorrentía superficial, basándose en las condiciones del sitio: permeabilidad del suelo, morfología de la cuenca,

pendiente longitudinal y cobertura vegetal. En las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (2003), se presentan los siguientes valores para el coeficiente de escorrentía (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Coeficiente de escorrentía (C). (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003)

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACIÓN	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
CULTIVOS	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
PASTOS, VEGETACIÓN LIGERA	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
HIERBA, GRAMA	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
BOSQUES DE DENSA VEGETACIÓN	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

La misma norma recomienda que para zonas que se espera puedan ser quemadas, se deben aumentar los coeficientes así:

Cultivos:	1.10
Hierba, pastos y vegetación ligera, bosques y densa vegetación:	1.30.

2.4.3 Intensidad de precipitación: curvas de Intensidad – Duración-Frecuencia (IDF).

La intensidad de precipitación se define como la cantidad de agua que cae en un punto, por el tiempo que dura la tormenta. Para el método racional se considera la intensidad de precipitación para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración.

Para estimar el valor de la intensidad de precipitación, se utilizan las curvas de intensidad-duración-frecuencia, las cuales son la relación matemática entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con que se observa.

Las curvas IDF se obtienen por medio de modelos matemáticos. Uno de los más utilizados es la distribución de probabilidad de Gumbel, junto con el ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

Para cada uno de los tiempos de duración de lluvias se puede adecuar la relación entre intensidad y periodo de retorno a una función de probabilidad de Gumbel:

$$F = 1 - \frac{1}{T} = e^{-e^{-\left(\frac{I-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (2.12)$$

Donde T es el periodo de retorno, y α y μ son los parámetros a calcular a partir de la desviación estándar (SI) y la media aritmética (\bar{I}).

$$\alpha = \frac{6}{\pi} \cdot S_I \quad (2.13)$$

$$\mu = \bar{I} - 0.5772 \cdot \alpha \quad (2.14)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_i \quad (2.15)$$

$$S_I = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(I_i - \bar{I})^2}{n-1} \right]} \quad (2.16)$$

De la distribución de probabilidad Gumbel se obtiene que la relación entre la intensidad máxima y el periodo de retorno es:

$$I(T) = \mu + \alpha \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (2.17)$$

Con los datos de precipitaciones máximas de una serie de años se calculan los parámetros de las ecuaciones (2.12) a (2.17) para diferentes tiempos de duración de lluvias, y periodos de retorno. Luego las curvas IDF se ajustan a una función, con parámetros obtenidos con alguno de los métodos de ajuste de probabilidades.

CAPÍTULO III

3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

3.1 Definición del área de estudio.

Como se puede observar en la Figura 3.1, en el predio del campus se pueden diferenciar dos sectores, tomando como referencia la garita principal:

- Sector Este, que corresponde a la implantación del Parque del Conocimiento (PARCON).
- Sector Oeste, que corresponde a la Administración General y las Unidades Académicas (instalaciones que funcionan desde el año 1992).

Este estudio tiene lugar en el Sector Oeste del campus, específicamente sobre la vía perimetral del campus y en el área de la Facultad de

Economía y Negocios (FEN), que se marca en con un recuadro rojo en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Sectores del campus “Gustavo Galindo V.”-ESPOL. (Fuente: Google Earth)

Originalmente la vía perimetral del campus era de pavimento flexible, pero en 2008 se amplió la carretera y se reemplazó la capa de rodadura hormigón asfáltico por una losa de hormigón compactado con rodillo. Actualmente, es una vía de cuatro carriles (dos carriles en cada sentido) desde la garita hasta el coliseo, luego se reduce a dos carriles en la presa del lago artificial y la vía que lo rodea. La vía tiene una longitud de 4.13 km.

El sistema de drenaje pluvial de ésta vía consiste de cunetas a los costados (en ciertos tramos) que llevan el agua de lluvias hasta canales recubiertos o hasta canales naturales; y alcantarillas que atraviesan la vía para continuar el flujo hacia otros canales.

En este estudio se analizan tres alcantarillas cuyo caudal es conducido por el canal que atraviesa la Facultad de Economía y Negocios (FEN)

El área de estudio tiene una extensión es de 115.98 Ha y comprende las áreas de aportación que reciben las tres alcantarillas, como se determina en la sección 4.1. En el plano 2 del Anexo B se muestran la ubicación geográfica y forma del área de estudio.

3.2 Estructuras existentes en el área de estudio.

Las alcantarillas en el área de estudio son de tipo ducto cajón, dos de ellas descargan en el canal que atraviesa a la Facultad de Economía y Negocios (FEN) y la otra se encarga de evacuar los caudales acumulados por dicho canal.

Debido a que no se tiene las especificaciones técnicas de estas estructuras, se procedió a identificarlas en campo, para conocer su localización, dimensiones, cotas, materiales y estado actual. En las siguientes secciones se detallan esas características de los ductos cajón y del canal.

En el Anexo C se presenta el registro fotográfico y la descripción de las alcantarillas y del canal.

3.2.1 Alcantarillas.

En la cartografía obtenida se procedió a abscisar cada 20 m la vía perimetral del campus, con el objetivo de conocer la localización de cada alcantarilla con respecto a la vía.

Para simplificar la ubicación de las estructuras dentro del campus, se determinó que la abscisa 0+000 esté ubicada en el parterre central, “intersectando” con el eje de la alcantarilla 1, así el tramo de estudio sobre la vía va hasta la abscisa 0+434 que corresponde a la ubicación de la alcantarilla 3.

En la Figura 3.2 se muestra el tramo de la vía donde se encuentran las tres alcantarillas, así como el canal que los relaciona. En el plano 3 del Anexo B se presenta esta información, más detallada.

Las alcantarillas 1 y 2 son ductos cajón de hormigón armado y de sección cuadrada. Conducen el agua de lluvia desde unos canales localizados al sur del Sector Oeste del campus hacia el canal de la FEN.

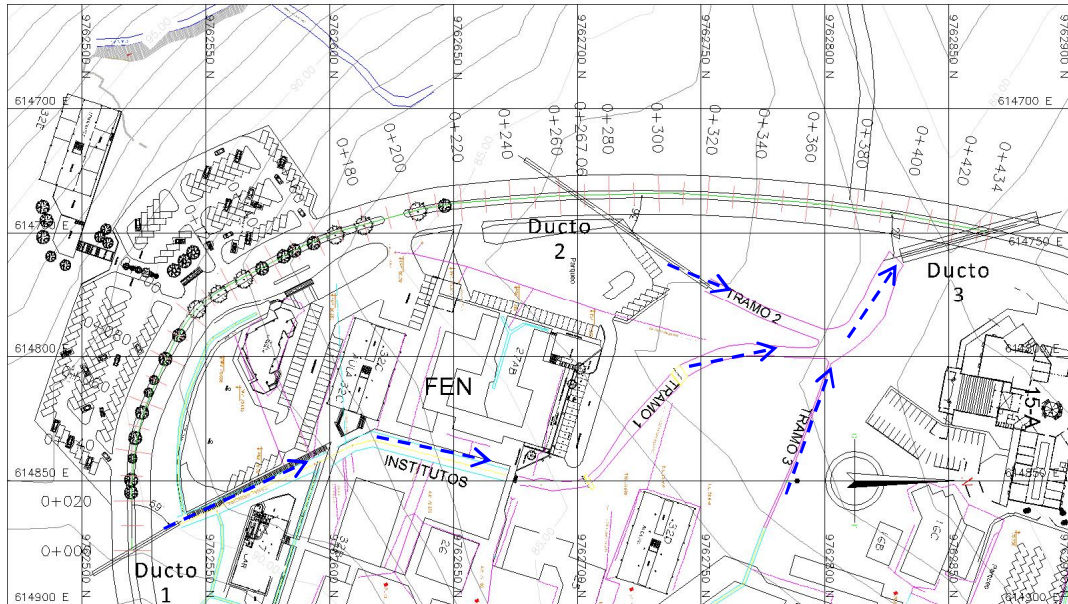


Figura 3.2 Tramo de la vía perimetral del campus: ubicación de ductos cajón y canales.

La tercera alcantarilla consiste en una batería de 3 ductos cajón de hormigón armado y de sección cuadrada, la cual encausa el flujo proveniente del canal de la FEN hacia un canal natural al norte del Sector Oeste del campus.

Las dimensiones de los ductos cajón se muestran en la Tabla 3.1, en la Tabla 3.2 se muestran las dimensiones de las estructuras en la entrada y en la

Tabla 3.3, las dimensiones de las estructuras en la salida de los ductos.

Estos datos fueron recolectados en el sitio, utilizando los equipos topográficos disponibles: teodolito, mira, jalón y cinta. En el Anexo C se presenta un registro fotográfico y descripción de las alcantarillas.

En este estudio no se determinan las características de los dentellones debido a que estos van debajo los demás elementos de la estructura, por lo que son información desconocida.

Tabla 3.1 Dimensiones de los ductos cajón

Alc. #	1	2	3
Abscisa	0+000	0+267	0+434
Ángulo al eje (°)	59	36	27
N° de cuerpos	1	1	3
D (m)	1.8	1.8	1.8
B (m)	1.8	1.8	1.8
e (m)	0.15	0.15	0.2
L (m)	49	90	58
S (m/m)	0.01	0.005	0.03
Cotas (m)			
Invert entrada	87.19	81.93	74.4
Invert salida	86.59	81.27	72.76
Clave entrada	89.59	84.33	76.8
Clave salida	88.99	83.67	75.16

Tabla 3.2 Dimensiones de las estructuras de entrada de los ductos cajón.

Alc. #	1	2	3
Muro de ala			
Ángulo α (°)	28	33	60
Ángulo θ (°)	14	30	20
Espesor (m)	0.45	0.45	0.45
Longitud (m)	5.7	3.9	5.3
Altura 1 (m)	2.4	2.4	2.4
Altura 2(m)	0.95	0	0.6
Muro de cabecera			
Altura (m)	0.6	0.6	0.6
Espesor (m)	0.45	0.45	0.45
Espesor de losa	0.2	0.2	-

Tabla 3.3 Dimensiones de las estructuras de salida de los ductos cajón.

Alc. #	1	2	3
Muro de ala			
Ángulo α (°)	40	55	-
Ángulo θ (°)	14	17	-
Espesor (m)	0.45	0.45	-
Longitud (m)	6	4	-
Altura 1 (m)	2.4	2.4	-
Altura 2(m)	0.9	1.2	-
Muro de cabecera			
Altura (m)	0.6	0.6	-
Espesor (m)	0.45	0.45	-
Rápida lisa			
Altura(m)	0.8	-	-
Ángulo(°)	45	-	-
Rápida escalonada			-
# de escalones	-	3	-
Altura 1(m)	-	0.9	-
Altura 2 (m)	-	0.45	-
Altura 3 (m)	-	1	-
Ancho (m)	-	2.1	-

3.2.2 Canal FEN.

El canal de la Facultad de Economía y Negocios (FEN) es un canal de ancho variable y alineamiento curvo que recibe aportaciones de otros canales, cunetas, cajas de registro y la escorrentía superficial de los alrededores.

Para el canal se midieron las dimensiones de las secciones en campo y se anotaron las características de cada tramo, en el plano se trazó el eje del canal y se lo abscisó para poder identificar a cada tramo por su ubicación.

El canal está conformado por tres tramos principales: el primero empieza a la salida de la alcantarilla 1 y termina en alcantarilla 3, tiene una longitud aproximada de 310m.

Este tramo es el de mayor longitud, presenta un alineamiento curvo con ancho y forma de sección variables. En este tramo del canal existen dos vertederos (rompe velocidades), formando un dissipador de tanque entre ellos.

En este tramo se pueden diferenciar seis transiciones importantes:

- Tramo 1A, inicia a la salida del ducto cajón, es el tramo de transición.

- Tramo 1B, cambio de sección, llega hasta la primera curvatura del canal.
- Tramo 1C, cambio de sección, segunda curvatura.
- Tramo 1D, tramo curva hasta el primer vertedero.
- Tramo 1E, inicia en el primer vertedero y termina en el segundo vertedero.
- Tramo 1F, inicia en el segundo vertedero y termina en la intersección con los tramos 2 y 3.
- Tramo 1G, inicia en la intersección con los tramos 2 y 3 y termina en la entrada a la alcantarilla 3.

El tramo 2 proviene de la alcantarilla 2 y tiene una longitud aproximada de 38m, que se interseca con el tramo 1, antes de llegar a la alcantarilla 3.

Este tramo tiene un vertedero que además de amortiguar la velocidad del flujo tiene la función de retener los sólidos arrastrados por la alcantarilla. A este tramo se lo ha dividido en dos partes: uno antes y uno después del vertedero.

El tramo 3 es un canal trapezoidal empedrado de 55m de longitud, que pasa por detrás de los laboratorios de computación y se interseca con el tramo principal antes de llegar a la alcantarilla 3.

A lo largo del canal se puede encontrar secciones trapezoidales y rectangulares empedradas o recubiertas de hormigón. En la Figura 3.3 se muestra el canal y los tramos que lo conforman.

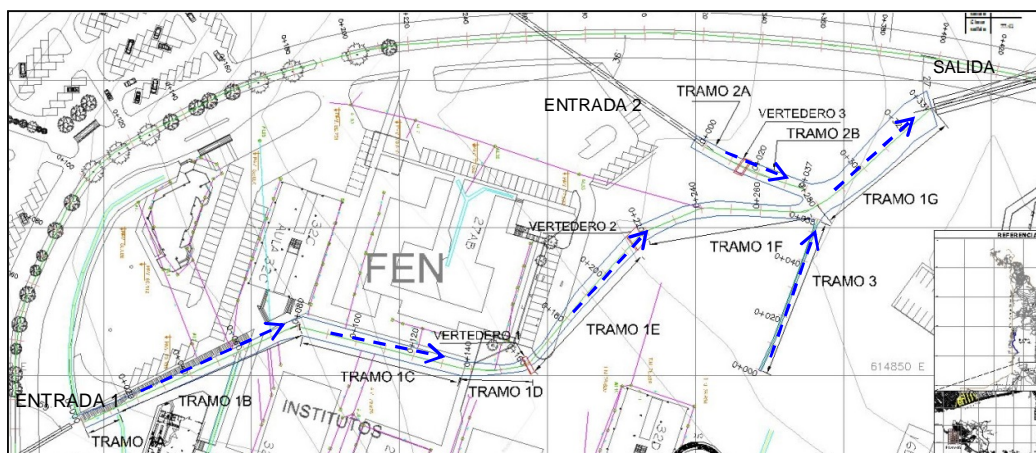


Figura 3.3 Canal que atraviesa la Facultad de Economía y Negocios, ESPOL.

En la Tabla 3.4 se muestran las características y dimensiones de los tramos del canal. En el Anexo C se presenta un registro fotográfico y descripción detallada de los tramos del canal.

Tabla 3.4 Datos de los tramos del canal de la FEN.

Tramo	Forma	Alineamiento	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	L (m)	Cota de fondo (m)	S (m/m)	b (m)	s (m)
1A	Trapezoidal	Recto	0+000.00	0+011.90	11.90	85.90	0.03	5.50	0.92
1B	Trapezoidal	Recto	0+011.90	0+032.60	20.70	85.60	0.03	3.90	0.92
1C	Rectangular	Curvo	0+032.60	0+118.60	86.00	85.08	0.03	3.90	>0.90
1D	Trapezoidal	Curvo	0+118.60	0+141.20	22.60	82.50	0.03	3.90	0.40
1E	Trapezoidal	Curvo	0+141.20	0+197.27	56.07	81.79	0.03	5.90	0.40
1F	Trapezoidal	Curvo	0+197.27	0+256.98	59.71	80.23	0.03	5.90	0.40
1G	Trapezoidal	Curvo	0+256.98	0+312.65	55.67	78.74	0.03	15.00	0.40
2A	Trapezoidal	Recto	0+000.00	0+015.00	15.00	79.13	0.01	5.00	0.40
2B	Trapezoidal	Recto	0+015.00	0+037.70	22.71	78.98	0.01	5.00	0.40
3	Trapezoidal	Recto	0+000.00	0+054.89	54.89	79.37	0.02	0.90	0.92

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

4.1 Caracterización de las áreas de aportación.

En el caso particular de este estudio, el cuerpo receptor es el canal de la Facultad de Economía y Negocios (FEN) y el drenaje está condicionado al sistema de alcantarillado pluvial construido en el campus.

El sistema de alcantarillado del campus es un sistema separado que funciona a gravedad, es decir, que los caudales de aguas residuales son conducidos por redes de tuberías diferentes que las aguas de lluvia, sin necesidad de la utilización de estaciones de bombeo para el transporte de estos caudales hasta el cuerpo receptor.

Para describir las cuencas primero se delimitan sus áreas de drenaje superficial. Las zonas de interés conforman el área de estudio, para las cuales se determinan algunos parámetros geomorfológicos.

4.1.1 Delimitación de las subcuencas de drenaje.

Se puede evidenciar que el campus se encuentra dentro de una gran cuenca, conformada por varias subcuencas, que incluiría algunas partes de los predios aledaños, y que desagua hacia la Vía Perimetral en varios puntos.

Para un análisis más adecuado, se definieron cinco sub cuencas dentro de los predios del campus, dos de las cuales corresponden a los lagos artificiales y las tres restantes desembocan en un canal que se encuentra en el límite entre el plan habitacional Socio Vivienda y los predios de ESPOL. En el Anexo B, en el plano 1, se puede observar las subcuencas.

El área de estudio se localiza en la subcuenca 1, que tiene un área total de 183.91 Ha. Se dividió esta subcuenca en cinco microcuencas, tomando como puntos de descarga a las estructuras existentes (alcantarillas, canales y cauces naturales).

En la Figura 4.1 se observa la subcuenca 1, y las microcuencas identificadas en ella, de las cuales las áreas MC_01, MC_02 y MC_03 corresponden al área de estudio, que está sombreado de color rojizo. En la Tabla 4.1 se muestran las coordenadas UTM del área de estudio.

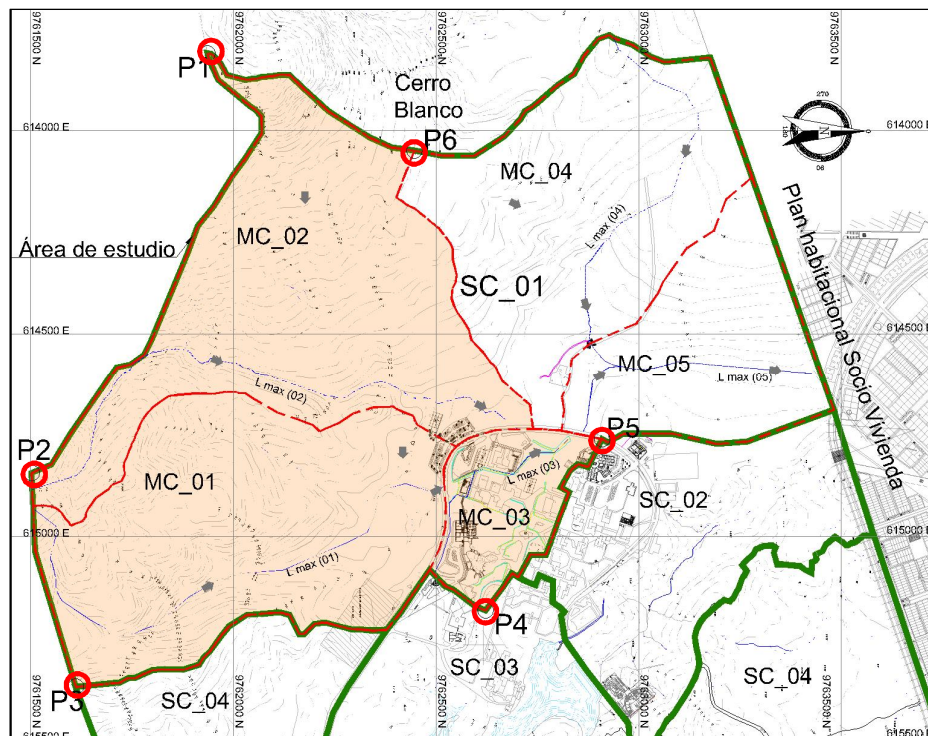


Figura 4.1 SC_01 y las cinco áreas de aportación (MC) identificadas

Tabla 4.1 Coordenadas UTM área de estudio

Punto	Norte	Este
1	9761936.89	613810.59
2	9761502.37	614844.26
3	9761611.71	615370.42
4	9762622.54	615182.57
5	9762909.54	614760.68
6	9762446.92	614047.64

4.1.2 Parámetros geomorfológicos.

En la sección 2.1.2 se presenta la definición de los parámetros geomorfológicos de las cuencas: área (A), perímetro (P), longitud de

máximo recorrido (L_{max}), pendiente (S), factor de forma (F), índice de compacidad (Kc) y tiempo de concentración (t_c). En la Tabla 4.2 se muestran los valores de los parámetros correspondientes a cada microcuenca que se analiza en este estudio.

Tabla 4.2 Parámetros geomorfológicos de las microcuencas

MC#	A (Ha)	P (m)	L (m)	S	F	Kc	Forma	t_c (min)
1	50.73	3158.22	1374.83	0.11	0.27	1.25	I	11.73
2	54.07	4329.02	1488.62	0.12	0.24	1.66	III	12.20
3	11.18	1456.45	584.26	0.04	0.33	1.23	I	8.72
Total	115.98							

De estos datos podemos comentar que como los valores del factor de forma (F) son menores a 1, las microcuencas son alargadas las crecidas tienen la tendencia de ser lentas y sostenidas.

Por otro lado, el factor de compacidad (Kc), indica que las microcuencas 1 y 3 son de forma I: casi oval o redondeada, y que sus tiempos de concentración son cortos con gastos pico muy fuertes. Esto se cumple en el caso de la microcuenca 3, no así para la 1.

Vale notar que la microcuenca 1 está en el límite entre la forma I y II, y en realidad, la forma II (redonda a oval) se adapta mejor a lo que se observa en los planos y al resultado del tiempo de concentración.

La microcuenca 2 tiene forma III, que es oblonga a rectangular, con un tiempo de concentración relativamente alto.

En el caso de la microcuenca 3 se decidió tomar el valor de 8.72 minutos en lugar de 10, como se sugiere en la sección 2.1.2, pues se considera que la velocidad en el cauce principal (canal FEN) va a aumentar por el tipo de superficie que se encuentra en este lugar y por el tamaño de la microcuenca.

La microcuenca 3 tiene un área de aportación de solo 11.18 Ha y su forma es redondeada, por lo que se esperaba que el tiempo de concentración sea corto. Además los canales de hormigón y enrocado, la existencia de edificios en el área y los pisos recubiertos de hormigón, le proporcionan a la superficie condiciones de rugosidad y permeabilidad baja (al menos menor que en un terreno boscoso o con material suelto), por lo que se tiene la expectativa de que la escorrentía superficial fluya con poca resistencia.

4.2 Análisis de la información hidrológica del sector.

Las precipitaciones en la ciudad de Guayaquil y en general, de la Costa ecuatoriana, están influenciadas por los sistemas atmosféricos y las condiciones térmicas del Océano Pacífico: Corriente Ecuatorial, Corriente de Humboldt, el desplazamiento meridional de la Zona de Convergencia Intertropical y la presencia de la Cordillera de los Andes.

El clima del sector se considera como “tropical húmedo y seco (sabana) con invierno único predominante”. El periodo lluvioso inicia en el mes de diciembre o enero y culmina en mayo, la mayor cantidad de las precipitaciones se presentan en los primeros cuatro meses del año, como se puede observar en la Figura 4.2 de la distribución temporal de la precipitación en 2009 de la estación Radio-Sonda en Guayaquil.

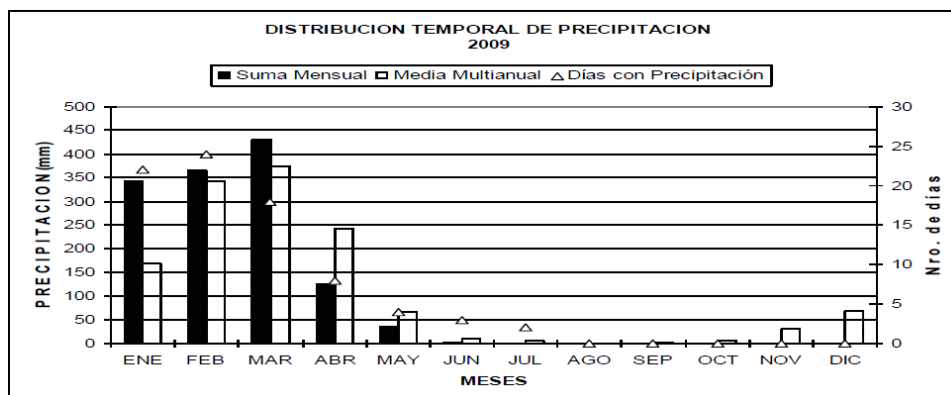


Figura 4.2 Distribución temporal de la precipitación 2009, estación Radio-Sonda (INAMHI)

4.2.1 Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).

La base de estas curvas fue tomada del Plan Emergente de Drenaje Pluvial de la Ciudad de Guayaquil realizado en el año 1999 por el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica (IIFIUC).

Las funciones de ajuste representativas de las curvas IDF para Guayaquil se presentan en la Tabla 4.3 y la Figura 4.3.

Tabla 4.3 Parámetros de ajuste para las curvas IDF de la ciudad de Guayaquil

Período de Retorno Tr (Años)	Ecuación curvas IDF		
	$I(t_d) = \frac{c}{t_d^e + f}$		
	C	f	E
2	742.53	5.47	0.63
5	570.75	2.35	0.5077
10	521.00	1.49	0.45
25	486.47	0.88	0.40
50	471.72	0.39	0.37
100	463.15	0.38	0.35

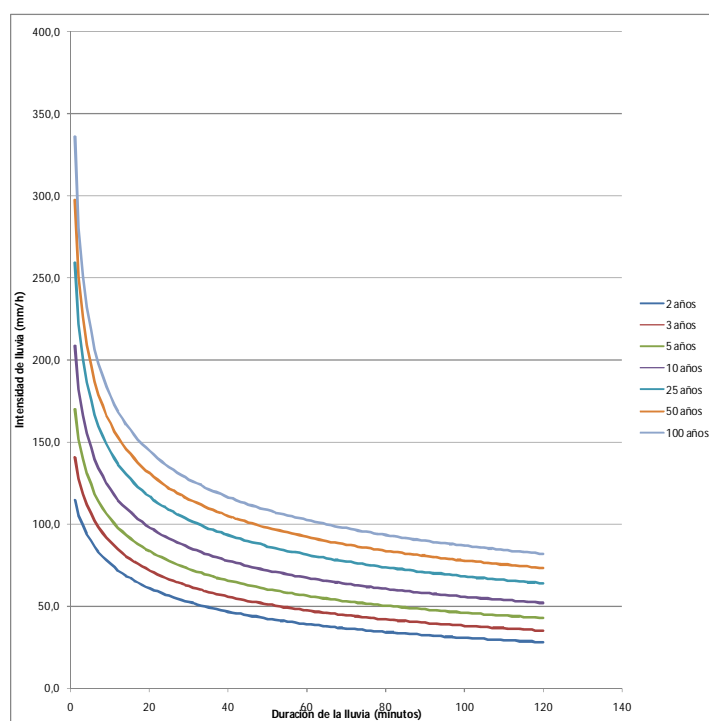


Figura 4.3 Curvas IDF para la ciudad de Guayaquil

En el capítulo siguiente se determina la intensidad de precipitación para el periodo de retorno seleccionado y los tiempos de duración obtenidos en cada microcuenca.

CAPÍTULO V

5 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES.

5.1 Determinación del caudal de diseño.

Para el caudal de diseño se aplicará el método racional, en el que se considera que el tiempo de duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración en las cuencas ($t_d=t_c$). El método es aplicable para áreas de drenaje menores a 1300 Ha, por lo que es adecuado para este estudio.

Los valores de tiempo de concentración constan en la Tabla 4.2. Además se determinan el periodo de retorno (T_r), el coeficiente de escurrimiento (C), la intensidad de precipitación (I) y las áreas de las microcuencas (A), necesarios para la aplicación del método, en base a los criterios expuestos en la sección 2.4.

Periodo de retorno T_r (años)

De acuerdo a lo tratado en la sección 2.4.1, se escoge el periodo de retorno, basado en el tipo de carretera.

La vía de la ESPOL es de uso exclusivo de la universidad, por lo que se la considera como una carretera vecinal, con un periodo de retorno de diseño de 100 años.

Intensidad de precipitación (I).

Con la ecuación de las curvas IDF para la ciudad de Guayaquil (Tabla 4.3) se calcula la intensidad de precipitación en (mm/h) para el periodo de retorno seleccionado de 100 años y el tiempo de concentración de cada microcuenca.

En la Tabla 5.1 se muestran los valores de intensidad de precipitación para las microcuenca.

Coefficiente de escorrentía C.

El campus está localizado dentro del Bosque Protector Prosperina. De las 690 Ha del predio, cerca del 80% del suelo está cubierto por la vegetación del bosque y el suelo es semipermeable, éste es el caso de las microcuencas 1 y 2, cuyo valor de coeficiente de escorrentía puede estimarse a partir de la Tabla 2.7, tomando en cuenta la pendiente de las microcuencas (Tabla 4.2).

En la microcuenca 3, que contiene parte de los edificios, infraestructura vial y de drenaje, es decir, en el sector urbanizado del campus, el suelo se puede considerar impermeable, por el recubrimiento de hormigón, la pendiente promedio se la encuentra en la Tabla 4.2.

En la Tabla 5.1 se muestran los valores de C para las microcuencas, junto a otros parámetros.

Caudal Q (L/s)

Con los parámetros de las secciones anteriores y usando la ecuación (2.11) se calcula el caudal por el método racional para cada microcuenca.

El tiempo de concentración y el área de las microcuencas ya fueron determinados antes, en la sección 0. En la Tabla 5.1 se muestran los resultados obtenidos para el caudal en las microcuencas (QMC).

Tabla 5.1 Caudal de las microcuencas para un periodo de retorno de 100 años.

MC#	A (Ha)	t_c (min)	C	I (mm/h)	Q_{MC} (m³/s)
1	50.73	11.73	0.37	168.58	8.79
2	54.07	12.20	0.37	166.60	9.26
3	11.18	8.72	0.6	184.21	3.43
Total	115.98				

5.2 Funcionamiento hidráulico.

5.2.1 Flujo en alcantarillas

El objetivo de esta sección es determinar el caudal que pueden llevar las alcantarillas, así como la capacidad de descarga y el tipo de flujo que presentan.

Determinación del caudal en las alcantarillas.

Es importante recordar que las alcantarillas 1 y 2 reciben el 100% de la aportación de sus respectivas microcuencas, pero en la alcantarilla 3 se acumulan los caudales de las tres áreas de aportación, por lo tanto para calcular el caudal de esta última alcantarilla se debe considerar como el área de aportación a la sumatoria de las tres áreas, que al final representa la acumulada de los caudales (ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Caudal de diseño para las alcantarillas.

Alc. #	MC#	Q_{MC} (m ³ /s)	Q_d (m ³ /s)
1	1	8.73	8.73
2	2	9.30	9.30
3	1	8.73	21.43
	2	9.30	
	3	3.40	

Se debe garantizar que el nivel del agua en el canal a la entrada o salida de la alcantarilla no alcance y mucho menos supere el nivel de la rasante de la vía, para lo cual se analiza el comportamiento del flujo. En caso de que la altura de agua exceda la capacidad de la alcantarilla, necesitamos conocer cuánto es la diferencia, el tiempo que duraría y la frecuencia con la que esto ocurriría.

Control de flujo en la entrada.

La altura a la entrada del ducto se estima utilizando el nomograma para alcantarillas de cajón con control a la entrada (Anexo D-1), conociendo las dimensiones de los ductos y el caudal que percibe cada uno.

Para usar el nomograma se necesita conocer los valores de la altura del cajón D (mm), la relación Qd/B ($m^3/s/m$) - donde B es el ancho de la base del ducto - y el ángulo α ($^\circ$) entre los muros de ala y el ducto. En la Tabla 5.3 se muestran los datos antes mencionados y los valores de la carga hidráulica en la entrada de las alcantarillas obtenidos del nomograma.

Tabla 5.3 Datos de ingreso para el nomograma y valores de H_e/D

Alc. #	α (°)	D (mm)	B (m)	Q_d (m ³ /s)	Q_d/B (m ³ /s/m)	H_e/D
1	30	1800	1.80	8.79	4.88	1.20
2	35	1800	1.80	9.26	5.14	1.28
3	60	1800	5.40	21.48	3.98	1.01

La carga hidráulica máxima para canales es igual a la altura del ducto, mientras que para la verificación de cauces naturales, se considera la altura del ducto más 0.6m.

En la Tabla 5.4 se muestra el valor de H_e para cada alcantarilla. Se puede constatar que en la alcantarilla 1, la carga hidráulica sobrepasa la carga hidráulica máxima por 0.36m para un caudal de 8.73 m³/s, correspondiente a una precipitación de 12 minutos de duración y un periodo de retorno de 100 años. Esto indica que la entrada de la alcantarilla 1 estaría sumergida.

Tabla 5.4 Carga hidráulica a la entrada del ducto cajón.

Alc. #	H_e (m)	Tipo de cauce	$H_{e,max}$ (m)	$H_e < H_{e,max}$	$H_e - H_{e,max}$
1	2.16	Canal	1.80	Revisar	0.36
2	2.30	Verificación cauce natural	2.40	Ok	(-0.1)
3	1.82	Canal	1.80	Revisar	0.02

La alcantarilla 2 no excede la carga hidráulica máxima, sin embargo su entrada estaría sumergida para una precipitación de 12 minutos de duración, con un periodo de retorno de 100 años.

El flujo en la alcantarilla 3 sobrepasaría por 0.02m la carga hidráulica máxima para una precipitación de 9 minutos de duración y un periodo de retorno de 100 años. Esta alcantarilla también estaría sumergida en la entrada.

En todos los casos la sección de control se localiza en la entrada y además está sumergida. Se conoce por las observaciones in situ de las estructuras funcionando después de un evento lluvioso (Anexo C) que las pendientes de las alcantarillas son altas ($>1\%$), por lo que el conducto funcionará parcialmente lleno y el tirante en la salida será de régimen supercrítico. Se realizará el análisis de control de flujo en la salida para ratificar ésta afirmación.

Control de flujo a la salida.

Para asumir que la sección de control de flujo es en la salida se debe confirmar que dentro del conducto, antes de la sección de control se produce un remanso, es decir, que el flujo es de régimen subcrítico.

Para esto calculamos el tirante crítico (h_c) dentro de las alcantarillas y con él, la pendiente crítica (S_c). Luego comparamos S_c con la pendiente de las alcantarillas (S_o) y si $S_o < S_c$, entonces la pendiente S_o es subcrítica, el flujo será subcrítico y se puede considerar que el control debe hacerse en la salida.

De otro modo, con un flujo supercrítico, el control definitivamente es en la entrada. En la Tabla 5.5 y en la Tabla 5.6 se muestra los valores de la pendiente crítica de las alcantarillas y se comparan con la pendiente de cada una.

Para secciones rectangulares el tirante crítico y la pendiente crítica se pueden obtener con las siguientes expresiones:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/B)^2}{g}} \quad (5.1)$$

$$S_c = \frac{g \cdot h_c \cdot n^2}{R_h^{4/3}} \quad (5.2)$$

Tabla 5.5 Tirante crítico y pendiente crítica para las alcantarillas.

Alc. #	B (mm)	Q_d (m ³ /s)	R_h	h_c (m)	S_c
1	1800	8.79	1.34	1.34	0.004
2	1800	9.26	1.39	1.39	0.004
3	5400	21.48	1.17	1.17	0.002

Tabla 5.6 Determinación del tipo de flujo a partir de la pendiente del fondo de la alcantarilla.

Alc. #	Sc	So (m/m)	Flujo
1	0.004	0.010	Supercrítico
2	0.004	0.005	Supercrítico
3	0.002	0.030	Supercrítico

Tabla 5.7 Tirante normal y tirante crítico en las alcantarillas.

Alc. #	h_c (m)	h_n (m)	Flujo
1	1.34	0.97	Supercrítico
2	1.39	1.32	Supercrítico
3	1.17	0.49	Supercrítico

Se puede observar que en las tres alcantarillas el flujo es supercrítico, es decir que no se dan las condiciones para que la sección de control de flujo sea en la salida. En todos los casos el control es en la entrada.

Luego de las alcantarillas, el flujo va hacia los tramos del canal, con régimen supercrítico (Tabla 5.7).

5.2.2 Flujo en los tramos del canal.

Tirante crítico y tirante normal.

Para los tramos del canal, se determinó el tirante crítico y el tirante normal, independientemente de los efectos producidos por las estructuras de disipación de energía (vertederos) que existen en algunos sectores. Sin embargo las condiciones que ellos generan serán analizadas posteriormente.

Cada tramo del canal se analizará considerando que el flujo está en un régimen uniforme, así podemos hacer uso de la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad:

$$Q = \frac{A \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{S}}{n} \quad (5.3)$$

En la Tabla 5.8 se muestra los tramos del canal con el área de aportación que cada tramo recibe de la microcuenca 3, el caudal que éstas áreas generan (Q_{aa}), el caudal adicional proveniente de las alcantarillas (Q_{alc}), el caudal en cada tramo (Q_{tr}) y el caudal acumulado en los tramos del canal (Q_{acu}).

Tabla 5.8 Caudal acumulado en los tramos del canal de drenaje.

Tramo	Área de aportación (m ²)	Q_{aa} (m ³ /s)	Q_{alc} (m ³ /s)	Q_{tr} (m ³ /s)	Q_{acu} (m ³ /s)
1A	18256.7928	0.560513	8.79	9.35	9.35
1B	3971.7843	0.12194	0.00	0.12	9.47
1C	22735.6462	0.698021	0.00	0.70	10.17
1D	2364.9132	0.072607	0.00	0.07	10.24
1E	3414.7175	0.104837	0.00	0.10	10.35
1F	1698.7468	0.052154	0.00	0.05	10.40
1G	7717.8983	0.236952	0.00	0.24	21.48
2A	7120.1034	0.218599	9.26	9.48	9.48
2B	737.9218	0.022655	0.00	0.02	9.50
3	43830.4143	1.345664	0	1.35	1.35

En la Tabla 5.9 se muestran los valores de la proyección horizontal de la pared del canal (z), el ancho de fondo (b), la pendiente (S) y el coeficiente de Manning, n, correspondiente a cada tramo del canal.

Tabla 5.9 Características físicas de las secciones del canal.

Tramo	Forma	z	b (m)	S
1A	Trapezoidal	0.25	5.50	0.03
1B	Trapezoidal	0.25	3.90	0.03
1C	Rectangular	0.00	3.90	0.03
1D	Trapezoidal	1.00	3.90	0.03
1E	Trapezoidal	0.67	5.90	0.03
1F	Trapezoidal	0.67	5.90	0.03
1G	Trapezoidal	0.25	15.00	0.03
2A	Trapezoidal	1.50	5.00	0.01
2B	Trapezoidal	1.50	5.00	0.01
3	Trapezoidal	1.17	0.90	0.02

El coeficiente de rugosidad de Manning se lo seleccionó de la tabla 5-6 del libro Hidráulica de canales abiertos de Ven te Chow (Anexo D-3). La descripción seleccionada para cada caso se basa en las observaciones en campo que se presentan en el Anexo C. En la Tabla 5.10 se muestran los valores de n para el canal.

El tirante crítico para canales trapezoidales se puede obtener al resolver la siguiente ecuación (Sotelo, 2002):

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \left[\frac{(b + z \cdot y_c)^3}{b + 2z \cdot y_c} \right]^{1/2} \cdot y_c^{3/2}$$

Y el tirante crítico para secciones rectangulares es:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/B)^2}{g}}$$

La Tabla 5.11 presenta los valores de tirante crítico para cada tramo del canal.

Tabla 5.10 Selección del coeficiente n de Manning para los tramos del canal.

Tramo	Tipo de canal	n
1A	Fondo de grava con lados de concreto encofrado	0.02
1B	Fondo de grava con lados de concreto encofrado	0.02
1C	Fondo de grava con lados de concreto encofrado	0.02
1D	Fondo de concreto terminado y lados de mampostería de piedra cementada	0.025
1E	Fondo de concreto terminado y lados de mampostería de piedra cementada	0.025
1F	Cemento: mortero	0.013
1G	Cemento: mortero	0.013
2A	Fondo de concreto terminado y lados de mampostería de piedra cementada	0.025
2B	Cemento: mortero	0.013
3	Mampostería de piedra cementada	0.025

Tabla 5.11 Tirante crítico de los tramos del canal.

Tramo	Forma	y_c (m)
1A	Trapezoidal	0.659
1B	Trapezoidal	0.829
1C	Rectangular	0.885
1D	Trapezoidal	0.826
1E	Trapezoidal	0.662
1F	Trapezoidal	0.665
1G	Trapezoidal	0.592
2A	Trapezoidal	0.667
2B	Trapezoidal	0.668
3	Trapezoidal	0.491

Para el tirante normal (y_n), con la ecuación de Manning y las curvas para determinar el tirante normal (Chow, 1994) se obtuvo el valor de y/b , donde y es el tirante normal y b el ancho de fondo. Este es un valor muy inexacto del tirante normal, así que se lo tomó como referencia para obtener por tanteo un valor más aproximado.

Para obtener gráficamente el tirante normal, se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{A \cdot Rh^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{Q \cdot n}{b^{8/3} \cdot S^{1/2}} \quad (5.4)$$

Donde el factor $\frac{Q \cdot n}{b^{8/3} \cdot S^{1/2}}$ es un valor conocido, pues la pendiente (S), el ancho de fondo (b) y el coeficiente de Manning son las características físicas observadas en el canal y el caudal (Q) se puede determinar para cada tramo, basados en la información de caudales de las microcuencas (Tabla 5.8).

Con el valor que se obtuvo para $\frac{A \cdot Rh^{2/3}}{b^{8/3}}$ se resuelve gráficamente y_n/d (en el Anexo D-2), despejando y_n se tiene un valor aproximado con el que por tanteo, reemplazando en la ecuación de Manning, se obtiene un valor más exacto para el tirante normal. La expresión a usar para aproximar el valor de y_n es:

$$A \cdot R_h^{2/3} = \frac{n \cdot Q}{\sqrt{S}}$$

(5.5)

Para canales rectangulares, reemplazando A y R_h tenemos:

$$\frac{(b \cdot y_n)^{5/3}}{(b + 2y_n)^{2/3}} = \frac{n \cdot Q}{\sqrt{S}}$$

(5.6)

Para canales trapezoidales:

$$\frac{(b \cdot y_n + z \cdot y_n^2)^{5/3}}{(b + 2y_n \cdot \sqrt{1 + z^2})^{2/3}} = \frac{n \cdot Q}{\sqrt{S}}$$

(5.7)

En la Tabla 5.12 se muestran los resultados de tirante normal para los tramos del canal. En la

Tabla 5.13 se determina el tipo de flujo en los tramos.

De acuerdo a los datos obtenidos, todos los tramos del canal están en régimen supercrítico, esto se debe a que presentan pendientes mayores al 1% y a que el ancho de fondo (b) es una dimensión grande.

Tabla 5.12 Tirante normal de los tramos del canal.

Tramo	$\frac{A \cdot Rh^{2/3}}{b^{8/3}}$	y_{ni}/b	y_{ni}	$\frac{Q_{AC} \cdot n}{\sqrt{S}}$	y_n
1A	0.013	0.070	0.385	1.183	0.413
1B	0.032	0.150	0.585	1.198	0.526
1C	0.031	0.140	0.546	1.174	0.536
1D	0.043	0.150	0.585	1.620	0.591
1E	0.012	0.070	0.413	1.374	0.424
1F	0.008	0.055	0.325	0.855	0.318
1G	0.001	0.018	0.270	1.612	0.265
2A	0.032	0.120	0.600	2.369	0.624
2B	0.017	0.080	0.400	1.235	0.426
3	0.364	0.470	0.423	0.275	0.449

Tabla 5.13 Determinación del tipo de flujo en base al tirante normal.

Tramo	y_c (m)	y_n (m)	Tipo de flujo
1A	0.659	0.413	Supercrítico
1B	0.829	0.526	Supercrítico
1C	0.885	0.536	Supercrítico
1D	0.826	0.591	Supercrítico
1E	0.662	0.424	Supercrítico
1F	0.665	0.318	Supercrítico
1G	0.592	0.265	Supercrítico
2A	0.667	0.624	Supercrítico
2B	0.668	0.426	Supercrítico
3	0.491	0.449	Supercrítico

Flujo gradualmente variado y flujo rápidamente variado.

En la sección anterior se analizó cada tramo del canal por separado, asumiendo que el flujo era uniforme, sin tomar en cuenta las estructuras de disipación de energía que afectan el comportamiento

del flujo. Ahora se discutirán los efectos que dichas estructuras producen a lo largo del canal de la FEN.

Como se describe en la sección 3.2.2 y en el Anexo C, en el canal de la FEN, se encontraron cinco disipadores de energía:

- Rápida lisa a la salida de la alcantarilla 1.
- Vertedero de cresta ancha al final del tramo 1D.
- Vertedero de cresta ancha al final del tramo 1E.
- Rápida escalonada a la salida de la alcantarilla 2.
- Vertedero de cresta ancha al final del tramo 2A.

Por efecto de estas estructuras el flujo varía de supercrítico a subcrítico, presentando zonas con flujo gradualmente variado (remanso) y otras con flujo rápidamente variado (salto hidráulico).

Según la Tabla 5.13 los tramos del canal relacionados con las estructuras antes mencionadas están en un régimen supercrítico, es decir que $y_c > y_n$. Además conocemos que las pendientes de los tramos son positivas.

En la Tabla 5.14 se presentan los valores de S_c para los tramos que son afectados por los disipadores de energía (tramos 1A, 1D, 1E, 1F, 2A, 2B).

Tabla 5.14 Clasificación de las pendientes de los tramos del canal.

Tramo	So	Sc	Pendiente
1A	0.025	0.010	Supercrítica
1D	0.025	0.014	Supercrítica
1E	0.025	0.010	Supercrítica
1F	0.025	0.006	Supercrítica
2A	0.010	0.010	Crítica
2B	0.010	0.004	Supercrítica

El tramo 2A tiene pendiente crítica y al revisar los tirantes normal y crítico del tramo podemos observar que son muy similares, la diferencia entre ellos es de 4cm., por lo que antes se consideró un flujo supercrítico. Esto supone que hay un error, posiblemente, en la medición en campo de las dimensiones del tramo.

El parámetro más susceptible a ser incorrecto es la pendiente del fondo del tramo, ya que en las ocasiones que se visitó el sitio siempre se encontró una gruesa capa de sedimentos, cuya disposición seguramente no tenía la misma pendiente del canal (ver Figura 5.1). Por esto se asumirá que la pendiente es supercrítica; $So=0.02$.

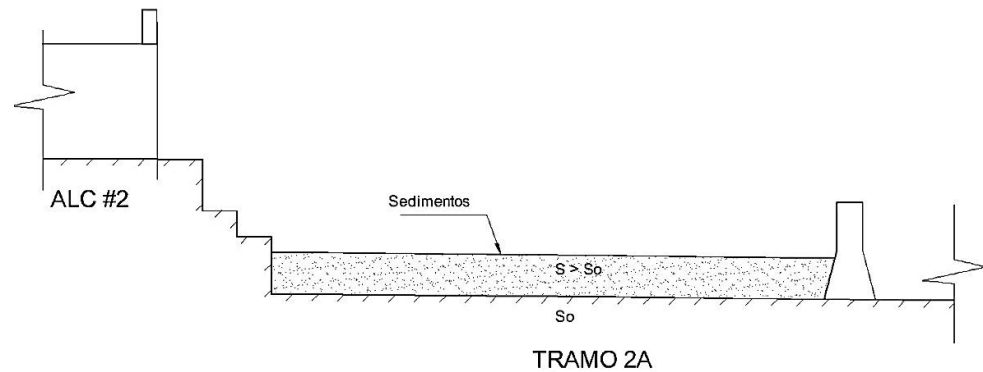


Figura 5.1 Esquema de la pendiente en el tramo 2A.

Perfiles superficiales del flujo.

A continuación se presenta los esquemas de los perfiles superficiales y la descripción de las transiciones en el flujo, teniendo en cuenta la pendiente de los tramos, el tirante normal, el tirante crítico (ver Tabla 5.13) y el tirante del flujo afectado por las estructuras.

Rápida lisa a la salida de la alcantarilla 1.

En el primer caso (Figura 5.2), sabemos que el flujo en la alcantarilla es supercrítico, y que al pasar a la rápida lisa el tirante disminuye. Cuando el flujo llega al canal la altura del tirante aumenta hasta ser igual al tirante normal. Como la pendiente del canal es mayor que la pendiente crítica (Tabla 5.14) y no existe otro obstáculo significativo para el flujo, este tendrá régimen supercrítico.

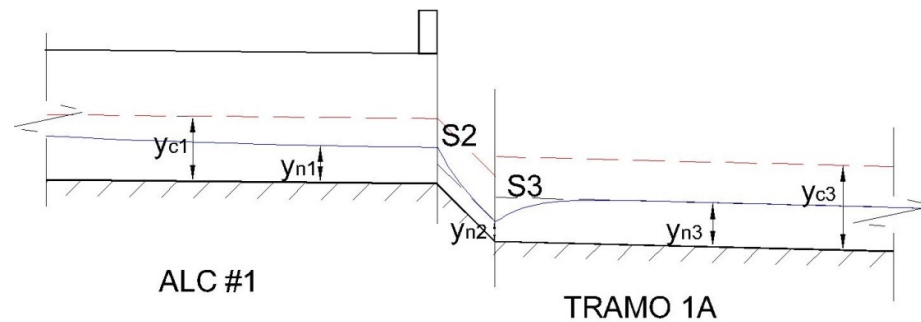


Figura 5.2 Rápida lisa a la salida de la alcantarilla 1.

Vertedero de cresta ancha al final del tramo 1D.

En el segundo caso (Figura 5.3, tramos 1D-1E), el vertedero de 0.9m de altura produce un remanso aguas abajo del tramo 1D. A una distancia x desde el vertedero hacia aguas arriba se cumple que el tirante del flujo (y_1) es igual al tirante normal y es menor que el tirante crítico ($y_1=y_n < y_c$), el flujo tiene régimen supercrítico y cambia a subcrítico con un salto hidráulico.

Al avanzar hacia el vertedero la altura del agua aumenta. El tirante antes de la cresta del vertedero (y_3) es mayor que la altura del vertedero (d_1), mayor que el tirante crítico y que el tirante normal ($y_3 > d_1 > y_c > y_n$); por lo que a pesar de que la pendiente de este tramo es supercrítica, en este sector el flujo cambia a un régimen subcrítico y el perfil superficial es de tipo S1.

Cuando el tirante excede la altura del vertedero, el flujo sigue hacia la rápida en un régimen supercrítico. En la base de la rápida se encuentra un escalón (pendiente horizontal: caída libre) que obliga al flujo a perder energía al llegar al fondo del tramo 1E, pues el fondo amortigua el impacto del agua y genera turbulencia.

Después del escalón, en el tramo 1E el tirante aumenta hasta ser igual a y_n (perfil S3).

El tramo 1E presenta un gran cambio en el flujo: después del vertedero aguas arriba del tramo, el tirante del flujo alcanza la altura del tirante normal, la cual se mantiene hasta una distancia x medida desde el vertedero hacia aguas arriba, donde el flujo pasa de ser supercrítico a subcrítico, en otras palabras, se produce un salto hidráulico. (Figura 5.3).

Vertedero de cresta ancha al final del tramo 1E.

En el tercer caso (Figura 5.3, tramos 1E-1F) el vertedero de 1.15m de altura genera remanso en una longitud del tramo 1E, donde el tirante alcanza una profundidad mayor a y_n y a y_c , presentando un perfil S1.

Cuando el tirante excede la altura del vertedero, el flujo pasa al tramo 1F con régimen supercrítico (ver Figura 5.3). Este vertedero, al igual que el anterior tiene un escalón, luego del cual el flujo alcanza la

profundidad y_n con un régimen supercrítico que continúa en todo el tramo y los tramos aguas abajo (flujo uniforme).

Rápida escalonada a la salida de la alcantarilla 2.

En el cuarto caso, sabemos que el flujo dentro de la alcantarilla 2 es supercrítico (ver Figura 5.4). Al salir de la alcantarilla 2, el flujo pasa a una rápida escalonada, donde los escalones amortiguan el impacto del agua hasta llegar al fondo del tramo 2A.

En el tramo 2A el flujo tiene un (perfil S3) que alcanza la altura del tirante normal. Luego la altura del tirante aumenta y cambia de régimen supercrítico a subcrítico con un salto hidráulico y al acercarse al vertedero se produce un remanso.

Vertedero de cresta ancha al final del tramo 2A.

Como se mencionó antes, el vertedero al final del tramo 2A genera remanso aguas arriba de él (perfil S1). Cuando el tirante excede la altura del vertedero (Figura 5.4), el flujo pasa al tramo 2B con régimen supercrítico, el tirante aumenta hasta alcanzar el valor del tirante normal, y como la pendiente del tramo es mayor que la pendiente crítica, el régimen del flujo es supercrítico.

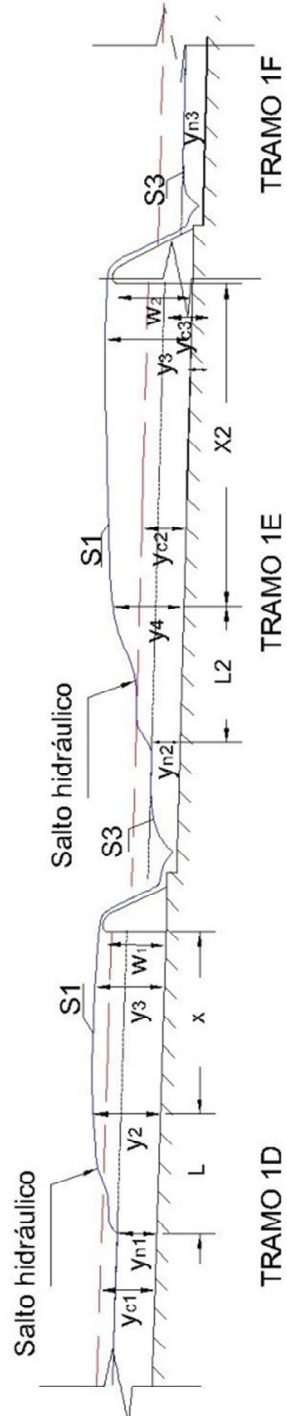


Figura 5.3 Vertederos de cresta ancha al final de los tramos 1D y 1E, salto hidráulico en el tramo 1E.

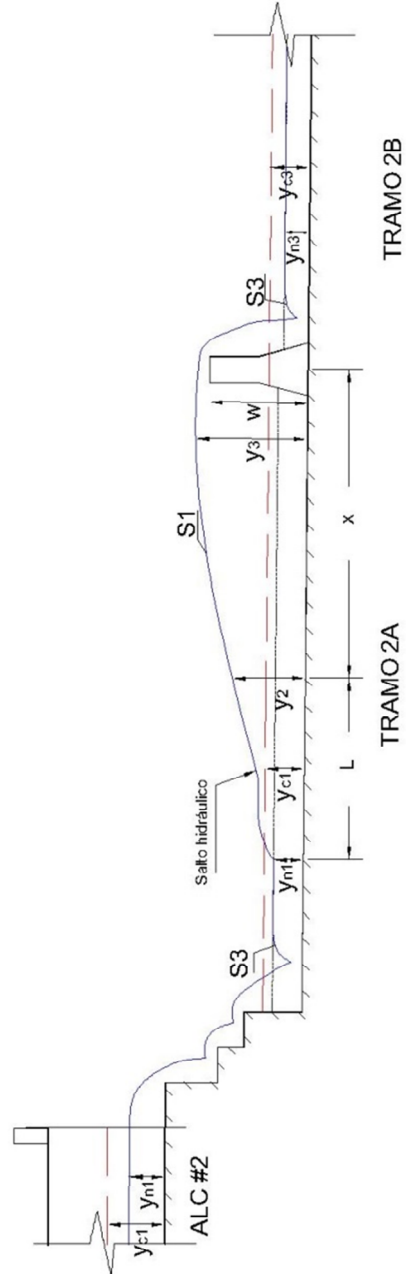


Figura 5.4 Rápida escalonada a la salida de la alcantarilla 2, vertedero de cresta ancha al final del tramo 2A.

Saltos hidráulicos

En los saltos hidráulicos identificados se determinó el valor del tirante subcrítico y la longitud sobre la cual se producen. Los tirantes se obtuvieron con las curvas propuestas por Sotelo para tirantes subcríticos en saltos hidráulicos de canales de sección trapezoidal (anexo D-4) y la longitud se obtuvo con la gráfica propuesta por Chow (anexo D-5).

Para los tirantes, se necesita conocer los parámetros F_{M1} y t_1 .

$$F_{M1} = \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot k \cdot y_1^{5/2}}$$

$$t_1 = \frac{b}{k \cdot y_1}$$

Donde $k=z$, la proyección horizontal de la pared del canal trapezoidal con respecto a la proyección vertical; y_1 es el tirante subcrítico antes del salto hidráulico.

Para la longitud del resalto se necesita conocer el número de Froude (F_R) y el tirante subcrítico del resalto (y_2). En la Tabla 5.15 se presentan los resultados de y_2 , y en Tabla 5.16 se muestra la longitud del resalto.

Tabla 5.15 Tirante subcrítico producido por el resalto hidráulico.

Tramo	$y_1=y_n$ (m)	z	Q	b	F_{M1}	t_1	y_2/y_1	y_2 (m)
1D	0.59	1.00	10.24	3.90	12.17	6.60	1.60	0.95
1E	0.42	0.67	10.35	5.90	42.25	20.86	1.80	0.76
2ª	0.51	1.50	9.48	5.00	10.85	6.53	1.50	0.77

Tabla 5.16 Longitud del resalto hidráulico.

Tramo	$y_1=y_n$ (m)	V (m/s)	F_1	L/y_2	L (m)	Resalto
1D	0.59	3.86	1.60	4.04	3.82	Débil
1E	0.42	3.94	1.93	4.28	3.27	Débil
2A	0.51	3.22	1.44	<4.00	<3.00	Ondular

De acuerdo a los valores de la tabla anterior los resaltos son solamente una turbulencia superficial. Los resaltos de los tramos 1D y 1E son considerados resaltos débiles.

Para el tramo 2A se obtiene un número de Froude muy bajo, debido a que la pendiente del tramo resulta pequeña. El factor L/y_2 es menor a 4, por lo que la longitud es menor a 3.00m y el resalto se considera ondular.

5.3 Análisis de resultados.

Áreas de aportación de drenaje pluvial.

El campus Gustavo Galindo de la ESPOL tiene un canal de drenaje pluvial que atraviesa por la Facultad de Economía y Negocios en sentido Sur – Norte, consta de tres tramos de ancho variable y transporta un caudal de $21.48\text{m}^3/\text{s}$. El caudal que recibe proviene de los cerros al suroeste del campus y de la zona urbanizada que circunda al canal, esto corresponde a cerca del 17% del área total del campus (incluyendo al PARCON).

Se identificaron tres áreas de aportación o microcuencas que llegan hasta el canal (ver anexo B, plano 2 o Figura 5.5). La MC_01 y MC_02 corresponden a zonas boscosas, sus áreas están por el orden de las 50 Ha, con longitudes de máximo recorrido mayores a 1km y pendientes mayores al 10%.

La MC_03 corresponde a la zona urbanizada, es un área pequeña, con pendiente cercana al 4% y longitud de máximo recorrido cercana a 500 m.

El tiempo de concentración que se obtuvo para las microcuencas con la ecuación de Rowe va desde 9 min a 12 min, y es evidente que hay una

relación entre este parámetro y el área de las microcuencas (ver Tabla 5.17).

Tabla 5.17 Microcuencas de drenaje pluvial que aportan al canal de FEN

MC#	A (Ha)	L (m)	S (m/m)	tc (min)
1	50.73	1374.83	0.11	11.73
2	54.07	1488.62	0.12	12.20
3	11.18	584.26	0.04	8.72
Total	115.98			

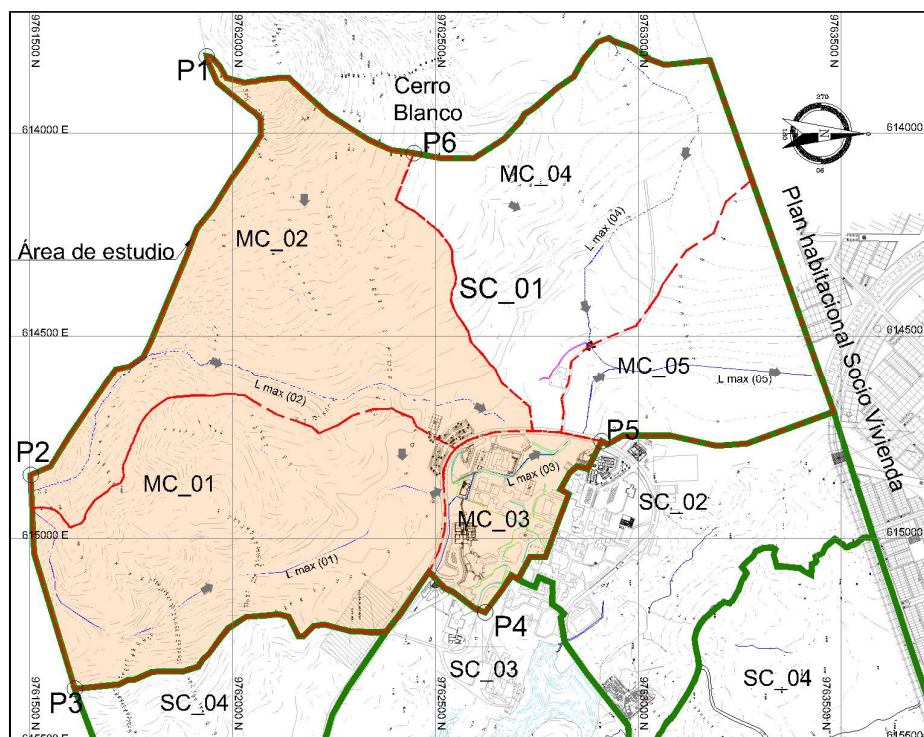


Figura 5.5 Microcuencas del área de estudio

Caudal de diseño

El caudal de diseño se calculó con el método racional, que es aplicable para superficies menores a 1300 Ha. Para este propósito se fijó que el

periodo de retorno (Tr) sea de 100 años, además se determinó el coeficiente de escorrentía (C), la intensidad de precipitación (I) y el caudal (Q_{MC}) para cada microcuenca.

Tabla 5.18 Caudal de diseño de las microcuencas del área de estudio.

MC#	A (Ha)	C	I (mm/h)	Q_{MC} (m ³ /s)
1	50.73	0.37	168.58	8.79
2	54.07	0.37	166.60	9.26
3	11.18	0.60	184.21	3.43
Total	115.98			

Flujo en alcantarillas.

Para analizar el flujo en las alcantarillas, primero se calculó el caudal que llega hasta cada una de ellas, luego se estableció que la sección de control de las tres alcantarillas se encuentra en la entrada, además que la entrada de las alcantarillas funcionaría sumergida.

También se determinó que las alcantarillas tienen pendientes mayores a las correspondientes pendientes críticas, es decir que son pendientes supercríticas, por lo que el flujo dentro de las alcantarillas varía desde el flujo a sección llena en la entrada a un flujo supercrítico, en el que el conducto funciona parcialmente lleno. En la Tabla 5.19 se muestran los datos resultantes del análisis.

Tabla 5.19 Datos del flujo en las alcantarillas.

Alc. #	Q_d (m ³ /s)	H_e (m)	S_o (m/m)	S_c (m/m)	h_n (m)	h_c (m)
1	8.79	2.16	0.01	0.004	0.97	1.34
2	9.26	2.30	0.01	0.004	1.32	1.39
3	21.48	1.82	0.03	0.002	0.49	1.17

Flujo en los tramos del canal.

El canal de la FEN consta de tres tramos principales:

- El tramo 1 que inicia a la salida de la alcantarilla 1 y termina en la entrada de la alcantarilla 3, se subdivide en siete secciones (1A – 1G) y tiene dos vertederos que encierran al tramo 1E.
- El tramo 2 inicia en la salida de la alcantarilla 2 y se une al resto del sistema en el tramo 1G. Este tramo está dividido por un vertedero.
- El tramo 3 es un pequeño canal que llega al tramo 1G.

Para el análisis se estableció que el caudal en cada tramo del canal sea un caudal acumulado, que consiste en la suma del caudal generado por el área de aportación, el caudal proveniente de alcantarillas (en los tramos 1A y 2A) y el caudal que llega del tramo aguas arriba.

Se mostró que, en condiciones de flujo uniforme, todos los tramos presentaban un régimen de flujo subcrítico, debido a las pendientes altas y al ancho de fondo de los tramos del canal.

Tabla 5.20 Tramos del canal de la FEN

Tramo	Q_{acu} (m ³ /s)	y_c (m)	y_n (m)	Tipo de flujo
1A	9.35	0.659	0.413	Supercrítico
1B	9.47	0.829	0.526	Supercrítico
1C	10.17	0.885	0.536	Supercrítico
1D	10.24	0.826	0.591	Supercrítico
1E	10.35	0.662	0.424	Supercrítico
1F	10.40	0.665	0.318	Supercrítico
1G	21.48	0.592	0.265	Supercrítico
2A	9.48	0.667	0.624	Supercrítico
2B	9.50	0.668	0.426	Supercrítico
3	1.35	0.491	0.449	Supercrítico

Cuando se analizaron los tramos donde se presenta FRV se determinó que a cierta distancia aguas arriba de vertederos, con la pendiente supercrítica que tienen los tramos, se cumple que el tirante y_n es supercrítico, pero aumenta abruptamente a lo largo de L hasta convertirse en un tirante subcrítico que aumenta gradualmente al acercarse a los vertederos. El cambio abrupto de régimen supercrítico a subcrítico es el resalto hidráulico.

En la Tabla 5.21 se pueden observar los valores de los tirantes antes y después del remanso, además se incluye la descripción que Chow da para resaltos con estas características.

Como la variaciones entre los tirantes son relativamente pequeñas con respecto a la longitud en que se producen se los considera como resaltos débiles

Tabla 5.21 Salto hidráulico en los tramos del canal

Tramo	y1=yn (m)	y2 (m)	L (m)	Resalto
1D	0.59	0.95	3.82	Débil
1E	0.42	0.76	3.27	Débil
2A	0.51	0.77	3.06	Ondular

Se puede decir que las alcantarillas de entrada y salida a los canales funcionan parcialmente llenas, con flujo supercrítico, el cual se mantiene en casi todos los tramos del canal. El canal tiene vertederos que disminuyen algo de la energía del flujo, pero aun así la mayoría de los tramos mantiene el régimen supercrítico, debido a las fuertes pendientes del fondo del canal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Los cerros donde se encuentra el campus "Gustavo Galindo V." de la ESPOL forman parte de la Cordillera Chongón Colonche, por lo que en el campus afloran estratos rocosos del miembro Cayo S.S. y la formación Guayaquil Chert.
2. Dentro del campus se identificaron 5 subcuencas de drenaje pluvial que conforman un área de 584.11Ha. Esta cantidad es menor al área total del predio del campus (690Ha) debido a que hay zonas dentro de él que corresponden a otros sistemas hidrológicos que no son importantes para el enfoque de este estudio.
3. De las subcuencas del campus, SC_01 y SC_02 drenan hacia el norte del predio, exactamente a un canal existente en el límite de la ESPOL con el

plan habitacional Socio Vivienda. El caudal total que aportan estas subcuencas al canal es de 39.29 m³/s, por lo que se sugiere que en otro estudio se tome en cuenta la influencia de las descargas pluviales de la ESPOL hacia el canal del plan habitacional Socio Vivienda.

4. Las subcuencas SC_03 y SC_05 se pueden denominar endorreicas debido a que drenan hacia los lagos artificiales del campus; sin embargo ambos embalses tienen canales de alivio para liberar el caudal que pueda exceder la capacidad de almacenamiento de los vasos de las presas: el canal de alivio del lago de la ESPOL en la SC_03 descarga en la SC_02 y el del lago de PARCON en la SC_05 descarga en la SC_04. Con respecto al efecto del caudal pluvial que drena del campus, se recomienda realizar un estudio de la situación actual del lago de la ESPOL para conocer la capacidad de embalse que aún soporta y el caudal que sale por el canal de alivio.

5. La subcuenca SC_04 es la de mayor tamaño dentro del campus (241.13Ha), contiene a una parte de la zona urbanizada del oeste del campus, también los terrenos donde se construirán algunos edificios de PARCON y una zona de topografía irregular. En esta subcuenca predomina una quebrada que llega hasta la alcantarilla que atraviesa la

Vía Perimetral de la ciudad en las inmediaciones del GOE, luego la descarga llega al canal del sector la Prosperina.

6. SC_01 contiene el área de interés de este estudio por lo que se dividió en cinco áreas de aportación o microcuencas (MC), de las cuales tres están relacionadas con las estructuras analizadas. El área de aportación conjunta de estas microcuencas es de 115.98 Ha, que corresponde al 16.8% del área total del campus (690 Ha) y generan un caudal de 24.48 m³/s para una precipitación con periodo de retorno de 100 años.
7. El 16.8% del área del campus drena hacia el canal de la FEN. Si tomamos en cuenta que el 30% del área del campus descarga hacia los lagos artificiales y que el 53% restante lo hace hacia cauces naturales o hacia canales no revestidos (no relacionados con el canal de la FEN), tenemos que el canal de este estudio es el canal revestido más representativo del sistema de drenaje pluvial del campus.
8. Las alcantarillas analizadas son de tipo ducto cajón, de hormigón armado y sección cuadrada, dos de ellas son alcantarillas que descargan en el canal de la FEN y la tercera es la alcantarilla de salida para todo el sistema.

9. En base a los resultados obtenidos en este estudio para un $T_r = 100$ años, se concluye que las alcantarillas son adecuadas para el sitio, pues tienen pendientes altas que evitan la acumulación de sedimentos dentro y permiten que el flujo en la salida sea supercrítico. Además, las dimensiones de la sección transversal, las obras de protección en los extremos y su ubicación con respecto a la rasante de la vía permiten que incluso en el caso de que la entrada del conducto esté sumergida no genera perjuicios sobre la vía ni los edificios cercanos, e incluso el tirante a la salida será menor que el tirante crítico.
10. El canal de la FEN fue dividido en diez tramos para poder analizarlo. Se encontró que en casi todo su recorrido el flujo tiene régimen subcrítico debido a las altas pendientes que tiene y amplios anchos de fondo. También se determinó que los vertederos generan remansos que no afectan el flujo cerca de las alcantarillas de entrada y que por la forma de los vertederos el resalto hidráulico tampoco tiene un gran efecto en el flujo.
11. El fondo rugoso (empedrado) de los tramos 1A, 1B y 1C tiene la función de retener sedimentos en sus intersticios y de generar resistencia al flujo, en otras palabras, reducir la velocidad y aumentar el tirante del flujo.

12. El vertedero aguas abajo del tramo 1D y el vertedero aguas abajo del tramo 2A tienen dos funciones: la primera es impedir el paso de los sólidos que no fueron retenidos aguas arriba y la segunda es retener parte del caudal que continúa al siguiente tramo de esta manera el efluente es más limpio y tiene un tirante menor al tramo aguas arriba. Mientras que el vertedero aguas abajo del tramo 1E tiene la función de retener parte del caudal que llega a la alcantarilla 3.
13. El tramo 2A del canal de la FEN y su vertedero funcionan a manera de sedimentador de los materiales arrastrados desde el canal a la entrada de la alcantarilla 2. El tramo 2A debe ser limpiado periódicamente para evitar que estos materiales se trasladen a otros tramos del canal.
14. Como se evidenció con las lluvias de marzo de 2013, la cantidad de sedimentos pueden colmatar este tramo en poco tiempo, es decir que con eventos similares al mencionado, podemos encontrar sedimentos acumulados de hasta 1.70m de altura. Debido a la dificultad para acceso de maquinaria a este sitio, se recomienda contemplar la posibilidad de recubrir de hormigón u otro material el canal que está a la entrada de la alcantarilla 2, y que el suelo alrededor de ese canal sea estabilizado o protegido para evitar que tanta cantidad de sedimentos gruesos lleguen hasta el canal de la FEN.

15. Durante el recorrido en campo se evidenció que algunas de taludes sobre el canal que son recubiertos se están erosionando, por lo que se recomienda darles mantenimiento y evitar que la socavación del suelo bajo estos recubrimientos comprometa la estabilidad de alguna sección del canal.

BIBLIOGRAFÍA

1. VALDANO, Walter. *Informe de avance del proyecto hasta 31-12- 1991*. Unidad Ejecutora del proyecto BID/ESPOL II. Guayaquil, 1992.
2. MEDINA, Gustavo. "Estudio geológico del campus politécnico", Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982. p. 42-74.
3. VELÁSQUEZ, S.; *et al.* "Estudio y diseño preliminar de una vía de acceso desde la vía perimetral al campus Gustavo Galindo Velasco para el aprovechamiento del sector noreste". Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002. p. 23-27.
4. MORANTE, Fernando. "Las zeolitas de la costa del Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones". Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2004. p. 38-44.
5. REINOSO, J; *et al.* "Recopilación de la información base para el mapa geoambiental del área urbana del Gran Guayaquil y mapas en formato

- SIG". Tópico de graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005. p. 51-54.
6. APARICIO, Francisco. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial LIMUSA. México, 1992.p. 19-26.
 7. CHOW, V; MAIDMENT, D; MAYS, L. *Hidrología Aplicada*. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Traducido por Galarraga, Juan. Bogotá, 1994.
 8. TAMS-ASTEC. *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Quito, 2003. p. 279-308.
 9. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica (IIFIUC). *Plan Emergente de Drenaje Pluvial de la Ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, 1999.
 10. CARCIENTE, J; GARCÍA, G; SERRANO, Z. *Drenaje de carreteras: manual de estructuras típicas*. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, 1977.p. 98,99 111
 11. CARCIENTE, Jacob. *Carreteras: estudio y proyecto*. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, 1980.p. 363-449.
 12. CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Traducido por Galarraga, Juan. Bogotá, 1994.
 13. SOTELO Ávila, Gilberto. *Hidráulica de canales*. UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 2002.

14. SOTELO Ávila, Gilberto. *Hidráulica general, volumen 1*. Editorial LIMUSA. México 1997.p. 269-272.
15. LÓPEZ, Lázaro. *Manual de Hidráulica*. Publicaciones de la Universidad de Alicante. España, 1997.p. 372-397.
16. BUREAU OF RECLAMATION, United States Department of Interior. *Design of small dams*. U.S. Government printing office. USA, 1987. p. 365-376.
17. INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) Anuario meteorológico 2009 [En línea], disponible en internet:
<http://www.inamhi.gob.ec/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>
18. INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) Análisis climatológico decadal marzo [En línea], 2013, disponible en internet:
http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bdecadal/marzo/decada1/bol_mar_dec1.pdf