



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE UN DIVISOR DE CAUDAL TIPO
SALTO**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con
énfasis en Gerencia de Construcciones**

Autor:
Christian Iván Bravo Campoverde

Director:
Josue Bernardo Larriva Vásquez

Cuenca, Ecuador

2014

Dedicatoria

Este proyecto se lo quiero dedicar a mis padres y hermanos que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria, ellos con sus consejos y conocimientos me han ayudado para lograr culminar este proyecto con entera satisfacción.

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por la oportunidad de vida que me ha brindado, a mis padres y hermanos por estar siempre junto a mí, a mis amigos con los cuales he compartido esta gran experiencia de vida universitaria y además con la presente quiero dejar constancia de mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Josué Larriva por su colaboración para la ejecución de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.	iv
Índice de tablas.	vi
Índice de Figuras.	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix

Introducción	1
---------------------------	----------

CAPÍTULO 1. REVISIÓN TEÓRICA DE LOS DERIVADORES DE CAUDAL DE TIPO SALTO

1.1. Análisis Teórico.....	2
1.1.1. Conceptos preliminares.	2
1.1.1.1. Tipo de régimen hidráulico de los colectores cloacales.....	2
1.1.1.2. Pendiente de los colectores.	3
1.1.1.3. Tirante o altura de la lámina de agua.	4
1.1.1.4. Elementos hidráulicos de una sección circular a sección llena.....	5
1.1.1.5. Relación: Calado de agua / diámetro de la tubería.	5
1.1.1.6. Caudales de diseño.....	6
1.1.1.6.1. Caudal de aguas servidas (Qs).....	6
1.1.1.6.2. Caudal de aguas lluvias (Qp).....	6
1.1.1.7. Períodos de retorno.	7
1.1.1.8. Evaluación hidráulica.	8
1.1.2. Derivadores.....	8
1.1.2.1. Derivador tipo salto.	9
1.2. Análisis de ecuaciones que intervienen en cálculos	16
1.2.1. Fórmulas usadas	16
1.2.2. Fórmula de Manning.	16
1.3. Escala en modelos hidráulicos	19
1.3.1. Escala.....	19
1.3.2. Determinación de la escala adecuada	19

CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS EN CAMPO

2.1.	Evaluación de los derivadores tipo salto existentes en la ciudad.	22
2.2.	Obtención de datos.....	22
2.3.	Realización de un pre dimensionamiento de modelos a escala	23
2.3.1.	Cálculos para la relación y/d min = 0,1	25
2.3.2.	Cálculos para la relación y/d máx. = 0,5	28
2.3.3.	Cálculo del derivador tipo salto.....	31

CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE MODELOS HIDRÁULICOS

3.1.	Construcción de los modelos a escala.....	33
3.2.	Realizar pruebas de laboratorio	38

CAPÍTULO 4. TABULACIÓN Y CONCLUSIONES

4.1.	Tabulación de datos.	43
4.2.	Conclusiones.....	47
	Conclusiones.....	49
	Bibliografía.....	50
	Anexos.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Periodo de planeamiento de redes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias	7
Tabla 2 Valores del coeficiente n de Kutter que generalmente se usa en los diseños.....	18
Tabla 3 Factores de escala.....	21
Tabla 4 Datos para el diseño	23
Tabla 5 Cálculo de velocidad a sección llena.....	24
Tabla 6 Cálculo de caudal a sección llena.....	25
Tabla 7 Cálculo de relación entre q/Q para $y/d \text{ min} = 0,1$	26
Tabla 8 Cálculo de velocidad a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,1$	26
Tabla 9 Cálculo de la altura de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,1$	27
Tabla 10 Cálculo del caudal de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,1$	28
Tabla 11 Cálculo de relación entre q/Q para $y/d \text{ min} = 0,5$	29
Tabla 12 Cálculo de velocidad a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,5$	29
Tabla 13 Cálculo de la altura de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,5$	30
Tabla 14 Cálculo del caudal de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,5$	31
Tabla 15 Cálculo del derivador en periodo seco	31
Tabla 16 Cálculo del derivador en periodo lluvioso	32
Tabla 17 Caudales de ingreso.....	41
Tabla 18 Medidas de caudales derivados	42
Tabla 19 Lecturas de tiempo y volumen del caudal de ingreso y sus promedios.....	43
Tabla 20 Caudales promedio de ingreso	44
Tabla 21 Datos de Relación y/d - Caudal Promedio (Q).....	44
Tabla 22 Lecturas de tiempo y volumen del caudal derivado y sus promedios	45
Tabla 23 Caudales promedio derivados	46
Tabla 24 Datos de Relación y/d - Caudal Promedio Derivado (Q).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Altura de agua (H) en conducto circular, Relaciones Hidráulicas	5
Figura 2 Derivador Tipo Salto	10
Figura 3 Coordenadas para lámina superior.....	12
Figura 4 Coordenadas para lámina inferior.....	13
Figura 5 Ábaco para la lámina superior en derivador tipo salto (Shumaker).....	14
Figura 6 Ábaco para la lámina inferior en derivador tipo salto (Shumaker).....	15
Figura 7 Base de bloque conjuntamente con el tanque de abastecimiento de 1m ³ de capacidad	34
Figura 8 Tanque de abastecimiento conjuntamente con la caja del vertedero que rompe la velocidad del agua.....	34
Figura 9 Vertedero que rompe la velocidad del agua.....	35
Figura 10 Instalación de la tubería de conducción con la respectiva pendiente.....	35
Figura 11 Tubería de diámetro 110mm con pendiente del 1%	36
Figura 12 Derivador tipo salto	36
Figura 13 Derivador tipo salto	37
Figura 14 Derivador tipo salto con tubería de derivación	37
Figura 15 Bombeo desde el tanque de recolección al tanque de distribución.....	38
Figura 16 Pruebas del funcionamiento de la tubería de conducción	39
Figura 17 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 1	39
Figura 18 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 2	40
Figura 19 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 3	40
Figura 20 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 4.....	41
Figura 21 Relación y/d - Caudal promedio (Q).....	45
Figura 22 Relación y/d - Caudal promedio Derivado (Q).....	47

Bravo C.
110214

RESUMEN.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE UN DERIVADOR DE CAUDAL TIPO SALTO.

La investigación a la cual se enfoca este documento es al derivador de caudal tipo salto, el cual es un elemento usado para desviar caudales sanitarios hacia la planta de tratamiento de aguas residuales; dentro del mismo se buscó recolectar información sobre su operatividad; para ello se realizó un análisis a los interceptores existentes en la ciudad para conocer su comportamiento dentro de los periodos secos y lluviosos y así realizar una evaluación representativa para dichos derivadores.

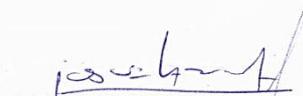
Para cumplir con la evaluación se procedió a levantar datos de campo y con ello procesarlos para realizar la construcción de un modelo a escala, dentro del cual se realizaron las pruebas que mostraron que es de gran importancia realizar una calibración del derivador al inicio de su puesta en funcionamiento para que el derivador trabaje adecuadamente y cumpla con el propósito para el cual fue diseñado.

Palabras Clave.

Derivador tipo salto, régimen hidráulico, colector, relaciones hidráulicas, periodo de retorno, evaluación hidráulica, fórmula de Manning, pre-dimensionamiento.



Ing. Paúl Cordero D.
DIRECTOR DE ESCUELA.



Ing. Josué Larriva V.
DIRECTOR DE TESIS.



Christian Bravo C.
AUTOR.

*Bravo
14/02/14*

ABSTRACT

HYDRAULIC ANALYSIS OF A DROP-TYPE FLOW DIVERSION STRUCTURE

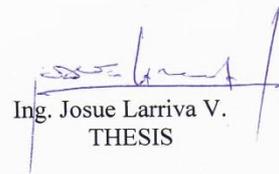
This paper focuses on the research of a drop-type flow diversion structure to separate and control water flow, which is used to divert wastewater flow to a waste water treatment plant. This investigation was also aimed at collecting information on its operation by conducting an analysis of the existing interceptors in the city to know its behavior in dry and rainy periods and thus perform a demonstrative assessment for these structures.

In order to comply with the evaluation, we proceeded to gather field data and thus process the information in order to build a scale model. We performed tests in this model, which demonstrated the importance of carrying out a calibration of the structure at the beginning of its implementation to make sure it works properly and meets the purpose for which it was designed.

Keywords: Drop-Type Flow Diversion Structure, Hydraulic System, Collector, Hydraulic Relations, Return Period, Hydraulic Evaluation, Manning Formula, Pre-sizing.



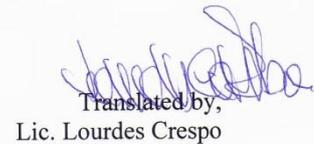
Ing. Paul Cordero D.
SCHOOL DIRECTOR
DIRECTOR



Ing. Josue Larriva V.
THESIS



Christian Bravo C.
AUTHOR



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Bravo Campoverde Christian Iván

Trabajo de Grado

Ing. Josué Larriva

Febrero 2014

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE UN DIVISOR DE CAUDAL TIPO SALTO.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de modelación hidráulica del sistema de interceptores de la ciudad de Cuenca llevado adelante por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento (ETAPA E.P.), dentro del cual los pozos de derivación cumplen la función de direccionar el flujo de aguas servidas hacia el sistema de tratamiento de la ciudad y el exceso de aguas lluvias hacia los cursos receptores.

La evaluación hidráulica se desarrolla al derivador de caudal tipo salto con el fin de conocer el funcionamiento actual de estos componentes y de esta manera revisar si los elementos están cumpliendo con la finalidad para la cual fueron diseñados; para ello se realizara un modelo a escala y así obtener los datos que muestren lo planteado.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN TEÓRICA DE LOS DERIVADORES DE CAUDAL DE TIPO SALTO

1.1. Análisis Teórico

1.1.1. Conceptos preliminares

Para que el estudio que se va a realizar al derivador de caudal tipo salto se pueda entender de una manera más clara y sencilla, primeramente se realizará una revisión a parámetros importantes que nos ayudarán a ir comprendiendo la funcionalidad que tiene el derivador de caudal dentro de un interceptor; además de conocer aspectos que se tienen en cuenta tanto para el diseño de un interceptor como del derivador.

1.1.1.1. Tipo de régimen hidráulico de los colectores cloacales

Las aguas negras, constituidas principalmente por aguas y un pequeño porcentaje de sólidos, tienen un comportamiento bajo el punto de vista hidráulico similar al de las aguas puras, de modo que sobre esa premisa se desarrollan los cálculos hidráulicos en los colectores cloacales.

Esta consideración nos conduce a conclusiones similares a las determinadas para el flujo en canales abiertos, y a la aplicación de las leyes que rigen para esta condición, ya que la mayoría de los colectores se diseñarán como canales. Excepciones a esta condición se tendrá:

- a) Cuando los colectores trabajen sobrecargados;
- b) Cuando se trate de colectores en zonas bajas que precisen de un bombeo; y

c) En el caso particular de los sifones invertidos.

En tales casos el diseño se considerará como conductos a presión.

En términos generales, se puede decir entonces que la superficie del agua cloacal será igual a la que tomaría si fuera agua pura.

Asimismo, para efectos de diseño el régimen se considera permanente, lo cual se mantiene cuando la descarga es constante y uniforme. Esto requiere que la velocidad media sea constante en secciones sucesivas a lo largo de un tramo.¹

1.1.1.2. Pendiente de los colectores

La selección de la pendiente de los colectores cloacales es principalmente función de la topografía de la zona a desarrollar, procurando el menor costo en la excavación. Esto conduce a tratar de lograr diseños que se adapten en lo posible a la superficie del terreno, manteniendo pendientes aproximadamente similares a la de las vías bajo las cuales se les coloque.

Sin embargo, condiciones de velocidad mínima que permiten el arrastre de sedimentos obliga, en ocasiones, a considerar pendientes mayores a las del terreno. En otras condiciones, pueden resultar inconveniencias, en razón de altas velocidades que ocasionen erosión en los conductos.

En este caso, dos son los factores primordiales que privan en la selección de una pendiente de un colector cloacal: por una parte, razones de economía en la excavación, y por la otra, la velocidad de flujo por limitaciones tanto inferior como superior.

Al concebir el trazado de colectores deberá también preverse condiciones muy particulares en cuanto a pendiente, que pueden obligar a los colectores a profundidades tales que modifiquen las pendientes de algunos tramos: intersecciones, puntos obligados de descarga, etc., son ejemplos típicos de esta condición.

¹ Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 52

Al fijar la pendiente deben determinarse las cotas de los extremos y las profundidades de rasante, a fin de preparar el diseño de la tubería bajo el punto de vista de su resistencia estructural.²

1.1.1.3. Tirante o altura de la lámina de agua

La variación del gasto en los colectores es una condición inevitable, ya que por una parte el colector es diseñado para un determinado período, al principio del cual el colector sólo recibe una porción pequeña del gasto de diseño, y por otra, existen variaciones horarias en las descargas que también alteran la condición de flujo en el conducto. Por razones de facilidad de limpieza y de mantenimiento que impidan obstrucción de colectores, se ha fijado un diámetro mínimo permisible, lo cual también hace que en la mayoría de los casos éstos no trabajen a sección plena, sino que normalmente fluyan parcialmente llenos.

Todas estas consideraciones son válidas para que el ingeniero proyectista que desee lograr un buen funcionamiento del alcantarillado tome provisiones en la determinación de las características de flujo para los caudales reales a fluir en el colector.

Debemos entonces distinguir dos elementos:

Unos, los que refieren a la sección geométrica del conducto, y otros, los que refieren al caudal que fluye por él. Por razones prácticas, generalmente se determinan las características hidráulicas para el colector trabajando a sección llena y se establecen posteriormente relaciones de los mismos elementos hidráulicos para diferentes alturas de agua en el colector. Estas relaciones se han denominado relación de elementos hidráulicos y se refieren al caudal, perímetro mojado, área mojada, radio hidráulico, rugosidad, velocidad y tirantes de agua.³

² Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 56

³ Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 56-57

1.1.1.4. Elementos hidráulicos de una sección circular a sección llena⁴

Tirante de agua: (H) será igual al diámetro del colector, $H = D$.

Perímetro mojado = πD .

$$\text{Área mojada} = \frac{\pi D^2}{4}$$

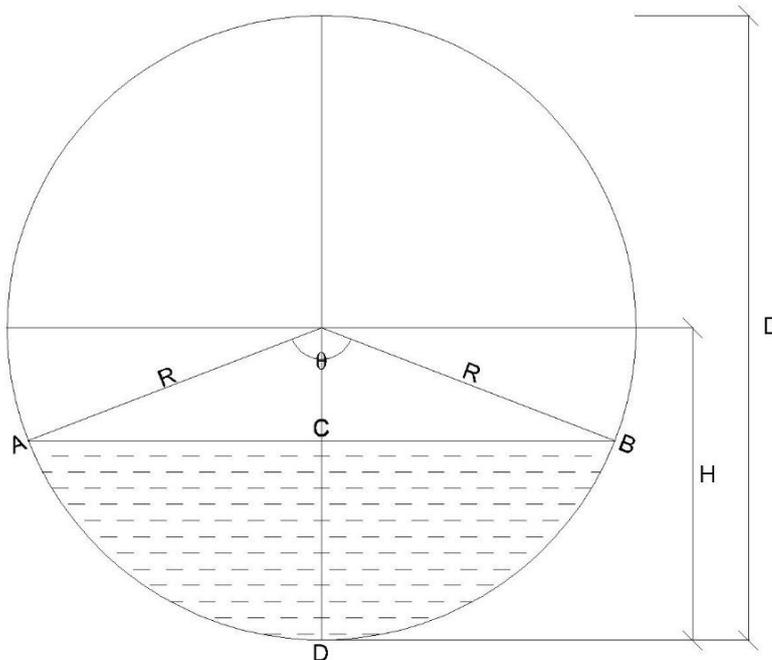
$$\text{Radio hidráulico} = \frac{\pi D^{2/4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

$$\text{Velocidad} = V = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

Gasto o caudal $Q = V \times A$

$$Q = \frac{\pi}{n} r^{4/3} s^{1/2}$$

Figura 1 Altura de agua (H) en conducto circular, Relaciones Hidráulicas



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 57

1.1.1.5. Relación: Calado de agua / diámetro de la tubería

La hidráulica de los canales circulares muestra que la capacidad máxima se establece cuando el calado del agua alcanza una relación con respecto al diámetro de alrededor de 0,80, valor que se utiliza para el caso de las redes de alcantarillado. Sin embargo para el caso de los interceptores se adopta, para garantizar el normal funcionamiento

⁴ Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 57

del sistema el no superar una relación de 0,65, que equivale a una relación de caudal de diseño / caudal máximo $\leq 0,75$.⁵

1.1.1.6. Caudales de diseño

En vista de que el presente estudio se está realizando para un alcantarillado de tipo combinado se considera los siguientes parámetros:

- a) Aporte de aguas servidas
 - Por consumo de agua potable
 - Por aguas ilícitas.
- b) Aporte por aguas lluvias.

1.1.1.6.1. Caudal de aguas servidas (Qs)

$$Q_s = P_p * f * \frac{Dot_{futura} * M}{86400} + Q_{ili}$$

Qs: Caudal sanitario máximo (l/s)

Pp: Población proyectada

f : Porcentaje de retorno

Dot. futura: Dotación futura (l/hab/día)

M: Coeficiente de simultaneidad o mayoración

Q ili: Caudal de aguas ilícitas (l/s)

1.1.1.6.2. Caudal de aguas lluvias (Qp)

$$Q_p = \frac{C * I * A}{0.36}$$

Qp: Caudal pluvial (l/s)

C: Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

A: Área de drenaje (Ha)

⁵ Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca - ETAPA. (2009). Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II Fase, p. 24

I: Intensidad de lluvia para una duración de lluvias, igual al tiempo de concentración del área en estudio (mm/h)⁶

1.1.1.7. Períodos de retorno

El periodo de planeamiento o de diseño, debe fijar las condiciones básicas del proyecto como la capacidad del sistema para atender la demanda futura, la densidad actual y de saturación, la durabilidad de los materiales y equipos empleados, y la calidad de la construcción, operación y mantenimiento. El periodo de planeamiento también depende de la demanda del servicio, la programación de inversiones, la factibilidad de ampliaciones y las tasas de crecimiento de la población, del comercio y de la industria. Como mínimo, los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias deben proyectarse para los periodos de planeamiento que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Periodo de planeamiento de redes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño (años)
Bajo y medio	15
Medio alto	20
Alto	25

Fuente: Tomado del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, (2000), Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, Bogotá-Colombia, p.23

Para colectores principales o emisarios finales el periodo de diseño mínimo debe ser 25 años, para cualquier nivel de complejidad del sistema.⁷

⁶ Cruz Rodríguez, M. Estudio integral del sistema de alcantarillado combinado del sector céntrico de la parroquia de Ascázubi, Escuela Politécnica del Ejército - Carrera de Ingeniería Civil.

⁷ Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, (2000), Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, Bogotá-Colombia, p. 22-23.

1.1.1.8. Evaluación hidráulica

La evaluación hidráulica consiste en la determinación de las capacidades hidráulicas de los elementos derivadores de caudal. Para realizar este proceso se realizan cálculos basados en la información geométrica, topográfica, hidráulica y del material con el que ha sido hecho el derivador en estudio.

La capacidad hidráulica se determina para la condición de flujo uniforme o para cada una de las crecientes correspondientes a los períodos de retorno. Este análisis permite conocer el caudal máximo que puede conducir la sección del canal o la cobertura sin riesgo de inundación.

La elección del cálculo, según la condición de flujo uniforme o gradualmente variado, dependerá de los datos disponibles, las herramientas de cálculo y se debe complementar con el criterio que tenga el ingeniero. Si bien la condición de flujo variado pretende ser una aproximación más realista, los modelos de simulación actuales tienen limitaciones que les restringe su aplicación en los tramos de alta pendiente. Otra consideración son las características geométricas que pueden exigir un especial detalle en el levantamiento topográfico elevando los costos en la toma de la información. Por ello es fundamental actuar con criterio ingenieril a fin de obtener información útil sin un costo excesivo.⁸

1.1.2. Derivadores

En sistemas unitarios o combinados, resulta ventajoso permitir la derivación de un determinado caudal, a fin de lograr reducir los diámetros de los conductos, a partir del punto del derivador.

El caudal derivado se descarga a un canal cercano o al río, y el caudal de menor cuantía continúa hacia la planta de tratamiento.

⁸ Revista EIA, (Junio 2007). ISSN 1794-1237 Número 7, p. 75-86, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

Sin embargo, para poder realizar la descarga hacia otro canal o hacia el río en el punto del derivador, es necesario que el caudal de aguas lluvias logre la disolución de las aguas negras en rangos tolerables para el receptor de dicho caudal, los rangos tolerables son dispuestos por los órganos de control conjuntamente con las leyes o normas dispuestas en la región de estudio.

Los derivadores son estructuras que permiten diversificar los caudales a partir de una cierta condición de flujo, determinada por la relación de disolución.

Por relación de disolución se entiende al número de veces que un caudal Q (lt/s) de aguas lluvia mezcladas con aguas negras contiene el caudal neto de aguas negras.

Las estructuras más comunes que son usadas para derivar caudal son los derivadores laterales y los derivadores de salto.

Los objetivos del derivador de caudal son los siguientes:

Controlar los flujos que se dirigen a la planta de tratamiento de aguas.

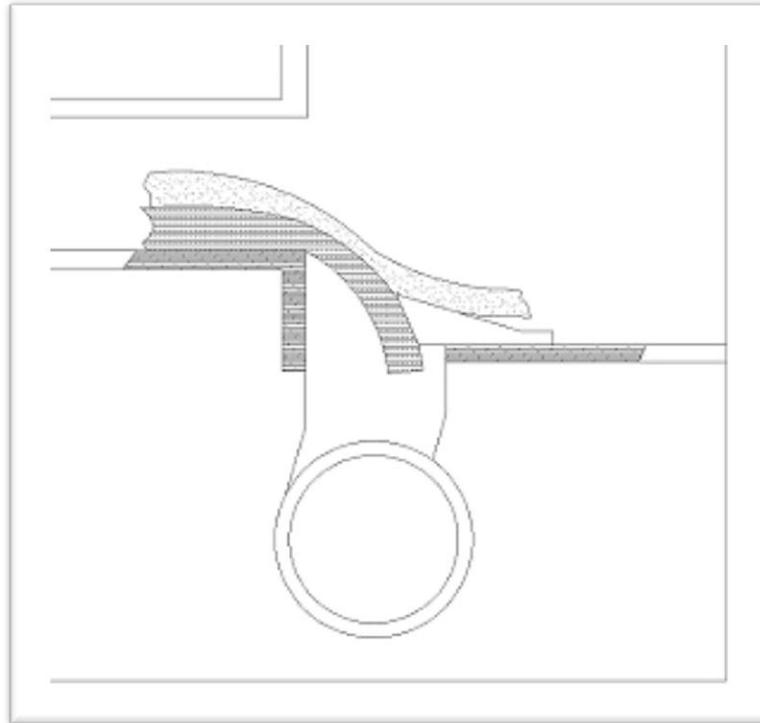
Desviar los caudales de aguas para ser tratados.⁹

1.1.2.1. Derivador tipo salto

El derivador de tipo salto consiste en una estructura que posee una abertura en la parte inferior, lo que permite captar en su totalidad el chorro de agua que provoca velocidades iguales o menores a la de gasto correspondiente a la relación de dilución (Figura 2).

⁹ Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 186

Figura 2 Derivador Tipo Salto



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 191

El chorro que cae es interceptado mediante un dispositivo especial, cuya ubicación debe determinarse a fin de que la captación se produzca cuando la disolución de las aguas negras en las aguas de lluvia sea la permitida.

Teóricamente, la trayectoria del centro de gravedad de la lámina de agua cayendo libremente es una parábola, cuyas ecuaciones, respecto a un sistema de coordenadas cartesianas son:

$$X = V * t$$

$$Y = \frac{1}{2}gt^2$$

V = velocidad de aproximación (m/s).

t = tiempo (s).

g = aceleración de la gravedad (m/s^2).

X, Y = coordenadas del punto.

El profesor Harold E. Babbit realizó pruebas sobre los derivadores tipo salto, llegando a la conclusión de que las curvas de la superficie de la lámina de agua, tanto el filete superior como el inferior, atienden a las siguientes expresiones:

$$X = 0,53 V^{2/3} + Y^{4/7} \quad \text{Para la superior.}$$

$$X = 0,30 V^{4/7} + Y^{3/4} \quad \text{Para la inferior.}$$

Donde:

V = velocidad de aproximación en pies/s.

X, Y = expresadas en pies.

Para el filete superior el sistema de coordenadas toma como ejes, para las abscisas la superficie de la lámina de agua en el canal de aproximación y las ordenadas el eje vertical pasando por el extremo del colector (Figura 3).

La ecuación de Babbit, para la lámina superior convertida al sistema métrico toma la siguiente expresión:

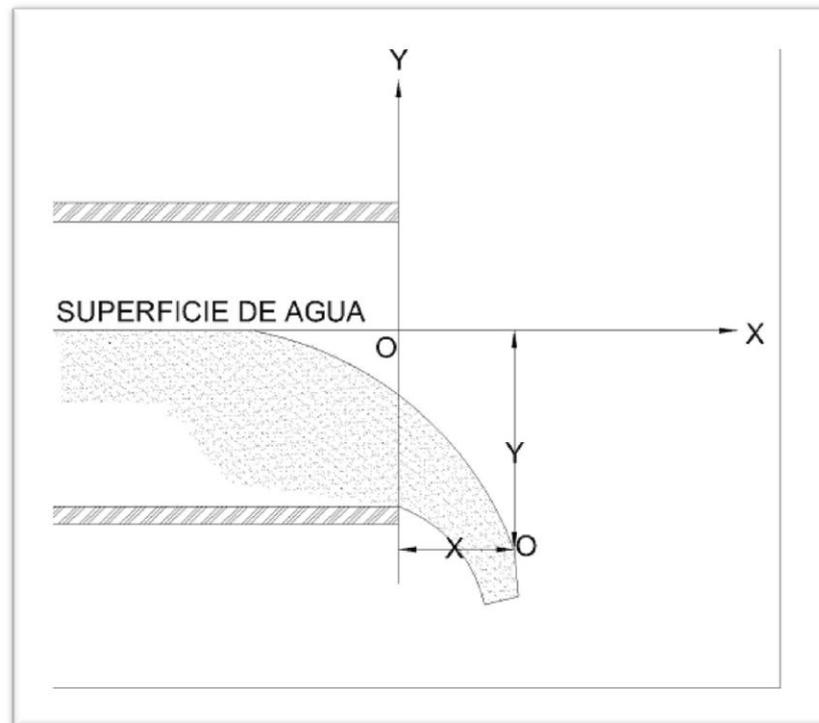
$$X = 0,36 V^{2/3} + 0,60 Y^{4/7}$$

Donde:

V = se expresa en m/s.

X, Y = se expresa en m.

Figura 3 Coordenadas para lámina superior



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 192

Para el filete líquido inferior, se considera un sistema de coordenadas cartesiano cuyo eje de abscisas pasa por el fondo del colector y de ordenadas al eje que pasa por el extremo del colector (Figura 4).

La ecuación de la lámina inferior convertida al sistema métrico es:

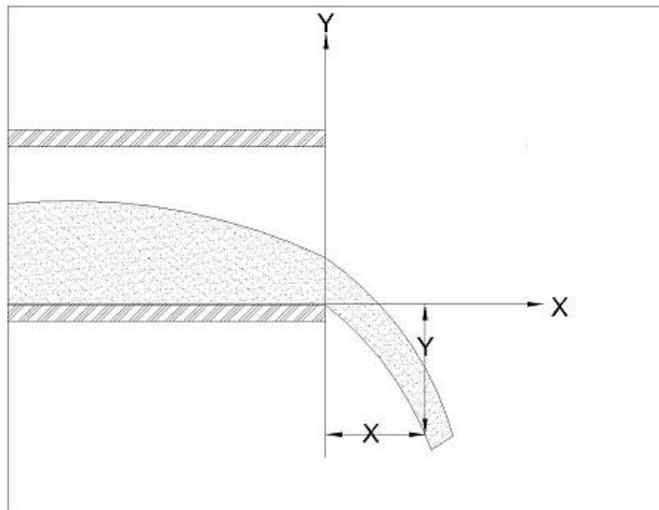
$$X = 0,18 V^{4/7} + 0,74 Y^{3/4}$$

Donde:

V = se expresa en m/s.

X, Y = se expresa en m.

Figura 4 Coordenadas para lámina inferior



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 192

Las expresiones de Babbit para derivadores de salto, tienen las siguientes limitaciones: para diámetros menores de 3,0 m; para tirantes de agua en el colector de aproximación no menores de 35,5 cm; para pendientes menores de 25 por 1.000; para ordenadas de la curva inferior comprendidas entre 0,15 y 1,52 m; para ordenadas de la curva superior menores de 1,52 m.

El ingeniero Shumaker del INOS, elaboró dos ábacos para el cálculo de los derivadores de tipo salto, en base a las ecuaciones de Babbit, los cuales se presentan en las figuras 5 y 6, para el filete superior e inferior respectivamente, los cuales ayudan en la determinación aproximada de las coordenadas y rasantes del derivador.¹⁰

¹⁰ Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, p. 191-192

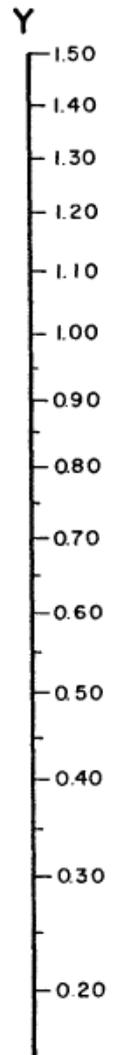
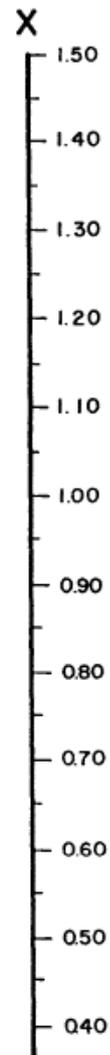
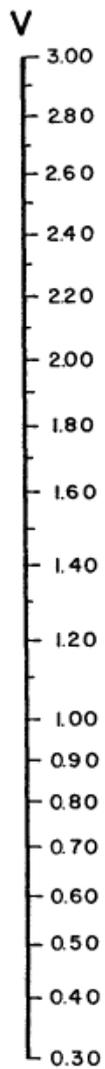
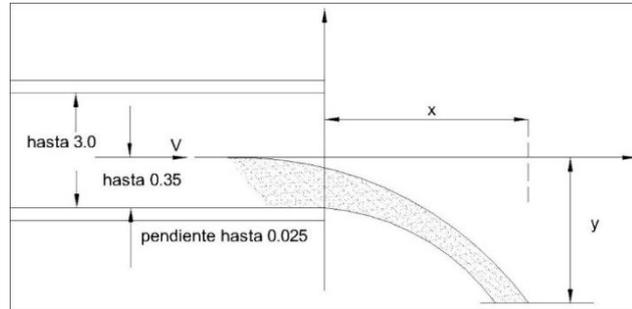
Figura 5 Ábaco para la lámina superior en derivador tipo salto (Shumaker)

FÓRMULA

$$X = 0,36 V^{2/3} + 0,60 Y^{4/7}$$

V = se expresa en m/s.

X, Y = se expresa en m.



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, pp. 193

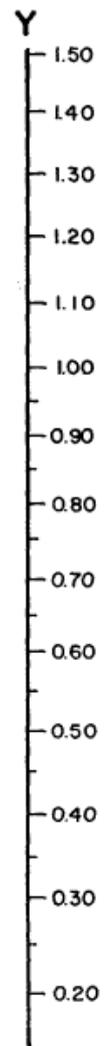
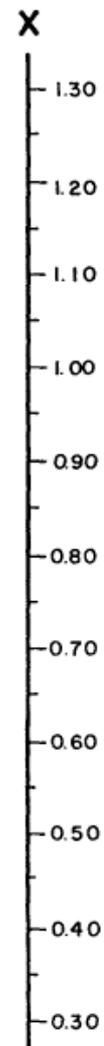
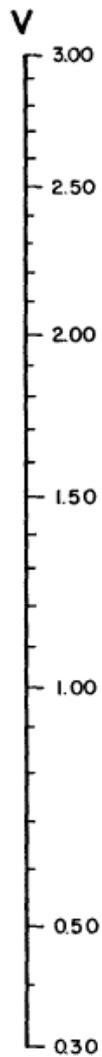
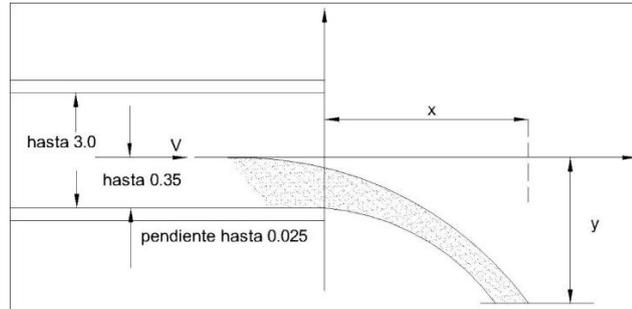
Figura 6 Ábaco para la lámina inferior en derivador tipo salto (Shumaker)

FÓRMULA

$$X = 0,18 V^{4/7} + 0,74 Y^{3/4}$$

V = se expresa en m/s.

X, Y = se expresa en m.



Fuente: Tomado de Arocha R, Simón. (1983). Cloacas y Drenajes, Teoría & Diseño (1era. Ed.), Caracas, pp. 194

1.2. Análisis de ecuaciones que intervienen en cálculos

1.2.1. Fórmulas usadas

La ecuación de continuidad $Q = V \times A$ nos establece la relación entre el caudal, el área del conducto y la velocidad de agua; de modo que conocidas dos variables podemos encontrar la tercera.

En el diseño conocemos el caudal o gasto Q (lt/s) y nos quedarían indeterminadas la velocidad y el área del conducto requerido. De este modo tendremos que fijar criterios para determinar cuál de éstas conviene definir, para buscar la tercera. Uno de los aspectos de mayor importancia en el diseño de colectores cloacales es el relativo a la conveniencia de tener colectores que no faciliten ni permitan la sedimentación de los sólidos que el agua acarrea.

En tales circunstancias la determinación de una velocidad capaz de producir el arrastre de material debe privar en el diseño. (Arocha, 1983, p 52-53)

1.2.2. Fórmula de Manning

Es la fórmula más usada en la actualidad, proviene de considerar que en la fórmula de Chezy $V = C \sqrt{RS}$ el coeficiente C es:

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$$

De donde al sustituir dicho valor en la fórmula obtenemos:

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

Y para el caudal se tiene:

$$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Considerando:

V = velocidad media.

R = radio hidráulico.

S = pendiente.

Q = caudal.

A = área de la sección transversal.

n = coeficiente de Kutter (rugosidad).

Los valores del coeficiente de rugosidad son los de Kutter (Tabla 2).

Se observa que las dimensiones de n son $TL^{1/3}$. En consecuencia, al tener n unidades debería de cambiar de un sistema a otro. Sin embargo, desde el principio se impusieron los valores de n determinados por Kutter (sistema métrico decimal) y se halló una solución práctica que consiste en considerar a n como adimensional e incorporar en la ecuación de Manning, en unidades inglesas, un factor de corrección que es parte de la fórmula.

Así pues se tiene, que en el sistema de unidades inglesas, la ecuación de Manning es:

$$V = \frac{1,486}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Las unidades de 1,486 son $\frac{ft^{1/3}}{sec}$. ($1,486 = 3,2808^{1/3}$). En el sistema métrico decimal la constante vale 1 y sus unidades son $m^{1/3}/s$.

Dado el carácter de empírico de la fórmula de Manning debe esperarse que su validez esté limitada a determinadas condiciones. (Rocha Arturo, p. 265 – 267)

Tabla 2 Valores del coeficiente n de Kutter que generalmente se usa en los diseños

Superficie	n
Superficie metálica, lisa, sin pintar	0,012
Superficie metálica, lisa, pintada	0,013
Superficie metálica, corrugada	0,025
Cemento liso	0,011
Mortero de cemento	0,013
Madera cepillada	0,012
Madera sin cepillar	0,013
Tablones sin cepillar	0,014
Concreto liso	0,013
Concreto bien acabado, usado	0,014
Concreto frotachado	0,015
Concreto sin terminar	0,017
Gunita (sección bien terminada)	0,019
Gunita (sección ondulada)	0,022
Superficie asfáltica lisa	0,013
Superficie asfáltica rugosa	0,016
Tierra limpia, sección nueva	0,018
Tierra limpia, sección antigua	0,022
Tierra gravosa	0,025
Tierra, con poca vegetación	0,027
Tierra, con vegetación	0,035
Tierra, con piedras	0,035
Tierra, con pedrones	0,040
Para secciones circulares (trabajando como canal)	
Metal, liso	0,010
Acero soldado	0,012
Acero ribeteado	0,016
Fierro fundido	0,013 - 0,014
Cemento	0,009 - 0,013
Vidrio	0,010

Fuente: Tomado de Rocha Felices, Arturo. Hidráulica de Tuberías y Canales, p. 262

1.3. Escala en modelos hidráulicos

1.3.1. Escala

Escala es la relación constante entre las variables del mismo tipo entre dos estructuras similares.

Si las variables son B_p en el prototipo y B_m en el modelo, en puntos análogos de la estructura, diremos que la escala de la variable B es E_B y se define como:

$$E_B = \frac{B_p}{B_m}$$

Existirán entonces escalas para la longitud, el área, el volumen, la velocidad, el caudal, la fuerza, el tiempo.¹¹

1.3.2. Determinación de la escala adecuada

Escogido un criterio de similitud se debe proceder a la determinación de las escalas del modelo. Uno de los puntos más importantes a la hora de realizar un modelo reducido reside en la escala que se debe proponer para el estudio del mismo.

En la selección de las escalas intervienen numerosos factores. De un lado están las exigencias teóricas originadas en el parámetro característico de la información, y, de otro, las circunstancias de tipo práctico vinculadas al laboratorio y a los objetivos de la investigación.

Para la selección de escalas se requiere no sólo el conocimiento profundo de las circunstancias teóricas aplicables, sino también las vinculadas al laboratorio en el que se va a realizar la investigación, tales como espacio disponible, capacidad de bombas instaladas, precisión de los instrumentos existentes y muchos otros factores más.¹²

¹¹ Puga Brazales María Angélica, A. (2010). Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681>, p.13

¹² Puga Brazales María Angélica, A. (2010). Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681>, p.14

A escalas grandes (1:20) el modelo resulta ser más parecido a la realidad pero también el costo es elevado y en cambio a escalas pequeñas (1:100) comienzan a generarse efectos de escala que introducen errores a la hora de analizar los resultados, pero lo más importante es que a estas escalas las magnitudes a medir pueden ser en exceso pequeñas y resultan imposibles de medir.

El criterio de similitud escogido, la selección de escalas, la determinación de los límites del modelo y la consideración de los efectos de escala son de elemental importancia para interpretar adecuadamente los resultados del modelo.

Es importante indicar que el modelo debe ser en lo posible no distorsionado debido al carácter tridimensional del problema.

Evidentemente si se distorsiona el modelo, dándole una escala diferente en horizontal y otra en vertical, se traduce en una distorsión de los resultados o incluso en una transformación del propio carácter hidrodinámico del flujo.¹³

¹³ Puga Brazales María Angélica, A. (2010). Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681>, p. 14

Tabla 3 Factores de escala

<i>Parámetro</i>	<i>Factor de escala</i>
Longitud	$\frac{L_p}{L_m} = \lambda$
Superficie	$\frac{A_p}{A_m} = \lambda^2$
Volumen	$\frac{V_p}{V_m} = \lambda^3$
Peso	$\frac{W_p}{W_m} = \lambda^4$
Tiempo	$\frac{t_p}{t_m} = \lambda^{\frac{1}{2}}$
Velocidad	$\frac{V_p}{V_m} = \lambda^{\frac{1}{2}}$
Aceleración	$\frac{a_p}{a_m} = 1$
Fuerza	$\frac{F_p}{F_m} = \lambda^3$
Masa	$\frac{m_p}{m_m} = \lambda^3$
Caudal	$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{\frac{5}{2}}$
Energía	$\frac{E_p}{E_m} = \lambda^4$
Potencia	$\frac{P_p}{P_m} = \lambda^{\frac{1}{2}}$
Rugosidad	$\frac{r_p}{r_m} = \lambda^{\frac{1}{6}}$

Fuente: Tomado de Puga María Angélica, A. (2010). Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681>, p15

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS EN CAMPO

2.1. Evaluación de los derivadores tipo salto existentes en la ciudad

Para realizar la evaluación de los derivadores en estudio la empresa ETAPA E.P. ha facilitado la información recopilada por sus funcionarios, además se ha revisado información de documentos publicados por la empresa, de lo cual se observó lo siguiente:

Los derivadores de caudal tipo salto existentes en la ciudad están cumpliendo con la función para la cual fueron construidos, sin embargo no se ha registrado una evaluación del funcionamiento de los mismos a lo largo de su vida útil. A pesar de que se presume que tienen un mejor funcionamiento que los otros tipos no se ha realizado una valoración de campo de los mismos.

2.2. Obtención de datos

Para el desarrollo de esta sección la Empresa ETAPA E.P. ha facilitado la información relacionada a los interceptores de la ciudad de Cuenca para acceder a su procesamiento, dentro de estos datos tenemos densidades poblacionales y áreas de aporte a los diferentes interceptores, lo cual se ha usado para calcular poblaciones y caudales que circulan por los mismos; y con ello poder realizar una evaluación de cada interceptor.

El procesamiento de la información mencionada se la realizó con la ayuda del programa informático “ArcGis”, en el cual se ingresó todas las áreas de aporte de cada uno de los interceptores, para así enlazando con el archivo de densidades

poblacionales de la ciudad poder obtener cifras de poblaciones de los sectores en estudio.

La información obtenida en este programa se ha tabulado y ordenado de manera que se la pueda revisar de una manera más sencilla para su entendimiento, todo esto se presenta en el Anexo en forma de tablas y con sus respectivos mapas de áreas de aporte de cada interceptor.

2.3. Realización de un pre dimensionamiento de modelos a escala

Para el pre dimensionamiento del derivador en estudio se usan los diferentes datos obtenidos de la tabulación de la información nombrada anteriormente, además de tomar en cuenta varios criterios de diseño brindados por la empresa ETAPA E.P., los cuales nos permiten realizar un diseño que se asemeje al comportamiento real de dicha estructura.

A continuación se muestran las fórmulas y los cálculos que intervienen en el diseño del modelo a escala; además de la descripción de cada término que se usan en las fórmulas con sus respectivas unidades.

Tabla 4 Datos para el diseño

DATOS	
n	0,009
S (%)	1
D(mm)	110
y/d min	0,1
y/d max	0,5
Δy (mm)	50

Términos:

n: se refiere al coeficiente de Kutter (rugosidad del material), este factor es adimensional.

S: representa la pendiente, se la expresa en porcentaje (%).

D: es el diámetro de llegada de la tubería del interceptor, expresada en milímetros (mm).

$\frac{y}{D}$ min: representa la relación mínima entre la altura de agua y el diámetro de la tubería, es adimensional.

$\frac{y}{D}$ max: representa la relación máxima entre la altura de agua y el diámetro de la tubería, es adimensional.

Con los datos mostrados anteriormente se inicia el diseño del derivador, para ello se comienza calculando la velocidad del agua a la llegada del derivador, trabajando la tubería de conducción ha sección llena, esta velocidad está en (m/s).

Tabla 5 Cálculo de velocidad a sección llena

VELOCIDAD A SECCIÓN LLENA	
$V (m/s) = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$	(Ec. # 1)
$V (m/s) = \frac{1}{0,009} \left(\frac{110}{4}\right)^{2/3} \left(\frac{1}{100}\right)^{1/2}$	
$V(m/s) =$	1,0123

Términos:

V (m/s) = velocidad del agua trabajando a sección llena.

n = rugosidad de la tubería

R = radio hidráulico $R = (D/4)$

S (%) = pendiente de la tubería de conducción.

Una vez obtenida la velocidad del agua podemos realizar el cálculo del caudal que se puede transportar por la tubería trabajando está a sección llena, dicho caudal está en (m^3/s).

Tabla 6 Cálculo de caudal a sección llena

CAUDAL A SECCIÓN LLENA	
$Q (m^3/s) = V * A$	(Ec. # 2)
$Q (m^3/s) = 1,0123 * (\pi * \frac{110/1000^2}{4})$	
$Q (m^3/s) =$	0,0096

Términos:

$Q (m^3/s) =$ caudal a sección llena.

$V (m/s) =$ velocidad del agua trabajando a sección llena.

$A (m^2) =$ área de la tubería a sección llena $A = \pi * D^2/4$

Realizadas las operaciones anteriores hemos obtenido la velocidad y el caudal a sección llena, ahora se procederá a realizar el cálculo de las relaciones hidráulicas para conocer su comportamiento para una sección parcialmente llena con una relación de altura del agua con respecto al diámetro de tubería igual a 0,1 el cual representa el periodo seco en el derivador; y el otro caso en donde la relación de altura de agua con respecto al diámetro de la tubería es igual a 0,5 el cual representa el periodo lluvioso.

2.3.1. Cálculos para la relación $y/d \text{ min} = 0,1$

Como tenemos que $y/d \text{ min} = 0,1$, calculamos la relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena (q/Q), para ello en la ecuación que se muestra a continuación (Ec. #2) despejamos el término "A" el cual representa dicha relación, luego procedemos a realizar iteraciones en la formula hasta que el valor de la relación converja en un número, obteniendo así el valor buscado.

Tabla 7 Cálculo de relación entre q/Q para y/d min = 0,1

CÁLCULO DE "A" (Relación entre q/Q)	
$y/D \min = -3,683 A^6 + 14,0631 A^5 - 20,8398 A^4 + 15,584 A^3 - 6,4028 A^2 +$	(Ec. # 3)
$+2,1009 A + 0,0871$	
$0,1 = -3,683 A^6 + 14,0631 A^5 - 20,8398 A^4 + 15,584 A^3 - 6,4028 A^2 + 2,1009 A + 0,0871$	
A	0,006258
A_{imp}	0,006258

Términos:

$y/D \min =$ relación entre altura del agua y el diámetro de la tubería $\frac{y}{D} \min = 0,1$

$A =$ relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena. $A = \frac{q}{Q}$.

Una vez que tenemos el valor de "A", podemos reemplazar dicho valor en la ecuación de relaciones de velocidades (Ec. #4), ya que también anteriormente ya se obtuvo la velocidad "V" trabajando a sección llena; entonces obtendremos la velocidad del agua para el caso que estamos revisando ($y/D \min = 0,1$).

Tabla 8 Cálculo de velocidad a sección parcialmente llena para y/d min=0,1

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD "v" (SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA)	
$\frac{v}{V} = -8,2002 A^6 + 29,827A^5 - 43,494 A^4 + 32,383 A^3 - 13,221 A^2 +$	(Ec. # 4)
$+3,4484 A + 0,2967$	
$v (m/s) = V * (-8,2002 A^6 + 29,827A^5 - 43,494 A^4 + 32,383 A^3 - 13,221 A^2 +$	
$+3,4484 A + 0,2967)$	
$v (m/s) = 1,0123 * (-8,2002 * 0,006258^6 + 29,827 * 0,006258^5 -$	
$43,494 * 0,006258^4 + 32,383 * 0,006258^3 - 13,221 * 0,006258^2 +$	
$+3,4484 * 0,006258 + 0,2967)$	
$v (m/s)$	0,3217

Términos:

v (m/s) = velocidad a sección parcialmente llena.

v/V = relación entre la velocidad trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena

A = relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena. $A = \frac{q}{Q}$.

Ahora debemos calcular otro término importante para el diseño, el cual es la altura con la cual el agua ingresa al derivador; para ello también se toma en cuenta el salto que existe entre el borde inferior de la tubería de ingreso del agua y el borde superior de la tubería que deriva el caudal.

Tabla 9 Cálculo de la altura de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,1$

ALTURA DE AGUA INCLUIDO SALTO (Δy)	
$y (m) = (y/D \text{ min} * D)$	(Ec. # 5)
$y (m) = \left(\frac{0,1 * 110}{1000}\right)$	
$y (m)$	0,061

Términos:

y (m) = altura de llegada del agua al derivador.

$y/D \text{ min}$ = relación entre altura del agua y el diámetro de la tubería.

Δy (m) = salto que existe entre el borde inferior de la tubería de ingreso del agua y el borde superior de la tubería que deriva el caudal.

Obtenidos los datos anteriores procedemos también a calcular el caudal de salida para la relación dada:

Tabla 10 Cálculo del caudal de agua a sección parcialmente llena para $y/d \text{ min}=0,1$

CAUDAL A SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA	
$A = \frac{q}{Q}$	(Ec. # 6)
$q \text{ (m}^3/\text{s)}$	
$q \text{ (m}^3/\text{s)}$	
$q \text{ (m}^3/\text{s}) =$	0,0000602
$q \text{ (lt/s)} =$	0,0602

Términos:

$q \text{ (m}^3/\text{s)}$ = caudal a sección parcialmente llena.

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ = caudal a sección llena.

$A =$ relación entre caudales a sección parcialmente llena y sección llena.

Una vez realizados los cálculos para la relación de $y/D \text{ min}$ igual a 0,1, realizamos los mismos pasos para calcular ahora para un valor de $y/D \text{ máx.}$ igual a 0,5, el cual representa el segundo caso y se muestra a continuación.

2.3.2. Cálculos para la relación $y/d \text{ máx.} = 0,5$

Como tenemos que $y/d \text{ máx.} = 0,5$, calculamos la relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena (q/Q), para ello en la ecuación que se muestra a continuación (Ec. #7) despejamos el término "A" el cual representa dicha relación, luego procedemos a realizar iteraciones en la formula hasta que el valor de la relación converja en un número, obteniendo así el valor buscado.

Tabla 11 Cálculo de relación entre q/Q para y/d min = 0,5

CÁLCULO DE "A" (Relación entre q/Q)	
$y/D \max = -3,683 A^6 + 14,0631 A^5 - 20,8398 A^4 + 15,584 A^3 - 6,4028 A^2 + 2,1009 A + 0,0871$	(Ec. # 7)
$0,5 = -3,683 A^6 + 14,0631 A^5 - 20,8398 A^4 + 15,584 A^3 - 6,4028 A^2 + 2,1009 A + 0,0871$	
$A \ 0,4059$	
$A_{imp} \ 0,4059$	

Términos:

y/D máx. = relación entre altura del agua y el diámetro de la tubería $\frac{y}{D} \max = 0,5$

A = relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena. $A = \frac{q}{Q}$.

Una vez que tenemos el valor de "A", podemos reemplazar dicho valor en la ecuación de relaciones de velocidades (Ec. #8), ya que al inicio de los cálculos se obtuvo la velocidad "V" trabajando a sección llena; entonces obtendremos la velocidad del agua para este segundo caso (y/D máx. = 0,5).

Tabla 12 Cálculo de velocidad a sección parcialmente llena para y/d min=0,5

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD "v" (SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA)	
$\frac{v}{V} = -8,2002 A^6 + 29,827A^5 - 43,494 A^4 + 32,383 A^3 - 13,221 A^2 + 3,4484 A + 0,2967$	(Ec. # 8)
$v \ (m/s) = V * (-8,2002 A^6 + 29,827A^5 - 43,494 A^4 + 32,383 A^3 - 13,221 A^2 + 3,4484 A + 0,2967)$	
$v \ (m/s) = 1,0123 * (-8,2002 * 0,7125^6 + 29,827 * 0,7125^5 - 43,494 * 0,7125^4 + 32,383 * 0,7125^3 - 13,221 * 0,7125^2 + 3,4484 * 0,7125 + 0,2967)$	
$v \ (m/s)$	

Términos:

v (m/s) = velocidad a sección parcialmente llena.

v/V = relación entre la velocidad trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena

A = relación entre el caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena $A = \frac{q}{Q}$.

Ahora debemos calcular otro término importante para el diseño, el cual es la altura con la cual el agua ingresa al derivador; para ello también se toma en cuenta el salto que existe entre el borde inferior de la tubería de ingreso del agua y el borde superior de la tubería que deriva el caudal.

Tabla 13 Cálculo de la altura de agua a sección parcialmente llena para y/d min=0,5

ALTURA DE AGUA INCLUIDO SALTO (Δy)	
y (m) = $(y/D \text{ max} * D)$	(Ec. # 9)
y (m) = $(\frac{0,5 * 110}{1000})$	
y (m)	0,105

Términos:

y (m) = altura de llegada del agua al derivador.

y/D min = relación entre altura del agua y el diámetro de la tubería.

Δy (m) = salto que existe entre el borde inferior de la tubería de ingreso del agua y el borde superior de la tubería que deriva el caudal.

Obtenidos los datos anteriores procedemos también a calcular el caudal de salida para el segundo caso en estudio:

Tabla 14 Cálculo del caudal de agua a sección parcialmente llena para $y/d \min=0,5$

CAUDAL A SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA	
$A = \frac{q}{Q}$	(Ec. # 10)
$q \text{ (m}^3/\text{s)}$	
$q \text{ (m}^3/\text{s)}$	
$q \text{ (m}^3/\text{s}) = 0,0039052$	
$q \text{ (lt/s)} = 3,9052$	

Términos:

$q \text{ (m}^3/\text{s)}$ = caudal a sección parcialmente llena.

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ = caudal a sección llena.

$A =$ relación entre caudales a sección parcialmente llena y sección llena.

2.3.3. Cálculo del derivador tipo salto

El primer cálculo para el derivador se realiza para el periodo seco, es decir cuando existe solo caudal sanitario, para ello se usan los resultados de velocidad a sección parcialmente llena y altura de agua incluido el salto obtenidos en el conjunto de cálculos realizados para una relación de $y/D \min$ igual a 0,1 en las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

Tabla 15 Cálculo del derivador en periodo seco

PERIODO SECO	
$x \text{ (m)} = 0,180 v^{4/7}$	(Ec. # 11)
$x \text{ (m)} = 0,180 * 0,3217^{4/7}$	
$x \text{ (m)}$	

Términos:

x (m) = distancia de la placa divisora de caudal desde el borde de la tubería de llegada.

v (m/s) = velocidad a sección parcialmente llena.

y (m) = altura de llegada del agua al derivador.

El siguiente cálculo corresponde al periodo lluvioso, para ello se usan los resultados de la velocidad parcialmente llena (Ec. # 8) y de la altura del agua incluido el salto obtenido anteriormente (Ec. #9) para el caso de una relación de y/D máx. igual a 0,5.

Tabla 16 Cálculo del derivador en periodo lluvioso

PERIODO LLUVIOSO	
$x (m) = 0,357 v^{2/3}$	(Ec. # 12)
$x (m) = 0,357 * 0,8049^{2/3}$	
$x (m)$	

Con los datos obtenidos en esta última sección se procede a desarrollar el modelo a escala, el cual se construirá tomando todos los criterios y cálculos mostrados anteriormente en este documento, tratando de conseguir un comportamiento real que nos brinde conclusiones claras y valiosas acerca de la funcionalidad del derivador tipo salto.

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE MODELOS HIDRÁULICOS

3.1. Construcción de los modelos a escala

Para la construcción del modelo a escala se ha escogido un terreno amplio y adecuado a los requerimientos para que nos permita crear la maqueta que representa al derivador tipo salto.

Se inicia con la edificación de una base de soporte para el tanque que abastecerá con el agua necesaria para la realización de las pruebas, este tanque tiene una capacidad de 1 m^3 (Figura 7), el mismo que se encuentra a un nivel más alto que el resto de elementos para poder hacer circular el agua a gravedad.

Una vez que se tiene la base con el tanque colocados de manera adecuada, en la salida del tanque de distribución se coloca una caja con un vertedero, la cual cumple la función de romper la velocidad del agua a la salida de dicho tanque; la caja también se conecta a la tubería de conducción que es por donde el agua circulará hacia el derivador, esto se muestra a continuación en las figuras 8 y 9.

Figura 7 Base de bloque conjuntamente con el tanque de abastecimiento de 1m³ de capacidad



Figura 8 Tanque de abastecimiento conjuntamente con la caja del vertedero que rompe la velocidad del agua



Figura 9 Vertedero que rompe la velocidad del agua



Posteriormente procedemos a construir bases de madera que permitirán sostener la tubería que conducirá el agua hacia el derivador a escala, para ello se tomen niveles desde la salida del tanque de abastecimiento, esto con el fin de poder ir dando la pendiente respectiva a la tubería de conducción. La pendiente dada a la tubería es del 1% (Figura 10).

Figura 10 Instalación de la tubería de conducción con la respectiva pendiente



La tubería de conducción usada para la realización de las pruebas es de un diámetro de 110mm, la cual se coloca desde la salida del tanque hasta el punto donde se colocará el derivador, dicha tubería se encuentra con pendiente de 1% sobre las bases de madera mencionadas anteriormente (Figura 11).

Figura 11 Tubería de diámetro 110mm con pendiente del 1%



El siguiente paso es el unir el derivador tipo salto a la tubería de conducción, para ello también se realiza una base en la que se pueda sostener el derivador y la cual tenga la altura correspondiente debido a la diferencia de altura entre la entrada y salida de la tubería de conducción por la pendiente dada a la misma (Figura 12 y 13).

Figura 12 Derivador tipo salto



Figura 13 Derivador tipo salto



Una vez colocado el derivador con la tubería de ingreso, se coloca una tubería de 50mm de diámetro, la cual conducirá el agua derivada hacia un tanque para poder tomar datos del agua derivada; además existe otra salida mediante una tubería de 110mm la cual conducirá el agua no derivada hacia otro tanque de capacidad de 1m^3 , esto con el fin de poder reutilizar el agua que se conduce (Figura 14).

Figura 14 Derivador tipo salto con tubería de derivación



Una vez que el agua retorne al tanque antes mencionado, se procede a pasar el agua de dicho tanque al tanque de distribución con la ayuda de una bomba (Figura 15); concluido el proceso de armado de la maqueta, se puede ya proceder a la toma de datos o lecturas necesarias.

Figura 15 Bombeo desde el tanque de recolección al tanque de distribución



3.2. Realizar pruebas de laboratorio

Con los pasos mencionados anteriormente y verificando que todos los elementos estén cumpliendo con los requerimientos y cálculos mostrados en el presente documento se proceden a tomar las diferentes lecturas de caudales para cada altura de agua, para ello cada vez se incrementa un 10% la altura del agua a la entrada del derivador (Figura 16).

Figura 16 Pruebas del funcionamiento de la tubería de conducción



A continuación se muestran figuras de las mediciones que se fueron ejecutando, primeramente se tomaron las medidas del caudal de ingreso al derivador para cada altura (Figura 17 y 18), para posteriormente tomar tres medidas de tiempo y volumen derivado para cada altura respectivamente (Figura 19 y 20).

Figura 17 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 1



Figura 18 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 2



Figura 19 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 3

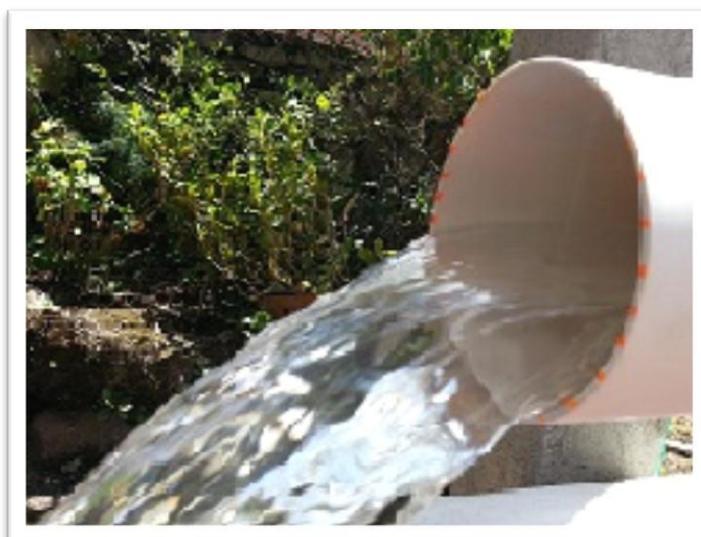


Figura 20 Lecturas de medidas de caudal de ingreso 4



Las lecturas obtenidas en las diferentes mediciones de los caudales que ingresan con las diferentes alturas y de los caudales derivados para cada intervalo se muestran a continuación:

Caudales de ingreso

Tabla 17 Caudales de ingreso

CAUDALES DE INGRESO MEDIDOS								
ALTURAS		RELACION y/d	MEDIDA 1		MEDIDA 2		MEDIDA 3	
ENTRADA	SALIDA		t (s)	V (ml)	t (s)	V (ml)	t (s)	V (ml)
2,6	1,1	0,10	4,53	1000	4,55	1000	4,57	1000
3,1	1,5	0,14	3,07	1000	3,21	1000	3,02	1000
4,4	2,2	0,20	4,24	2000	4,24	2000	4,20	2000
5,1	2,5	0,23	3,74	2000	3,74	2000	3,72	2000
7	3,3	0,30	4,56	3000	4,56	3000	4,53	3000
7,4	3,5	0,32	4,35	3000	4,38	3000	4,35	3000
9,6	4,4	0,40	146,25	125000	146,25	125000	145,00	125000
9,8	4,5	0,41	141,25	125000	141,25	125000	142,50	125000
11	5,5	0,50	115,00	125000	112,50	125000	115,00	125000

CAPÍTULO 4

TABULACIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Tabulación de datos

Las lecturas mostradas al final del capítulo anterior se han ordenado en una tabla, la cual nos muestra de una manera sencilla todas las lecturas que se han realizado, esto es para poder compararlas entre ellas y poder entenderlas de una manera fácil.

En la tabla 19 se detallan todas las lecturas de tiempo y volumen de ingreso para las diferentes alturas de agua a las que se fue realizando, con ello se ha calculado el caudal para cada lectura para lograr tener un caudal promedio para cada una de ellas (Tabla 20).

Tabla 19 Lecturas de tiempo y volumen del caudal de ingreso y sus promedios

CAUDALES DE INGRESO MEDIDOS										
ALTURAS		RELACION	MEDIDA 1		MEDIDA 2		MEDIDA 3		PROMEDIOS	
ENTRADA	SALIDA		y/d	t (s)	V (ml)	t (s)	V (ml)	t (s)	V (ml)	t (s)
2,6	1,1	0,10	4,53	1000	4,55	1000	4,57	1000	4,55	1000
3,1	1,5	0,14	3,07	1000	3,21	1000	3,02	1000	3,10	1000
4,4	2,2	0,20	4,24	2000	4,24	2000	4,20	2000	4,23	2000
5,1	2,5	0,23	3,74	2000	3,74	2000	3,72	2000	3,73	2000
7	3,3	0,30	4,56	3000	4,56	3000	4,53	3000	4,55	3000
7,4	3,5	0,32	4,35	3000	4,38	3000	4,35	3000	4,36	3000
9,6	4,4	0,40	146,25	125000	146,25	125000	145,00	125000	145,83	125000
9,8	4,5	0,41	141,25	125000	141,25	125000	142,50	125000	141,67	125000
11	5,5	0,50	115,00	125000	112,50	125000	115,00	125000	114,17	125000

Tabla 20 Caudales promedio de ingreso

ALTURAS		RELACION y/d	CAUDALES			PROMEDIO
ENTRADA	SALIDA		Q 1 (ml/s)	Q 2 (ml/s)	Q 3 (ml/s)	Q (ml/s)
2,6	1,1	0,10	220,75	219,78	218,82	219,78
3,1	1,5	0,14	325,73	311,53	331,13	322,80
4,4	2,2	0,20	471,70	471,70	476,19	473,20
5,1	2,5	0,23	534,76	534,76	537,63	535,72
7	3,3	0,30	657,89	657,89	662,25	659,35
7,4	3,5	0,32	689,66	684,93	689,66	688,08
9,6	4,4	0,40	854,70	854,70	862,07	857,16
9,8	4,5	0,41	884,96	884,96	877,19	882,37
11	5,5	0,50	1086,96	1111,11	1086,96	1095,01

Una vez que se ha podido obtener los caudales promedio para cada relación de y/d, se puede realizar una gráfica entre estos dos parámetros los cuales nos muestren el comportamiento que se está consiguiendo en el experimento del derivador tipo salto y además de ello se puede tener una línea de tendencia polinómica la cual se ajusta al comportamiento de los datos obtenidos, todo esto se muestra en la figura 21.

Tabla 21 Datos de Relación y/d - Caudal Promedio (Q)

RELACION y/d	PROMEDIO
	Q (ml/s)
0,10	219,78
0,14	322,80
0,20	473,20
0,23	535,72
0,30	659,35
0,32	688,08
0,40	857,16
0,41	882,37
0,50	1095,01

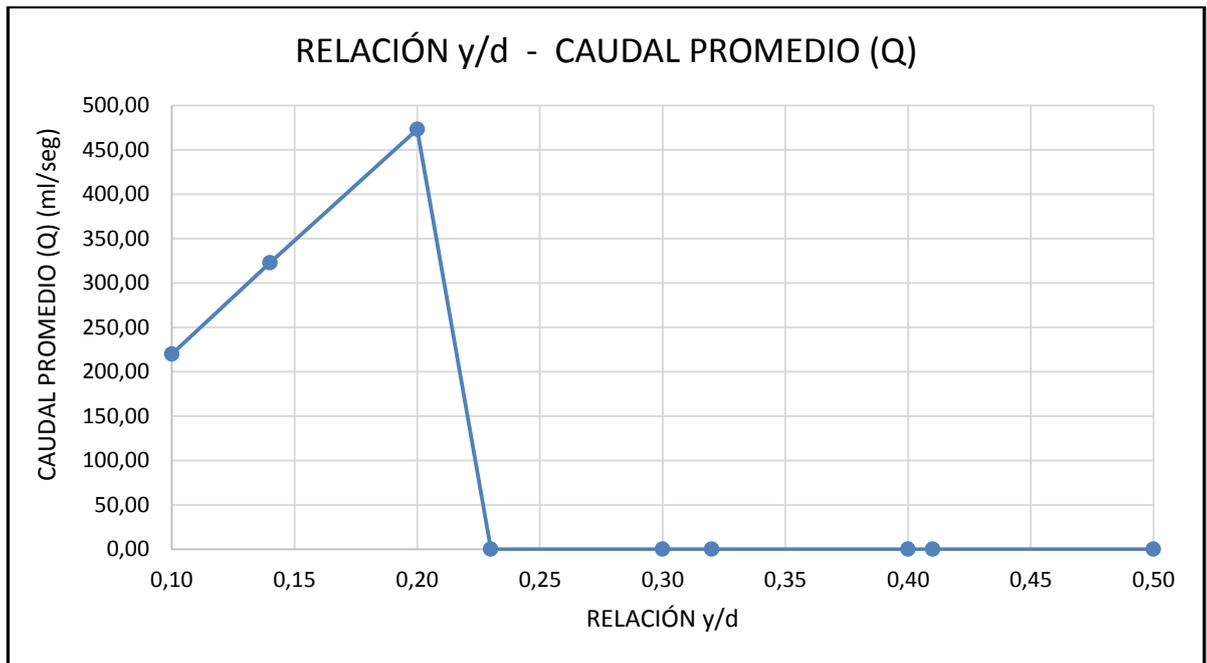
Tabla 23 Caudales promedio derivados

ALTURAS		RELACION y/d	CAUDALES			PROMEDIO
ENTRADA	SALIDA		Q 1 (ml/s)	Q 2 (ml/s)	Q 3 (ml/s)	Q (ml/s)
2,6	1,1	0,10	220,75	219,78	218,82	219,78
3,1	1,5	0,14	325,73	311,53	331,13	322,80
4,4	2,2	0,20	471,70	471,70	476,19	473,20
5,1	2,5	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,3	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
7,4	3,5	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
9,6	4,4	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
9,8	4,5	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00
11	5,5	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00

A continuación se muestran los datos de relación y/d y caudales promedio derivados (Tabla 24), de los cuales se puede obtener una gráfica que nos detalle el comportamiento de la estructura del derivador según las variaciones de caudal.

Tabla 24 Datos de Relación y/d - Caudal Promedio Derivado (Q)

RELACION y/d	PRODEUDIO Q (ml/s)
0,10	219,78
0,14	322,80
0,20	473,20
0,23	0,00
0,30	0,00
0,32	0,00
0,40	0,00
0,41	0,00
0,50	0,00

Figura 22 Relación y/d - Caudal promedio Derivado (Q)

4.2. Conclusiones

Una vez que se ha realizado la evaluación del derivador tipo salto, y la construcción de dicho elemento para observar su comportamiento se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) Para arrancar las simulaciones de funcionamiento fue necesario calibrar la posición de la pantalla de derivación con respecto a los cálculos efectuados durante el diseño del experimento para que este pueda derivar solamente el caudal calculado. Esta diferencia en la posición puede deberse a que el flujo en la tubería de aproximación no puede considerarse como Uniforme puro, si no que se aproxima a un Uniformemente Variado y esto cambia el valor de la velocidad de salto, lo cual afecta al cálculo de la distancia. Al no ser materia del presente estudio no se ha profundizado en las causas, sin embargo se puede concluir que es necesario realizar una verificación de este parámetro previo a la puesta en funcionamiento de una unidad de derivación de este tipo.
- 2) Al tabularse los datos se pudo observar que para caudales menores a los correspondientes a una relación $y/d = 0,23$ en el tubo aguas arriba del derivador, el

total de dicho caudal es derivado hacia la salida que iría hacia el sistema de interceptores de la ciudad.

3) A partir de una relación de $y/d = 0,23$ el derivador deja de desviar el caudal, y los caudales que superen este valor serán conducidos hacia la descarga hacia el curso receptor.

4) Se puede concluir que este tipo de estructura tiene un funcionamiento de gran exactitud a partir del caudal para el cual se fija la pantalla de derivación, lo cual refuerza lo expuesto en la conclusión No 1 sobre la importancia de la calibración de dicho elemento.

Conclusiones

Al realizar la evaluación hidráulica de los derivadores tipo salto se obtuvo que los valores representativos para el periodo seco es con una relación de y/d igual a 0,1 y para el periodo lluvioso es con una relación de y/d igual a 0,5.

Con las relaciones antes mencionadas se construyó el modelo a escala en el cual se obtuvo que el derivador tipo salto funciona de manera óptima cuando al inicio de su puesta en funcionamiento se realiza una calibración previa, ya que los parámetros con los que se diseñan los mismos pueden diferir un poco en cuanto al comportamiento real del flujo de agua lo cual afecta al funcionamiento del mismo.

Así mismo se determinó que el derivador una vez calibrado desvía todo el caudal existente correspondiente al periodo seco y según vaya incrementando el caudal para el periodo lluvioso fue derivando menos caudal hasta llegar a un punto en el cual no existe derivación, cumpliendo así con lo planteado en el diseño.

Bibliografía

AROCHA R. Simón, Abastecimientos de agua, Teoría y Diseño, Ediciones Vega, Caracas, 1977.

AROCHA R, Simón. Cloacas y Drenajes, Teoría y Diseño (1era. Ed.), Caracas, 1983.

CRUZ Rodríguez, M. Estudio integral del sistema de alcantarillado combinado del sector céntrico de la parroquia de Ascázubi, Escuela Politécnica del Ejército - Carrera de Ingeniería Civil.

Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca - ETAPA. Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II Fase, 2009.

PUGA Brazales María Angélica, A. Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército), 2010, Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681>

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, Bogotá-Colombia, 2000.

Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 7, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín-Colombia, 2007.

ROCHA Felices Arturo, Hidráulica de Tuberías y Canales.

Anexos

Anexo 1 Tablas de la evaluación hidráulica de los interceptores de la ciudad de Cuenca.

Anexo 2 Gráficos de la evaluación hidráulica de los interceptores de la ciudad de Cuenca.