Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE UN DERIVADOR DE CAUDAL TIPO ORIFICIO

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

Autor:

Constantino Xavier Castro Serrano

Director:

Josué Bernardo Larriva Vásquez

Cuenca, Ecuador

2014

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por ser el que guía mis pasos día a día y el que me da fortaleza para avanzar cada día más lejos. A mis padres que han sido el pilar fundamental de todo este proceso de vida universitaria, que nunca me hicieron faltar el apoyo que necesité, a mi ñaño Pedro que siempre será una de las personas más importantes en mi vida. A mi esposa Caro que estuvo siempre pendiente de mí y que con su preocupación me dio ánimos en los momentos más difíciles. Al Ing. Felipe Andrade que me dio la oportunidad de realizarme como un verdadero ingeniero con toda su confianza y consejos que me servirán para toda la vida, al Ing. Benjamín Cordero que con su sabiduría, sinceridad y honestidad me enseñó a tomar las mejores decisiones para realizarme como mejor persona y profesional, y a toda la familia del consorcio Turi que luchamos por un gran sueño día a día.

A mis compañeros de curso, a los amigos que siempre estuvieron pendientes, Gise, Mayris, Christian, Chesco y Mario.

INDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento ii

Indice de Contenidos iii

Indice de Tablas vi

Indice de Figuras vii

Resumen ix

Abstract x

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1. REVISIÓN TEÓRICA DE DIVISORES DE CAUDAL DE TIPO ORIFICIO

1.1 Análisis teórico 2

1.1.1. Modelos 3

1.1.1.1 Modelos físicos reducidos 3

1.1.1.2 Verificación del modelo físico reducido 4

1.1.1.3 Importancia del modelo 6

1.1.2 Similitud 6

1.1.2.1 Similitud Geométrica 7

1.1.2.2 Similitud Cinética 8

1.1.2.3 Similitud Dinámica 8

1.1.3 Escala en modelos Hidráulicos 8

1.1.4 Determinación de la escala 9

1.1.5 Orificios 11

1.1.5.1 Clasificación 11

1.1.5.1.1 Según el ancho de la pared 11

1.1.5.1.2 Según su forma 13

1.1.5.1.3 Según sus dimensiones relativas 14

1.1.5.1.4 Según su funcionamiento 14

1.2 Análisis de ecuaciones que intervienen en cálculos 16

CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS EN CAMPO

2.1 Evaluación de divisores actuales en la ciudad 25

2.1.1 Estructuras de derivación con orificio en la ciudad de Cuenca 26

2.2 Obtención de datos 27

2.3 Realización de un pre dimensionamiento de modelos a escala 27

2.3.1 Cálculo del caudal y velocidad a sección llena: 27

2.3.2 Cálculo para la relación y/d mín = 0,1 29

2.3.2.1 Cálculo del coeficiente A mediante la relación y/d 29

2.3.2.2 Cálculo de la velocidad, caudal y altura de agua para la relación y/d mín =0.1 29

2.3.3 Cálculo para la relación y/d máx=0,5 31

2.3.3.1 Cálculo del coeficiente A mediante la relación y/d 31

2.3.3.2 Cálculo de la velocidad, caudal y altura de agua para la relación y/d máx=0,5 31

2.3.4 Cálculo del derivador tipo orificio 33

2.3.4.1 Derivador tipo orificio rectangular 33

2.3.4.2 Derivador tipo orificio cuadrado 34

CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE MODELOS HIDRÁULICOS

3.1 Construcción de los modelos a escala 35

3.1.1 Descripción de cada uno de los puntos 36

3.2 Realizar pruebas de laboratorio 40

CAPÍTULO 4. TRATAMIENTO ESTADISTICO Y CONCLUSIONES

4.1 Tabulación de datos:..... 44

4.1.1 Niveles de toma de datos: 44

4.1.2 Caudales derivados: 45

Conclusiones 51

Conclusiones Generales 52

BIBLIOGRAFIA..... 53

ANEXOS 55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Factores de escala 10
Tabla 2: Variación de los coeficientes de descarga (Cd), velocidad (Cv), y contracción (Cc), con el número de Reynolds de un orificio circular. (Sotelo, G. 1982) 18
Tabla 3: Variación del coeficiente de contracción en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø). (Modificado de Azevedo, N. y Acosta, A., 1976) 18
Tabla 4: Nos indica la variación del coeficiente de velocidad (Cv) en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø) (modificado de Azevedo, N. y Acosta, A. 1976) 19
Tabla 5: Variación del coeficiente de descarga en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø) (modificado de Azevedo, N. y Acosta, A., 1976)..... 19
Tabla 6: Coeficiente de descarga medios (Azevedo N., J.M. y Acosta A., G. 1976) 20
Tabla 7: Datos y Resultados..... 28
Tabla 8: Datos y Resultados..... 29
Tabla 9.- Datos y Resultados 31
Tabla 10.- Datos y Resultados 33
Tabla 11: Datos y Resultados..... 34
Tabla 12.-Lecturas de tiempo y volumen del caudal de ingreso..... 44
Tabla 13.- Lecturas de tiempo y volumen del caudal derivado. 45
Tabla 14.- Lecturas del caudal de entrada al derivador. 45
Tabla 15.- Relación y/d- Caudal de entrada..... 46
Tabla 16.- Lecturas del caudal de salida del derivador..... 47
Tabla 17.-Relación y/d- Caudal de salida 47
Tabla 18.- Cálculo de porcentaje de caudal derivado y de salida 49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Simulación Geométrica 7
Figura 2.- Derivador de tipo orificio 11
Figura 3.b.- Pared delgada biselada 12
Figura 4.-Orificio de pared gruesa. 13
Figura 5.- Derivador según su forma. 14
Figura 6.- Derivador con descarga libre. 15
Figura 7.- Derivador con descarga ahogada. 15
Figura 8.- Orificio de pared biselada. 16
Figura 9.- Trayectoria parabólica 21
Figura 10.- Derivador con orifico. 22
Figura 11.- Derivador tipo orificio con sus dimensiones. 24
Figura 12.-Estructura de derivación de agua residual y desborde de escorrentía pluvial 26
Figura 13.- Orificio trabajando a sección llena. 28
Figura 14.- Orificio trabajando a y/d mín 30
Figura 15.- Orificio trabajando a y/d máx 32
Figura 16.-Derivador tipo orificio rectangular 33
Figura 17.- Derivador tipo orificio cuadrado 34
Figura 18.- Funcionamiento de Derivador 35
Figura 19.- Nivelación del Terreno 36
Figura 20.- Base y tanque de agua 36
Figura 21.- Vertedero Regulador 37
Figura 22.- Conexión con el sistema 37
Figura 23.-Colocación de la tubería 38
Figura 24.-Diámetro de la tubería 38
Figura 25.-Tubería de conducción. 38
Figura 26.-Tanque de reserva. 39
Figura 27.-Gata hidráulica levantado la maqueta 39
Figura 28.-Bomba de abastecimiento 40
Figura 29.-Oficio con marcas 41
Figura 30.-Oficio con marcas 41
Figura 31.-Salida del caudal por el orifico practico. 41

Figura 32.-Funcionamiento del derivador tipo orifico. 42
Figura 33.-Tubería de salida del caudal. 42
Figura 34.-Evacuación final del caudal. 43
Figura 35.- Relación y/d- Caudal de entrada Promedio (Q) 46
Figura 36.- Relación y/d del caudal de salida promedio 48
Figura 37.-Porcentajes de caudales derivados y caudales de salida con respecto a la relación y/d 50

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE UN DERIVADOR DE CAUDAL TIPO ORIFICIO.

RESUMEN

En este trabajo se realizó la evaluación hidráulica de un derivador de caudal tipo orificio, el cual tiene por objetivo dividir las aguas servidas y pluviales, para transportarlas hacia sistemas de tratamientos.

Para obtener el comportamiento del derivador se construyó un modelo a escala, el mismo que sirvió para obtener datos, comprobar la información de diseño, y encontrar la solución de problemas que se presentan en dicha estructura.

Se pudo observar la diferencia del modelo matemático planteado con el modelo físico, ya que si el dato del caudal de diseño no es el estimado con parámetros que representen el comportamiento real, este llega a un desbordamiento.

Palabras Clave: Aguas residuales, derivador, orificio, evaluación hidráulica, caudal, velocidad, modelos hidráulicos.

Ing. Paúl Cordero D.
DIRECTOR DE ESCUELA.

Ing. Josué Larriva V.
DIRECTOR DE TESIS.

Xavier Castro Serrano.
AUTOR

ABSTRACT

HYDRAULIC ANALYSIS OF A DROP-TYPE FLOW DIVERSION STRUCTURE

This work focuses on the evaluation of a drop-type flow diversion structure which divides wastewater and rainwater for transport to treatment plants.

In order to know the behavior of the diversion structure we built a scale model which was used to obtain data, verify the design information, and find the solution to problems that arise in the structure.

We could observe the difference of the proposed mathematical model with the physical model, because if the flow design data is not the estimated with parameters that represent the actual behavior, an overflow occurs.

Keywords: Wastewater, Drop-Type Flow Diversion, Hydraulic Evaluation, Flow, Speed, Hydraulic Models.

Ing. Paúl Cordero D.
SCHOOL DIRECTOR

Ing. Josué Larriva V.
THESIS DIRECTOR

Xavier Castro Serrano.
AUTHOR

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DPTO. IDIOMAS

Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Castro Serrano Constantino Xavier

Trabajo de Grado

Ing. Josué Larriva

Marzo 2014

INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento (ETAPA E.P), está a cargo del servicio de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Cuenca, por lo que se encuentra realizando el análisis del funcionamiento de los interceptores y sus componentes, entre los cuales un elemento importante son los derivadores de caudal tipo orificio.

En la evaluación Hidráulica, se buscara conocer el funcionamiento actual, un análisis global y el servicio de los mismos, para poder realizar re-adecuaciones y obtener su utilidad al máximo nivel, para ello se realizará el estudio correspondiente a partir de la obtención de datos de campo y con la aplicación de modelos matemáticos que correspondan al tema.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN TEÓRICA DE DIVISORES DE CAUDAL DE TIPO ORIFICIO

1.1 Análisis teórico

El análisis teórico se basará en modelos matemáticos para entender el fenómeno y tratar de predecir cómo se puede comportar en el futuro, para todo esto debemos basarnos en los problemas que existan actualmente en los derivadores de la ciudad de Cuenca de tipo orificio y solucionarlos basándonos en una hipótesis, para luego poder comparar con los datos obtenidos con el modelo matemático y con los reales.

Para resolver problemas de la hidráulica es necesario realizar modelos para explicar su funcionamiento y características ya que la sola aplicación de la teoría o con la experiencia procedente de casos similares no logrará describirlos en su totalidad. En la segunda mitad del siglo XIX se desarrolló la idea de utilizar modelos a escala para resolver problemas de la hidráulica. En 1869, Froude construyó el primer tanque de agua para el ensayo de modelos en barcos, y en 1885 Reynolds diseñó un modelo de mareas para el Mersey Alto.

Hacia finales del siglo XIX se establecieron dos laboratorios pioneros en ríos y estructuras hidráulicas liderados por Hubert Engels y Theodos Rehbock. Después de estos siguieron muchos laboratorios alrededor del mundo, registrándose la mayor expansión durante la primera mitad del siglo XX, con esto la ingeniería evolucionó y gradualmente alcanzó bases sólidas.[1]

[1] 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, página 1.

1.1.1. Modelos

Una de las formas de conocer mejor el comportamiento hidráulico es estudiándolo en un modelo físico, en un modelo hidráulico o en un modelo reducido. Un modelo hidráulico tiene la ventaja que el flujo es tridimensional, de esta manera tenemos que un modelo es la representación de una manera simplificada la complejidad de la naturaleza.

La investigación que se realiza en el modelo a escala es para mejorar las características del prototipo, es decir la estructura hidráulica en el tamaño real, con el fin de obtener un modelo correcto, bien operado y poder analizar los resultados con sentido crítico.

1.1.1.1 Modelos físicos reducidos

En ingeniería los modelos físicos reducidos son construcciones en escala reducida o simplificada de obras, máquinas o sistemas de ingeniería, esto se realiza para estudiar el comportamiento y permitir así perfeccionar los diseños reales antes de realizar la construcción de los mismos.

A este tipo de modelo se lo llama modelo simplificado, este debe satisfacer las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre estos sistemas.
Se utilizan con frecuencia para el estudio de puentes, represas, esclusas, puertos, etc. La base de los modelos reducidos es la teoría de semejanza, se clasifican en cuatro grupos analizados según la semejanza de Froude:

a) Los modelos de estructuras hidráulicas, de tramo corto ubicadas en los ríos, el fondo es fijo, es decir, no erosionable. La elaboración del modelo debe tener en cuenta sobre todo la correcta reproducción de la geometría y las características hidráulicas.

b) Los modelos hidráulicos de ríos, de tramo extenso de río son de contornos o lecho fijo, es decir, no erosionable. El objetivo principal es el estudio de las

magnitudes hidráulicas como la velocidad, superficie inundada, etc. El modelo debe representar correctamente la geometría y la rugosidad.

c) Los modelos de lecho móvil o modelos fluviales, son erosionables y también reproducen un tramo extenso de río. El objetivo del modelo es por un lado las magnitudes hidráulicas y por otro el comportamiento del fondo erosionable como las erosiones, sedimentaciones, etc. El modelo debe representar correctamente la geometría y la rugosidad y debe emplear criterios de semejanza respecto al sedimento utilizado y respecto al caudal sólido.

d) Los modelos de obras locales en lecho móvil, de corta extensión y realizados para el estudio de fenómenos locales de la superficie libre y sobre todo del lecho, tal como la erosión local. Deben reproducir correctamente la geometría y emplear criterios de semejanza respecto al sedimento. [2]

1.1.1.2 Verificación del modelo físico reducido

Para poder utilizar un modelo hidráulico este debe calibrarse y verificarse después de ser construido, y de esta manera ser utilizado. Así se podrá encontrar una concordancia del modelo con el prototipo y predecir su comportamiento.

En un modelo físico reducido, la concordancia adecuada entre el prototipo y el modelo se logra ajustando las características físicas, como la rugosidad de fondo, el caudal o los niveles de agua.

Para obtener una buena calibración es necesario tener una información clara del prototipo referente a la geometría en este caso del diseño del derivador con orificio, las elevaciones de la superficie del agua, el caudal utilizado y las velocidades. Se debe indicar que la recopilación de una base de datos adecuada para calibrar el

[2] 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, página 4-5.

modelo debe realizarse mediante ensayos por lo que puede llegar a ser costosa y de larga duración.

Para el proceso de calibración y verificación debe considerarse:

a) Si se cumple muy bien las condiciones de la similitud, es decir aceptar que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno son aplicables a otro fenómeno, se necesita muy poca calibración.

b) Si para el modelo hidráulico es importante el tema de la fricción, entonces la calibración será complicada, ya que se debe comparar las elevaciones entre el modelo y el prototipo para los caudales utilizados en el modelo, calibrando el modelo para un amplio intervalo de gastos.

c) Otro parámetro a considerar dentro de los modelos es la velocidad ya que provee información valiosa sobre la precisión, aunque en los modelos con escalas geométricas distorsionadas quizá no se pueda esperar que el modelo reproduzca en forma precisa las distribuciones. Si el modelo va a simular velocidades puntuales, entonces se necesitan datos precisos de campo sobre la velocidad del flujo en esos puntos.

d) Si el modelo va a simular eventos de flujos no permanentes, entonces debe reproducirse el movimiento del evento no permanente en el tramo con las escalas apropiadas espaciales y temporales en el modelo.

e) Para simular el transporte de sedimentos en el modelo, se necesita datos precisos sobre el transporte de sedimentos y las formaciones de fondo en el prototipo para poder calibrar el modelo.

f) La verificación requiere datos independientes de la calibración y busca confirmar que el modelo haya sido correctamente calibrado. Los procesos de

calibración y verificación son esenciales si el programa de modelaje va a proporcionar información útil y confiable.[3]

1.1.1.3 Importancia del modelo

En los modelos matemáticos se plantea hipótesis para poder resolver un problema, ya que por lo general las ecuaciones establecidas en la teoría son demasiado complicadas, convirtiéndose muy difícil su resolución.

Cuando no se puede resolver un problema mediante las ecuaciones o hipótesis, se busca resolverlo mediante la investigación experimental, por este motivo se puede concluir que la hidráulica es una ciencia tanto teórica como experimental.

En la hidráulica interviene numerosas variables por lo que presenta una dificultad en la investigación ya que para tener éxito dentro de este campo se necesita una correcta interpretación y recapitulación de los resultados obtenidos.

El modelo debe satisfacer las necesidades del prototipo para alcanzar un buen análisis, para esto podemos utilizar una herramienta muy útil que es la similitud, la cual nos permite hacer ensayos sobre modelos y referir los resultados obtenidos al dispositivo real.

1.1.2 Similitud

La similitud es el estudio de las condiciones de un prototipo a partir de observaciones realizadas con modelos a escala, es el fundamento de la modelación física. El principio de similitud consiste en aceptar que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno son aplicables a otro fenómeno.

[3] 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, página 17-18.

Por ejemplo, del estudio del comportamiento de orificios que ocurre en un modelo calculado, se pueden obtener conclusiones aplicables a orificios que existen en la naturaleza. Cuando esto es cierto se dice que entre ambos fenómenos hay similitud.

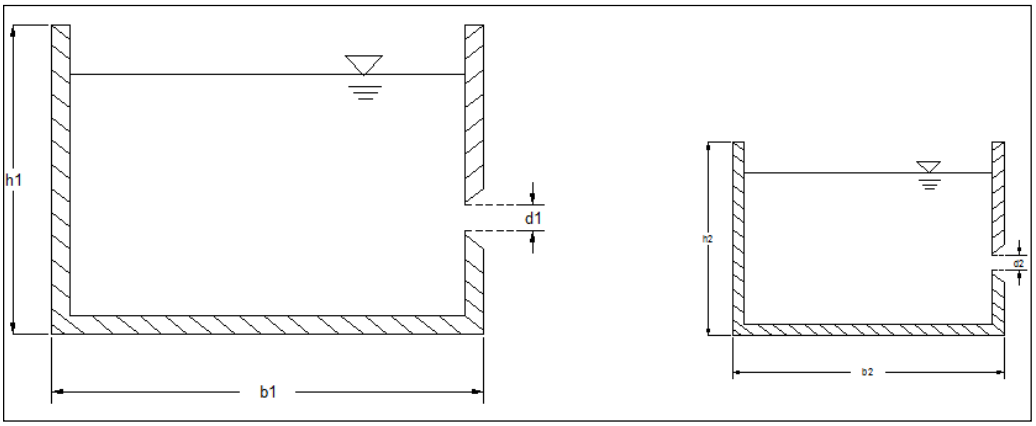
La Hidráulica tiene la gran ventaja de poder representar físicamente, a escala, la mayor parte de sus modelos. Para lo cual se ha desarrollado una disciplina específica que es la Teoría de Modelos, la que consiste básicamente en aceptar el principio de similitud, llamado también de semejanza.

1.1.2.1 Similitud Geométrica

Se considera dos flujos para el derivador de orificios**,** como se representa en la Figura 1, que se designarán como modelo y prototipo. Mientras que el modelo tiene dimensiones menores que el prototipo, este será el que se reproduce en el laboratorio, mientras que el prototipo representa la estructura real por construir.

La similitud geométrica implica, de un modo estricto, que sea igual la relación de todas las longitudes homólogas en los dos sistemas. Esto es, si dentro de los flujos ciertas dimensiones se seleccionan y, además, se designa con el prototipo y con el modelo, la similitud geométrica significará que:

Figura 1 Simulación Geométrica



1.1.2.2 Similitud Cinética

Representan la proporcionalidad en el modelo con el prototipo, con respecto a un movimiento en este caso a la velocidad. Esta se cumple si:

- Los patrones o la trayectoria de las partículas en movimiento son geométricamente similares.

- Las relaciones entre las velocidades de las partículas en dos movimientos es contante, esto se denomina escala de velocidades.

1.1.2.3 Similitud Dinámica

Establece que dos sistemas con fronteras geométricamente iguales tengan patrones de flujo similares, esto implica similitud de fuerzas en instantes de tiempos correspondientes.

Un modelo es dinámicamente similar a un prototipo si se cumple la similitud cinética y además todas las fuerzas dinámicas como inerciales, internas, gravitacionales, elásticas, viscosas, si están en la misma relación o escala en los dos sistemas y si la relación de masas que afecten al movimiento de dos objetos son iguales.

Las condiciones requeridas para la similitud completa se obtienen a partir del segundo principio del movimiento de Newton.

1.1.3 Escala en modelos Hidráulicos

El término escala en modelos hidráulicos hace referencia a la relación constante entre las variables del mismo tipo entre dos estructuras similares. Si las variables son en el prototipo h1 y en el modelo h2, en puntos similares de la estructura, se puede definir la siguiente ecuación para la variable h:

$$E = \frac{h_1}{h_2}$$

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

1.1.4 Determinación de la escala

Primero se debe buscar el criterio de similitud que se adapte mejor al estudio y realización del modelo físico reducido. Para realizar la selección de las escalas se debe tener en cuenta varios factores como:

- Las características de la información.
- Los objetivos de la investigación.
- Tipo de laboratorios en donde va a ser analizada la información.
- Precisión de los instrumentos a utilizarse.
- El espacio disponible adecuado.
- Disponibilidad y capacidad de bombas en la instalación.

A escalas grandes, el modelo resulta ser más parecido a la realidad y obtendremos mejores resultados, pero surge el problema que será más costoso, por otro lado en las escalas pequeñas, pueden generarse errores en el momento de analizar los resultados, ya que existirá menor precisión en las medidas y resultaran difíciles de medir.

El criterio de similitud seleccionado, la determinación del modelo y el tipo de escala son los de mayor importancia para interpretar adecuadamente los resultados del modelo. Debido al carácter hidrodinámico del flujo, se debe evitar dar una escala diferente en el modelo, es decir, debe ser la misma escala en horizontal como en vertical para evitar distorsiones en los resultados.

Tabla 1 Factores de escala

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

Fuente: 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, página 15

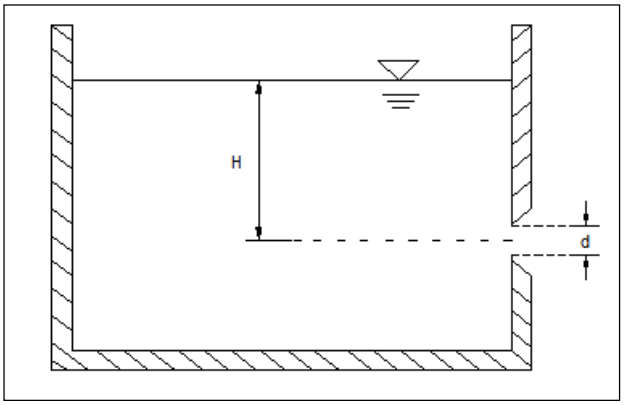
Con la Tabla 1 tenemos la referencia del coeficiente y relación que se debe utilizar para parámetro.

1.1.5 Orificios

Se denomina orificio a una abertura que se realiza en el contorno o pared de un sólido, a través de este se dispersa el fluido que se encuentre en este, al fluido se los conoce como vena líquida o chorro.

Son utilizados para medir el caudal que sale de algún recipiente o pasa a través de una tubería. Cuando el orificio se realiza en un recipiente, este puede ser realizado en una pared del recipiente o al fondo, este orificio es generalmente redondo, como se muestra en la figura 2.

Figura 2 Derivador de tipo orificio



Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, página III.1

1.1.5.1 Clasificación

1.1.5.1.1 Según el ancho de la pared

- Orificios de pared delgada

El espesor de la pared tiene que ser menor que la mitad de la mínima dimensión del orificio, sin exceder su espesor de 4 a 5 cm. También se considerarán orificios en pared delgada, aquellos que estén tallados a bisel.

Es un orificio de pared delgada cuando el único contacto entre el líquido y la pared es alrededor de una arista afilada y e < 1,5 d. Cuando el espesor de la pared es menor que el diámetro e < d no se requiere biselar la pared como la figura 3.a.

Figura 3a Pared delgada e<1.5d

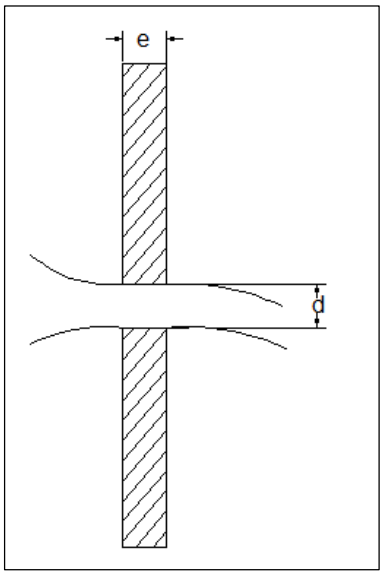
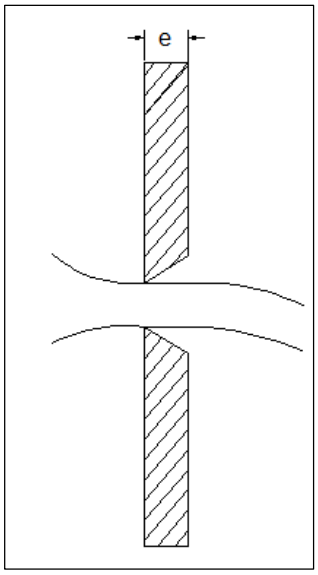


Figura 3b Pared delgada biselada



Fuente: 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, página 52

En donde

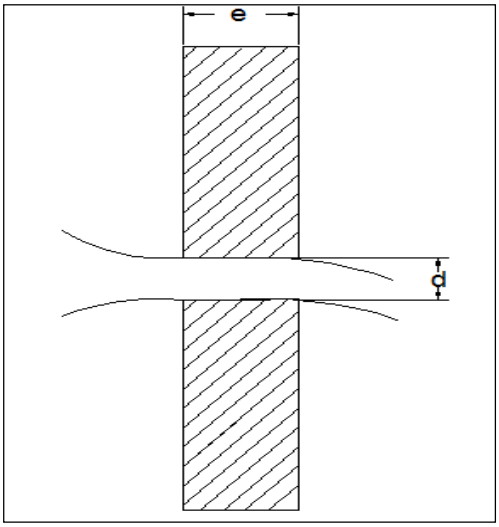
e: espesor de la pared

d: diámetro del orificio

- Orificio de pared gruesa

Sin aristas afiladas presentará adherencia del chorro a la pared del orificio.

Figura 4 Orificio de pared gruesa.



Fuente: 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, página 52

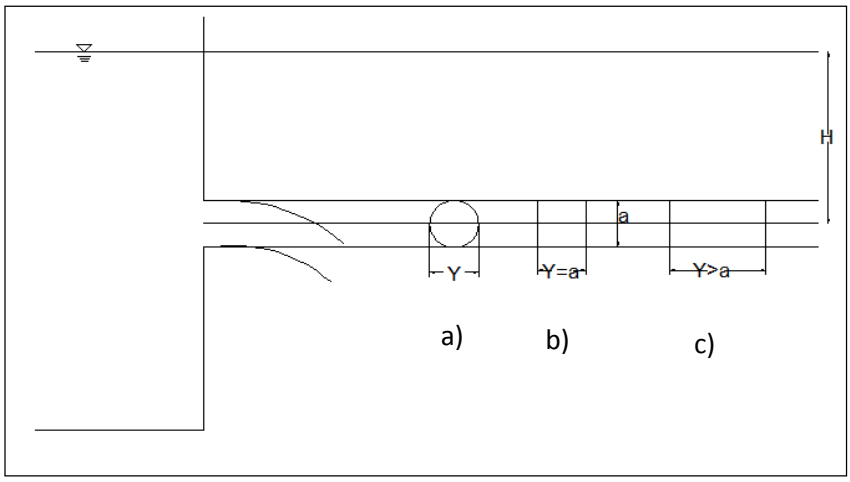
1.1.5.1.2 Según su forma

- Orificios circulares, utiliza una sola dimensión, en este caso el diámetro, como se muestra en la Figura 5a, esta expresado por la letra Y. este tipo de orificio es el más utilizado en los derivadores.

- Orificios cuadrados, de igual manera que el circular tiene una sola dimensión, como se muestra en la Figura 5b, esta expresado con la letra a, siendo este el lado del orificio.

- Orificios rectangulares, contempla dos dimensiones que representan los lados del rectángulo del orificio, como se muestra en la Figura 5c.

Figura 5 Derivador según su forma.



Fuente: 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, página 53

Estas tres formas de orificios son las más típicas.

1.1.5.1.3 Según sus dimensiones relativas

Orificios pequeños Si $d < 1/3H$

Orificios grandes Si $d > 1/3 H$

En donde:

H: profundidad del agua hasta el centro del orificio.

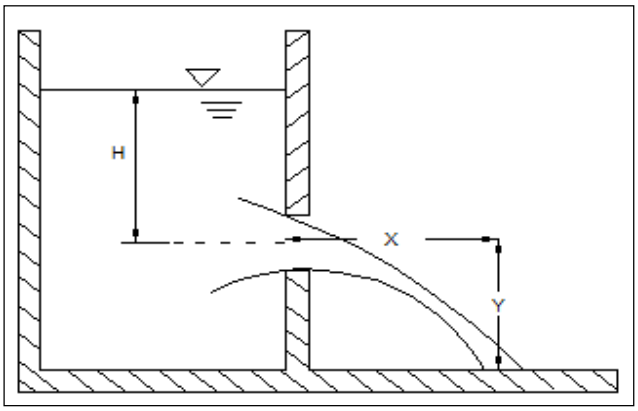
d: diámetro del orificio.

1.1.5.1.4 Según su funcionamiento

- Orificios con descarga libre

Como se observa en la Figura 6, el chorro fluye libremente hacia la atmósfera.

Figura 6 Derivador con descarga libre.

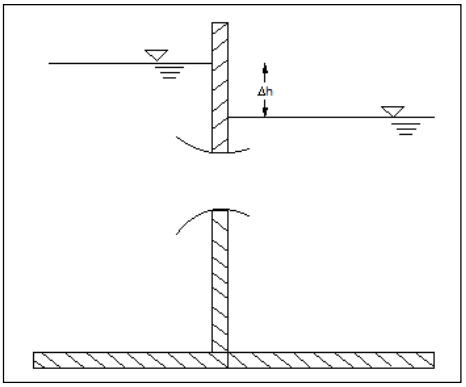


Fuente: Puga María Angélica, A. (2010). Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejército). Recuperado de http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1681, página 53

- Orificios con descarga ahogada

Este tipo de orificio se trata cuando su descarga es a otro tanque y el nivel de agua está por arriba del orificio, en este caso se llama descargada ahogada, este funciona de la misma forma que un orificio libre.[4]

Figura 7 Derivador con descarga ahogada.



Fuente: 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, página 54.

[4] 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, página 51-54.

1.2 Análisis de ecuaciones que intervienen en cálculos

- El caudal de un orificio vienen dado por:

$Q = K*H^m$

En donde:

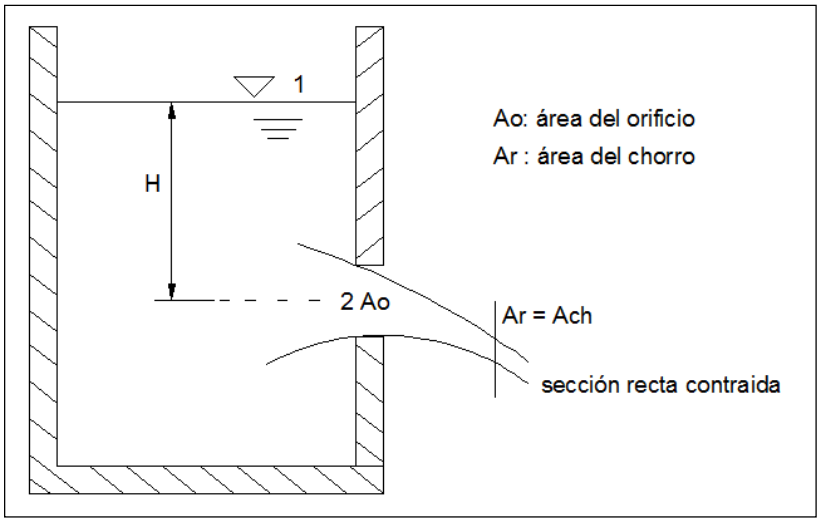
Q: caudal

K: constante característica del orificio

H: carga hidráulica medida desde la superficie hasta el centro del orificio

m: exponente

Figura 8 Orificio de pared biselada.



Fuente: 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, página 55.

Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2 de la figura mostrada tenemos:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} - Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + \Sigma hp$$

Cuando en un estanque libre la velocidad y la presión relativa son nulas ($V_1 = 0$, $P_1 = 0$), si el chorro en 2 sale a la atmósfera $P_2 = 0$, y si despreciamos las pérdidas hp, se tendría que la velocidad en teoría sería:

$$Vt = \sqrt{2\,gH}$$

- **Coeficientes de flujo**

Coeficiente de descarga (Cd)

El coeficiente de descarga es la relación que existe entre el caudal real y caudal teórico que pasa a través del orificio.

$$Cd = \frac{Qreal}{Qteórico} = \frac{Vr * Ach}{Vt * Ao}$$

$$Q = Cd * Ao * \sqrt{2gH} \rightarrow Cd = \frac{Q}{Ao\sqrt{2gH}}$$

Q: caudal
Vr: velocidad real
Ach: área del chorro o real
Vt: velocidad teórica
Ao: área de orificio o dispositivo
H: carga hidráulica

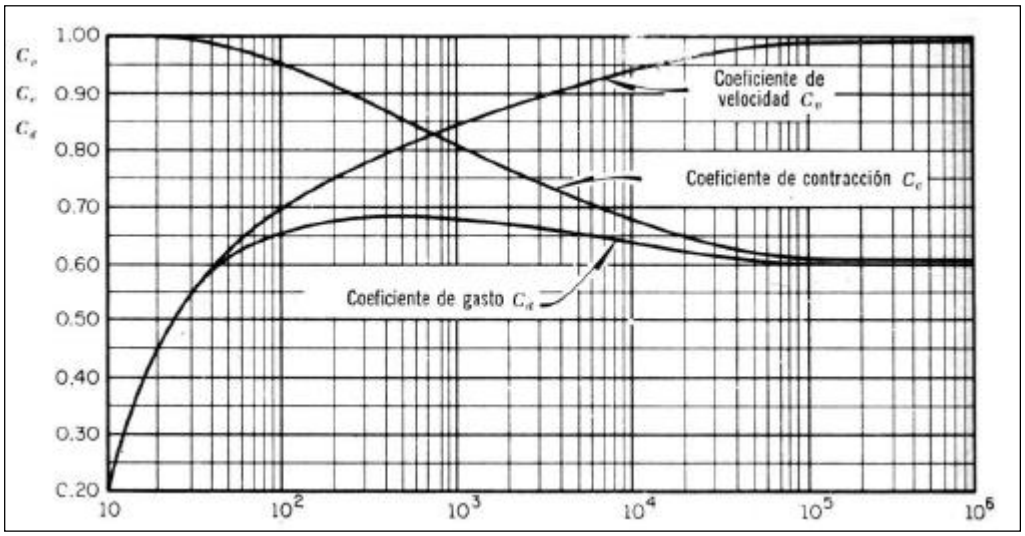
- **Coeficiente de contracción (Cc)**

El coeficiente de contracción es la relación que existe entre el área de la sección recta contraída del chorro y el área del orificio por el cual fluye.

$$Cc = \frac{Ach}{Ao}$$

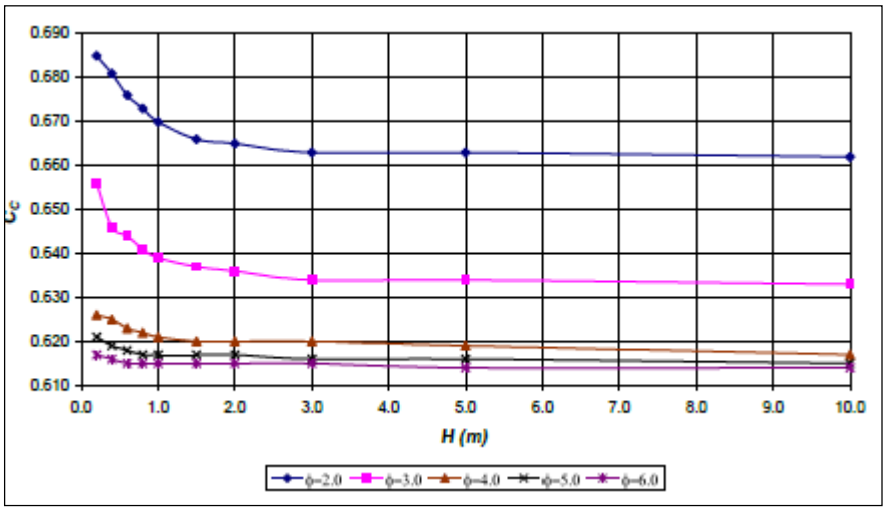
$$Cd = Cv * Cc$$

Tabla 2 Variación de los coeficientes de descarga (Cd), velocidad (Cv), y contracción (Cc), con el número de Reynolds de un orificio circular.



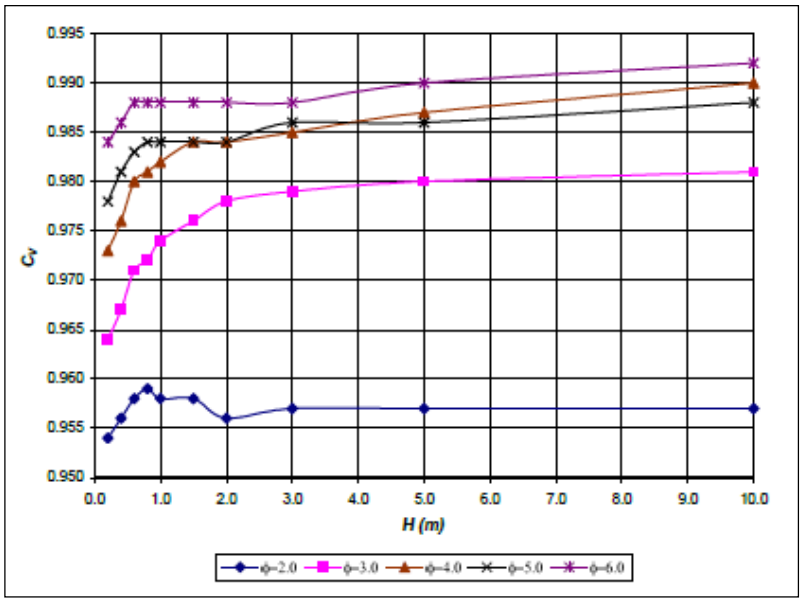
Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, Tomado de Sotelo, G. 1982, página III.7.

Tabla 3 Variación del coeficiente de contracción en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø).



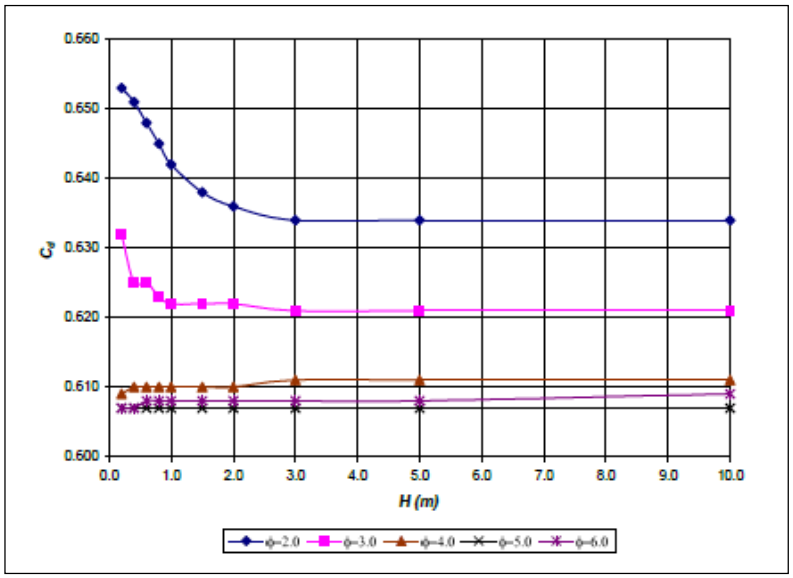
Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, Modificado de Azevedo, N. y Acosta, A., 1976, página III.7.

Tabla 4 Nos indica la variación del coeficiente de velocidad (Cv) en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø)



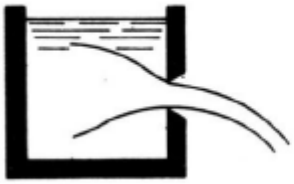
Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, Modificado de Azevedo, N. y Acosta, A., 1976, página III.8.

Tabla 5 Variación del coeficiente de descarga en orificios circulares para diferentes diámetros (Ø)



Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, Modificado de Azevedo, N. y Acosta, A., 1976, página III.8.

Tabla 6 Coeficiente de descarga medios

Casos	*Cc*	*Cv*	*Cd*	*Observaciones*
	0.62	0.985	0.61	Valores medios para orificios comunes de pared delgada.

Fuente: Universidad de Cauca (2012), Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, Azevedo N., J.M. y Acosta A., G. 1976, página III.9.

- Cálculo de caudal de un orificio

Para determinar el caudal real en un orificio consideraremos la velocidad real y el área real, por lo que se considera los coeficientes de velocidad Cv y de contracción Cc.

$$Qr = Vr * Ar$$

$$Vr = Cv * Vt$$

$$Ar = Ach = Cc * Ao$$

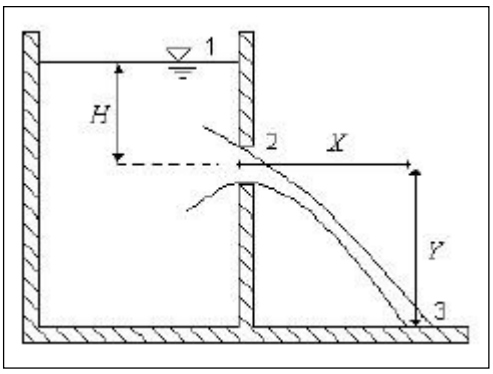
$$Qr = Cv * Cc * Ao * Vt \Longrightarrow Qr = Cd * Ao * Vt$$

$$Qr = Cd * Ao * \sqrt{2gH} \quad (1)$$

- Determinación del coeficiente de velocidad (Cv)

Si despreciamos la resistencia del aire, podemos calcular la velocidad real del chorro teniendo en cuenta las coordenadas rectangulares de la trayectoria (X , Y) como se observa en la figura 9.

Figura 9 Trayectoria parabólica



Fuente: 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, página 53.

Por lo tanto la velocidad horizontal en cualquier punto de su trayectoria vendrá dado por:

$$Vh = \frac{X}{t}$$

Vh: velocidad horizontal

X: distancia horizontal del punto a partir de la sección de máxima contracción

t: tiempo que tarda la partícula en desplazarse

Si tomamos en cuenta que la distancia vertical recorrida por una partícula bajo la acción de la gravedad en el mismo tiempo (t) y con velocidad inicial (Vo) igual a cero, tenemos:

$$Y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2Y}{g}}$$

Si tomamos en cuenta que Vh = Vr

$$Vr = Cv * Vt$$

$$Cv = \frac{Vr}{Vt}$$

$$Vr = \frac{X}{\sqrt{\frac{2Y}{g}}}$$

Tomando en cuenta que $Vt = \sqrt{2gH}, obtenemos$

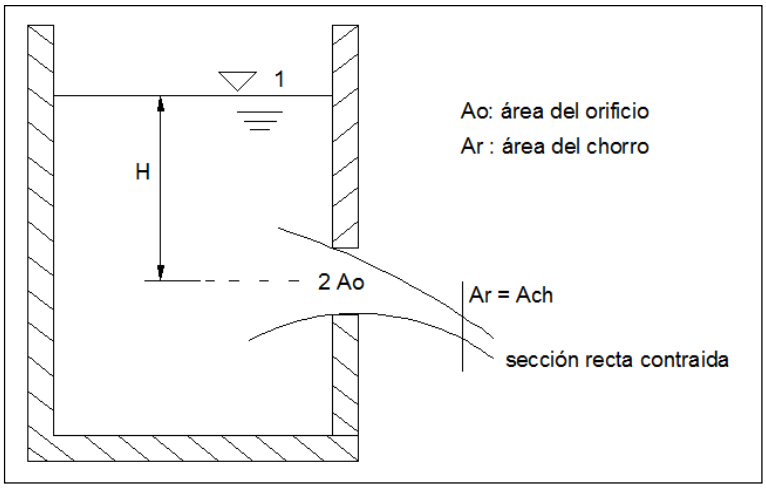
$$Cv = \frac{X}{2\sqrt{YH}}$$

Si medimos (H, X y Y) calculamos el Cv que corresponde.

- Cálculo de pérdida de carga (hp)

Si revisamos la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2 de la siguiente figura, obtendremos:

Figura 10 Derivador con orifico.



Fuente: 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, página 53.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + hp$$

$$Z_1 - Z_2 = H = \frac{{V_2}^2}{2g} + hp$$

$$hp = H - \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Pero H es función de V y Cv, por lo tanto:

$$Cv = \frac{Vr}{Vt} = \frac{V_2}{\sqrt{2gH}}$$

$Cv^2 = \frac{{V_2}^2}{2gH}$y

$$H = \frac{1}{Cv^2} * \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Reemplazando en la ecuación de pérdidas:

$$hp = \frac{1}{Cv^2} * \frac{{V_2}^2}{2g} - \frac{{V_2}^2}{2g}$$

$$hp = \frac{{V_2}^2}{2g}\left(\frac{1}{Cv^2} - 1\right)$$

Sabiendo que: Ko = $\left(\frac{1}{\mathrm{Cv}^2} - 1\right)$

$$hp = \frac{{V_2}^2}{2g} * Ko$$

- **Fórmulas utilizadas para el desarrollo del modelo**

$$Q = Cd * A * \sqrt{2gh}$$

En donde:

Q: Descarga, caudal o gasto

Cd: Coeficiente efectivo de descarga

A: Área del contenedor

g: aceleración de la gravedad

h: altura de carga efectiva

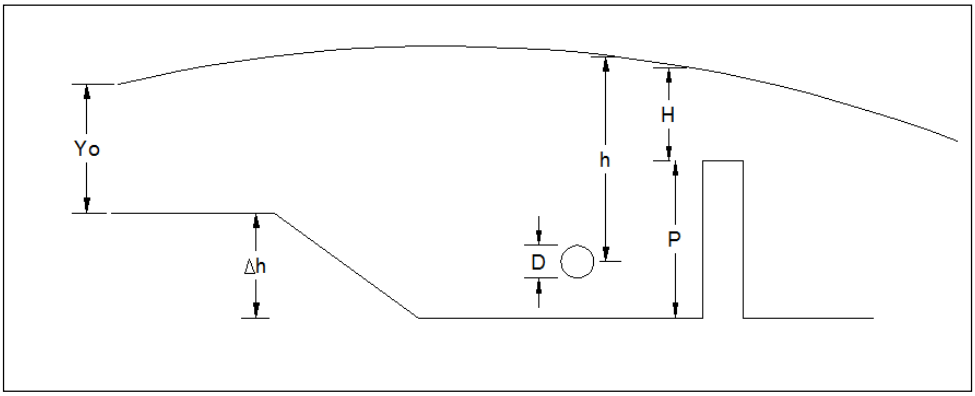
$$Cd = constante = 0{,}61$$

$$A = a^2 \rightarrow Si\ el\ orificio\ es\ cuadrado$$
$$A = a * b \rightarrow Si\ el\ orificio\ es\ rectangular$$
$$A = \pi r^2 \rightarrow Si\ el\ orificio\ es\ circular$$

$$g = constante = 9{,}77\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$h = P + H - 1{,}5a$$
$$h \geq 10a$$
$$P \Rightarrow depende\ de\ a$$

Figura 11 Derivador tipo orificio con sus dimensiones.



CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS EN CAMPO

2.1 Evaluación de divisores actuales en la ciudad

La empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable y alcantarillado y saneamiento de cuenca (ETAPA), realiza las siguientes funciones:

- Protección y conservación de las cuencas hidrográficas.
- Prevención de la contaminación del agua.
- Control de los efluentes domésticos e industriales.
- El manejo de los sistemas de depuración de aguas residuales.

Todas estas funciones deben abastecer a todo el cantón Cuenca.

En el último punto pondremos énfasis ya que los derivadores están presentes dentro del desarrollo de los sistemas de alcantarillados y plantas de depuración de aguas residuales. En ETAPA EP plantearon un plan maestro para el sector de saneamiento del cantón, este implica:

- Mantener y ampliar la cobertura del sistema de alcantarillado, interceptores, emisores finales y plantas de depuración de aguas residuales, todo esto con tiempo de retorno al año 2030.

- Construir interceptores para conducir las aguas residuales hacia sistemas centralizados de tratamiento y así eliminar al máximo las descargas directas de alcantarillado.

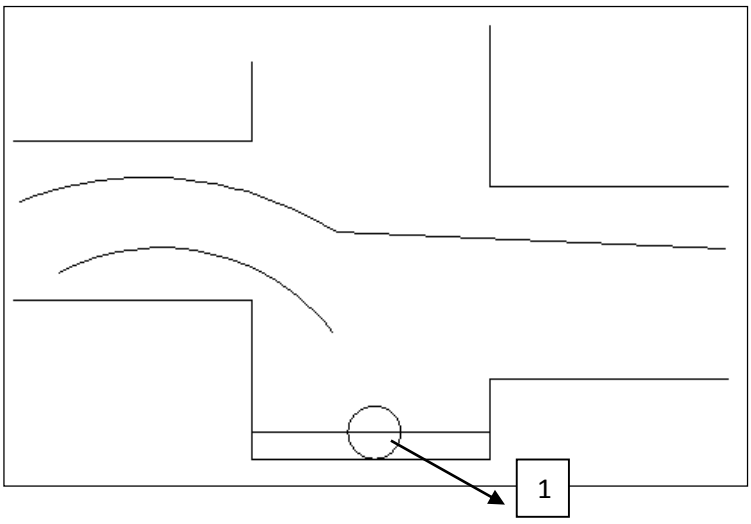
2.1.1 Estructuras de derivación con orificio en la ciudad de Cuenca

El funcionamiento del derivador en el punto 1 consiste en derivar mediante una tubería de diámetro pequeño, el caudal sanitario afluente hacia el interceptor respectivo.

En el punto 2, la tubería principal se coloca en una cota ligeramente superior a la de la clave de la tubería de derivación del agua residual, de esta manera evitando en tiempos secos la descarga directa hacia el punto 3.

El punto 3 ayuda a la descarga durante las lluvias, puesto que en este aumenta el caudal de aguas combinas, siendo estas descargadas a los ríos o quebradas.

Figura 12 Estructura de derivación de agua residual y desborde de escorrentía pluvial



Fuente: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, página 5.

Como pudimos ver los derivadores con orificio diseñados para la ciudad tienen un funcionamiento especificado, el cual cumple de manera exitosa. [5]

2.2 Obtención de datos

La obtención de caudales, población, densidades y demás datos importantes para el análisis y realización de este estudio, se lo realizo con la ayuda de la empresa ETAPA y el programa informático ArcGis.

La empresa ETAPA dispuso varias tablas del diseño de los interceptores del cantón Cuenca, los datos proporcionados fueron las áreas de aporte, sus distribuciones y las densidades poblacionales de todos los sectores a estudiar. Mediante el programa ArcGis, que es el conjunto de herramientas de sistemas de información geográfica, se obtuvo de igual manera las densidades poblaciones del sector, gracias al conocimiento de los lugares, distribución y aéreas de diseño de los interceptores, estos datos se pudieron obtener de acuerdo a los entregados de la base de datos de la Universidad del Azuay. Con estas herramientas se pudo obtener los caudales de los interceptores, los mismos que servirán para el análisis y diseño del modelo físico.

- Ver referencia en Anexo 1.
- Ver referencia en Anexo 2.

2.3 Realización de un pre dimensionamiento de modelos a escala

A continuación se describe las fórmulas y los cálculos que intervienen para la realización del diseño del modelo a escala.

2.3.1 Cálculo del caudal y velocidad a sección llena:

Con los datos principales se inicia el diseño del derivador con orificio, se comienza calculando el caudal y velocidad del agua a la llegada del derivador, trabajando la tubería de conducción ha sección llena.

[5] Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, pág. 5, 6, 28 y29.

Tabla 7 Datos y Resultados

DATOS		RESULTADOS	
n=	0,009	V lleno(m/s) =	1,01
S (%) =	1	Q lleno(m^3/s) =	0,0096
D(mm) =	110	Q lleno(l/s) =	9,62

Fórmulas Utilizadas:

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

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

$$Q = V * \pi \frac{D^2}{4}$$

En donde:

n= coeficiente de Kutter, rugosidad del material, este valor es adimensional.

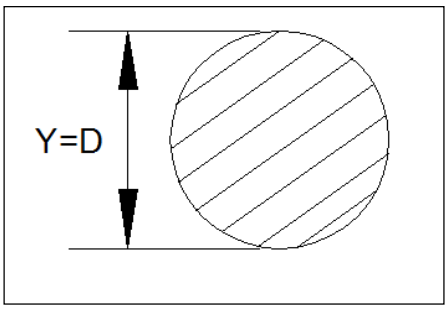
S = pendiente, expresada en porcentaje (%).

D= diámetro de llegada de la tubería del interceptor.

R = radio hidráulico

Gráfico:

Figura 13 Orificio trabajando a sección llena.



2.3.2 Cálculo para la relación y/d mín = 0,1

La relación y/d es la relación de la altura de agua con respecto al diámetro de la tubería, en este caso es mínimo = 0.1, representando este el periodo seco en el derivador, con esta relación se procede a buscar el valor del caudal y velocidad del mismo.

2.3.2.1 Cálculo del coeficiente A mediante la relación y/d

$$\frac{y}{d} = -3{,}683A^6 + 14{,}0631A^5 - 20{,}8398A^4 + 15{,}584A^3 - 6{,}4028A^2 + 2{,}1009A + 0{,}0871$$

Reemplazando el valor mínimo de y/d =0.1 obtenemos el valor de A

$$0{,}1 = -3{,}683A^6 + 14{,}0631A^5 - 20{,}8398A^4 + 15{,}584A^3 - 6{,}4028A^2 + 2{,}1009A + 0{,}0871$$

$$\boldsymbol{A = 0.006258}$$

2.3.2.2 Cálculo de la velocidad, caudal y altura de agua para la relación y/d mín =0.1

Tabla 8 Datos y Resultados

DATOS		**RESULTADOS**	
A cal=	0.006258	v (m/s)=	0,32168
D(mm) =	110	q (m^3/s)=	0,000060
y/d mín=	0,1	q (l/s)=	0,0602
V lleno(m/s) =	1,01	Y (m)=	0,011
Q lleno(m^3/s)=	0,009620		

Fórmulas Utilizadas:

$$\frac{v}{V} = -8{,}2002A^6 + 29{,}827A^5 - 43{,}494A^4 + 32{,}383A^3 - 13{,}221A^2 + 3{,}4484A + 0{,}2967$$

$$q = A * Q_{lleno}$$

$$Y = D * \frac{y}{d}$$

En donde:

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

D= diámetro de llegada de la tubería del interceptor.

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

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

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

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

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

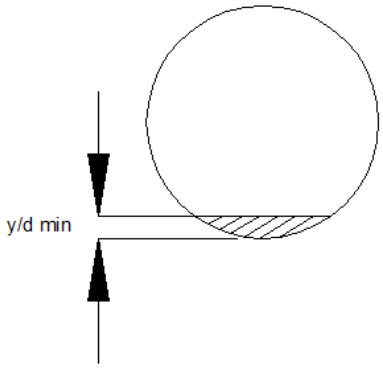
q/Q= caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena.

Q (m^3/s) =caudal a sección llena.

q (m^3/s) =caudal a sección parcialmente llena.

Gráfico:

Figura 14 Orificio trabajando a y/d mín



2.3.3 Cálculo para la relación y/d máx=0,5

La relación y/d es la relación de la altura de agua con respecto al diámetro de la tubería, en este caso es máximo=0.5, representando este el periodo de lluvia en el derivador, con esta relación se procede a buscar el valor del caudal y velocidad del mismo.

2.3.3.1 Cálculo del coeficiente A mediante la relación y/d

$$\frac{y}{d} = -3{,}683A^6 + 14{,}0631A^5 - 20{,}8398A^4 + 15{,}584A^3 - 6{,}4028A^2 + 2{,}1009A + 0{,}0871$$

Reemplazando el valor mínimo de y/d =0.7 obtenemos el valor de A

$$0{,}5 = -3{,}683A^6 + 14{,}0631A^5 - 20{,}8398A^4 + 15{,}584A^3 - 6{,}4028A^2 + 2{,}1009A + 0{,}0871$$

$$\boldsymbol{A = 0{,}4059}$$

2.3.3.2 Cálculo de la velocidad, caudal y altura de agua para la relación y/d máx=0,5

Tabla 9 Datos y Resultados

DATOS		RESULTADOS	
A cal=	0,4059	v(m/s) =	0,8049
D(mm) =	110	q (m^3/s)=	0,00391
y/d máx	0,5	q (l/s)=	3,91
V lleno(m/s) =	1,01	y(m) =	0,055
Q lleno(m^3/s)=	0,0096		

Fórmulas Utilizadas:

$$\frac{v}{V} = -8{,}2002A^6 + 29{,}827A^5 - 43{,}494A^4 + 32{,}383A^3 - 13{,}221A^2 + 3{,}4484A + 0{,}2967$$

$$q = A * Q_{lleno}$$

$$Y = D * \frac{y}{d}$$

En donde:

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

D= diámetro de llegada de la tubería del interceptor.

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

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

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

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

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

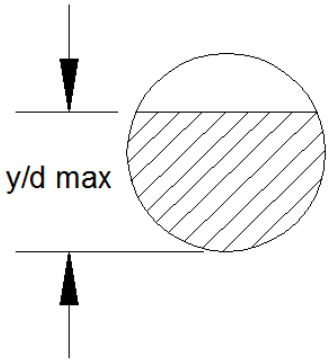
q/Q= caudal trabajando a sección parcialmente llena y trabajando a sección llena.

Q (m^3/s) =caudal a sección llena.

q (m^3/s) =caudal a sección parcialmente llena.

Gráfico:

Figura 15 Orificio trabajando a y/d máx



2.3.4 Cálculo del derivador tipo orificio

2.3.4.1 Derivador tipo orificio rectangular

Tabla 10 Datos y Resultados

DATOS		RESULTADOS		
M =	2	Orificio rectangular		
q (m^3/s)	0,000060	h impuesta	0,01m	1cm
q (l/s)	0,060202	b =	0,030m	3,01cm

Fórmulas Utilizadas:

$$b = \frac{q}{M * h_{impuesta}{}^{3/2}}$$

En donde:

q (m^3/s) =caudal a sección parcialmente llena de la relación y/d mín= 0,1.

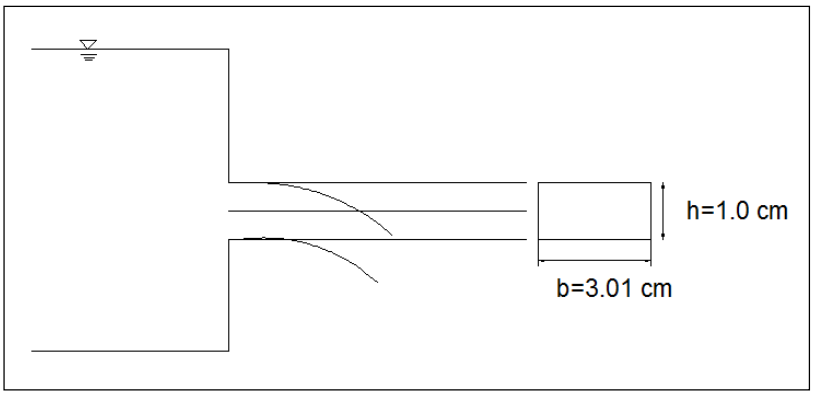
b (cm) = ancho del orificio rectangular.

$h_{impuesta}$(cm) = altura del orificio rectangular.

M=valor adimensional.

Gráfico:

Figura 16 Derivador tipo orificio rectangular



2.3.4.2 Derivador tipo orificio cuadrado

Tabla 11 Datos y Resultados

DATOS		RESULTADOS		
M =	2	Orificio cuadrado		
q (m^3/s)	0,000060	h impuesta	0,0155m	1,55cm
q (l/s)	0,060202	b =	0,016m	1,55cm

Fórmulas Utilizadas:

$$b = \frac{q}{M * h_{impuesta}{}^{3/2}}$$

En donde:

q (m^3/s) =caudal a sección parcialmente llena de la relación y/d mín= 0,1.

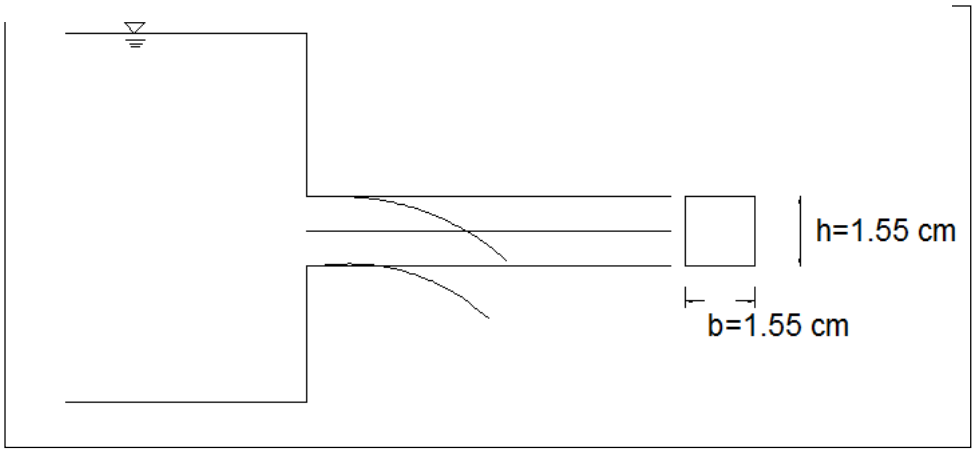
b (cm) = ancho del orificio rectangular.

$h_{impuesta}$(cm) = altura del orificio rectangular.

M= valor adimensional.

Gráfico:

Figura 17 Derivador tipo orificio cuadrado

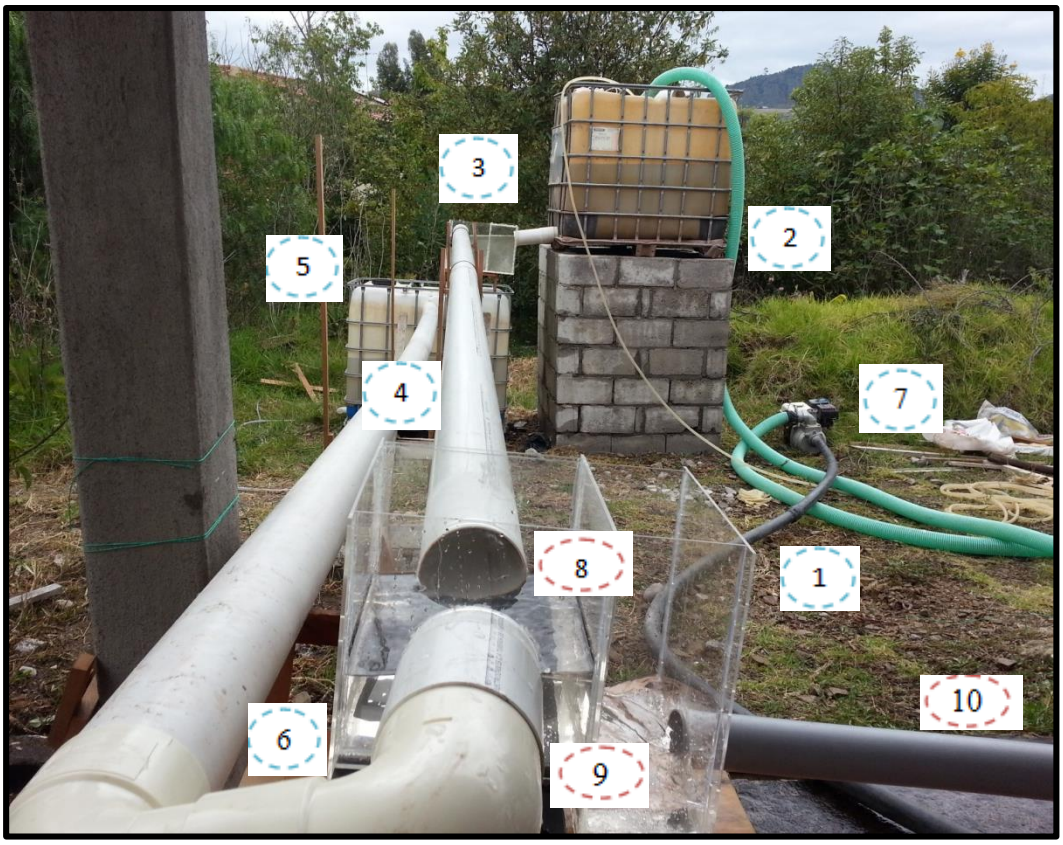


CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE MODELOS HIDRÁULICOS

3.1 Construcción de los modelos a escala

Figura 18 Funcionamiento de Derivador



La selección de los materiales utilizados se la realizó en base a la disponibilidad en el mercado, a la durabilidad y al fácil manejo de cada uno de ellos. Se utilizó tubería de pvc, bloques de hormigón, recipientes de silicona, tanque de reserva, etc.

La escala utilizada para la realización del modelo es de 1:6

3.1.1 Descripción de cada uno de los puntos

Punto 1 Nivelación de Terreno:

Para la realización del modelo a escala se contó con un terreno amplio, el mismo que fue nivelado para la construcción de la misma, la nivelación se realizó con el nivelador topográfico para obtener mejores resultados en las pendientes requeridas.

Figura 19 Nivelación del Terreno

Punto 2 Construcción de la base y Tanque de Abastecimiento:

Después de la nivelación se procede a la construcción de la base de bloque de hormigón, con las medias de 1,20 metros x 1,00 metros. Esta base sirve de soporte del tanque de abastecimiento principal, el cual tiene una capacidad de 1 m^3y ayuda a tener una altura mayor para distribuir el agua a gravedad en todo el sistema.

Figura 20 Base y tanque de agua

Punto 3 Vertedero Regulador:

Una vez colocado el tanque de abastecimiento, se construyó el vertedero regulador, el cual ayuda a controlar el caudal y la velocidad de la salida del primer tanque al vertedero, este se construyó del material de silicona ya que es un material manipulable. Va conectado con el tanque principal distribuidor y a la tubería de conducción.

Figura 22 Conexión con el sistema

Figura 21 Vertedero Regulador

Punto 4 Tubería de conducción:

Se realiza la colocación de la tubería, se utilizó dos tubos de pvc, de diámetro de 110mm, con una longitud de 6 metros y a una pendiente del 1%. El primer tubo va conectado con los vertederos para la circulación del agua y funcionamiento del derivador, el segundo va conectado al vertedero secundario y al tanque de reserva para la recirculación de agua.

A la tubería se la coloca sobre bases de madera para obtener la circulación y pendientes necesarias, para esto se toman niveles desde la salida del tanque de abastecimiento y así poder ir calculando de una forma más exacta la pendiente necesaria de la tubería.

Figura 24 Diámetro de la tubería

Figura 23 Colocación de la tubería

Figura 25 Tubería de conducción.

Punto 5 Tanque de Reserva:

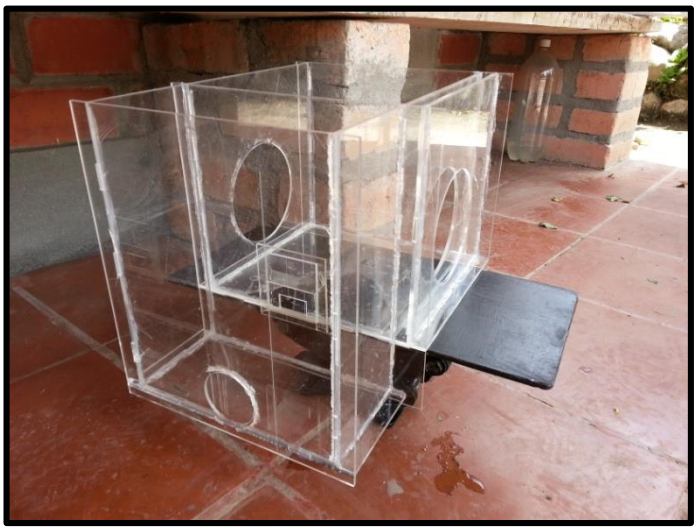
Se coloca el segundo tanque de agua de 1 m^3 de capacidad, el cual se utiliza de reserva y recirculación del agua en el sistema, como ya se indicó antes este va conectado a la tubería de circulación.

Figura 26 Tanque de reserva.

Punto 6 Gata hidráulica:

Se utilizó una gata hidráulica para colocar en el nivel exacto la maqueta y cumplir con la pendiente del 1%, la maqueta fue levantada 12 cm desde su base.

Figura 27 Gata hidráulica levantado la maqueta



Punto 7 Bomba de abastecimiento:

Esta bomba tiene una capacidad de 5 HP, sirve de ayuda para la recirculación del agua y poder abastecer al tanque principal de abastecimiento.

Figura 28 Bomba de abastecimiento

3.2 Realizar pruebas de laboratorio

Punto 8 Salida de Caudal:

Se realiza la salida del caudal por el orificio practico, una vez que se ha comprobado que todos los elementos descritos en los pasos anteriores estén cumpliendo con los requerimientos, de esta manera se realizan las pruebas en las diferentes lecturas de caudales para cada altura de agua, para esto se incrementa un 10% la altura del agua a la entrada del derivador.

Los datos tomados se especificaran en el capítulo 4, de tabulación y conclusiones de los resultados obtenidos en el modelo a escala.

Figura 29 Oficio con marcas

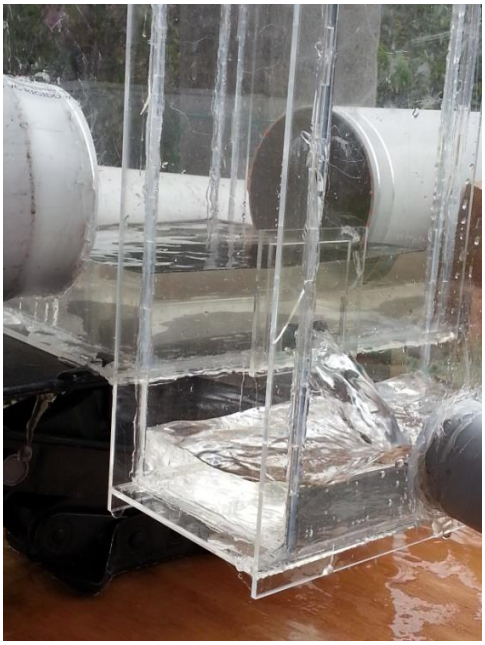
Figura 30 Oficio con marcas

Figura 31 Salida del caudal por el orifico practico.

Punto 9 Derivador tipo orificio:

Sea realiza la construcción e instalación para el funcionamiento del derivador de tipo orifico, su forma es rectangular, la misa que nos ayuda a conocer el porcentaje del caudal total que será evacuara, en el tiempo y velocidad respectiva, en cada uno de los niveles mencionados en el punto anterior.

Figura 32 Funcionamiento del derivador tipo orifico.



Punto 10 Tubería de salida del caudal:

Se coloca la tubería final para calcular el caudal de salida y poder realizar las conclusiones y comparaciones con el funcionamiento real de los derivadores en la ciudad de Cuenca.

Figura 33 Tubería de salida del caudal.

Figura 34 Evacuación final del caudal.

CAPÍTULO 4

TRATAMIENTO ESTADISTICO Y CONCLUSIONES

4.1 Tabulación de datos:

4.1.1 Niveles de toma de datos:

- **Datos de Entrada**

Tabla 12.-Lecturas de tiempo y volumen del caudal de ingreso.

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)	V (ml)
2,4	0,8	0,07	7,12	1000	7,21	1000	7,08	1000	4,55	1000
2,6	1,1	0,10	4,53	1000	4,55	1000	4,57	1000	4,55	1000
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

- **Datos de Salida**

Tabla 13 Lecturas de tiempo y volumen del caudal derivado.

CAUDAL DERIVADO										
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)	V (ml)
2,4	0,8	0,07	7,12	1000,00	7,21	1000,00	7,08	1000,00	7,14	1000,00
2,6	1,1	0,10	6,80	1000,00	6,75	1000,00	6,71	1000,00	6,75	1000,00
3,1	1,5	0,14	6,27	1100,00	6,23	1100,00	6,19	1100,00	6,23	1100,00
4,4	2,2	0,20	5,28	1100,00	5,17	1100,00	5,21	1100,00	5,22	1100,00
5,1	2,5	0,23	8,80	2000,00	8,76	2000,00	8,82	2000,00	8,79	2000,00
7	3,3	0,30	6,80	2000,00	6,74	2000,00	6,77	2000,00	6,77	2000,00
7,4	3,5	0,32	6,22	2000,00	6,18	2000,00	6,23	2000,00	6,21	2000,00
9,6	4,4	0,40	4,56	2000,00	4,52	2000,00	4,60	2000,00	4,56	2000,00
9,8	4,5	0,41	4,42	2000,00	4,48	2000,00	4,51	2000,00	4,47	2000,00
11	5,5	0,50	3,69	2000,00	3,82	2000,00	3,72	2000,00	3,74	2000,00

4.1.2 Caudales derivados:

- **Datos de Entrada**

Tabla 14 Lecturas del caudal de entrada al derivador.

ALTURAS		RELACIÓN	CAUDALES			PROMEDIO
ENTRADA	SALIDA	y/d	Q1 (ml/s)	Q2 (ml/s)	Q3 (ml/s)	Q (ml/s)
2,40	0,80	0,07	140,45	138,70	141,24	140,13
2,6	1,1	0,10	220,75	219,78	218,82	219,78
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

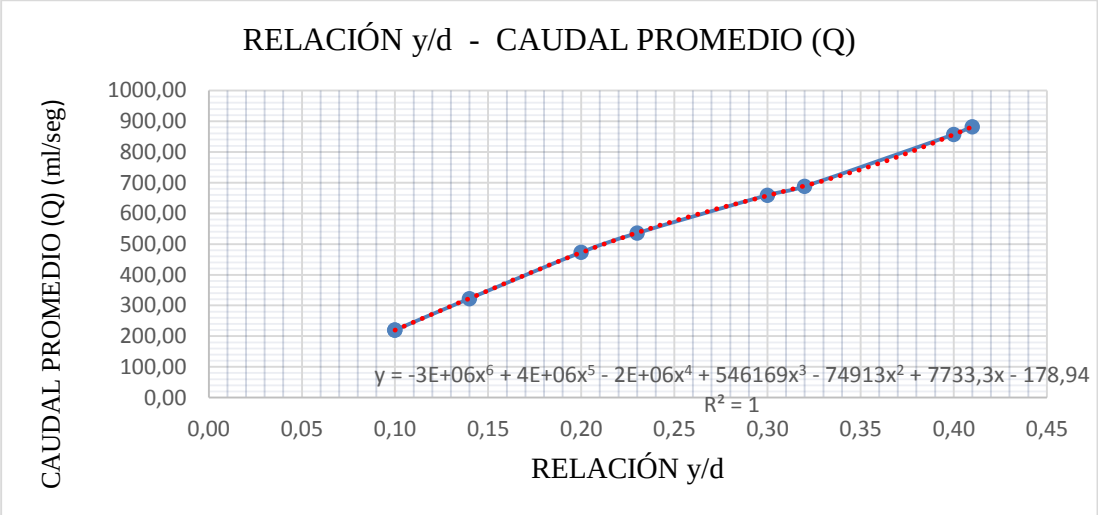
- **Relación y/d – Caudal (Q)**

RELACIÓN Y/D	PROMEDIO Q (ml/s)
0,07	140,13
0,10	219,78
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 15.- Relación y/d- Caudal de entrada

- **Representación Gráfica**

Figura 35 Relación y/d- Caudal de entrada Promedio (Q)



- **Datos de Salida**

Tabla 16 Lecturas del caudal de salida del derivador.

ALTURAS		RELACIÓN	CAUDALES			PROMEDIO
ENTRADA	SALIDA	y/d	Q1 (ml/s)	Q2 (ml/s)	Q3 (ml/s)	Q (ml/s)
2,4	0,8	0,07	140,45	138,70	141,24	140,13
2,6	1,1	0,10	147,06	148,15	149,03	148,08
3,1	1,5	0,14	175,44	176,57	177,71	176,57
4,4	2,2	0,20	208,33	212,77	211,13	210,74
5,1	2,5	0,23	227,27	228,31	226,76	227,45
7	3,3	0,30	294,12	296,74	295,42	295,42
7,4	3,5	0,32	321,54	323,62	321,03	322,07
9,6	4,4	0,40	438,60	442,48	434,78	438,62
9,8	4,5	0,41	452,49	446,43	443,46	447,46
11	5,5	0,50	542,01	523,56	537,63	534,40

- **Relación y/d – Caudal (Q)**

Tabla 17 Relación y/d- Caudal de salida

RELACIÓN	PROMEDIO
Y/D	Q (ml/s)
0,07	140,13
0,10	148,08
0,14	176,57
0,20	213,50
0,23	245,70
0,30	310,14
0,32	324,07
0,40	422,18
0,41	435,36
0,50	534,40

- **Representación Gráfica**

Figura 36 Relación y/d del caudal de salida promedio

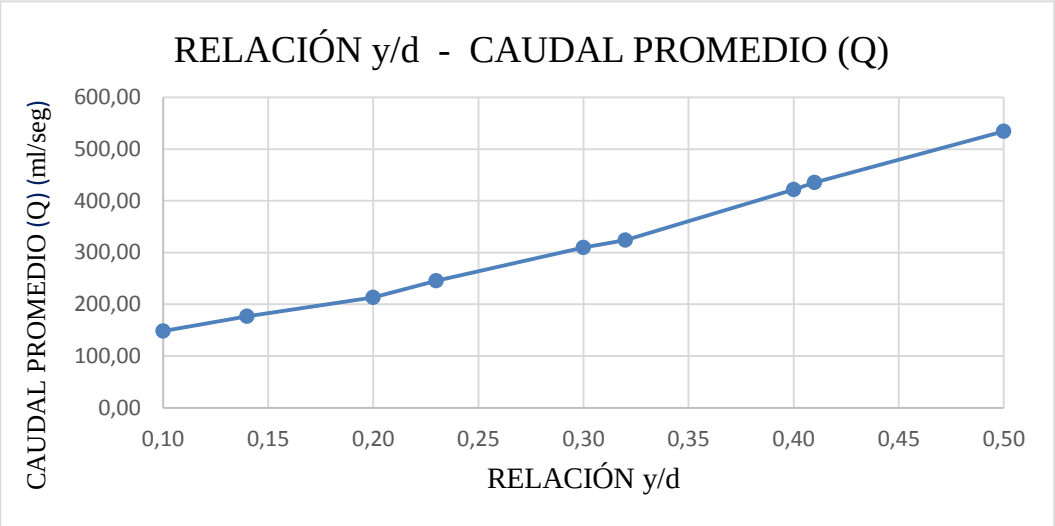
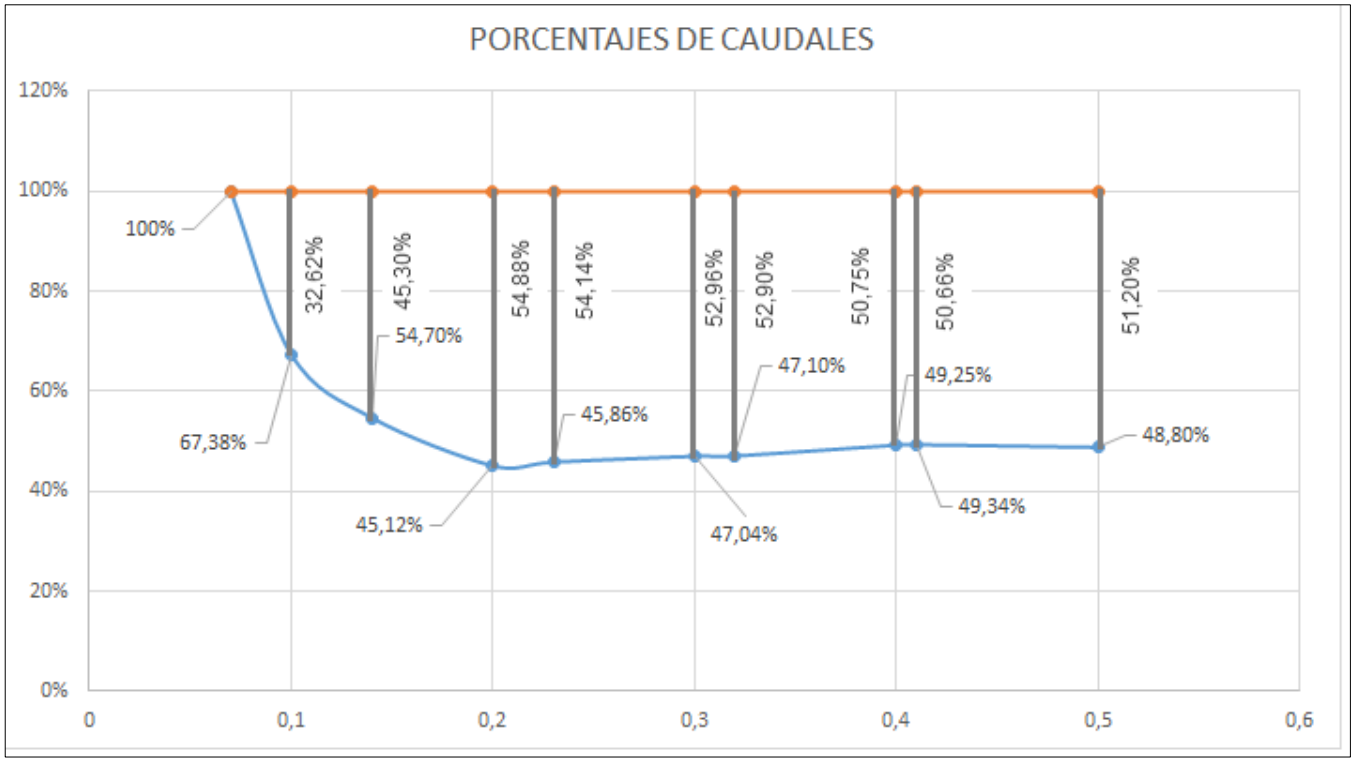


Tabla 18 Cálculo de porcentaje de caudal derivado y de salida

RELACIÓN	PROMEDIO CAUDALES DE ENTRADA	PROMEDIO CAUDALES DERIVADOS	DIFERENCIA	PORCENTAJE DE CAULDAL DERIVADO	PORCENTAJE DE CAULDAL DE SALIDA	SUMATORIA
y/d	Q (ml/s)	Q (ml/s)	Q (ml/s)	%	%	%
0,07	140,13	140,13	0	100%	0,00%	100%
0,10	219,78	148,08	71,70	67,38%	32,62%	100%
0,14	322,80	176,57	146,23	54,70%	45,30%	100%
0,20	473,20	213,50	259,70	45,12%	54,88%	100%
0,23	535,72	245,70	290,02	45,86%	54,14%	100%
0,30	659,35	310,14	349,21	47,04%	52,96%	100%
0,32	688,08	324,07	364,01	47,10%	52,90%	100%
0,40	857,16	422,18	434,98	49,25%	50,75%	100%
0,41	882,37	435,36	447,01	49,34%	50,66%	100%
0,50	1095,01	534,40	560,61	48,80%	51,20%	100%

Figura 37 Porcentajes de caudales derivados y caudales de salida con respecto a la relación y/d



Conclusiones

1. La realización de un modelo a escala debe ser correcto y lo más cercano a la realidad, en la ejecución de este proyecto se ha tenido ajustes en la maqueta para poder alcanzar una buena operación y manejo de los resultados.

2. A partir de las medidas realizadas, en el modelo, de los tiempos y volúmenes se obtuvieron caudales promedios los cuales se relacionaron con la altura del flujo aguas arriba, tabulada mediante la relación y/d, con el cual se ha generado las figuras 18 y 19, las cuales muestran que el derivador construido se comporta de acuerdo a las ecuaciones teóricas utilizadas para su dimensionamiento.

3. En la figuras 18 y 19 se observa cómo al aumentar la relación y/d, aumenta también el caudal derivado e ingresado; El incremento de la proporción de derivación, cuyo valor inicial corresponde a una relación y/d=0.1, como se puede observar sigue una línea tendencia de tipo potencial, lo cual es coherente con las ecuaciones encontradas en la bibliografía respecto al funcionamiento de orificios.

4. En la tabla 17 se obtuvo, para el modelo construido, la variación correspondiente a la proporción del caudal derivado contra la relación y/d del tubo aguas arriba, que como se esperaba expresa que al aumentar el caudal de ingreso al dispositivo aumenta también el caudal derivado hacia los interceptores, por lo cual se recomienda tomar en cuenta este particular al evaluar el funcionamiento del sistema de interceptores de la ciudad durante periodos de lluvia.

5. La tabla 17 puede servir como referencia para la evaluación numérica de derivadores tipo orificio con condiciones semejantes a la del experimento realizado, que como se ha indicado en la presente tesis se asemeja a los pozos derivadores utilizados por el sistema de interceptores de la ciudad de Cuenca.

CONCLUSIONES GENERALES

Al ejecutar la evaluación hidráulica del derivador tipo orificio se pudo observar que el caudal para el periodo seco fue en una relación y/d = 0,1 y en periodo lluvioso y/d = 0,5 por lo que con estos datos fue calculado y construido el modelo en el cual se realizó las pruebas para conocer el funcionamiento del derivador.

Como lo presentado en el estudio y análisis del derivador tipo orificio, se demuestra que tiene un correcto funcionamiento de acuerdo a lo calculado, pudiendo corroborar el cálculo con la utilización del modelo físico realizado. En el cual se deberá tener presente que el flujo de agua dependerá de varios factores, como la presencia de altas precipitaciones en las que el derivador funcionara a su máxima capacidad, pero el mismo después de un tiempo volverá a derivar el caudal al que fue diseñado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA Stephanie, A. Desarrollo de un modelo hidráulico a escala de un canal para implementar un laboratorio en la Universidad san Francisco de Quito (Tesis de Grado, Universidad San Francisco de Quito), Quito, 2009.

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

- 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.

- PÉREZ Farras, Luis. A, Nociones sobre orificios y vertederos, tipos de escurrimiento uniforme en canales, remansos y resaltos, y su relación con la sedimentación y la corrosión en cloacas, Volumen I, 2005, Recuperado de http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Orificos%20y%20vertederos.pdf.

- 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

- Universidad de Cauca, Estudio y patronamiento de orificios y boquillas, (Practica Numero III), Colombia, 2012.

- Rocha Felices, Arturo. Hidráulica de Tuberías y Canales, (p. 265 – 267)

- 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.

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

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.