

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías.

**Elaboración de nomogramas para determinar la profundidad de
Flujo a la entrada de alcantarillas Pluviales.**

Guillermo Alexander Benítez Hurtado
Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título
de Ingeniero Civil

Quito, 19 de diciembre de 2022

-UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA.**

**Elaboración de nomogramas para determinar la profundidad a la entrada
de alcantarillas.**

Guillermo Alexander Benitez Hurtado

Nombre del profesor, Título académico

Sixto Duran Ballen, PhD.

Quito, 19 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Guillermo Alexander Benitez Hurtado
Código:	00128126
Cédula de identidad:	1104951155
Lugar y fecha:	Quito, 19 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

DEDICATORIA

Gracias a la vida y a Dios por darme tanto; con todo cariño respeto y admiración dedico este trabajo a mis padres, herman@s y familia que son el motivo de mi esfuerzo y sacrificio. Además, agradezco a la Universidad San Francisco de Quito y a todos los catedráticos que compartieron sus conocimientos y gran ética profesional. Mi enorme gratitud a mi tutor Sixto Duran Ballen, PhD por su paciencia y su tiempo para guiarme en la dirección de mi Proyecto Integrador.

Mi compromiso en mi vida profesional resaltar el gran nombre y prestigio que tiene el ente universitario

RESUMEN

Para identificar el control de flujo en una alcantarilla pluvial, se deberá determinar la profundidad de flujo a la entrada y salida. Para ello, se procede a realizar un análisis de energía que nos permitirá determinar el patrón de flujo y la profundidad del flujo a la salida y a la entrada de la alcantarilla pluvial. Además, se realiza un análisis mediante la elaboración de nomogramas que nos permitirán determinar la profundidad a la entrada de la alcantarilla.

Para realizar una verificación de los nomogramas se analiza 4 alcantarillas pluviales ubicadas en el cantón Yantzaza; donde se determinará si estas tienen la capacidad de drenar al agua producida por una tormenta de retorno de 50 años.

ABSTRACT

To identify flow control in a storm sewer, the depth of flow at the inlet and outlet must be determined. For this, an energy analysis is carried out that will allow us to determine the flow pattern and the depth of the flow at the outlet and at the entrance of the storm sewer. In addition, an analysis is carried out through the elaboration of nomograms that will allow us to determine the depth at the entrance of the culvert.

To verify the nomograms, 4 storm sewers located in the Yantzaza canton are analyzed; where it will be determined if they have the capacity to drain the water produced by a return storm of 50 years.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	13
Antecedentes.....	14
Figura 1. Partes de una alcantarilla Pluvial.	14
Justificación del Estudio.....	15
Capítulo 1	16
1.1 Ciclo Hidrológico.....	16
Figura 2. Ciclo Hidrológico.....	16
1.2 Etapas del Ciclo Hidrológico.....	17
Figura 3. Etapas del ciclo Hidrológico	17
1.2.1 Evaporación	17
1.2.2 Condensación.	17
1.2.3 Precipitación	17
1.2.4 Infiltración	18
1.2.5 Transpiración.....	18
1.2.6 Sublimación.....	18
1.2.7 Lluvia.....	18
Figura 4. Estaciones Pluviométricas de Ecuador.....	19
Figura 5. Estación Pluviométrica correspondiente a Yantzaza	20
Figura 6. Zonificación Demarcación Santiago	21
Capítulo 2	22
2.1 Área de drenaje.	22
2.1.1 Topografía.	22
Figura 7. Curvas de nivel de la zona de estudio.	23
Figura 8. Curvas de nivel de la zona de estudio para alcantarillas	23
Figura 9. Localización de Puntos de análisis.....	24
Figura 10. Alcantarilla 1.	25
Figura 11. Alcantarilla 2	25
Figura 12. Alcantarilla 3	25
Figura 13. Alcantarilla 4	26
2.1.2 Uso de suelo y permeabilidad.....	26
Figura 14. Coeficientes de escorrentía.....	27
Capítulo 3	34

3.1	Cálculos de escorrentía.	34
3.1.1	Tiempo de concentración.	34
3.1.2	Métodos para determinar el tiempo de concentración.....	34
3.1.3	Método Racional.	36
3.1.4	Caudal generado por las cuencas hidrográficas.....	37
Capítulo 4	40
4.1	Hidráulica de alcantarillas.....	40
Figura 15.	Formas de alcantarillas.	40
Figura 16.	Partes de una alcantarilla.	40
4.1.1	Tipos de patrones de flujo.	41
Figura 17.	Patrón de flujo A	41
Figura 18.	Patrón de flujo B.....	42
Figura 19.	Patrón de flujo C.....	42
Figura 20.	Patrón de flujo D.	43
Figura 21.	Patrón de flujo E.....	44
Figura 22.	Patrón de flujo F.....	44
Figura 23.	Patrón de flujo G	45
Figura 24.	Patrón de flujo H	45
4.1.2	Control de flujo a la entrada de la alcantarilla.....	46
4.1.3	Control a la salida de la alcantarilla.....	48
Figura 25.	Ubicación de las componentes de energía en la alcantarilla.	51
4.1.4	Nomogramas.....	51
4.1.5	Análisis de energías en alcantarillas pluviales.	51
4.1.6	Observación de resultados obtenidos con un análisis de energías en las alcantarillas.	60
4.1.7	Análisis de las alcantarillas pluviales con nomogramas.....	61
Figura 26.	Nomograma de escalas paralelas.....	64
4.1.8	Comparación de datos entre el análisis de energías y resultado de nomograma.....	70
Capítulo 5	71
5.1	Conclusiones.....	71
5.1.1	Recomendaciones.....	72
Referencias Bibliográficas.....		74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo Hidrológico.....	16
Figura 2.	Etapas del ciclo Hidrológico	17
Figura 3.	Curvas de nivel de la zona de estudio.	23
Figura 4.	Curvas de nivel de la zona de estudio para alcantarillas	23
Figura 5.	Figura 4. Alcantarilla 1.	25
Figura 6.	Figura 6. Alcantarilla 3	25
Figura 7.	Partes de una alcantarilla.....	40
Figura 8.	Patrón de flujo A	41
Figura 9.	Patrón de flujo B	42
Figura 10.	Patrón de flujo C.....	42
Figura 11.	Patrón de flujo D.	43
Figura 12.	Patrón de flujo E.....	44
Figura 13.	Patrón de flujo F	44
Figura 14.	Patrón de flujo G	45
Figura 15.	Patrón de flujo H	45
Figura 16.	Ubicación de las componentes de energía en la alcantarilla.	51

ÍDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Intensidades máximas en 24 hr para varios tiempos de retorno.....	20
Tabla 2.	Ecuaciones de Intensidad para zona 68.....	21
Tabla 3.	Coordenadas de alcantarillas.....	24
Tabla 4.	Áreas de cuencas hidrográficas.....	26
Tabla 5.	Subáreas de la cuenca hidrográfica 1.....	29
Tabla 6.	Subáreas de la cuenca hidrográfica 2.....	29
Tabla 7.	Subáreas de la cuenca hidrográfica 3.....	30
Tabla 8.	Subáreas de la cuenca hidrográfica 4.....	30
Tabla 9.	Coefficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 1.....	31
Tabla 10.	Coefficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 2.....	32
Tabla 11.	Coefficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 3.....	32
Tabla 12.	Coefficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 4.....	33
Tabla 13.	Información de las cuencas.....	38
Tabla 14.	Intensidades y Precipitaciones para cada área de estudio.....	38
Tabla 15.	Caudales máximos generados en cada cuenca.....	39
Tabla 16.	Alcantarillas pluviales en las zonas de análisis.....	54
Tabla 17.	Dimensiones de la alcantarilla.....	55
Tabla 18.	Datos recopilados de la alcantarilla 1.....	56
Tabla 19.	Interpolación para determinar yn de la alcantarilla 1.....	56
Tabla 20.	Resultados del análisis de energías para la alcantarilla 1.....	57
Tabla 21.	Recopilados de la alcantarilla 2.....	57
Tabla 22.	Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 2.....	58
Tabla 23.	Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 2.....	58
Tabla 24.	Datos recopilados de la alcantarilla 3.....	58
Tabla 25.	Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 3.....	58
Tabla 26.	Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 3.....	59
Tabla 27.	Datos recopilados de la alcantarilla 4.....	59
Tabla 28.	Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 4.....	59
Tabla 29.	Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 4.....	60
Tabla 30.	Nomograma de escalas paralelas.....	64
Tabla 31.	Datos para el primer caso.....	66
Tabla 32.	Límites de escalas para el primer caso.....	66
Tabla 33.	Dimensiones del nomograma.....	67

Tabla 34.	Módulos de escalas para el primer caso.	67
Tabla 35.	Resultados para el caso 1.....	68
Tabla 36.	Nomograma para el caso de Rect Box Concrete con Intel configuration 30° a 75° wingwall flares.	69

Introducción.

El diseño de Alcantarillas Pluviales, las cuales nos permiten transportar agua de un arroyo sobre obstáculos o terraplenes de carreteras sin que estas se vean obstaculizadas o saturadas, es necesario determinar el caudal de descarga que se genera una cuenca hidrológica en el arroyo. Luego, al determinar la profundidad de flujo a la entrada de la alcantarilla se identifica el patrón, que hace que tengan un control a la entrada elaborar nomogramas en unidades métricas, que nos simplificaran los cálculos que conlleva un análisis de energías. Por consiguiente, se realiza un análisis de alcantarillas ubicadas en 4 arroyos en el Cantón Yantzaza, logrando determinar si las dimensiones presentes en estas alcantarillas tienen la capacidad para soportar tormentas con un periodo de retorno de 50 años.

Para determinar los caudales en los arroyos, donde se realiza el análisis de las alcantarillas pluviales, se procede a obtener información geomorfológica de la zona de interés con la finalidad de determinar el área de la cuenca hidrográfica, diferentes tipos de usos de suelos, logrando determinar los coeficientes de escorrentía. La precipitación de la zona se obtuvo con un promedio de las precipitaciones registradas en una estación meteorológica ubicada en la zona. Se aplicó el método Racional para determinar el caudal del arroyo. La elaboración de los nomogramas se basa en la investigación de National Bureau of Standards (NBS) under the sponsorship of the Bureau of Public Roads (now the Federal Highway Administration), donde podemos encontrar los factores correspondientes para la elaboración de los mismos en unidades métricas.

Antecedentes

Una alcantarilla pluvial es una estructura hidráulica que tiene como fin el transporte de agua que se genera cuando el área de interés experimenta un evento de lluvia. Para el estudio realizado se considera una tormenta de diseño de 50 años de retorno. El caudal generado por el área se ve afectado por los coeficientes de escorrentía que presenta cada una de las cuencas. Es decir, cada cuenca consta de diferente clasificación de suelo y de pendientes en el caudal principal. Las alcantarillas pluviales constan de una entrada, tubería, salida y su ubicación dependerá de la dirección de flujo. De tal manera, se puede identificar varias formas de alcantarillas que se pueden utilizar para el transporte del flujo debajo de una calzada o algún obstáculo. Para el caso de análisis se puede identificar que las alcantarillas a la entrada y salida tienen una forma rectangular y tubería rectangular.

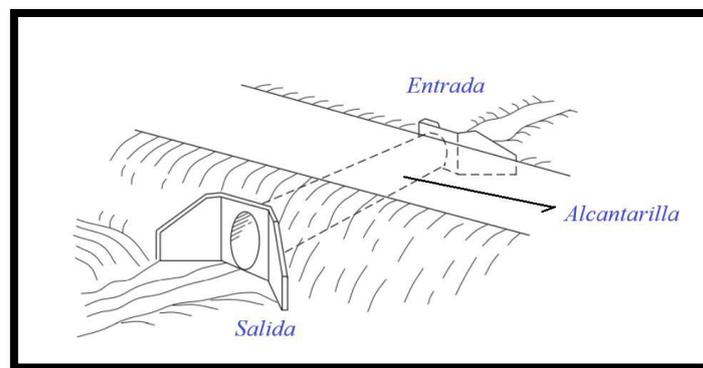


Figura 1. Partes de una alcantarilla Pluvial.

Fuente: Hidrología Aplicada.

Justificación del Estudio.

La comprobación realizada en este estudio se vio dirigida con la determinación del patrón de flujo para cada una de las alcantarillas. Además, con la ayuda de un análisis de energía y la elaboración de nomogramas se pudo determinar si las alcantarillas analizadas tendrán la capacidad para soportar el caudal generado por la cuenca hidrográfica correspondiente; sin causar problemas de inundaciones cuando experimenten una tormenta de diseño de 50 años. Cabe recalcar que el análisis de precipitación se realizó mediante el uso del Método Racional, donde se considera que la lluvia es uniforme en el tiempo y generando un caudal pico.

El estudio realizado tiene los siguientes objetivos:

- Determinar los caudales máximos que se puede generar en una cuenca con los registros de precipitación del cantón Yantzaza
- Identificar el patrón de flujo que se genera a través de las alcantarillas pluviales ubicadas en el catón Yantzaza.
- Elaboración de nomogramas y análisis de energía para determinar la profundidad de flujo en las alcantarillas pluviales.
- Analizar si las alcantarillas pluviales ubicadas en el cantón Yantzaza son capaces de drenar y operar cuando experimentan la tormenta de diseño.

Capítulo 1

1.1 Ciclo Hidrológico.

El ciclo hidrológico es la serie de etapas que el agua experimenta al pasar de la tierra a la atmosfera y devuelta a la tierra. Por ende, analizar los diferentes estados que el agua experimenta nos permite identificar como se trasfiere el agua a la tierra.

Se puede decir que el ciclo hidrológico no tiene un principio o un final. Por lo tanto, sus diferentes etapas ocurren simultáneamente sin tener establecido un orden específico. De tal manera, para esquematizar el ciclo hidrológico Figura N° 1, existen diferentes formas en la que el agua puede precipitarse y ser interceptada en la superficie terrestre, de modo que se genera flujo superficial sobre el suelo e infiltrarse en él generando un flujo subsuperficial. Por lo tanto, la descarga de estos flujos se realiza en ríos y lagos como escorrentía superficial. El ciclo hidrológico es continuo, ya que la mayor parte de esta agua regresa a la atmosfera generando un ciclo sin fin (Gribbin, 2017)

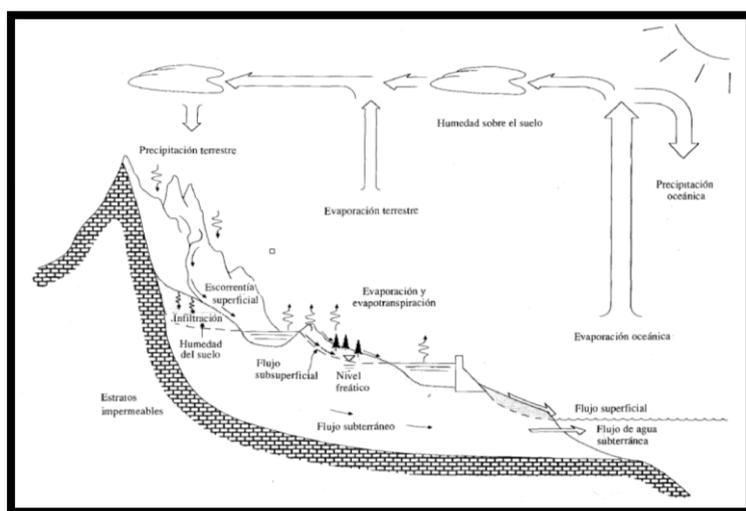


Figura 2. Ciclo Hidrológico.

Fuente: Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y Gestión Integral de Recursos Hídricos

1.2 Etapas del Ciclo Hidrológico.

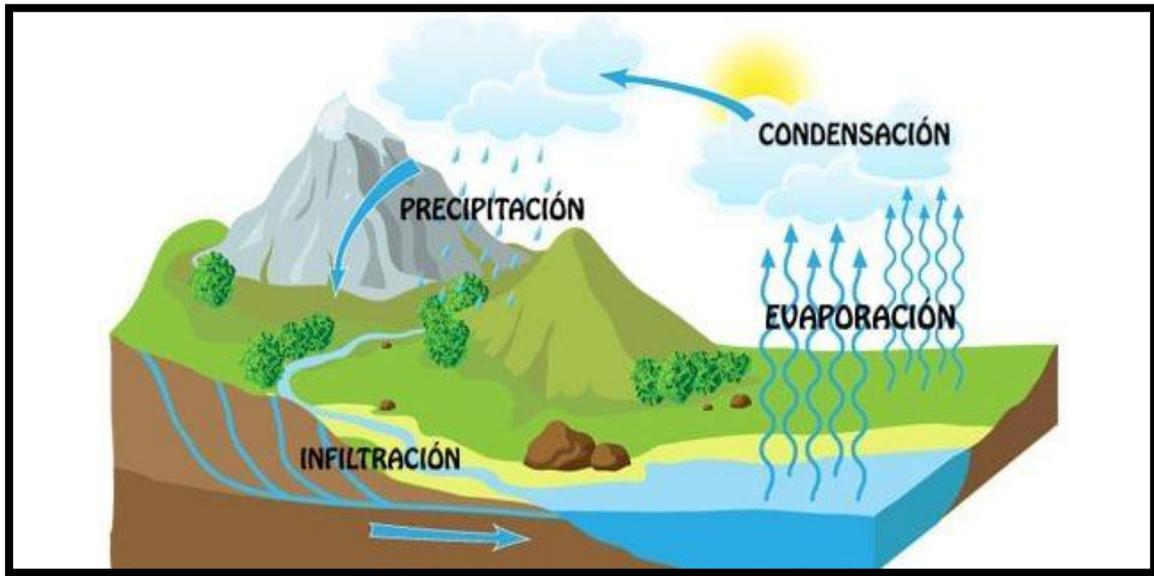


Figura 3. Etapas del ciclo Hidrológico

Fuente: Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y Gestión Integral de Recursos Hídricos

1.2.1 Evaporación

La evaporación es la etapa del ciclo hidrológico donde el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso todo lo contrario a la condensación; este proceso se genera al momento que el agua en un estado líquido entra en contacto con la atmósfera. Por lo tanto, es el proceso esencial por el cual el agua ingresa a la atmósfera (Bolívar, 2011)

1.2.2 Condensación.

Es el cambio que el agua experimenta al pasar del estado gaseoso al estado líquido, cuando la presión de agua es mayor que la presión de vapor de saturación. Lo que genera energía que se desprende del proceso de condensación en calor latente de vaporización (Bolívar, 2011)

1.2.3 Precipitación

Es la liberación del agua que se encuentra en las nubes, en forma de lluvia, aguanieve, granizo o nieve. Pero esta liberación no se llevaría a cabo hasta que las

partículas de agua que se encuentran en las nubes se agrupan hasta conseguir un tamaño que sea capaz de superar las fuerzas ascendentes de las corrientes atmosféricas. Por lo tanto, la precipitación es la etapa primordial en la que el agua retorna a la tierra (Bolívar, 2011)

1.2.4 Infiltración

La etapa de infiltración corresponde al descenso del agua al traspasar la superficie terrestre y penetrándose en el suelo. Está agua infiltrada es una de las principales fuentes de abastecimiento para manantiales, aguas subterráneas y de ríos permitiendo que el ciclo hidrológico continúe (Bolívar, 2011)

1.2.5 Transpiración

Es la etapa del ciclo hidrológico donde el agua capturada por las plantas, extraída de la humedad del suelo, se libera en forma de vapor y entra a la atmosfera; cabe recalcar que este procedimiento se ve afectado por la temperatura de la zona, la humedad relativa, las corrientes de aire y tipos de plantas. Por esta razón, existen diferentes zonas en las que la liberación de agua varía conforme estas condiciones se aplican (Bolívar, 2011)

1.2.6 Sublimación

Cambio de estado sólido (hielo, nieve) a estado gaseoso que sufre el agua; este cambio se produce cuando las condiciones de humedad son bajas y hay presencia de corrientes de vientos (Bolívar, 2011)

1.2.7 Lluvia

Es el procedimiento donde la precipitación tiene una mayor repercusión en el análisis de la infiltración y escorrentía. Por esta razón, cuando la condensación del vapor de agua se produce en las nubes provoca que el agua se precipite al suelo en forma

irregular, además parte de la misma se la aprovecha en la infiltración que se genera por los diferentes tipos de suelos, otro porcentaje forma parte de los caudales de los lagos, quebradas y de ríos (Bolívar, 2011)

1.2.7.1 Intensidad de lluvia

Al realizar un estudio de la intensidad de la precipitación de la lluvia, se ejecuta mediante el análisis de datos estadísticos, con la finalidad de determinar las precipitaciones máximas en la zona de influencia. La zona donde se realizarán el análisis de intensidad de lluvia es en el cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe. Por lo tanto, se obtienen la información del Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de las estaciones las cuales recolectan información del cantón Yantzaza.

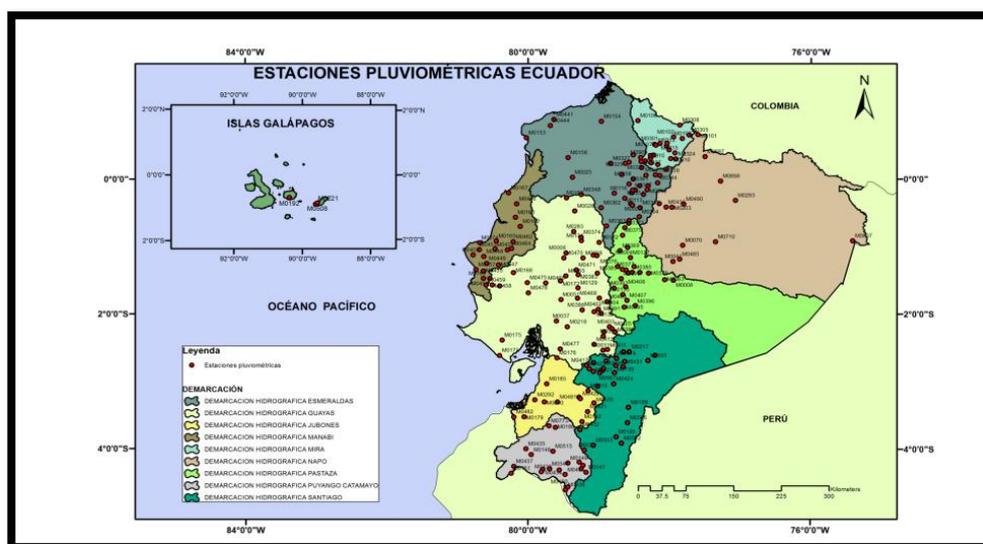


Figura 4. Estaciones Pluviométricas de Ecuador

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

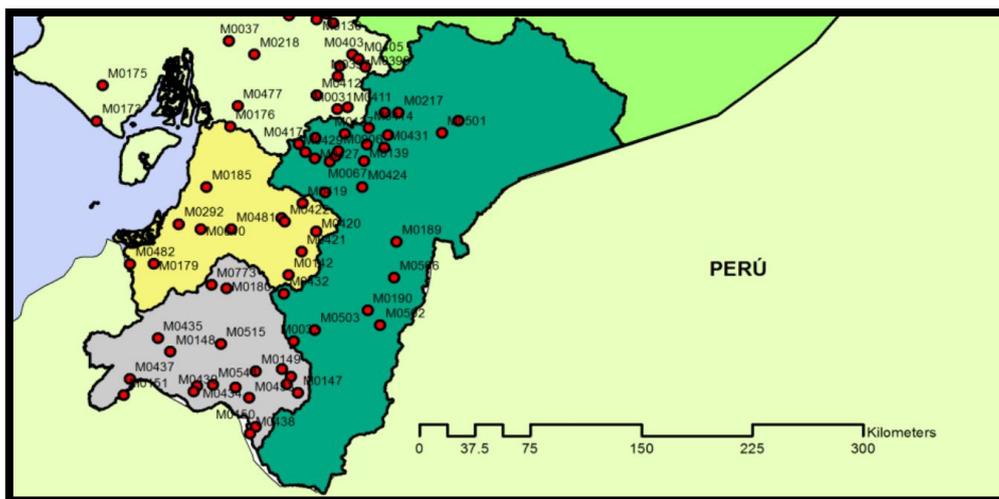


Figura 5. Estación Pluviométrica correspondiente a Yantzaza

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Código	Estación	x	y	z	Serie Datos	Nº de Años	TR2 (mm/hr)	TR5 (mm/hr)	TR10 (mm/hr)	TR25 (mm/hr)	TR50 (mm/hr)	TR100 (mm/hr)
M0190	YANTZAZA	749844.3	9575506.2	830	1976-2011	31	2.57	3.54	4.18	5	5.61	6.22

Tabla 1. Intensidades máximas en 24 hr para varios tiempos de retorno

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador posee en todo el territorio ecuatoriano estaciones pluviométricas donde se puede conseguir información sobre las intensidades máximas en 24 hr en un periodo de retorno para una zona de interés. La zona en la cual se realizará el análisis para la profundidad de flujo a la entrada de las alcantarillas tiene como código M0190 (Yantzaza) como se muestra en la Figura 4; además, considerando un periodo de diseño de 50 años podemos obtener la intensidad máxima diaria ($I_{d_{TR}}$) de 5.61 mm/h.

Determinada la intensidad máxima diaria para un periodo de retorno de 50 años, el INAMHI nos proporciona las ecuaciones IDF en función de la precipitación máxima en 24 hr; por ende, el territorio ecuatoriano se encuentra zonificado y podemos determinar las ecuaciones para nuestra zona de interés.

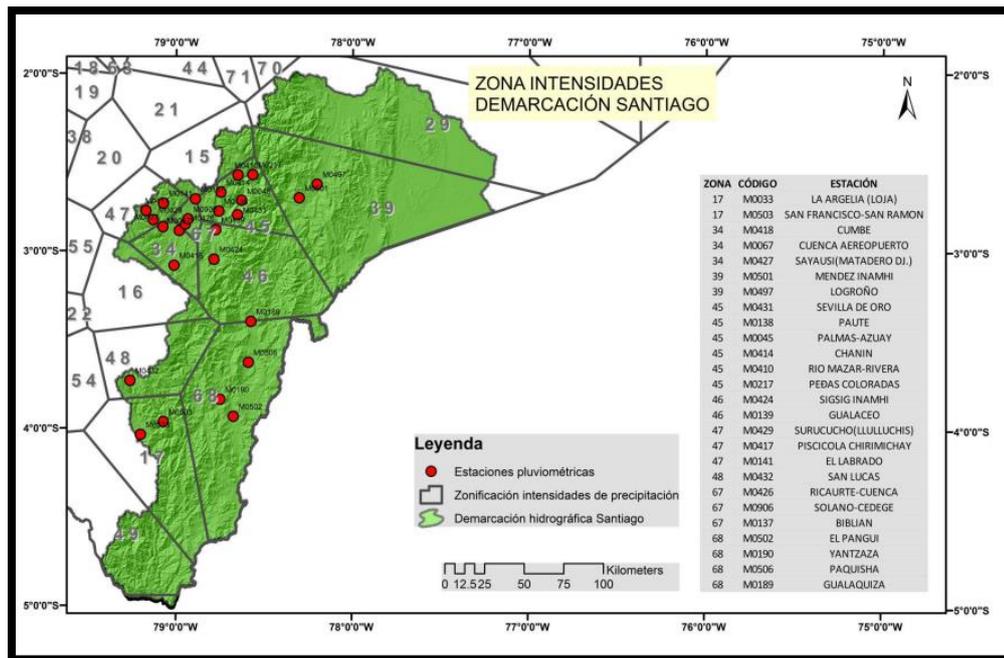


Figura 6. Zonificación Demarcación Santiago

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Zona	Duración	Ecuación
68	5 min < 47.27 min	$I_{TR} = 62.854 * Id_{TR} * t^{-0.344}$
	47.27 min < 1440 min	$I_{TR} = 386.42 * Id_{TR} * t^{-0.815}$

Tabla 2. Ecuaciones de Intensidad para zona 68

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

La Figura 5 nos muestra la zona en la cual se encuentra el cantón Yantzaza y las ecuaciones de la intensidad máxima que se generan en la zona donde se realizará el análisis de la profundidad de flujo a la entrada de las alcantarillas.

Donde:

I_{TR} : Intensidad de lluvia para un tiempo de retorno de 50 años (mm/hr)

Id_{TR} : Intensidad máxima diarias (mm/hr)

t: Tiempo de concentración en 24 hr.

Capítulo 2

2.1 Área de drenaje.

Para determinar la escorrentía en una quebrada, arroyo o río que se genera luego de soportar una tormenta en un intervalo de tiempo es necesario primero delimitar el tamaño del área sobre el cual se precipita la lluvia. Por ende, el área que se necesita delimitar se denomina área de captación, cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje. Por lo tanto, toda el agua que se precipita dentro del área de drenaje, una parte se infiltra y otra parte empieza a ser parte de la escorrentía del arroyo y la que cae fuera de esta área forma parte de otro arroyo (Gribbin, 2017)

Los factores que pueden afectar a la delimitación y características de la cuenca hidrográfica son:

- Topografía.
- Uso de suelo
- Permeabilidad.

2.1.1 Topografía.

La línea que nos permite delimitar el área de drenaje se denomina división de cuenca y se ve afectada por la topografía del terreno (Gribbin, 2017). Yantzaza se encuentra ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe al sur del Ecuador. Por lo tanto, su altura varía desde los 600 a 1200 msnm. Por ende, es necesario encontrar las curvas de nivel que nos permitirán unir puntos del terreno que estén en una misma altura. Para ello usamos los programas Google Earth Pro y ArcMap que nos permitirán elaborar las curvas de nivel del área deseada.



Figura 7. Curvas de nivel de la zona de estudio.

Fuente: ArcMap zona Yantzaza.



Figura 8. Curvas de nivel de la zona de estudio para alcantarillas

Fuente: ArcMap zona Yantzaza.

En las figuras 6 y 7 observamos las curvas de nivel que fueron generadas con los programas antes mencionados. Cabe recalcar que estas curvas de nivel no corresponden al área de drenaje, para delimitar las áreas correspondientes ubicamos el punto de

desfogue (punto de concentración), que son en las entradas de las alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas:

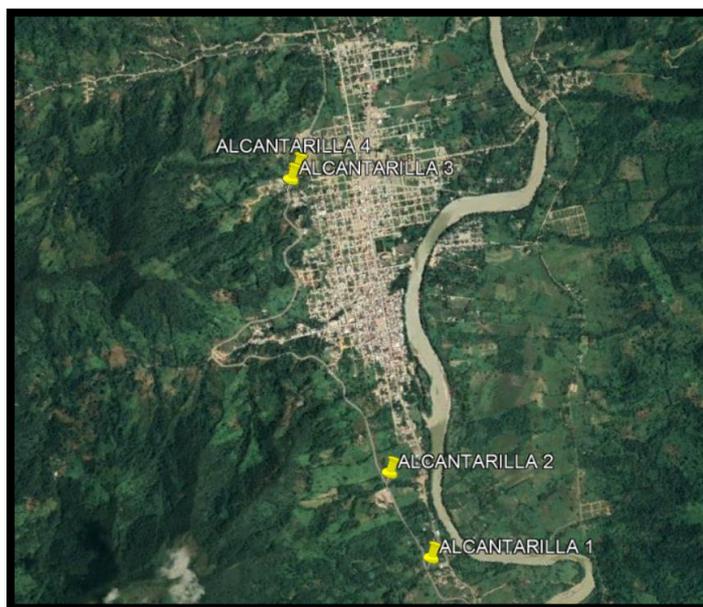


Figura 9. Localización de Puntos de análisis.

Fuente: Google Earth.

Coordenadas		
	Latitud	Longitud
Alcantarilla 1	-3.853704°	-78.763505°
Alcantarilla 2	-3.845952°	-78.764792°
Alcantarilla 3	-3.820115°	-78.765611°
Alcantarilla 4	-3.819496°	-78.765017°

Tabla 3. Coordenadas de alcantarillas

Fuente: Google Earth.

Ubicando cada punto de concentración procedemos a utilizar el programa ArcMap, que nos permitirá limitar las áreas de drenaje para cada punto de concentración. De modo que, al delimitar el área de drenaje y con la ayuda de las curvas de nivel y diferentes pendientes podremos determinar la cuenca hidrográfica, la dirección y longitud del cauce principal de cada quebrada que tiene como desembocadura la entrada de la alcantarilla.

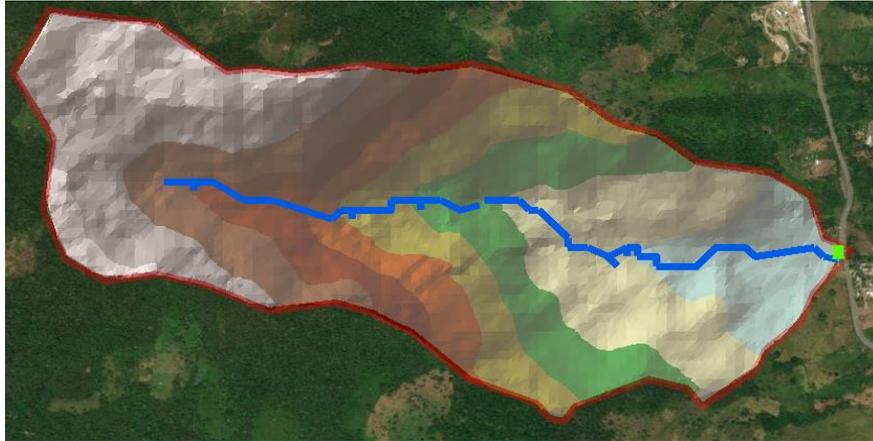


Figura 10. Alcantarilla 1.

Fuente: ArcMap zona de análisis 1.

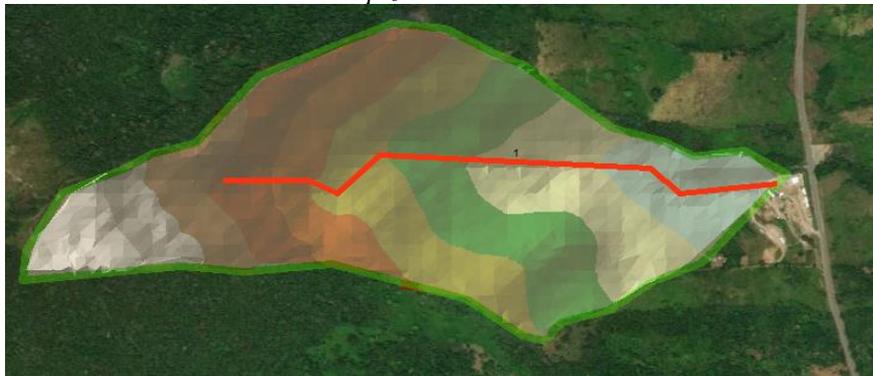


Figura 11. Alcantarilla 2

Fuente: ArcMap zona de análisis 2

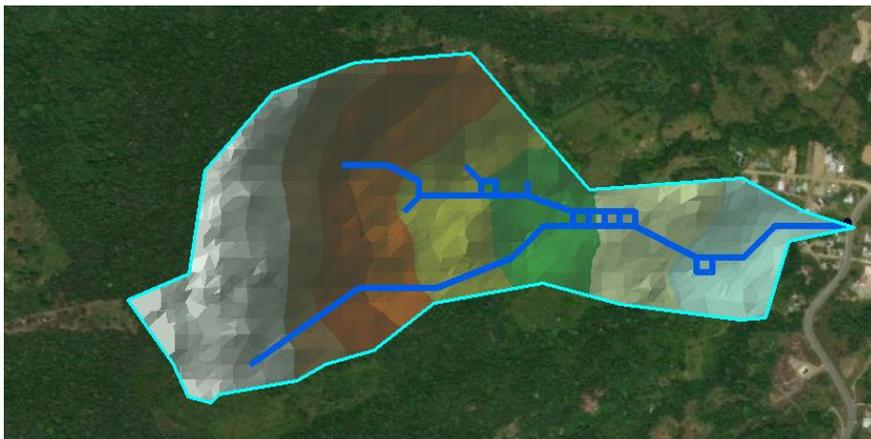


Figura 12. Alcantarilla 3

Fuente: ArcMap zona de análisis 3

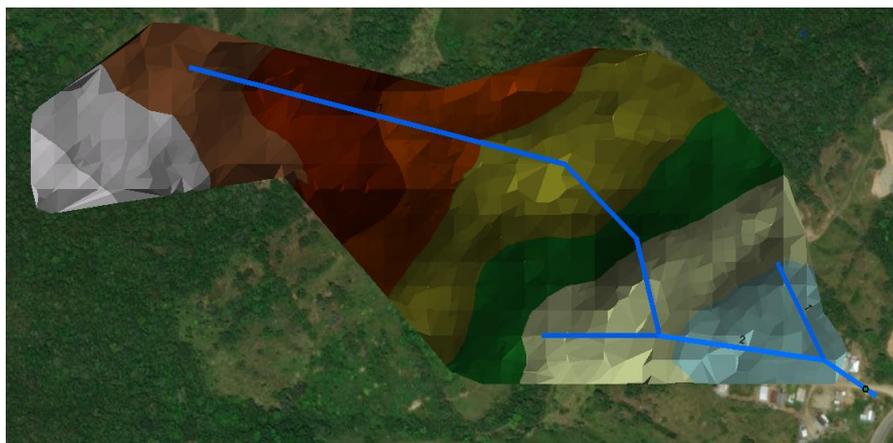


Figura 13. Alcantarilla 4

Fuente: ArcMap zona de análisis 4

Coordenadas				
	Latitud	Longitud	Área de Drenaje (Ha)	Longitud del cauce principal (Km)
Alcantarilla 1	-3.853704°	-78.763505°	202.35	2.571
Alcantarilla 2	-3.845952°	-78.764792°	66.37	1.274
Alcantarilla 3	-3.820115°	-78.765611°	49.85	1.076
Alcantarilla 4	-3.819496°	-78.765017°	31.4	1.361

Tabla 4. Áreas de cuencas hidrográficas

Fuente: Resultado de análisis

Delimitadas las cuencas hidrográficas para cada alcantarilla, la tabla 6 nos muestra el resultado del área total de cada una de ellas. Además de la longitud del cauce principal del arroyo. Estos datos se los obtuvo con la ayuda del programa ArcMap; debe señalarse, que el programa ArcMap debe ser preparado para adaptarse a las condiciones del lugar de análisis, es decir se debe obtener imágenes satelitales del lugar y la respectiva configuración para obtener el área de la cuenca hidrográfica.

2.1.2 Uso de suelo y permeabilidad.

El cantón Yantzaza específicamente la parroquia de Yantzaza donde se encuentran los puntos de análisis cuenta con una vegetación predominante con bosques de especies

madereras, plantas medicinales, plantas frutales, sembríos, crianza de ganado, entre otras; de allí que podemos caracterizar diferentes tipos de suelos que tendrán diferentes permeabilidades produciendo diferentes tipos de flujos. Esta generación de flujos se debe a que los diferentes tipos de suelos tienen coeficientes de escorrentía que provoca una mayor permeabilidad o saturación del suelo afectando a los caudales de los arroyos, ríos y lagos.

2.1.2.1 Coeficientes de Escorrentía.

El coeficiente de escorrentía es una representación de la porción de la precipitación que se convierte en caudal de las quebradas, ríos, entre otros. El valor del coeficiente de escorrentía varía dependiendo de las características del suelo, topografía, uso de suelos, permeabilidad y la cobertura vegetal (Gribbin, 2017)

En la Figura 11. se establecen valores de coeficientes de escorrentía para una variedad de suelos y usos de los mismo:

C-1
Values of c, Runoff Coefficient

Character of Surface	Runoff Coefficients
Pavement	
Asphalt and concrete	0.70 to 0.95
Brick	0.70 to 0.85
Roofs	0.75 to 0.95
Lawns, sandy soil	
Flat (2 percent)	0.05 to 0.10
Average (2 to 7 percent)	0.10 to 0.15
Steep (> 7 percent)	0.15 to 0.20
Lawns, heavy soil	
Flat (2 percent)	0.13 to 0.17
Average (2 to 7 percent)	0.18 to 0.22
Steep (> 7 percent)	0.25 to 0.35
Composite c-values:	
Business	
Downtown	0.70 to 0.95
Neighborhood	0.50 to 0.70
Residential	
Single Family	0.30 to 0.50
Multi-units, detached	0.40 to 0.60
Multi-units, attached	0.60 to 0.75
Residential (suburban)	0.25 to 0.40
Apartment	0.50 to 0.70
Industrial	
Light	0.50 to 0.80
Heavy	0.60 to 0.90
Parks, cemeteries	0.10 to 0.25
Playgrounds	0.20 to 0.35
Railroad yards	0.20 to 0.35
Unimproved	0.10 to 0.30

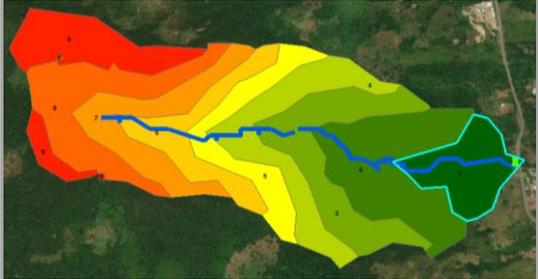
Figura 14. Coeficientes de escorrentía.

Fuente: Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua.

2.1.2.2 Cálculo del coeficiente de escorrentía de la cuenca.

Para la determinación del coeficiente de escorrentía se subdividió a todas las cuencas hidráulicas en subáreas las cuales nos permite identificar con mayor facilidad el tipo, topografía y usos de suelos. El cantón Yantzaza se caracteriza por tener una vegetación predominante y con una producción ganadera muy importante; por lo tanto, la ubicación de las alcantarillas donde se realizará el análisis está ubicadas en el paso lateral que rodea a toda la ciudad. Por ende, las subcuencas se las caracterizo como campos abiertos (potreros) y como bosques con su respectivo coeficiente de escorrentía (Gribbin, 2017)

En las siguientes tablas se realiza la subdivisión de las cuencas en áreas a las cuales podemos caracterizar dependiendo del uso de suelos correspondiente:



Gridcode	Área subcuena (m2)	Área subcuena (Ha)	Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
1	172174.10	17.22	Campo abierto (potreros)	0.30
2	337411.10	33.74	Campo abierto (potreros)	0.30
3	266537.20	26.65	Campo abierto (potreros)	0.30
4	240246.40	24.02	Campo abierto (potreros)	0.30
5	165492.40	16.55	Bosques	0.20
6	163807.40	16.38	Bosques	0.20
7	199831.20	19.98	Bosques	0.20
8	251342.78	25.13	Bosques	0.20
9	226762.16	22.68	Bosques	0.20
Área Total		202.35		

Tabla 5. Subáreas de la cuenca hidrográfica 1.

Fuente: Datos obtenidos en ArcMap zona Yantzaza.



Gridcode	Área subcuena (m2)	Área subcuena (Ha)	Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
1	59555.43	5.96	Campo abierto (potreros)	0.30
2	97695.64	9.77	Campo abierto (potreros)	0.30
3	127999.40	12.8	Campo abierto (potreros)	0.30
4	115355.20	11.54	Bosques	0.20
5	80751.47	8.08	Bosques	0.20
6	69140.27	6.91	Bosques	0.20
7	46455.41	4.65	Bosques	0.20
8	27416.20	2.74	Bosques	0.20
9	39198.67	3.92	Bosques	0.20
Área Total		66.37		

Tabla 6. Subáreas de la cuenca hidrográfica 2.

Fuente: Datos obtenidos en ArcMap zona Yantzaza.

Grídecódigo	Área	Área	Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
	subcuenca (m ²)	subcuenca (Ha)		
1	52094.64	5.21	Campo abierto (potreros)	0.30
2	64362.91	6.44	Campo abierto (potreros)	0.30
3	44559.77	4.46	Campo abierto (potreros)	0.30
4	59443.48	5.94	Campo abierto (potreros)	0.30
5	59526.50	5.95	Campo abierto (potreros)	0.30
	62812.15	6.28	Campo abierto (potreros)	0.30
7	53692.06	5.37	Bosques	0.20
8	51579.90	5.16	Bosques	0.20
9	50398.96	5.04	Bosques	0.20
Área Total		49.85		

Tabla 7. Subáreas de la cuenca hidrográfica 3.

Fuente: Datos obtenidos en ArcMap zona Yantzaza.

Grídecódigo	Área	Área	Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
	subcuenca (m ²)	subcuenca (Ha)		
1	25928.48	2.59	Campo abierto (potreros)	0.30
2	42035.51	4.20	Campo abierto (potreros)	0.30
3	35953.27	3.60	Campo abierto (potreros)	0.30
4	34373.61	3.44	Campo abierto (potreros)	0.30
5	55415.27	5.54	Bosques	0.20
	32547.38	3.25	Bosques	0.20
7	29984.02	3.00	Bosques	0.20
8	36782.13	3.68	Bosques	0.20
9	21004.13	2.10	Bosques	0.20
Área Total		31.4		

Tabla 8. Subáreas de la cuenca hidrográfica 4.

Fuente: Datos obtenidos en ArcMap zona Yantzaza.

Las tablas 7 a la 9 nos proporcionan la información de cómo se realizó la separación de las subáreas dependiendo del tipo de suelo, topografía y uso; además, de obtener el dato correspondiente del área de cada una de ellas podemos realizar una ponderación de los resultados encontrados y determinar un coeficiente de escorrentía para toda la cuenca individualmente.

La ponderación de los resultados se la determino usando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{A1 * c1 + a2 * c2 + \dots + Ai * ci}{A1 + A2 + \dots + Ai} \quad ec. 1$$

Donde:

c: coeficiente de escorrentía (subárea).

A: Área de tipo de suelo (subárea)

Gridcode	Área-subcuenca (Ha)	Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	Ci*Ai
1	17.22	Campo abierto (potreros)	0.30	5.17
2	33.74	Campo abierto (potreros)	0.30	10.12
3	26.65	Campo abierto (potreros)	0.30	8.00
4	24.02	Campo abierto (potreros)	0.30	7.21
5	16.55	Bosques	0.20	3.31
6	16.38	Bosques	0.20	3.28
7	19.98	Bosques	0.20	4.00
8	25.13	Bosques	0.20	5.03
9	22.68	Bosques	0.20	4.54
Área total	202.35		Coeficiente de escorrentía de la cuenca	0.25

Tabla 9. Coeficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 1

Fuente: Datos obtenidos del análisis individual de la cuenca

Gridcode	Área-subcuenca (Ha)	Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía	Ci*Ai
1	5.96	Campo abierto (potreros)	0.30	1.79
2	9.77	Campo abierto (potreros)	0.30	2.93
3	12.80	Campo abierto (potreros)	0.30	3.84
4	11.54	Bosques	0.20	2.31
5	8.08	Bosques	0.20	1.62
6	6.91	Bosques	0.20	1.38
7	4.65	Bosques	0.20	0.93
8	2.74	Bosques	0.20	0.55
9	3.92	Bosques	0.20	0.78
Área total	66.37		Coefficiente de escorrentía de la cuenca	0.24

Tabla 10. Coeficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 2.

Fuente Datos obtenidos del análisis individual de la cuenca

Gridcode	Área-subcuenca (Ha)	Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía	Ci*Ai
1	5.21	Campo abierto (potreros)	0.30	1.56
2	6.44	Campo abierto (potreros)	0.30	1.93
3	4.46	Campo abierto (potreros)	0.30	1.34
4	5.94	Campo abierto (potreros)	0.30	1.78
5	5.95	Campo abierto (potreros)	0.30	1.79
6	6.28	Campo abierto (potreros)	0.30	1.88
7	5.37	Bosques	0.20	1.07
8	5.16	Bosques	0.20	1.03
9	5.04	Bosques	0.20	1.01
Área total	49.85		Coefficiente de escorrentía de la cuenca	0.27

Tabla 11. Coeficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 3.

Fuente: Datos obtenidos del análisis individual de la cuenca

Gridcode	Área- subcuenca (Ha)	Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía	Ci*Ai
1	2.59	Campo abierto (potreros)	0.30	0.78
2	4.20	Campo abierto (potreros)	0.30	1.26
3	3.60	Campo abierto (potreros)	0.30	1.08
4	3.44	Campo abierto (potreros)	0.30	1.03
5	5.54	Bosques	0.20	1.11
6	3.25	Bosques	0.20	0.65
7	3.00	Bosques	0.20	0.60
8	3.68	Bosques	0.20	0.74
9	2.10	Bosques	0.20	0.42
Área total	31.40		Coefficiente de escorrentía de la cuenca	0.24

Tabla 12. Coeficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica 4.

Fuente: Datos obtenidos del análisis individual de la cuenca

Capítulo 3

3.1 Cálculos de escorrentía.

Para realizar una estimación de la acumulación de escorrentía que se dirige hacia los arroyos, lago y ríos, debido a la precipitación anual en las cuencas hidrográficas existen varios factores que afectan esta estimación ya sea: la topografía del terreno, tipo de suelo, intensidad de la lluvia, uso de suelos, vegetación, entre otras (Gribbin, 2017). Por lo tanto, hemos seleccionado el Método Racional que nos proporciona la escorrentía máxima cuando la cuenca hidrográfica experimenta un evento de lluvia.

3.1.1 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se lo puede definir como el tiempo que le toma al agua en llegar al punto de desagüe, desde el punto hidrológico más alejado; cabe recalcar que para determinar el punto hidrológico más alejado se tendrá delimitada la cuenca y mediante un análisis de cotas se determina el punto más alejado (Gribbin, 2017)

3.1.2 Métodos para determinar el tiempo de concentración.

3.1.2.1 Método de Tonini

$$T_c = \frac{4 * \sqrt{A + 1.5L}}{0.8 * \sqrt{h}}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (hr)

A: Área de la cuenca (Km²)

L: Longitud del cauce (Km)

h: Desnivel en los puntos de interés.

3.1.2.2 Método Rowe

$$T_c = 0.0195 * \frac{(L^3)^{0.385}}{h^{0.385}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hr)

L: Longitud del cauce (Km)

h: Desnivel entre los puntos de interés

3.1.2.3 Método de Témez

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Tc: Tiempo de concentración (hr)

L: Longitud del cauce (Km)

So: Pendiente promedio del cauce en %

3.1.2.4 Método de Kirpich

$$T_c = \left(\frac{0.87 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hr)

L: Longitud del cauce (Km)

H: Desnivel entre los puntos de interés.

Al tener diferentes métodos para determinar el tiempo de concentración más adelante se procede a realizar un promedio de estos valores para tener un valor más

aproximado. Con el promedio de los diferentes tiempos de concentración se logra la determinar la intensidad de lluvia de diseño, que tiene un periodo de diseño de 50 años

3.1.3 Método Racional.

El Método Racional, el cual se empezó a utilizar a mitad del siglo XIX, es de los métodos más ampliamente utilizado para el diseño de estructuras hidráulicas pluviales. Por lo que, el método nos permite estimar la esorrentía máxima que se genera cuando la cuenca hidrográfica experimenta un evento de lluvia, asumiendo que la misma es uniforme en el tiempo y en toda la cuenca hidrográfica (Gribbin, 2017)

La ecuación utilizada por el Método Racional es:

$$Q = \frac{c \cdot I \cdot A}{360} \quad ec. 2$$

Donde:

Q: caudal máximo (m³/s)

c: coeficiente de esorrentía

I: Intensidad de la lluvia de diseño (mm/hr)

A: Área de la cuenca hidrográfica (Ha)

3.1.3.1 3.1.1 Consideraciones del Método Racional.

- La tasa de esorrentía pico calculada en el punto de salida de la cuenca es una función de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentración, es decir, el caudal pico no resulta de una lluvia más intensa, de menor duración, durante la cual solamente una porción de la cuenca contribuye a la esorrentía a la salida de ésta (Gribbin, 2017)

- El tiempo de concentración empleado es el tiempo para que la escorrentía se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de entrada del alcantarillado que se desea diseñar o analizar (Gribbin, 2017)
- La intensidad de la lluvia es constante durante toda la tormenta y la precipitación se realiza en toda el área hidrológica (Gribbin, 2017)

3.1.3.2 Limitaciones del Método Racional.

- El resultado que se genera solo es el caudal pico.
- Realiza la suposición de que el evento de lluvia es uniforme en el tiempo en toda el área de la cuenca hidrográfica, siempre que el área de drenaje sea pequeña.
- Considera que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación; pero en realidad la escorrentía depende también de cómo se encuentran las condiciones de suelo: topografía, tipo de suelo, humedad, uso de suelo, entre otros (Gribbin, 2017)
- No toma en cuenta los efectos de almacenamiento o retención del agua.

3.1.4 Caudal generado por las cuencas hidrográficas.

Para estimar el caudal que se genera en nuestras cuencas utilizaremos los datos de la intensidad, área de drenaje y coeficiente de escorrentía; es necesario considerar, los resultados encontrados en los Capítulos 1 y 2 donde se estableció los parámetros y condiciones necesarias para obtener los resultados necesarios. Cabe recalcar que los datos y resultados obtenidos para cada cuenca hidrográfica son diferentes, ya que la topografía, tipo de suelo, uso de suelo, permeabilidad es diferente entre ellas.

Descripción	Área de drenaje (Ha)	Longitud del cauce principal (Km)	Base (m)	Altura (m)
Alcantarilla 1	202.35	2.57	3.30	2.20
Alcantarilla 2	66.37	1.27	3.00	2.70
Alcantarilla 3	49.85	1.08	3.00	2.00
Alcantarilla 4	31.40	1.36	3.05	2.00

Tabla 13. Información de las cuencas.

Fuente: Datos obtenidos en ArcMap y datos recopilados en campo

Descripción	Nomenclatura	Unidades	Alcantarilla 1	Alcantarilla 2	Alcantarilla 3	Alcantarilla 4
			Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Tiempos de duración de la tormenta						
METODO DE TONINI	T _c	hr	0.8	0.58	0.57	0.68
		min	48	34.80	34.20	40.80
METODO DE ROWE	T _c	min	20.97	9.88	8.69	12.52
		hr	0.35	0.16	0.14	0.21
METODO DE TEMEZ	T _c	hr	0.32	0.23	0.22	0.25
		min	19.2	13.80	13.20	15.00
METODO DE TEMEZ	T _c	hr	0.35	0.16	0.14	0.21
		min	21	9.60	8.40	12.60
Promedio	T _c	hr	0.46	0.28	0.27	0.34
		min	27.6	16.80	16.20	20.40
		24h	11.04	6.72	6.48	8.16
Intensidad máxima diarias en mm/h	I _{mm/día}	mm/h	5.61	5.61	5.61	5.61
Intensidad de lluvia de diseño (50 años)	I _{50 años}	mm/h	154.35	183.10	185.40	171.27
Precipitación máxima en 24 horas (mm)	P	mm	71	51.27	50.06	71.00

Tabla 14. Intensidades y Precipitaciones para cada área de estudio.

Fuente: INAMHI y recolección de datos de cada cuenca.

Descripción	Nomenclatura	Unidades	Alcantarilla 1	Alcantarilla 2	Alcantarilla 3	Alcantarilla 4
			Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Caudales Máximos en la Cuenca Método Racional						
Método Racional	Qmax.	m ³ /s	24.29	8.78	7.70	3.88
Caudal máx. generado	Qmax.	m ³ /s	24.29	8.78	7.70	3.88
		L/s	24292.12	8776.70	7701.83	3884.02

Tabla 15. Caudales máximos generados en cada cuenca
Fuente: INAMHI y recolección de datos de cada cuenca

Los coeficientes de escorrentía presentados en la Figura 13 nos proporcionan valores típicos para tormentas de retorno de 2 a 10; por lo tanto, para periodos más largos multiplicamos por el factor correspondiente. La tabla 14 nos muestra los tiempos de concentración para cada una de las cuencas hidrográficas, cabe recalcar que para cada una de las cuencas las condiciones son diferentes. Por lo tanto, los resultados obtenidos con cada método son diferentes y realizando un promedio de tiempo de concentración para que los valores se acoplen a la realidad. Las Intensidades determinadas en esta tabla son el resultado de las ecuaciones determinadas en la Tabla 2. Ecuaciones de Intensidad para la zona 68, dependiendo de cada condición se determina la intensidad de lluvia para una tormenta de diseño de 50 años.

Capítulo 4

4.1 Hidráulica de alcantarillas.

Las alcantarillas pluviales son estructuras hidráulicas que son usadas para el transporte de agua debajo de una calzada, terraplén o algún obstáculo que se genera cuando el área de interés experimenta un evento de lluvia. Por lo tanto, las alcantarillas constan de una entrada, tubería (alcantarilla) y salida; la ubicación de estos elementos hidráulicos se la realiza considerando la dirección del arroyo o flujo; de tal manera, podemos identificar formas comunes de alcantarillas que pueden ser: circulares, cuadradas, elipses y arcos (Novak, 2001)

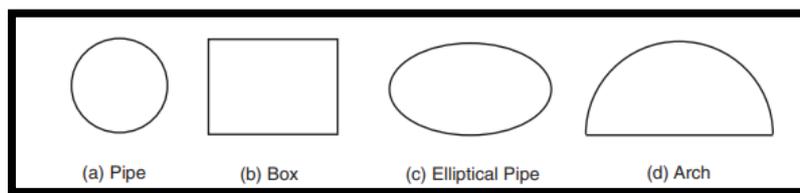


Figura 15. Formas de alcantarillas.

Fuente: Hidrología Aplicada

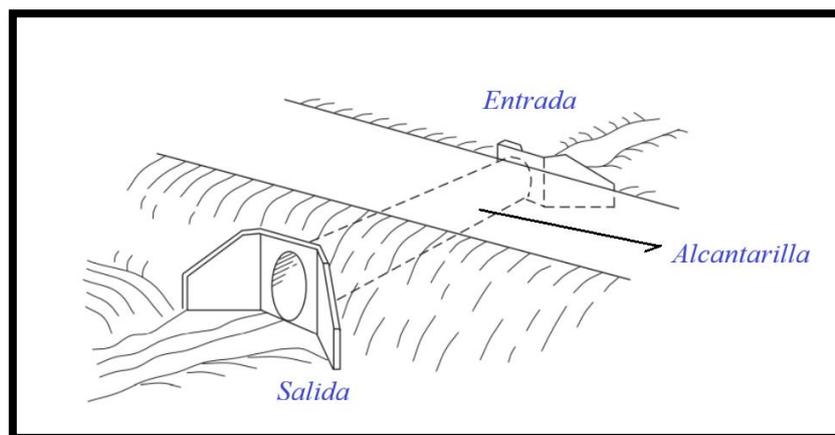


Figura 16. Partes de una alcantarilla.

Fuente: Hidrología Aplicada.

Al determinar las formas más comunes de alcantarillas podemos establecer que el agua al momento de llegar a tomar contacto con las alcantarillas se generan patrones de flujo que nos permitirán identificar si la alcantarilla trabaja con un control a la entrada o a salida.

4.1.1 Tipos de patrones de flujo.

Los tipos de patrones de flujo, son una representación del perfil de agua que atraviesa la alcantarilla; por lo tanto, se puede describir los siguientes patrones de flujo a los cuales el área de flujo, geometría de la entrada, longitud, pendiente y tipo de material; hacen que los patrones de flujo varíen.

4.1.1.1 Patrón de flujo tipo A.

En la Figura 17 podemos observar la condición en la que la entrada y salida de la alcantarilla no están sumergidas; por lo tanto, el flujo atraviesa con una profundidad crítica justo debajo de la entrada de la alcantarilla y en el flujo llega a ser supercrítico al atravesar la alcantarilla (Gribbin, 2017)

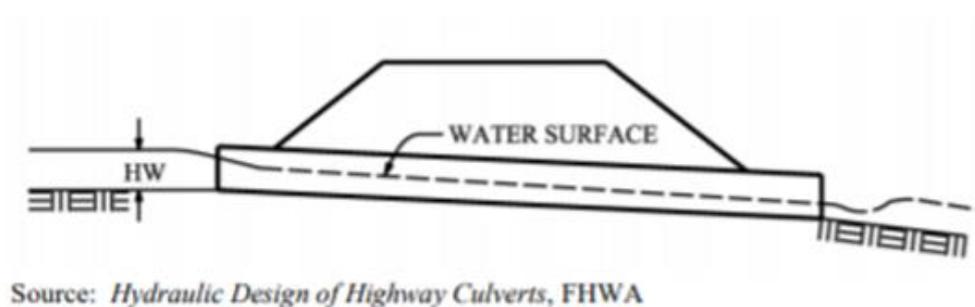


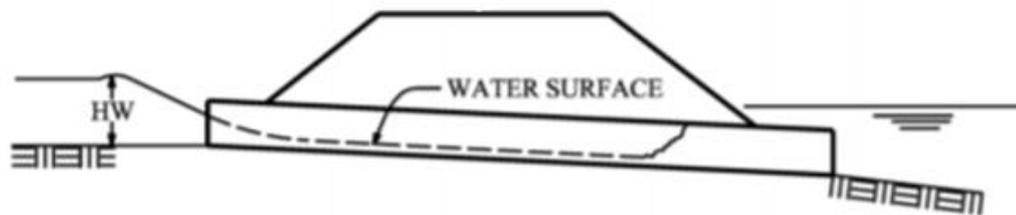
Figura 17. Patrón de flujo A

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial.*

4.1.1.2 Patrón de flujo tipo B.

En la Figura 17 podemos observar que la salida de la alcantarilla está sumergida, pero esta condición no quiere decir que el control es a la salida; en este tipo de patrón el

flujo justo después de la entrada es supercrítico y en la alcantarilla se genera un salto hidráulico (Gribbin, 2017)



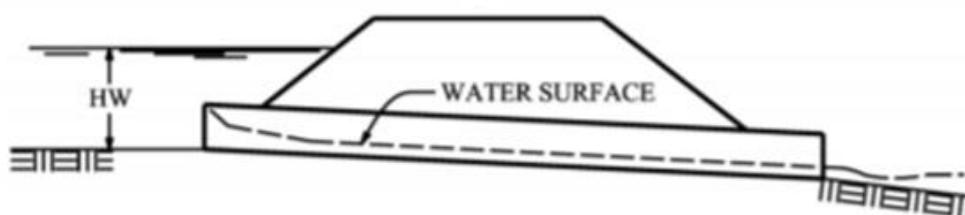
Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA*

Figura 18. Patrón de flujo B

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial.*

4.1.1.3 Patrón de flujo tipo C.

En la Figura 18 se observa que la entrada de la alcantarilla está sumergida, mientras que, agua abajo en la salida de la alcantarilla el agua fluye libremente; de modo que, la profundidad crítica la podemos ubicar aguas debajo de la entrada y aguas abajo de la alcantarilla, el flujo tiende a alcanzar una profundidad normal (Gribbin, 2017)



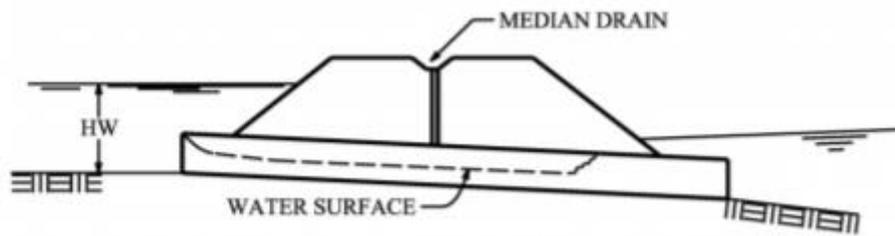
Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA*

Figura 19. Patrón de flujo C

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial.*

4.1.1.4 Patrón de flujo tipo D.

La Figura 19 es una condición inusual donde la entrada y salida de la alcantarilla están sumergida, pero sin estar completamente llena y formándose un salto hidráulico. Lo que provoca esta condición es la ventilación existente en el medio del dique provocando que no se desarrollen presiones subatmosféricas para que la tubería trabaje parcialmente llena.



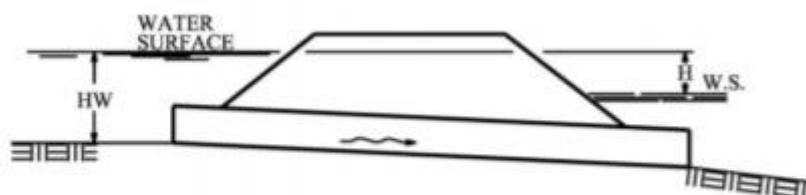
Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts*, FHWA

Figura 20. Patrón de flujo D.

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial*.

4.1.1.5 Patrón de flujo tipo E.

La Figura 20 nos muestra la condición en la que la entrada y salida de la alcantarilla están sumergida; generándose un flujo total donde la alcantarilla tiene un flujo a presión, pero esta condición rara vez se genera.



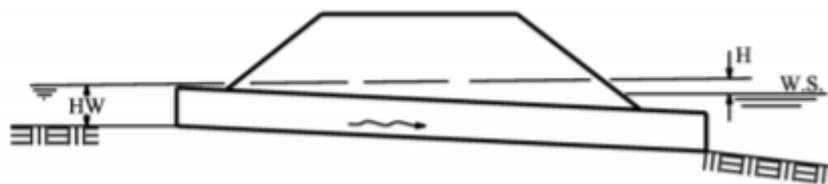
Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts*, FHWA

Figura 21. Patrón de flujo E

Fuente: Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial.

4.1.1.6 Patrón de flujo tipo F.

La figura 21 nos muestra como la salida de la alcantarilla está sumergida mientras que la entrada está sin sumergir; en este caso la alcantarilla es poco profunda, de tal manera que la corona de la alcantarilla está expuesta a medida que el flujo se contrae para ingresar a la alcantarilla.

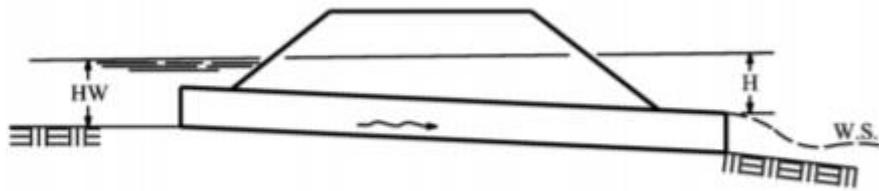


Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA*

Figura 22. Patrón de flujo F

Fuente: Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial.

En la Figura 22 podemos observar como la entrada de la alcantarilla está totalmente sumergida generando que la alcantarilla esté totalmente llena en toda la longitud, mientras que a la salida de la alcantarilla podemos observar que no está sumergida; para que, este patrón de flujo se genere es necesario que la cabecera se localice a una mayor altura de la salida logrando mantener el flujo total en la alcantarilla y las velocidades a la salida son altas.



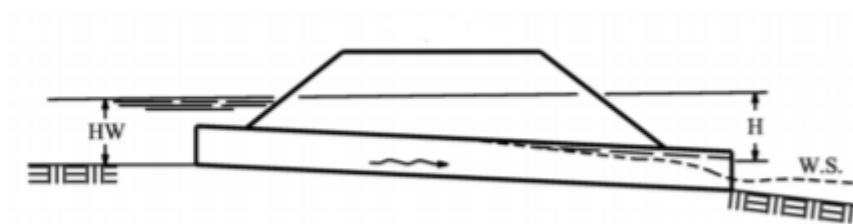
Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts*, FHWA

Figura 23. Patrón de flujo G

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial*.

4.1.1.7 Patrón de flujo tipo H.

En la Figura 23 se puede observar que la entrada de la alcantarilla se encuentra sumergida, mientras que la salida el agua fluye libremente. Para que esté patrón de flujo se genere es necesario que la alcantarilla se encuentre parcialmente llena y que el flujo que la atraviesa sea subcrítico y alcanzar una altura crítica justo antes de salir de la alcantarilla.



Source: *Hydraulic Design of Highway Culverts*, FHWA

Figura 24. Patrón de flujo H

Fuente: *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial*.

Establecidos los posibles patrones que una alcantarilla puede experimentar podemos establecer que el área de flujo de la alcantarilla, geometría, longitud, pendiente,

tipo de material, entre otros; son factores que afectan al flujo y hacen que la alcantarillas experimenten controles a la entrada o a la salida de la alcantarilla; por lo tanto, el poder identificar estos controles permite diseñar estructuras hidráulicas las cuales no se verán afectadas provocando que el agua sobrepase el talud.

4.1.2 Control de flujo a la entrada de la alcantarilla.

El control de flujo de la entrada en alcantarillas pluviales se genera cuando al agua al llegar a la entrada tiene dificultades al fluir; es decir, existe una congestión a la entrada de la alcantarilla provocado generalmente por el área de la sección de la alcantarilla y la geometría de la misma.

Debido a que el control a la entrada de las alcantarillas depende fundamentalmente del área de flujo y de la geometría, se puede realizar una clasificación de los patrones de flujo, a los cuales se les puede identificar que tienen un control a la entrada y son:

- Patrón de flujo A, entrada y salida sin sumergir.
- Patrón de flujo B, entrada no sumergida y salida sumergida.
- Patrón de flujo C, entrada sumergida.
- Patrón de flujo D, entrada y salida sumergida y con una salida de presión.

Un ejemplo de cómo se puede observar el control a la entrada de alcantarilla es cuando hay una pendiente suave del canal aguas arriba y pasa a una pendiente empinada en la alcantarilla; la transición que se genera en este cambio de pendiente genera un cambio en el flujo al pasar de subcrítico a supercrítico, además este cambio genera una profundidad crítica que se la puede localizar justo después de la entrada o cercana a ella (Gribbin, 2017)

Las ecuaciones para el control a la entrada que se usaran son las de la metodología descrita en HDS-5 (United States Department of Transportation, 2015). Donde se

describe un control a la entrada sumergido y no sumergido. Para el caso de que la entrada no se encuentre sumergida podemos utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\frac{HW}{D} = \frac{Hc}{D} + K \left(\frac{Q}{AD^{0.5}} \right)^M - 0.5S \quad ec. 3$$

$$\frac{HW}{D} = K \left(\frac{Q}{AD^{0.5}} \right)^M \quad ec. 4$$

Donde:

HW: profundidad de la cabera a la entrada de la alcantarilla (m)

Hc: profundidad crítica (m)

Q: caudal de diseño (m³/s)

A: área de la sección transversal de la alcantarilla.

D: diámetro o altura de la alcantarilla.

S: pendiente de la alcantarilla.

K y M: coeficientes de regresión.

Las dos ecuaciones nos proporcionan resultados satisfactorios la ecuación 3 es teóricamente más precisa; mientras que la ecuación 4 es más sencilla de aplicar. Por lo tanto, las dos ecuaciones nos proporcionan resultados aceptables para el estudio o análisis de alcantarillas pluviales (United States Department of Transportation et al., 2015)

Ahora consideramos el caso en el cual la entrada de la alcantarilla está sumergida debemos aplicar la siguiente ecuación que nos permitirá determinar la profundidad de la cabecera de la alcantarilla; por ende, la ecuación es la siguiente:

$$\frac{HW}{D} = c \left(\frac{Q}{AD^{0.5}} \right) + Y - 0.5S \quad ec. 5$$

Donde:

c y Y: son coeficientes de regresión.

S: corresponde a la pendiente de la alcantarilla.

4.1.3 Control a la salida de la alcantarilla.

El control a la salida de la alcantarilla se genera cuando el flujo a la salida sobrepasa la altura de la estructura; por lo tanto, los factores que hacen que este control se genere son la longitud de la alcantarilla, pendiente, tipo de material y la profundidad del agua a la salida de la alcantarilla (Gribbin, 2017)

Debido a que la salida de la alcantarilla se puede identificar que existe un control, se puede determinar que los factores que afectan al flujo son: la longitud, pendiente, tipo de material, profundidad normal a la salida de la misma; por lo tanto, se puede realizar una clasificación a los patrones de flujo.

- Patrón de flujo D, entrada y salida sumergida.
- Patrón de flujo E, salida sumergida y entrada no sumergida.
- Patrón de flujo F, entrada sumergida y salida no sumergida.
- Patrón de flujo G, entrada sumergida y salida parcialmente sumergida.
- Patrón de flujo H, entrada sumergida y salida no sumergida.

La metodología usada es la descrita en HDS-5 donde se asume que la alcantarilla fluye por completo; por lo tanto, se realiza un balance de energía entre los extremos a la entrada y salida (United States Department of Transportation et al., 2015). En el control a la salida de la alcantarilla se cuenta con dos situaciones, una cuando la salida está sumergida y cuando no lo está. Para el caso cuando la salida se encuentra sumergida se aplica la siguiente ecuación:

$$\frac{P_{in}}{\gamma} + Z_{in} + \frac{V_{in}^2}{2g} = \frac{P_{out}}{\gamma} + z_{out} + \frac{V_{out}^2}{2g} + h_{le} + h_{lf} \quad ec. 6$$

$$y_{in} = y_{out} + \frac{V_{out}^2}{2g} + h_{le} + h_{lf} - LS \quad ec. 7$$

$$h_{le} = K_e \left(\frac{V_{out}^2}{2g} \right) \quad ec. 8$$

$$h_{lf} = f \left(\frac{L}{R} \right) \left(\frac{V_{out}^2}{2g} \right) \quad ec. 9$$

Donde:

Y_{in} : Profundidad a la entrada (m)

Y_{out} : Profundidad a la salida (m)

V_{out} : Velocidad a la salida (m/s)

h_{le} : Pérdidas a la entrada de la alcantarilla (m)

h_{lf} : Pérdidas por fricción (m)

K_e : Coeficiente de resistencia a la entrada (Anexo 2)

R : Radio hidráulico (m)

f : factor de fricción.

La otra alternativa es que la salida no se encuentre sumergida; por lo tanto, la ecuación se describe de la siguiente manera:

$$y_{in} = y'_{out} + \frac{V_{out}^2}{2g} + h_{le} + h_{lf} - LS \quad ec. 10$$

$$y'_{out} = \frac{y_c + y_d}{2} \quad ec. 11$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 g}} \quad \text{ec. 12}$$

$$f = \frac{Nr}{64} \quad (\text{Flujo laminar}) \quad \text{ec. 13}$$

$$Nr = \frac{V_{out} * R * \rho}{\eta} \quad \text{ec. 14}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{n}{R} \right)} + \frac{5.74}{Nr^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Flujo turbulento}) \quad \text{ec. 15}$$

Donde:

y' out: Altura de a gradiente hidráulica aproximada (m)

y_c : Altura crítica (m)

Nr : Número de Reynolds.

ρ : Densidad del agua (kg/m³)

η : Viscosidad Dinámica (Pa.s)

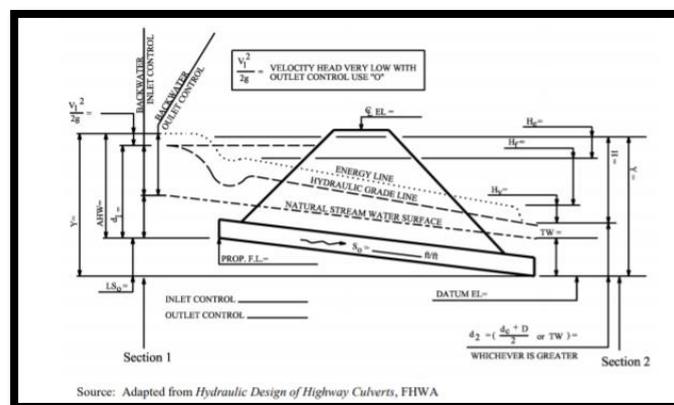


Figura 25. Ubicación de las componentes de energía en la alcantarilla.

Fuente: Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial

4.1.4 Nomogramas.

Los nomogramas son gráficos que nos permiten realizar cálculos numéricos complejos y obteniendo resultados satisfactorios; por ende, un nomograma es una herramienta grafica bidimensional que nos permite realizar un cómputo de una función cualesquiera en la cual se puede encontrar variables donde se puede establecer un rango para determinar la solución (Zárate, 1982)

4.1.4.1 Tipos de nomogramas

4.1.4.1.1 Escalas paralelas.

Son de aquellos formados por tres o más escalas logarítmicas en líneas rectas. Donde estos valores y el resultado de la ecuación a aplicar, son representados en el gráfico y estos son unidos por una línea recta (Zárate, 1982)

4.1.5 Análisis de energías en alcantarillas pluviales.

Las alcantarillas pluviales que se analizaran están ubicadas en la ciudad de Yantzaza, en específico en el paso lateral que rodea a toda la ciudad; Por lo tanto, la ubicación de cada una de ellas se la realiza mediante coordenadas como se muestra en la Tabla 3. Coordenadas de alcantarillas. El análisis que se realiza en estas alcantarillas consistirá en determinar la altura a la entrada y salida de la alcantarilla; verificando que las alturas a la entra de la alcantarilla tenga la capacidad para dejar fluir el agua sin tener inconvenientes al momento de que la alcantarilla experimente un evento de lluvia, sin que esta sobrepase el dique evitando inundaciones.

Para realizar el análisis de energías en las alcantarillas vamos a considerar que todas están soportando una precipitación de una tormenta con un tiempo de retorno de 50 años, ya que los datos recopilados de la estación M0190 ubicada en Yantzaza nos

proporciona datos en ese lapso. Por lo tanto, de estos datos obtenemos la precipitación máxima que la ciudad experimentada se determinara el caudal que se genera de esta precipitación aplicando el Método Racional, donde se considera que la precipitación es constante en toda el área de drenaje y para los coeficientes de escorrentía realizamos una ponderación de todos los tipos existentes dentro del área de drenaje.

Descripción	Entrada de la alcantarilla	Alcantarilla cuadrada	Salida de la alcantarilla
Alcantarilla 1	 A photograph showing the entrance of a square drainage pipe into a concrete wall. The pipe is dark and slightly curved. The concrete is weathered and has some greenery growing nearby. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.	 A perspective view looking down the length of a square concrete drainage pipe. The floor is dark and appears to be a smooth surface. The walls are concrete and show some cracking. A bright light is visible at the far end of the pipe. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.	 A photograph showing the exit of a square drainage pipe from a concrete wall. The pipe is dark and curved. The concrete is weathered and has some greenery growing nearby. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.
Alcantarilla 2	 A photograph showing the entrance of a square drainage pipe into a concrete wall. The pipe is dark and slightly curved. The concrete is weathered and has some greenery growing nearby. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.	 A perspective view looking down the length of a square concrete drainage pipe. The floor is dark and appears to be a smooth surface. The walls are concrete and show some cracking. A bright light is visible at the far end of the pipe. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.	 A photograph showing the exit of a square drainage pipe from a concrete wall. The pipe is dark and curved. The concrete is weathered and has some greenery growing nearby. A watermark 'REDMI NOTE 8 AI QUAD CAMERA' is visible in the bottom left corner.

<p>Alcantarilla</p> <p>3</p>			
<p>Alcantarilla</p> <p>4</p>			

Tabla 16. Alcantarillas pluviales en las zonas de análisis
Fuente

La tabla 16 nos muestra la forma, material, pendiente y sección transversal de las alcantarillas pluviales a las cuales se les analizara para determinar si son capaces de soportar una tormenta en un intervalo de tiempo; sin que el agua sobrepase el dique. Al realizar el levantamiento de los datos de las alcantarillas podemos identificar las dimensiones de cada una de ellas; por lo tanto, en la Tabla 17 se puede observar las dimensiones para cada una de las alcantarillas.

Descripción	Base (m)	Altura (m)	Altura a la entrada de la alcantarilla (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Alcantarilla 1	3.1	2	4.1	15.60	2
Alcantarilla 2	3	2.7	5.1	15	2
Alcantarilla 3	3	2	4.85	15.20	2
Alcantarilla 4	3.05	2	7.6	15.20	2

Tabla 17. Dimensiones de la alcantarilla

Fuente: Datos recopilados en campo

Al observar las condiciones las cuales están experimentando las alcantarillas podemos intuir que la entrada y salida de la alcantarilla no están sumergidas; por lo tanto, existiría un patrón de flujo de tipo A donde se podría identificar un control a la entrada. Para la verificación de estas suposiciones se procede a realizar el análisis correspondiente a cada alcantarilla.

4.1.5.1 Alcantarilla 1.

Caudal de diseño (50 años)	50 años	m ³ /s	24.29
		L/s	24292.12
Base de la alcantarilla	B	m	3.30
Altura de la alcantarilla	H	m	2.20
Pendiente	S	-	0.020
Coefficiente de resistencia a la entrada	Ke	-	0.40
Coefficiente de Manning	n	-	0.01
Gravedad	g	m/s ²	9.81
Densidad	ρ	kg/m ³	1000.00
Viscosidad Dinámica	η _w	Pa.s	0.00
Rugosidad del concreto	ε	m	0.01
Longitud de la alcantarilla	L	m	15.60

Tabla 18. Datos recopilados de la alcantarilla 1

Fuente: Datos recopilados en campo.

Ahora determinaremos matemáticamente la altura a la salida de la alcantarilla; aplicamos la siguiente ecuación que nos permitirá determinar la altura normal justo a la salida de la alcantarilla.

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad \text{ec. 16}$$

Y _{out} = Y _n (m)	A (m ²)	P _m (m)	R (m)	Q (m ³ /s)
1.00	3.30	5.30	0.62	28.28
0.85	2.81	5.00	0.56	22.46
0.90	2.96	5.09	0.58	24.29

Tabla 19. Interpolación para determinar y_n de la alcantarilla 1.

Fuente: Resultado de análisis.

La tabla 19 muestra los resultados de la interpolación que se realiza para determinar la altura a la salida de la alcantarilla, esta altura es relacionada con el caudal que la alcantarilla permite pasar. Además, con esta altura podemos determinar que la altura a la salida no sobrepasa a la altura de la estructura; por lo tanto, podemos realizar un análisis de energías que nos permitirán determinar la altura a la entra de la alcantarilla.

Altura a la salida de la alcantarilla	Yout	m	0.90
Altura de la alcantarilla	Yd	m	2.20
Área	A	m ²	2.96
Radio hidráulico	R	m	0.58
Velocidad de flujo	V	m/s	8.20
Energía cinética	V ² /2g	m	3.43
Pérdida por expansión gradual	hle	m	1.37
Número de Reynolds	Nr	-	3658461.54
Factor de fricción	f	-	0.01
Pérdida de energía por fricción	hlf	m	1.06
Altura crítica	yc	m	1.77
Carga Hidráulica	Y'out	m	1.99
Altura a la entrada de la alcantarilla 1	Yin		7.54

Tabla 20. Resultados del análisis de energías para la alcantarilla 1.

Fuente: Resultado de análisis.

La tabla 20 nos muestra la altura a la entrada de la alcantarilla que se la determinó con un análisis de energías, que se producen al transcurso que el fluido pasa por la alcantarilla, pérdidas de energía por fricción, pérdidas por expansión gradual a la entrada. Además de poder determinar si la salida de la alcantarilla se encuentra sumergida; de tal manera, que podamos identificar el patrón de flujo y si la alcantarilla tiene un control a la entrada o a la salida.

4.1.5.2 Alcantarilla 2.

Caudal de diseño (50 años)	50 años	m ³ /s	8.78
		L/s	8776.70
Base de la alcantarilla	B	m	3.00
Altura de la alcantarilla	H	m	2.70
Pendiente	S	-	0.020
Coefficiente de resistencia a la entrada	Ke	-	0.40
Coefficiente de Manning	n	-	0.012
Gravedad	g	m/s ²	9.81
Densidad	ρ	kg/m ³	1000.00
Viscosidad Dinámica	ηw	Pa.s	0.0013
Rugosidad del concreto	ε	m	0.012
Longitud de la alcantarilla	L	m	15.00

Tabla 21. Recopilados de la alcantarilla 2.

Fuente: Resultado de análisis.

Yout = Yn (m)	A (m2)	Pm (m)	R (m)	Q (m3/s)
0.50	1.50	4.00	0.38	9.27
0.45	1.35	3.90	0.35	7.90
0.48	1.45	3.96	0.36	8.78

Tabla 22. Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 2.

Fuente: Resultado de análisis.

Altura a la salida de la alcantarilla	Yout	m	0.48
Altura de la alcantarilla	Yd	m	2.70
Área	A	m2	1.45
Radio hidráulico	R	m	0.36
Velocidad de flujo	V	m/s	6.07
Energía cinética	V ² /2g	m	1.88
Pérdida por expansión gradual	hle	m	0.75
Número de Reynolds	Nr	-	1680923.08
Factor de fricción	f	-	0.01
Pérdida de energía por fricción	hlf	m	0.93
Altura crítica	yc	m	0.96
Carga Hidráulica	Y'out	m	1.83
Altura a la entrada de la alcantarilla 2	Yin	m	5.09

Tabla 23. Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 2.

Fuente: Resultado de análisis.

4.1.5.3 Alcantarilla 3.

Caudal de diseño (50 años)	50 años	m3/s	7.70
		L/s	7701.83
Base de la alcantarilla	B	m	3.00
Altura de la alcantarilla	H	m	2.00
Pendiente	S	-	0.020
Coefficiente de resistencia a la entrada	Ke	-	0.40
Coefficiente de Manning	n	-	0.012
Gravedad	g	m/s ²	9.81
Densidad	ρ	kg/m ³	1000.00
Viscosidad Dinámica	ηw	Pa.s	0.0013
Rugosidad del concreto	ε	m	0.012
Longitud de la alcantarilla	L	m	15.20

Tabla 24. Datos recopilados de la alcantarilla 3.

Fuente: Resultado de análisis.

Yout = Yn (m)	A (m2)	Pm (m)	R (m)	Q (m3/s)
0.50	1.50	4.00	0.38	9.27
0.40	1.20	3.80	0.32	6.62
0.44	1.32	3.88	0.34	7.70

Tabla 25. Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 3.

Fuente: Resultado de análisis.

Altura a la salida de la alcantarilla	Yout	m	0.44
Altura de la alcantarilla	Yd	m	2.00
Área	A	m ²	1.32
Radio hidráulico	R	m	0.34
Velocidad de flujo	V	m/s	5.82
Energía cinética	V ² /2g	m	1.73
Pérdida por expansión gradual	hle	m	0.69
Número de Reynolds	Nr	-	1522153.85
Factor de fricción	f	-	0.012
Pérdida de energía por fricción	hlf	m	0.96
Altura crítica	yc	m	0.88
Carga Hidraulica	Y'out	m	1.44
Altura a la entrada de la alcantarilla 3	Yin	m	4.52

Tabla 26. Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 3.

Fuente: Datos obtenidos al realizar el análisis de energía

4.1.5.4 Alcantarilla 4.

Caudal de diseño (50 años)	50 años	m³/s	2.11
		L/s	2112.01
Base de la alcantarilla	B	m	3.05
Altura de la alcantarilla	H	m	2.00
Pendiente	S	-	0.020
Coefficiente de resistencia a la entrada	Ke	-	0.50
Coefficiente de Manning	n	-	0.012
Gravedad	g	m/s ²	9.81
Densidad	ρ	kg/m ³	1000.00
Viscosidad Dinámica	η _w	Pa.s	0.0013
Rugosidad del concreto	ε	m	0.012
Longitud de la alcantarilla	L	m	15.20

Tabla 27. Datos recopilados de la alcantarilla 4.

Fuente: Resultado de análisis.

Yout = Yn (m)	A (m²)	Pm (m)	R (m)	Q (m³/s)
0.30	0.92	3.65	0.25	4.28
0.25	0.76	3.55	0.21	3.17
0.28	0.86	3.61	0.24	3.88

Tabla 28. Interpolación para obtener yn de la alcantarilla 4.

Fuente: Resultado de análisis.

Altura a la salida de la alcantarilla	Y_{out}	m	0.28
Altura de la alcantarilla	Y _d	m	2.00
Área	A	m ²	0.86
Radio hidráulico	R	m	0.24
Velocidad de flujo	V	m/s	4.51
Energía cinética	V ² /2g	m	1.04
Pérdida por expansión gradual	h _{le}	m	0.52
Número de Reynolds	N _r	-	832615.38
Factor de fricción	f	-	0.013
Pérdida de energía por fricción	h _{lf}	m	0.86
Altura crítica	y _c	m	0.55
Carga Hidráulica	Y' _{out}	m	1.28
Altura a la entrada de la alcantarilla 4	Y _{in}	m	3.40

Tabla 29. Resultados del análisis de energía para la alcantarilla 4.

Fuente: Resultado de análisis.

4.1.6 Observación de resultados obtenidos con un análisis de energías en las alcantarillas.

Al realizar un análisis de energías en las alcantarillas cuando estas experimentan una tormenta de retorno de 50 años podemos identificar que para cada alcantarilla los resultados del caudal generado por cada cuenca hidrográfica son diferentes. Esto se debe a factores como la topografía, tipo de suelo, uso de suelo, entre otros, que afectan a la generación de escorrentía en los arroyos que estamos analizando. Con la recopilación de información de las alcantarillas podemos establecer que todas son rectangulares y de concreto armado; por lo consiguiente el análisis de todas las alcantarillas es similar.

Al determinar la profundidad normal del agua podemos establecer que el agua a la salida de las alcantarillas no sobrepasa la altura de la misma; por lo tanto, el cambio de energía potencial a energía cinética es muy pequeño. Se puede aplicar la ecuación 10 que nos permitirá determinar la altura a la entrada de la alcantarilla y que para todos los casos no sobrepasa la altura de la alcantarilla. De esta manera, establecida la altura a la salida y a la entrada de la alcantarilla se puede identificar que el patrón de flujo que las alcantarillas están experimentando son de Tipo A y Tipo C y que para una tormenta de retorno de 50 años existen problemas de desbordamiento.

Análisis de energía				
			Altura a la salida	Altura a la entrada
Descripción	Base (m)	Altura (m)	Yout (m)	Yin (m)
Alcantarilla 1	3.30	4.30	0.90	7.54
Alcantarilla 2	3.00	5.10	0.48	5.09
Alcantarilla 3	3.00	4.85	0.44	4.52
Alcantarilla 4	3.05	7.40	0.28	3.40

Tabla 30. Alturas a la salida y entrada de las alcantarillas.

Fuente: Análisis de datos recopilados.

En la Tabla 30 se observan los resultados del análisis de energía realizados a cada una de las alcantarillas, observando que la alcantarilla 1 tienen problemas de desbordamiento al momento que experimenta una tormenta de retorno de 50 años y el patrón de Flujo que en la alcantarilla se genera es el Tipo C. Las alcantarillas 2 – 4 no tienen ningún problema al momento de experimentar la tormenta de diseño y al patrón que se genera en estas alcantarillas es de Tipo A.

4.1.7 Análisis de las alcantarillas pluviales con nomogramas.

Al identificar el patrón de flujo que la alcantarilla está experimentando podemos realizar un análisis mediante el uso de la fórmula 3, ya que está considera que la entrada de alcantarilla no está sumergida, pero el análisis se lo realizara mediante la elaboración de nomogramas que nos permitan determinar la altura de la alcantarilla de una forma fácil y sencilla.

La metodología aplicada para la construcción de los nomogramas es escalas paralelas, donde se establecen tres variables a una escala logarítmica que nos permitirán representar la ecuación en tres rectas, dos de ellas representan las variables de la ecuación mientras que la última representa la respuesta. La aportación de información que nos proporcionan estos nomogramas es fundamental, ya que podemos determinar la altura de la alcantarilla con diferentes condiciones obteniendo un resultado rápido.

Para el uso de la ecuación 3 y observando que la geometría de las alcantarillas es rectangular debemos identificar algunos parámetros que nos permitirán usar la ecuación sin ningún problema:

- Los valores de K, M, c, Y; los podemos determinar del anexo 3, donde solo es necesario conocer la geometría de la alcantarilla.
- Ku que es el coeficiente de transformación a unidades SI tiene un valor de 1.811
- Ks la corrección en la pendiente que es de -0.5

4.1.7.1 Cálculos para determinar las escalas logarítmicas.

$$\frac{HW}{Yd} = \frac{Hc}{D} + K * \left(\frac{Ku * Q}{A * D^{0.5}} \right)^M + Ks * S \quad ec. 17$$

$$Hc = yc + \frac{Vc^2}{2 * g} \quad ec. 18$$

Altura Crítica	Velocidad Crítica
$yc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}}$	$\frac{Qc^2}{g} = \frac{(B * yc)^3}{B}$ $\frac{Vc^2 * A^2}{g} = \frac{(B * yc)^3}{B}$ $Vc = \sqrt{\frac{B^3 * yc^3 * g}{B^3 * yc^2}}$ $Vc = \sqrt{yc * g}$

$$Hc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}} + \frac{(\sqrt{yc * g})^2}{2 * g}$$

$$Hc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}} + \frac{\sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}} * g}{2 * g}$$

$$Hc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}} + \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}}$$

$$Hc = \frac{3}{2} * \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}} \quad ec.19$$

$$\frac{Hc}{D} = \frac{3}{2} * \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{2}{3}} * g * D} = \frac{3}{2} * \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{2}{3}} * 9.81 * D} = 700.70 * 10^{-3} * \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{2}{3}} * D} \quad ec.20$$

Observando el anexo 3 podemos observar que existen dos tipos de configuraciones que se encuentran en la zona de análisis, por lo tanto, se procede a tomar los datos necesarios y determinar las escalas logarítmicas correspondientes.

Para el caso de Rect Box Concrete con Intel configuration 30° a 75° wingwall flares:

Donde:

Ks: Corrección de pendiente (-0.5)

Ku: Factor de conversión de unidades (1.811 SI)

K: Constante de tabla 1 (0.026)

M: Constantes de la tabla 1 (1)

$$\begin{aligned} K \left(\frac{Ku * Q}{A * D^{0.5}} \right)^M - Ks * S &= 0.026 * \left(\frac{1.811 * Q}{B * D * D^{0.5}} \right)^1 - 0.5 * S \quad ec.21 \\ &= 47.086 * 10^{-3} * \left(\frac{Q}{B * D^{\frac{3}{2}}} \right) - 0.5 * S \end{aligned}$$

$$\frac{Hwi}{D} = \frac{Hc}{D} + K * \left(\frac{Ku * Q}{AD^{0.5}} \right)^M + Ks * S$$

$$\frac{Hwi}{D} = 700 * 10^{-3} * \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{2}{3}} * D} + 47.086 * 10^{-3} * \left(\frac{Q}{B * D^{\frac{3}{2}}} \right) - 0.5 * 0.02$$

$$\frac{Hwi}{D} = 700 * 10^{-3} * \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{2}{3}}} * \frac{1}{D} + 47.086 * 10^{-3} * \frac{Q}{B} * \frac{1}{D^{\frac{3}{2}}} - 0.01$$

$$\text{Log}(Hwi) - \text{Log}(D) = \text{Log}(700 * 10^{-3}) + \frac{2}{3} * \text{Log}\left(\frac{Q}{B}\right) + \text{Log}\left(\frac{1}{D}\right) + \text{Log}(47.086 * 10^{-3}) + \text{Log}\left(\frac{Q}{B}\right) + \text{Log}(1) - \frac{3}{2} * \text{Log}(D) - \text{Log}(0.01)$$

$$\text{Log}(Hwi) = 581.43 * 10^{-3} - \frac{3}{2} * \text{Log}(D) + \frac{5}{3} * \text{Log}\left(\frac{Q}{B}\right)$$

$$\frac{5}{3} * \text{Log}\left(\frac{Q}{B}\right) - \frac{1}{2} * \text{Log}(D) = \text{Log}(Hwi) - 518.43 * 10^{-3} \quad ec.22$$

4.1.7.2 Graficas de nomogramas.

Un nomograma de escalas paralelas se compone de una serie de rectas paralelas, las cuales van graduadas con los diversos valores que componen la fórmula de interés, dispuestas de modo que basta unir dos elementos conocidos con una recta, para leer en una tercera el valor correspondiente.

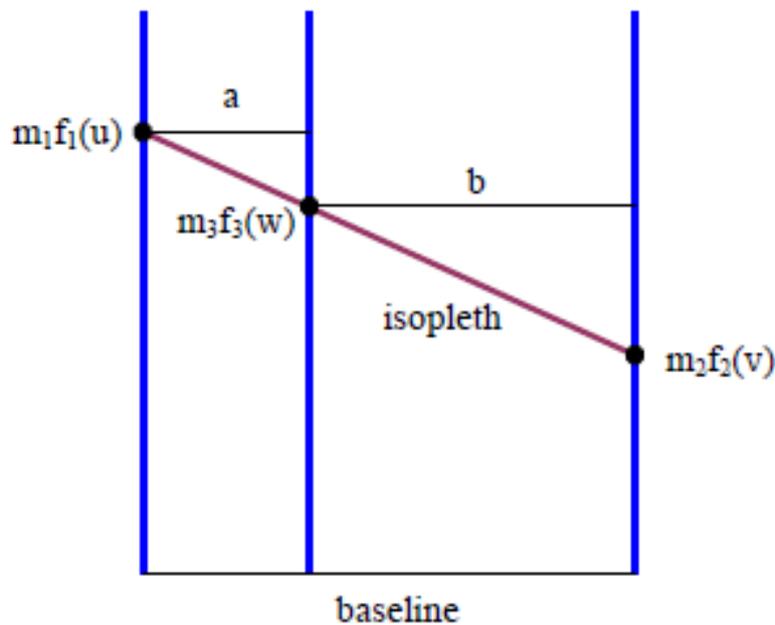


Figura 26. Nomograma de escalas paralelas.

Fuente: Ábacos o Nomogramas

La figura 26 nos muestra un esquema básico de un nomograma de escalas paralelas para determinar un valor $f_3(w)$ con la suma de las funciones $f_1(u)$ y $f_2(v)$. Las limitaciones de las rectas paralelas dependerán de las variables que representan: una recta tiene una variable que es el Q/B , mientras que otra recta tendrá como variable la altura de la alcantarilla y cada una de ellas están escaladas logarítmicamente. En la figura 31 podemos observar que para cada punto ubicada en las rectas encontramos la letra m (módulo de separación entre puntos) y la separación entre rectas que está representado

con las letras a y b; además antes de empezar a graficar se debe establecer las dimensiones que se desea que el nomograma, es decir, la base y altura total.

Módulo para la recta que tiene la variable Q/B:

$$M_{\frac{Q}{B}} = \frac{\text{Base total del nomograma}}{\text{Log}(\text{lim superior } Q/B) - \text{Log}(\text{lim inferior } Q/B)} \quad \text{ec. 23}$$

Módulo para la recta que tiene la variable H:

$$M_H = \frac{\text{Base total del nomograma}}{\text{Log}(\text{lim superior } H) - \text{Log}(\text{lim inferior } H)} \quad \text{ec. 24}$$

Módulo para la recta que contiene la respuesta:

$$M_{yin} = \frac{M_{\frac{Q}{B}} * M_H}{M_{\frac{Q}{B}} + M_H} \quad \text{ec. 25}$$

Distancia entre rectas:

$$\frac{a}{b} = \frac{M_{\frac{Q}{B}}}{M_H} \quad \text{ec. 26}$$

4.1.7.3 Resultados.

Para el caso de Rect Box Concrete con Intel configuration 30° a 75° wingwall flares:

Datos	
K	0.026
M	1
Ku	1.811
Ks	0.5
S	0.02
g	9.81

Tabla 31. Datos para el primer caso.

Fuente: Análisis de datos recopilados

Límite inferior		Límite superior
0.01	Q/B	100
0.2	D	4

Tabla 32. Límites de escalas para el primer caso.

Fuente: Análisis de datos recopilados

La tabla 33 nos muestra los límites inferiores y superiores que tendrá nuestras escalas paralelas; el valor inferior de Q/B es cuando la alcantarilla soporta el menor caudal posible que la cuenca hidrográfica puede producir, este caso se podría presentar cuando la zona de interés sufre una sequía provocando que los caudales disminuyan considerablemente; mientras que para el límite superior el caudal de diseño es el máximo que genera la cuenca que, para nuestro caso, sería para una tormenta con un periodo de retorno de 50 años. El límite inferior y superior de D representa las dimensiones que una alcantarilla podría llegar a tener; finalmente, los valores de los límites de HW/Yd se los determina aplicando la ecuación 17 y los factores correspondientes del anexo 3.

Dimensiones papel	
Alto (cm)	40
Ancho (cm)	15

Tabla 33. Dimensiones del nomograma.

Fuente: Análisis de datos recopilados

Módulo de escala x	m(Q/B)	-7.50
Módulo de escala y	m(D)	30.74
Módulo de escala z	m(HWI)	-9.92

Tabla 34. Módulos de escalas para el primer caso.

Fuente: Análisis de datos recopilados

Punto inicial	Valor para la variable Q/B		Valor para la variable H			Valor para la variable H		
	Q/B	Ubicación (m)	Punto inicial (a)	H	Ubicación (m)	Punto inicial (b)	Yin/Yd	Ubicación (m)
0	0.01	-0.125	0.1	0.3	-0.1307	-0.06	0.1013	-0.0908
0	0.02	-0.1062	0.1	0.4	-0.0995	-0.06	0.2	-0.073
0	0.05	-0.0813	0.1	0.5	-0.0753	-0.06	0.4	-0.055
0	0.06	-0.0764	0.1	0.6	-0.0555	-0.06	0.5	-0.0492
0	0.07	-0.0722	0.1	0.7	-0.0387	-0.06	0.6	-0.0444
0	0.08	-0.0686	0.1	0.8	-0.0242	-0.06	0.7	-0.0404
0	0.09	-0.0654	0.1	0.9	-0.0114	-0.06	0.8	-0.0369
0	0.1	-0.0625	0.1	1	0	-0.06	0.9	-0.0339
0	0.2	-0.0437	0.1	1.1	0.0103	-0.06	1	-0.0311
0	0.3	-0.0327	0.1	1.2	0.0198	-0.06	1.1	-0.0286
0	0.4	-0.0249	0.1	1.3	0.0285	-0.06	1.2	-0.0264
0	0.5	-0.0188	0.1	1.4	0.0365	-0.06	1.3	-0.0243
0	0.6	-0.0139	0.1	1.5	0.044	-0.06	1.4	-0.0223
0	0.7	-0.0097	0.1	1.6	0.051	-0.06	1.5	-0.0205
0	0.8	-0.0061	0.1	1.7	0.0576	-0.06	1.6	-0.0189
0	0.9	-0.0029	0.1	1.8	0.0638	-0.06	1.7	-0.0173
0	1	0	0.1	1.9	0.0697	-0.06	1.8	-0.0158
0	1.1	0.0026	0.1	2	0.0753	-0.06	1.9	-0.0144
0	1.2	0.0049	0.1	2.1	0.0806	-0.06	2	-0.013
0	1.3	0.0071	0.1	2.2	0.0856	-0.06	2.1	-0.0118
0	1.4	0.0091	0.1	2.3	0.0904	-0.06	2.2	-0.0106
0	1.5	0.011	0.1	2.4	0.0951	-0.06	2.3	-0.0094
0	1.6	0.0128	0.1	2.5	0.0995	-0.06	2.4	-0.0083
0	1.7	0.0144	0.1	2.6	0.1037	-0.06	2.5	-0.0072
0	1.8	0.016	0.1	2.7	0.1078	-0.06	2.6	-0.0062
0	1.9	0.0174	0.1	2.8	0.1118	-0.06	2.7	-0.0052
0	2	0.0188	0.1	2.9	0.1156	-0.06	2.8	-0.0043
0	3	0.0298	0.1	3	0.1193	-0.06	2.9	-0.0034
0	4	0.0376				-0.06	3	-0.0025
0	5	0.0437				-0.06	3.1	-0.0016
0	6	0.0486				-0.06	3.2	-0.0008
0	7	0.0528				-0.06	3.3	0

0	8	0.0564					-0.06	3.4	0.0008
0	9	0.0596					-0.06	3.5	0.0015
0	10	0.0625					-0.06	3.6	0.0023
0	15	0.0735					-0.06	3.7	0.003
0	20	0.0813					-0.06	3.8	0.0037
0	25	0.0874					-0.06	3.9	0.0044
0	30	0.0923					-0.06	4	0.005
0	35	0.0965					-0.06	4.1	0.0057
0	40	0.1001					-0.06	4.2	0.0063
0	45	0.1033					-0.06	4.3	0.0069
0	50	0.1062					-0.06	4.4	0.0075
0	55	0.1088					-0.06	4.5	0.0081
0	60	0.1111					-0.06	4.6	0.0087
0	65	0.1133					-0.06	4.7	0.0092
0	70	0.1153					-0.06	4.8	0.0098
0	75	0.1172					-0.06	4.9	0.0103
0	80	0.1189					-0.06	5	0.0108
0	85	0.1206					-0.06	5.928 2	0.0153
0	90	0.1221							
0	95	0.1236							
0	100	0.125							

Tabla 35. Resultados para el caso 1.

Fuente: Análisis de datos recopilados

En la Tabla 36 podemos observar todos los valores que se pueden encontrar en las escalas; las columnas punto inicial corresponden a la ubicación de las escalas en el plano cartesiano en el eje x, que es la separación que cada escala debe tener; de tal forma que, al trazar una recta entre Q/B y Yd se puede determinar la respuesta en la recta Yin/YD. La columna ubicación corresponde al sitio en el eje y de los valores Q/B, H y Yin/Yd; cabe recalcar que cada valor esta multiplicado por el módulo correspondiente; por ende, las escalas son logarítmicas.

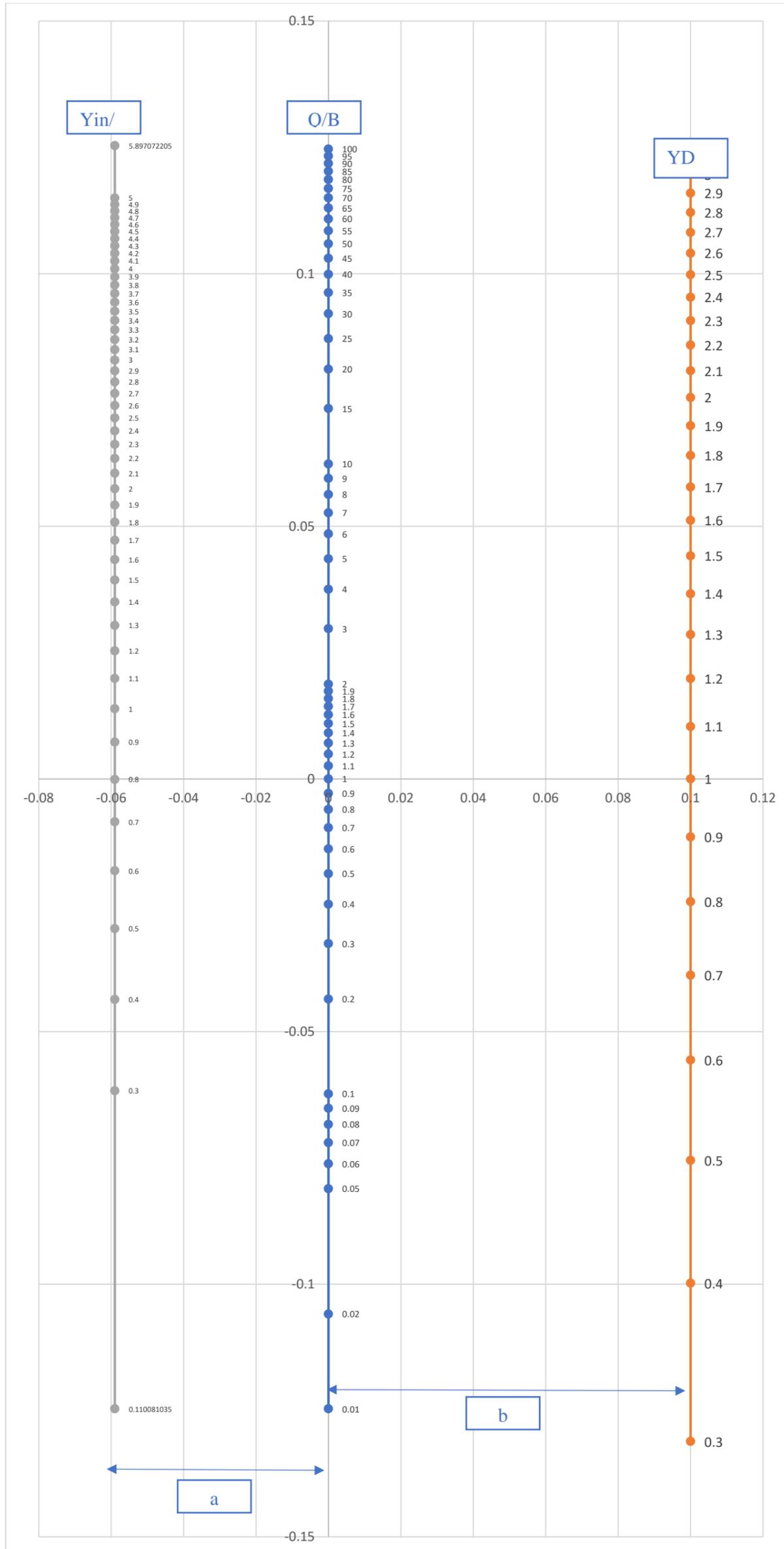


Tabla 36. Nomograma para el caso de Rect Box Concrete con Intel configuration 30° a 75° wingwall flares.
Fuente: Resultado de análisis de datos recopilados.

4.1.8 Comparación de datos entre el análisis de energías y resultado de nomograma.

Los datos obtenidos por las dos metodologías nos dan resultados de la altura a la entra de las alcantarillas. Para el caso donde se realiza un análisis de energía las variables a tener en cuenta son las que está experimentado: área de flujo, geometría de la alcantarilla, longitud de la alcantarilla, pendiente, tipo de material. Es decir, este análisis nos permite conocer como es el comportamiento del agua a la entrada, en la alcantarilla y a la salida, ya que con este análisis podemos identificar el patrón de flujo y por consiguiente determinar si la alcantarilla tiene un control a la entra o a la salida. Mientras que, en el análisis mediante el uso de nomogramas nos basamos en ecuaciones, las cuales consideran el área de flujo, geometría a la entrada, alas a la entrada que deben estar dentro de un rango de abertura. Por ende, este método nos proporciona ecuaciones que se las obtuvieron mediante la experimentación de una infinidad de casos; por lo tanto, el uso de los nomogramas para determinar la altura a la entrada de una alcantarilla se lo podría considerar un método rápido de estimación, ya que las variables que consideran son muy pocas a las que la alcantarilla en realidad está experimentando; es conveniente realizar un análisis de energía para obtener resultados que estén en concordancia con lo que está experimentando la alcantarilla, cabe recalcar que el caudal de diseño es de una tormenta de retorno de 50 años.

Capítulo 5

5.1 Conclusiones.

El determinar la zona de estudio donde se realizará el análisis de las alcantarillas pluviales, nos permitió establecer las condiciones a las cuales las alcantarillas están expuestas. Por lo tanto, el primer objetivo fue determinar la intensidad de la lluvia en la zona de interés, la misma que se localiza al sur del Ecuador, en la provincia de Zamora Chinchipe en el cantón Yantzaza, los datos obtenidos son de la estación meteorológica M0190 un período de retorno de 50 años. El segundo objetivo es la determinación del área de drenaje para cada punto de análisis; es decir, la entrada de la alcantarilla se lo consideraría como el punto de análisis. La topografía fue el factor primordial para la delimitación de cada cuenca hidrográfica, además de la subdivisión que se le realizó a cada una de ellas, lo que nos permitió realizar una mejor clasificación del uso de suelo y determinar el coeficiente de escorrentía.

El caudal que es producido por la cuenca hidrográfica se lo determino con la ayuda del Método Racional, lo que nos permitió determinar el caudal máximo, cabe recalcar que el método considera que la precipitación es constante y en toda el área de drenaje; de este modo, el caudal de diseño que la cuenca está produciendo nos permite analizar si la alcantarilla es capaz de soportar el caso más extremo que pueda experimentar en un lapso de tiempo. Por lo tanto, se analiza que las alcantarillas sean capaces de soportar este caudal, se realizó un análisis de energía y con la ayuda de la elaboración de los nomogramas obtenemos los siguientes resultados.

Descripción	Base (m)	Altura (m)	Análisis de energía		Nomogramas
			Altura a la salida	Altura a la entrada	Altura a la entrada
			Yout (m)	Yin (m)	Yin (m)
Alcantarilla 1	3.30	4.30	0.90	7.54	2.86
Alcantarilla 2	3.00	5.10	0.48	5.09	1.39
Alcantarilla 3	3.00	4.85	0.44	4.52	1.38
Alcantarilla 4	3.05	7.40	0.28	3.40	0.85

Tabla 1. Resultados de altura de la alcantarilla.

Fuente: Análisis de resultados de las alcantarillas

En la Tabla 38 los resultados obtenidos de los dos análisis nos muestran la altura que el agua puede llegar a alcanzar cuando la cuenca hidrográfica de cada una de las alcantarillas experimenta la tormenta de diseño. Los datos obtenidos proporcionan la información necesaria para poder identificar las alcantarillas donde existirán problemas, los datos que se seleccionan son del análisis de energía, ya que proporcionan un análisis más real a las condiciones a las cuales las alcantarillas están experimentando.

Con los valores obtenidos del análisis de energía de la altura del agua a la entrada de las alcantarillas se observa que la Alcantarilla 1 tendrá dificultades de desbordamiento al momento que experimente una tormenta de diseño de 50 años de retorno, para las Alcantarillas 2 a la 4 no existen problemas de desbordamiento.

5.1.1 Recomendaciones.

Las recomendaciones que se pueden realizar para un futuro estudio son:

- Realizar un análisis más profundo sobre la determinación de la intensidad de lluvia que está soportando la cuenca hidrográfica, ya que el Método Racional considera que la tormenta de diseño es constante en el tiempo y en toda la cuenca.

- Realizar una evaluación en campo del uso de suelos, es decir, considerar todos los factores que podrían intervenir en los coeficientes de escorrentía.
- El periodo de diseño de 50 años que se seleccionó se apega a las especificaciones de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias, es decir, la estructura hidráulica no necesitara de ampliaciones para que tenga un correcto funcionamiento proporcionado confiabilidad. El aumentar el período de retorno de la tormenta de diseño genera que la estructura hidráulica tenga un aumento de costos.
- Para el diseño de estructuras hidráulicas en nuestro país se deberá regir con las normativas actuales las cuales nos permiten que las estructuras sean confiables y económicamente viables.

Referencias Bibliográficas.

- Becerra, C. J. L., Barragán, R. J. L. & Godinez, L. R. (2022, 21 enero). *Manual de Hidráulica de Canales Abiertos: Descripción y funcionamiento de los dispositivos de laboratorio (Spanish Edition)*. Editorial Académica Española.
- Eduard, N. (2015, 1 enero). *HIDRAULICA DE CANALES* (1.^a ed.). Limusa.
- D'Addario, M. (2017). *Manual de Hidráulica: Fundamentos, aplicaciones y ejercicios*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Marriott, M. (2016). *Nalluri and Featherstone's Civil Engineering Hydraulics: Essential Theory with Worked Examples* (6th ed.). Wiley-Blackwell.
- Sturm, T. W. (2021). *Open Channel Hydraulics, Third Edition (English Edition)* (3.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Novak. (2001). *Estructuras hidráulicas* (2a. ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Gribbin, Suárez Moreno, M. P., & León Cárde, J. (2017). *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial* (Cuarta edición). Cengage Learning.
- Pérez Carmona. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Ecoe Ediciones.
- United States Department of Transportation, Administration, F. H., United States Department of Transportation & Federal Highway Administration. (2015). *Hydraulic Design of Highway Culverts*. Createspace Independent Pub.
- Prieto Bolívar. (2011). *El agua sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Ecoe Ediciones.
- M Fabio Zárate. (1982). Abacos o Nomogramas. *Revista integración*, 2(1), 43-51.

Guachamín, García et al. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA.*

https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

Anexo 2. Coeficientes Ke

Type of Structure and Design of Entrance	Coefficient k_e
Pipe, Concrete	
Projecting from fill, socket end (groove end)	0.2
Projecting from fill, sq. cut end.	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe (groove end)	0.2
Square edge	0.5
Rounded (radius = $\frac{1}{12}D$)	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Pipe, or Pipe-Arch, Corrugated Metal	
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls	
Square edge	0.5
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End Section conforming to fill slope	0.5
Box, Reinforced Concrete	
Headwall parallel to embankment (no wingwalls)	
Square-edged on 3 edges	0.5
Rounded on 3 edges to radius of $\frac{1}{12}$ barrel dimension	0.2
Wingwalls at 30° to 75° to barrel	
Square-edged at crown	0.4
Crown edge rounded to radius of $\frac{1}{12}$ barrel dimension	0.2
Wingwalls at 10° to 25° to barrel	
Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides)	
Square-edged at crown	0.7

Anexo 3. Coeficientes de alcantarillas.

Chart No	Shape and Material	Nomograph Scale	Inlet Configuration	Equation Form	Unsubmerged K	Unsubmerged M	Submerged c	Submerged Y	References
1	Circular Concrete	1	Square edge w/headwall	1	0.0098	2.0	0.0398	0.67	1, 2
1	Circular Concrete	2	Groove end w/headwall	1	0.0018	2.0	0.0292	0.74	1, 2
1	Circular Concrete	3	Groove end projecting	1	0.0045	2.0	0.0317	0.69	1, 2
2	Circular CM	1	Headwall	1	0.0078	2.0	0.0379	0.69	1, 2
2	Circular CM	2	Mitered to slope	1	0.0210	1.33	0.0463	0.75	1, 2
2	Circular CM	3	Projecting	1	0.0340	1.50	0.0553	0.54	1, 2
3	Circular	A	Beveled ring, 45° bevels	1	0.0018	2.50	0.0300	0.74	2
3	Circular	B	Beveled ring, 33.7° bevels*	1	0.0018	2.50	0.0243	0.83	2
8	Rect. Box Concrete	1	30° to 75° wingwall flares	1	0.026	1.0	0.0347	0.81	1, 3
8	Rect. Box Concrete	2	90° and 15° wingwall flares	1	0.061	0.75	0.0400	0.80	1, 3
8	Rect. Box Concrete	3	0° wingwall flares	1	0.061	0.75	0.0423	0.82	1, 3
9	Rect. Box Concrete	1	45° wingwall flare d = .043D	2	0.510	0.667	0.0309	0.80	3
9	Rect. Box Concrete	2	18° to 33.7° wingwall flare d = .083D	2	0.486	0.667	0.0249	0.83	3
10	Rect. Box Concrete	1	90° headwall w/3/4" chamfers	2	0.515	0.667	0.0375	0.79	3
10	Rect. Box Concrete	2	90° headwall w/45° bevels	2	0.495	0.667	0.0314	0.82	3
10	Rect. Box Concrete	3	90° headwall w/33.7° bevels	2	0.486	0.667	0.0252	0.865	3
11	Rect. Box Concrete	1	3/4" chamfers; 45° skewed headwall	2	0.545	0.667	0.04505	0.73	3
11	Rect. Box Concrete	2	3/4" chamfers; 30° skewed headwall	2	0.533	0.667	0.0425	0.705	3
11	Rect. Box Concrete	3	3/4" chamfers; 16° skewed headwall	2	0.522	0.667	0.0402	0.68	3
11	Rect. Box Concrete	4	45° bevels; 10°-45° skewed headw.	2	0.498	0.667	0.0327	0.75	3
12	Rect. Box 3/4" chamf. Conc.	1	45° non-offset wingwall flares	2	0.497	0.667	0.0339	0.803	3
12	Rect. Box 3/4" chamf. Conc.	2	18.4° non-offset wingwall flares	2	0.493	0.667	0.0361	0.806	3
12	Rect. Box 3/4" chamf. Conc.	3	18.4° non-offset wingwall flares 30° skewed barrel	2	0.495	0.667	0.0386	0.71	3
13	Rect. Box Top Bev. Conc.	1	45° wingwall flares - offset	2	0.497	0.667	0.0302	0.835	3
13	Rect. Box Top Bev. Conc.	2	33.7° wingwall flares - offset	2	0.495	0.667	0.0252	0.881	3
13	Rect. Box Top Bev. Conc.	3	18.4° wingwall flares - offset	2	0.493	0.667	0.0227	0.887	3
55	Circular	1	Smooth tapered inlet throat	2	0.534	0.555	0.0196	0.90	4
55	Circular	2	Rough tapered inlet throat	2	0.519	0.64	0.0210	0.90	4
56	Elliptical Face	1	Tapered inlet-thin edges	2	0.536	0.677	0.0368	0.83	4
56	Elliptical Face	2	Tapered inlet-square edges	2	0.5035	0.719	0.0478	0.80	4
56	Elliptical Face	3	Tapered inlet-thin edge projecting	2	0.547	0.80	0.0598	0.75	4
57	Rectangular Concrete	1	Tapered inlet throat	2	0.475	0.667	0.0179	0.97	4
58	Rectangular Concrete	1	Side tapered-less favorable edges	2	0.56	0.667	0.0446	0.85	4
58	Rectangular Concrete	2	Side tapered-more favorable edges	2	0.56	0.667	0.0378	0.87	4
59	Rectangular Concrete	1	Slope tapered-less favorable edges	2	0.50	0.667	0.0446	0.65	4
59	Rectangular Concrete	2	Slope tapered-more favorable edges	2	0.50	0.667	0.0378	0.71	4

¹Bussv 1963. ²FHWA 1974. ³NBS 511. ⁴HEC 13

Anexo 4. Información obtenida en campo de las alcantarillas pluviales

Coordenadas								
	Latitud	Longitud	Área de drenaje (Ha)	Longitud del cauce principal (Km)	Base (m)	Altura (m)	Altura a la entrada de la alcantarilla	Longitud de la alcantarilla
Alcantarilla 1	- 3.853704°	-78.763505°	202.35	2.57	3.30	2.20	4.30	15.60
Alcantarilla 2	- 3.845952°	-78.764792°	66.37	1.27	3.00	2.70	5.10	15.00
Alcantarilla 3	- 3.820115°	- 78.765611°	49.85	1.08	3.00	2.00	4.85	15.20
Alcantarilla 4	-3.819496°	-78.765017°	31.40	1.36	3.05	2.00	7.40	15.20

Anexo 5. Resultados del caudal que se genera en la cuenca hidrográfica.

Descripción	Nomenclatura	Unidades	Alcantarilla 1	Alcantarilla 2	Alcantarilla 3	Alcantarilla 4
			Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Caudales Máximos en la Cuenca Método Racional						
METODO RACIONAL	Qmax.	m3/s	24.29	8.78	7.70	3.88
Caudal max generado	Qmax.	m3/s	24.29	8.78	7.70	3.88
		L/s	24292.12	8776.70	7701.83	3884.02
Tiempos de duración de la tormenta						
METODO DE TONINI	Tc	hr	0.8	0.58	0.57	0.68
		min	48	34.80	34.20	40.80
METODO DE ROWE	Tc	min	20.97	9.88	8.69	12.52
		hr	0.35	0.16	0.14	0.21
METODO DE TEMEZ	Tc	hr	0.32	0.23	0.22	0.25
		min	19.2	13.80	13.20	15.00
METODO DE TEMEZ	Tc	hr	0.35	0.16	0.14	0.21
		min	21	9.60	8.40	12.60
Promedio	Tc	hr	0.46	0.28	0.27	0.34
		min	27.6	16.80	16.20	20.40
		24h	11.04	6.72	6.48	8.16
Intensidad máxima diarias en mm/h		mm/h	5.61	5.61	5.61	5.61
Intensidad de lluvia de diseño (50 años)		mm/h	154.35	183.10	185.40	171.27
Precipitación máxima en 24 horas (mm)	P	mm	71	51.27	50.06	71.00
Caudales Máximos en la Cuenca Método Empírico						
METODO DE DICKERS	Qmax	m3/s	11.71	5.06	4.11	2.87
METODO KURCHLING	Qmax	m3/s	6.14	2.01	1.52	0.95
METODO DE HOFFMAN	Qmax	m3/s	4.40	1.71	1.33	0.86
Promedio de Caudal	Qmax	m3/s	7.42	2.93	2.32	1.56
		L/s	7416.67	2926.67	2320.00	1560.00

Anexo 6. Resultados de los análisis de energía y nomogramas.

Descripción	Análisis de energía			Nomogramas	
	Base (m)	Altura (m)	Altura a la salida Yout (m)	Altura a la entrada Yin (m)	Altura a la entada Yin (m)
Alcantarilla 1	3.30	4.30	0.90	7.54	2.86
Alcantarilla 2	3.00	5.10	0.48	5.09	1.39
Alcantarilla 3	3.00	4.85	0.44	4.52	1.38
Alcantarilla 4	3.05	7.40	0.28	3.40	0.85