Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Civil | Facultad de Ingeniería

9-2013

Comparación de la eficiencia en cunetas circulares usando las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook en un modelo físico

Yamir Eduardo López Hernández
Universidad de La Salle, Bogotá

Daniel Orlando Cruz Rodríguez
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil

Part of the Civil Engineering Commons

Citación recomendada

López Hernández, Y. E., & Cruz Rodríguez, D. O. (2013). Comparación de la eficiencia en cunetas circulares usando las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook en un modelo físico. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/421

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

YAMIR EDUARDO LÓPEZ HERNÁNDEZ

DANIEL ORLANDO CRUZ RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2013

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

YAMIR EDUARDO LÓPEZ HERNÁNDEZ

DANIEL ORLANDO CRUZ RODRÍGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil

Director Temático

Ing. Luis Efrén Ayala Rojas

Asesora metodológica

Mag. Marlene Cubillos Romero

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2013

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá, Septiembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

Ingeniero Luis Efrén Ayala director del trabajo de investigación "Comparación de la eficiencia en cunetas circulares usando las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook en un modelo físico" por la colaboración y apoyo prestado a este trabajo investigativo.

Marlene Cubillos Romero magister en Lingüística Hispánica por su asesoría constante en la organización metodológica del trabajo de investigación.

Los docentes de la línea hidráulica de la Universidad de La Salle que contribuyeron a nuestra formación profesional en esta área.

A todos los docentes de las diferentes áreas de la Universidad de la Salle que ayudaron a nuestra formación integral, ofreciéndonos además de conocimiento, motivación para ser mejores en nuestras vidas profesionales.

Gracias

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a mis padres quienes han hecho de mí la persona que soy, dándome todas las enseñanzas, la fuerza y el cariño necesario para alcanzar este importante logro en mi vida. Por todo su amor y apoyo en este proceso estaré agradecido toda mi vida.

A mi hermana que incondicionalmente ha estado a mi lado apoyándome, cuidándome y dando el mejor ejemplo, ayudándome así en todo este tiempo a crecer y a mejorar cada día.

Yamir Eduardo Lopez

A Dios por haberme dado la fuerza, constancia y salud para poder conseguir este gran logro en mi vida.

A mi madre por ofrecerme ese apoyo incondicional, que con sus consejos me llevo por el camino correcto y con su ejemplo me inculco tanto perseverancia como tenacidad para afrontar la vida.

A mi familia, que me acompañado en este largo proceso, brindándome apoyo, amor y respeto para salir adelante, que me ha enseñado a crecer, madurar y ser cada día mejor ser humano útil a la sociedad

Daniel Orlando Cruz Rodriguez

TABLA DE CONTENIDO

Director Temático 2

AGRADECIMIENTOS 4

DEDICATORIA 5

TABLA DE CONTENIDO 7

LISTA DE TABLAS 10

LISTA DE FIGURAS 11

INTRODUCCIÓN 12

1 EL PROBLEMA 13

1.1 Título Del Proyecto 13

1.2 Línea 13

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 14

2.1 Planteamiento Del Problema 14

2.2 Formulación Del Problema 15

2.3 Justificación 15

2.4 Objetivos 16

2.4.1 Objetivo General. 16

2.4.2 Objetivos Específicos. 16

3 MARCO REFERENCIAL 17

3.1 Antecedentes Teóricos 17

3.2 Marco Teórico 17

3.2.1 Elementos Geométricos De La Sección Circular 22

3.3 Marco Conceptual 25

3.4 Marco Legal 27

4 METODOLOGÍA 28

4.1 Tipo De Investigación 33

4.2 Diseño De Investigación 33

5 TRABAJO INGENIERIL 34

5.1 Calculo Del Caudal De Diseño 34

5.1.1 Calculo Del Caudal Por El Método Racional. 34

5.2 Dimensionamiento De Cunetas 39

5.2.1 Dimensionamiento de la cuneta semi-circular. 39

5.2.2 Ecuación De Chezy-Manning 42

5.2.3 Ecuación De Darcy – Colebrook 46

5.3 Calculo De Las Escalas 50

5.3.1 Calculo De Las Escalas Del Modelo Por El Criterio De Similitud De Froude. 50

5.3.2 Determinación del diámetro de diseño de la cuneta por Chezy – Manning. 53

5.3.3 Determinación del diámetro de diseño de la cuneta por Darcy - Colebrook 54

5.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO 55

5.5 Toma De Información 67

6 ANALISIS DE RESULTADOS 74

6.1 Eficiencia De La Cuneta 74

6.1.1 Pendiente 6% 75

6.1.2 Pendiente 7% 78

6.2 Caudales Teóricos 78

6.2.1 Ecuación de Chezy-Manning 79

6.2.2 Ecuación de Darcy-Colebrook 81

6.3 Diferencia Porcentual de Caudales Teóricos 83

6.4 Eficiencia de las Ecuaciones 84

6.4.1 Eficiencia de la ecuación de Chezy-Manning 86

6.4.2 Eficiencia de la ecuación de Darcy-Colebrook 88

7 CONCLUSIONES 90

8 BIBLIOGRAFÍA 92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1..... *36*
Coeficiente de escorrentía según el tipo de área de drenaje *36*
Tabla 2..... *41*
Pendiente transversal recomendada por el manual de drenaje para carreteras *41*
Tabla 3..... *52*
Ancho de calzada (metros) *52*
Tabla 4..... *76*
Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 6% *76*
Tabla 5..... *77*
Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 7% *77*
Tabla 6..... *81*
Caudal teórico Ecuación de Chezy-Manning *81*
Tabla 7..... *83*
Caudal teórico Ecuación de Darcy-Colebrook *83*
Tabla 8..... *84*
Diferencia porcentual de caudales teóricos *84*
Tabla 9..... *87*
Eficiencia de la Ecuación de Chezy-Manning *87*
Tabla 10..... *89*
Eficiencia de la Ecuación de Darcy-Colebrook *89*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 *Área aferente de las cunetas* *19*

Figura 2 *Calculo de la profundidad de las cunetas cuando Y_o es menor a $d_o/2$.* *24*

Figura 3 *Calculo de la profundidad de las cunetas cuando Y_o es mayor a $d_o/2$.* *25*

Figura 4 *Diagrama de Flujo de la selección del tipo de suelo.* *32*

Figura 5 *Curva IDF para estación El Dorado Cundinamarca.* *37*

Figura 6 *Sección semicircular* *39*

Figura 7 *Características de flujo de una sección circular* *45*

Figura 8 *Características de flujo de una sección circular* *49*

Figura 9 *Construcción del modelo físico* *56*

Figura 10 *Colocación de la cama de icopor* *57*

Figura 11 *Colocación de la cama de icopor* *57*

Figura 12 *Colocación de la capa de greda* *58*

Figura 13 *Colocación de la capa de greda* *59*

Figura 14 *Colocación de la capa de greda* *60*

Figura 15 *Formaleta en el modelo físico.* *61*

Figura 16 *Formaleta en el modelo físico.* *61*

Figura 17 *Aplicación del impermeabilizante* *62*

Figura 18 *Aditivo de la mezcla de mortero..* *63*

Figura 19 *Preparación de la mezcla de mortero.* *63*

Figura 20 *Preparación de la mezcla de mortero.* *64*

Figura 21 *Aplicación mezcla de mortero en el modelo fisico.* *65*

Figura 22 *Vista general del modelo fisico.* *65*

Figura 23 *Curado de la mezcla.* *66*

Figura 24 *Recipientes para la toma de información.* *67*

Figura 25 *Bombas Hidráulicas.* *68*

Figura 26 *Pendientes para la toma de información.* *73*

Figura 27 *Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 6%* *76*

Figura 28 *Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 7%* *77*

Figura 29 *Eficiencia de la Ecuación de Chezy-Manning* *87*

Figura 30 *Eficiencia de la Ecuación de Darcy-Colebrook* *89*

INTRODUCCIÓN

En este documento se busca comparar la eficiencia de las cunetas circulares de acuerdo con las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook, para ello se diseña y adecua un modelo físico de la cuneta en el cual se determinan las diferentes variables que permitan confrontar los resultados obtenidos y cumplir con nuestro objetivo.

Haciendo un análisis de las ecuaciones en cuestión se quiere determinar una mayor eficiencia en la construcción de cunetas, esto se realizara usando diferentes métodos de cálculo lo cual permitiría actualizar y mejorar mediante el modelo físico, los conocimientos que se tienen al respecto, buscando su aplicación para así hacer un aporte a la sociedad desde nuestra investigación.

1 EL PROBLEMA

1.1 Título Del Proyecto

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

1.2 Línea

Línea: Modelación y simulación de sistemas

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Planteamiento Del Problema

Como parte principal en un proyecto de construcción para carreteras, es fundamental diseñar cunetas. Estas estructuras son necesarias para captar y transportar las aguas de escorrentía superficial que circulan por una vía en momentos de una precipitación. A pesar de que la normativa colombiana se basa en las ecuaciones de Chezy-Manning, esta deja la posibilidad de diseñar con otras ecuaciones. Si tomamos la ecuación de Chezy-Manning como la única opción para realizar los cálculos de diseño de cunetas de sección circular, se puede tener una sección que permita captar gran cantidad de agua pero que posiblemente al usar otras ecuaciones de diseño como la de Darcy –Colebrook podamos obtener una mayor eficiencia en la captación y transporte del agua lluvia.

Por esta razón se necesitan estudios periódicos que permitan conocer el comportamiento de las cunetas respecto a cada formula de diseño, esto con el fin de mejorar la eficiencia de las cunetas de sección circular, cambiando o tomando como base nuevas opciones para el diseño de dichas estructuras hidráulicas

Con el objetivo de confirmar o presentar una nueva alternativa para el diseño de cunetas de sección circular se realizará un modelo físico que permita hacer una comparación de la eficiencia usando cada ecuación en los cálculos de diseño y determinar cuál ecuación es la mejor opción para la construcción de cunetas.

2.2 Formulación Del Problema

Determinar a través un modelo físico cual ecuación de diseño (Darcy-Colebrook ó Chezy-Manning) presenta una mejor eficiencia en el diseño de cunetas circulares en Colombia.

2.3 Justificación

Para el diseño de cunetas en Colombia se tiene una normativa, la cual no tiene exigencia en el uso de fórmulas de diseño, además se han usado siempre las mismas ecuaciones sin tener en cuenta otra alternativa para optimizar el rendimiento de dicha estructura hidráulica. Basándose en estudios anteriores se busca ampliar la investigación existente, realizando un modelo físico que ayude a obtener la ecuación más adecuada y confiable para el diseño de cunetas. Con esto se quiere desplazar métodos antiguos que posiblemente conllevan a diseños inapropiados y poco fiables, procurando actualizar las propuestas que permitan mitigar los problemas derivados de los malos diseños y a su vez hacer un aporte significativo en el desarrollo de la infraestructura vial del país.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General.

- Comparar la eficiencia de las cunetas circulares de acuerdo con las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook.

2.4.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar y adecuar el modelo físico para una cuneta de sección circular en la zona de la candelaria.

- Determinar las variables velocidad, caudal y profundidad de una cuneta de sección circular usando las ecuaciones de Manning y Darcy.

- Establecer la diferencia entre las dos ecuaciones y la eficiencia en cada una de ellas.

- Confrontar los resultados del comportamiento de flujo en cunetas de sección circular.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes Teóricos

Para el desarrollo del marco teórico se tuvo en cuenta normativas relacionadas al diseño geométrico de carreteras, las cuales se pueden ver en el Capítulo 3.4 y con las cuales se puede analizar los requerimientos mínimos en el diseño de las cunetas. A su vez se tomó como referencia el documento de la Universidad Nacional de Colombia escrito por Ramiro Marvello y Manuel Cárdenas, en el cual se realiza una comparación teórica entre las ecuaciones de Manning y Colebrook en el diseño de cunetas, especificando la ecuación de diseño para cada tipo de sección transversal.

3.2 Marco Teórico

En el presente marco teórico se empezara realizando un recuento histórico acerca de la evolución en el diseño de cunetas y otras estructuras hidráulicas. Posteriormente se mencionaran las diferentes normativas que determinan los parámetros constructivos a tener en cuenta y la seguridad mínima al ejecutar el diseño. Por último se analizarán las ecuaciones de caudal con respecto a la sección a trabajar.

El diseño de cunetas se realiza basándose en las ecuaciones de Chezy y Manning, las cuales fueron propuestas de forma empírica hace más de ciento veinte años, motivo por el cual su validez ha sido cuestionada con el correr de los años, ya que en la época se

presentaban inconvenientes con el coeficiente de rugosidad del material empleado para el desarrollo de las fórmulas usadas hoy en día en el diseño de cunetas. El desarrollo teórico del coeficiente de rugosidad permitió que los científicos Darcy y Colebrook propusieran de una forma racional y física una ecuación que fuera válida para todo tipo de flujos y materiales en un canal, donde su coeficiente de rugosidad permite una mayor precisión en los cálculos de diseño.

A partir de ello en Colombia se creó una normativa sobre el diseño de cunetas, en donde se tienen en cuenta aspectos geométricos, parámetros de diseño y tipos de vía, pero no se estableció una ecuación de diseño, por esta razón se permite dar un diseño hidráulico de cunetas mediante varias fórmulas, que pueden llegar a un mismo resultado pero no necesariamente ofrezcan igual eficiencia a la hora de captar agua de escorrentía. Lo anterior conlleva a posibles errores en el comportamiento esperado por la estructura, ya que el diseño no presenta una confiabilidad basada en la exactitud de cálculos matemáticos que en realidad se apliquen a las diferentes condiciones del país.

El marco teórico se creó a través de análisis basados en lecturas sobre cunetas de recolección de aguas lluvias. Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y el Manual de Drenaje para Carreteras de Colombia una *cuneta* es una zanja abierta en el terreno que canaliza longitudinalmente las aguas superficiales, de infiltración y de los taludes de corte; conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición. Estas también cumplen la función de proteger la berma y los terraplenes de la erosión causada por la escorrentía, estas se deben localizarse en todos los cortes los cuales son

susceptibles a erosión y en la parte interna de los separadores que reciben aguas lluvias de las calzadas.

Para su dimensionamiento es necesario conocer la precipitación del lugar, la naturaleza del terreno, la pendiente y área mojada, entre otras. Dependiendo de la importancia de la vía y de otros factores la estructura puede estar revestida o no en concreto.

En el Manual de Drenaje para Carreteras nombrado anteriormente se considera que para una cuneta el *área aferente* debe incluir la calzada o media calzada de la vía más la protección horizontal del talud hasta la zanja de coronación, tal como se muestra en la Figura 1. En el área aferente se deben considerar los perfiles del diseño geométrico, los cuales establecen el sentido del drenaje hacia las cunetas.

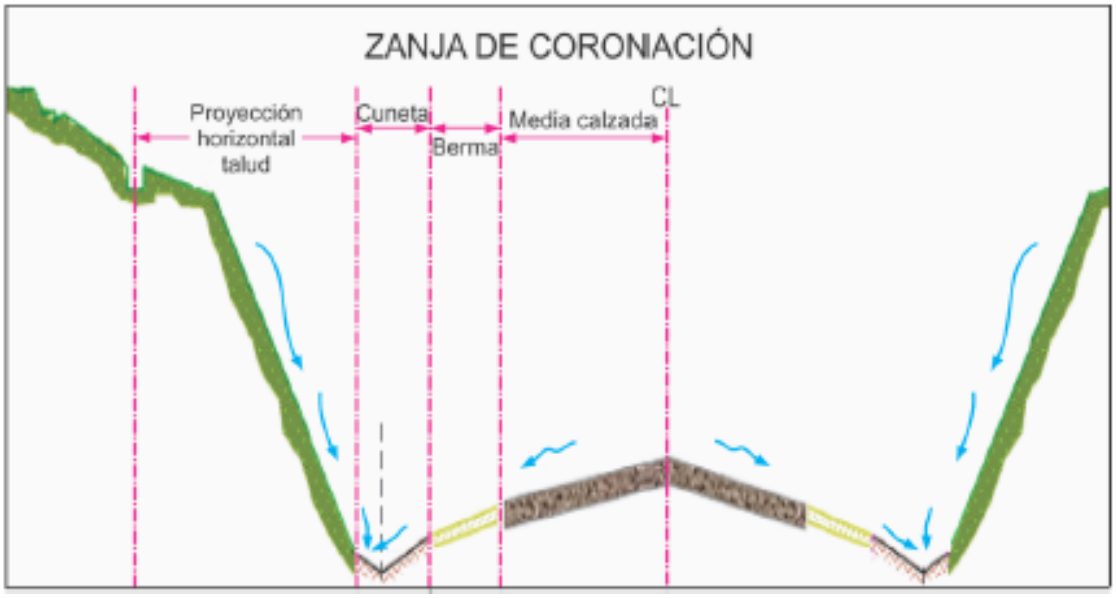


Figura 1 **Área aferente de las cunetas**

Fuente: Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras Figura 4.5

El coeficiente de escorrentía corresponde al área superficial en función del tipo de suelo y de la pendiente. Conociendo esto se puede hallar la intensidad de lluvia por medio de las gráficas de IDF para un tiempo de concentración establecido

En el Manual de Carreteras de España se define la tipología de las cunetas donde se usan diversos tipos de secciones, los cuales pueden ser hidráulicamente mejores que otros con parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de la construcción. Entre estas se encontró:

- Sección Hidráulica: de la cual depende el caudal máximo de diseño.
- Durabilidad: depende de los materiales empleados y el cuidado en su ejecución.
- Simplicidad Geométrica: ayuda a la ejecución rápida, económica y eficaz.

Teniendo en cuenta la seguridad vial con la que se diseña en Colombia se debe establecer que en la sección transversal de la carretera la cuneta juega un papel fundamental, por lo cual es importante definir la sección transversal indicada, ya que esto puede incurrir en problemas de encunetamiento de los vehículos, .lo que puede ocasionar volcamiento de la unidad móvil. La sección rectangular y trapezoidal profunda dificulta la salida de vehículos por lo cual de ser empleadas deben tener barreras de seguridad o señales de advertencia que permiten un mejor tránsito.

Lo que concierne al funcionamiento hidráulico consiste en verificar la capacidad hidráulica de la estructura frente al caudal de diseño estimado con la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{n}\left(A\, R^{2/3}\, S^{1/2}\right) \qquad \textit{Ecuación 1}$$

Siendo:

- Q: Caudal de diseño
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- A: Área mojada
- R: Radio hidráulico
- S: Pendiente

Usando la anterior ecuación se puede calcular la lámina de agua y la velocidad para el caudal de diseño, siendo la lámina de agua inferior o igual a la altura de la cuneta y la velocidad debe ser verificada a la salida de la cuneta para que con este no se presente sedimentación o inestabilidad en el terreno.

En el libro de Ven Te Chow Hidráulica de Canales Abiertos, se encuentran las ecuaciones de diseño realizadas a partir de la ecuación de Manning para la sección transversal de una cuneta parabólica:

3.2.1 Elementos Geométricos De La Sección Circular

- **Profundidad De Flujo (D_o)**

Es la distancia vertical tomada desde el fondo del canal hasta la superficie libre.

- **Área Mojada (A)**

$$A = \frac{1}{8}(\theta - SEN\theta)d_o{}^2 \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Corresponde a la sección transversal que se forma con la perpendicular en dirección al flujo

- **Perímetro Mojado (P)**

$$P = \frac{1}{2}\theta d_O \qquad \textit{Ecuación 3}$$

Es la longitud de cuerda que circunda o rodea el área mojada.

- **Radio Hidráulico (R)**

$$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{SEN\theta}{\theta}\right)d_o \qquad \textit{Ecuación 4}$$

Es equivalente al cociente y es la relación del área mojada con el perímetro mojado

- **Ancho Superior (T)**

$$T = \left(SEN\,\frac{1}{2}\theta\right) d_O \qquad \text{ó} \qquad 2\sqrt{(y(d_O - y))} \qquad \textit{Ecuación 5}$$

Esta equivale al ancho de superficie libre del flujo

- **Profundidad Hidráulica (D)**

$$D = \frac{1}{8} * \left(\frac{\theta - sen\theta}{sen\frac{1}{2}\theta}\right) d_O \qquad \textit{Ecuación 6}$$

Es equivalente al área mojada y el ancho superior

- **Factor De Seccion (Z)**

$$Z = \frac{\sqrt{2}}{32} * \frac{(\theta - sen\theta)^{1.5}}{\left(sen\frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}} * d_o \qquad \textit{Ecuación 7}$$

Equivale al producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

Conociendo los elementos de una cuneta se puede obtener tanto la profundidad crítica como la profundidad normal, los cuales son necesarios para el diseño del canal, con base a

esto y conociendo la geometría de la sección, se debe tener en cuenta las diferentes formas para su cálculo. Existen cuatro métodos diferentes para determinar dichas profundidades, estos son: el método de tanteo, método gráfico, método iterativo y método de las curvas. Además de la sección circular para flujo uniforme se debe tener en cuenta que se mide de tres diferentes formas, ya que se mide dependiendo de la profundidad del agua, visto en las siguientes gráficas.

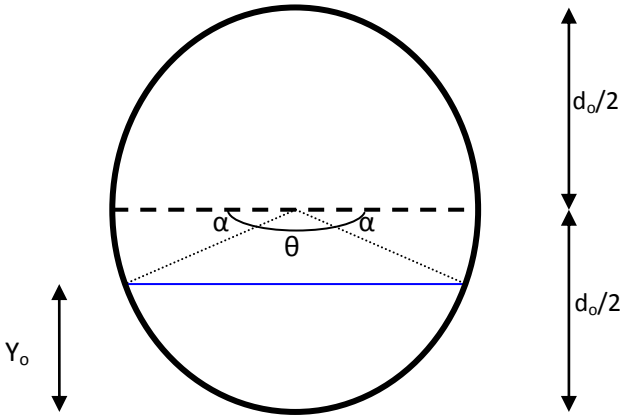


Figura 2 **Calculo de la profundidad de las cunetas cuando Y_o es menor a $d_o/2$.**

Fuente: Elaboración propia

$$\theta = 180 - 2\alpha$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\frac{d_o}{2} - y_o}{\frac{d_o}{2}}\right)$$

$$\theta^{RAD} = \frac{\theta\pi}{180} \qquad \textit{Ecuación 8}$$

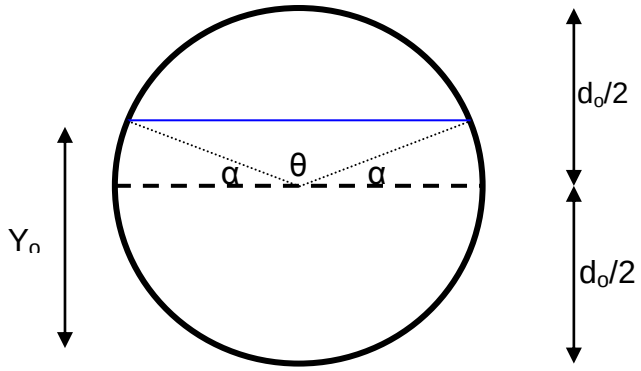


Figura 3 Calculo de la profundidad de las cunetas cuando Y_o es mayor a $d_o/2$.

Fuente: Elaboración propia

$$\theta = 180 + 2\alpha$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{y_o - \frac{d_o}{2}}{\frac{d_o}{2}}\right)$$

$$\theta^{RAD} = \frac{\theta\pi}{180} \qquad \textit{Ecuación 9}$$

3.3 Marco Conceptual

Cuneta: es una zanja o canal que se encuentra a los lados de las vías terrestres de comunicación y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños.

Caudal: es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.

Drenaje: eliminación del agua acumulada en un lugar, especialmente en un terreno, por medio de estructuras hidráulicas.

Pendiente: inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal.

Sección Transversal: Proyección de una sección de un objeto que se ha realizado mediante un corte perpendicular al eje largo del mismo.

Coeficiente De Rugosidad: La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso.

Estructura Hidráulica: son las obras de ingeniería necesarias para lograr el aprovechamiento de los recursos hídricos y controlar su acción destructiva.

3.4 Marco Legal

Para el desarrollo de esta investigación se tuvieron en cuenta las siguientes normas. Ver Anexos.

- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia
- Manual de Drenaje para Carreteras en Colombia
- Manual de Carreteras de España

4 METODOLOGÍA

FASE I. Diseño del anteproyecto

En esta fase se revisaron documentos previos acerca del diseño de cunetas, de los cuales se tomó fundamentalmente los estudios y artículos sobre la eficiencia de las cunetas respecto a la ecuación de diseño. Cabe agregar que el diseño de cunetas no tiene establecida una ecuación de diseño que permita fijar una normativa, por esta razón se buscó las diferentes fórmulas de diseño, para así escoger las ecuaciones de estudio, además se consultó la normativa referente a construcciones de vías que permitió conocer los parámetros a tener en cuenta, entre esta normativa se encuentra el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia, Manual de Drenaje para Carreteras en Colombia, Manual de Carreteras de España, de los que se extrajo los aspectos fundamentales y a tener en cuenta en el diseño de las cunetas con respecto a la localización, tipo de terreno, pendientes mínimas y máximas entre otros.

Se consultó el libro Hidráulica de canales abiertos de Ven te Chow para estudiar los conceptos necesarios y extraer las gráficas de diseño, por último se leyó el Articulo de Marbello, R. & Cárdenas, el cual fue el documento base del cual se extrajo las ecuaciones que posteriormente fueron utilizadas en el diseño de la cuneta, además dio algunos criterios que ayudaron a diferenciar los métodos de diseño.

FASE II. Realización de ensayos.

Al conocer los requerimientos de diseño, se empezó a realizar los cálculos de la cuneta semicircular, estos con base a la normativa extraída de los documentos nombrados en la FASE I, a partir de ello se decidió la zona de estudio, para este caso la ciudad de Bogotá con lo cual se inició con el cálculo de los caudales los cuales se evidencian en el capítulo *5.1 Calculo Del Caudal*, y con los cuales se inició el dimensionamiento de las cunetas.

Al tener el caudal de diseño, se realizó el dimensionamiento de las cunetas por las dos fórmulas de diseño, Chezy-Manning y Darcy–Colebrook, calculo que se presenta en el capítulo 5.2 *Dimensionamiento De Cunetas*. Mediante la obtención de la sección transversal de la cuneta, se realizó el modelo físico para el cual se escaló los resultados obtenidos al tamaño del prototipo que permitió obtener las dimensiones reales y del prototipo fundamentales para la construcción del modelo físico, este cálculo se puede ver en el capítulo *5.3 Calculo De Las Escalas* donde se describe paso a paso la obtención de las escalas para el modelo físico, que da la posibilidad de conocer tanto el comportamiento como la eficiencia de la cuneta.

Posterior al cálculo y dimensionamiento de la cuneta, se inició la construcción, en este se hizo la simulación de una vía de media calzada, donde en un costado de la misma se encontraba la cuneta, para la cual se utilizó como formaleta medio tubo de 4 pulgadas, posterior a la colocación de la formaleta, se empezó a la fundir la mezcla de mortero, para ello se utilizó herramienta menor y se tuvo en cuenta tanto el espesor mínimo como la

uniformidad de la mezcla obtenida a partir del diseño. Terminado este proceso se recurrió al curado del concreto, el cual tuvo una duración de 7 días para finalmente poder realizar los ensayos.

Los ensayos se realizaron para 7 pendientes longitudinales y para 2 pendientes trasversales establecidas en la norma (Ministerio de transporte, Manual de drenaje urbano para carreteras, 2009), 4 bombas diferentes donde inicialmente se aforo el caudal de la bomba y después se dispuso a tomar el caudal de la cuneta y escorrentía para cada una de las pendientes.

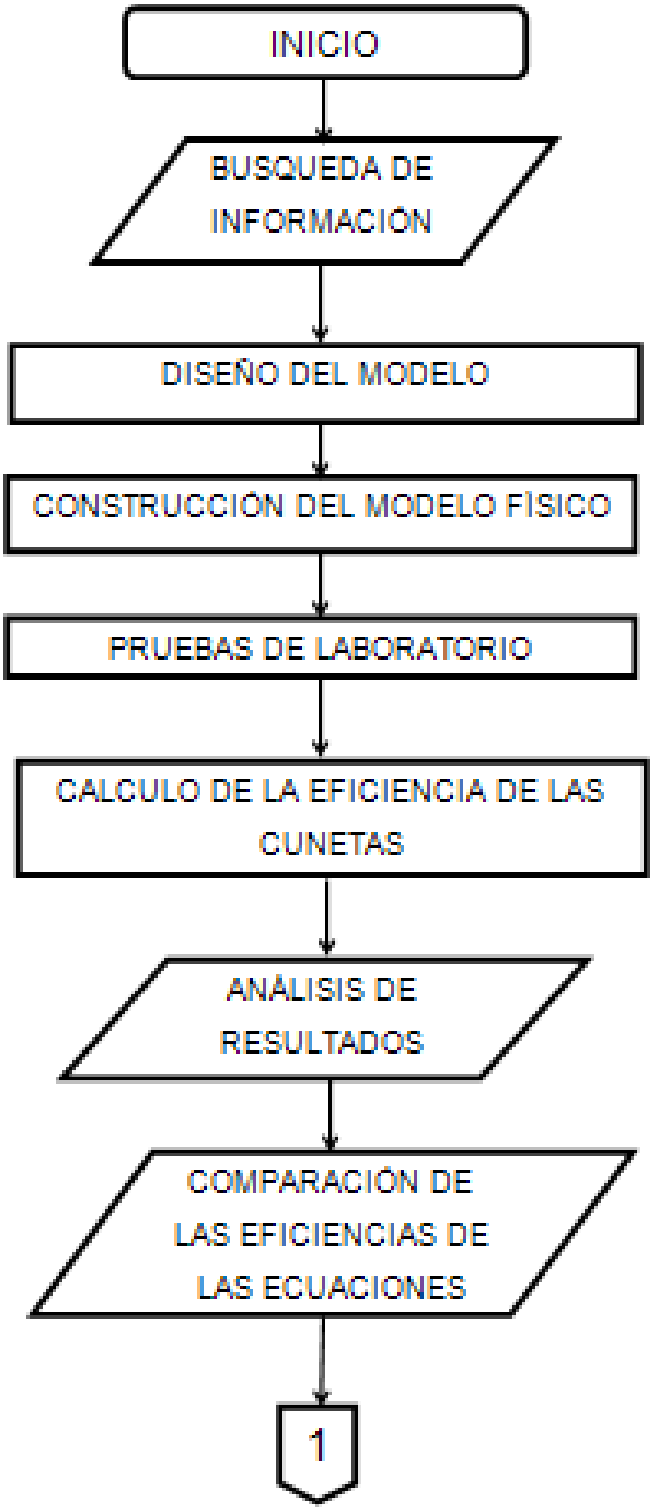

INICIO
BUSQUEDA DE INFORMACIÓN
DISEÑO DEL MODELO
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO
PRUEBAS DE LABORATORIO
CALCULO DE LA EFICIENCIA DE LAS CUNETAS
ANÁLISIS DE RESULTADOS
COMPARACIÓN DE LAS EFICIENCIAS DE LAS ECUACIONES
1

Figura 4 **Diagrama de Flujo de la selección del tipo de suelo.**

Fuente: Elaboración propia

FASE III. Cálculos y análisis de resultados.

Posterior a la toma de información, se organizó los datos de tal forma que permitiera conocer el caudal captado por escorrentía y cuneta, esto con base a los pesos tomados en los ensayos para las pendientes longitudinales y transversales.

De esta forma se inició el análisis de los cálculos obtenidos, en esta etapa se logra identificar el comportamiento de la estructura hidráulica de estudio y además observar cual formula de diseño es más eficiente. Para esto se hizo necesario realizar graficas comparativas y porcentajes de eficiencia que tuvieran en cuenta el caudal total y el caudal captado por la cuneta. Posteriormente se hizo el análisis de la eficiencia obtenida en cada pendiente y en cada ecuación.

4.1 Tipo De Investigación

En el proyecto se realiza una investigación de tipo experimental en la cual se obtienen resultados a partir de pruebas de laboratorio, donde se manejan las diferentes variables del experimento, y cálculos que permiten llegar a las conclusiones esperadas.

4.2 Diseño De Investigación

La estructura a seguir en la investigación es un diseño de campo, el cual permite recoger datos primarios, facilitando la obtención y modificación de resultados finales. El tipo de diseño de campo a utilizar es el diseño experimental, ya que se llega al objetivo sometiendo a pruebas y estudios la muestra.

5 TRABAJO INGENIERIL

Para realizar la comparación de las ecuaciones de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook en un modelo físico, es necesario diseñar una cuneta por cada método, determinando las variables necesarias para dicho cálculo. A continuación se presenta el desarrollo del diseño de la cuneta circular:

5.1 Calculo Del Caudal De Diseño

5.1.1 Calculo Del Caudal Por El Método Racional.

Con base en el método racional se determinará el caudal máximo para la dimensión la cuneta, para ello se usó la Ecuación 10:

$$\boldsymbol{Q = C * i_C * A} \qquad \textit{Ecuación 10}$$

En donde:

$\boldsymbol{Q} =$ Caudal máximo expresado en lts/s

$\boldsymbol{C} =$ Coeficiente de escorrentía

$\boldsymbol{i_C} =$ Intensidad de precipitación concentrada $(\frac{\text{mm}}{\text{hr}})$

$\boldsymbol{A} =$ Area aferente (ha)

El valor del área aferente según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras se considera que para las cunetas es inferior a 1 Ha, para cumplir con los máximos requerimientos permitidos se toma el valor máximo para el área aferente.

Por otro lado es necesario tener el coeficiente de escorrentía, que se obtiene a partir de la Tabla 1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la cual muestra los diferentes valores para este coeficiente, dependiendo del tipo de material y el periodo de retorno. En este caso se tiene un periodo de retorno de 25 años y se tiene por material el concreto, el valor se muestra a continuación.

Tabla 1

Coeficiente de escorrentía según el tipo de área de drenaje

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Nota: El valor del coeficiente de escorrentia para calles asfaltadas es de0.70 - 0.95.

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras

Por último es necesario obtener la intensidad de precipitación, la cual se obtiene a partir de las tablas IDF, para este caso de estudio se tomó la curva IDF de la estación El Dorado en Cundinamarca la cual se muestra en la Figura 5.

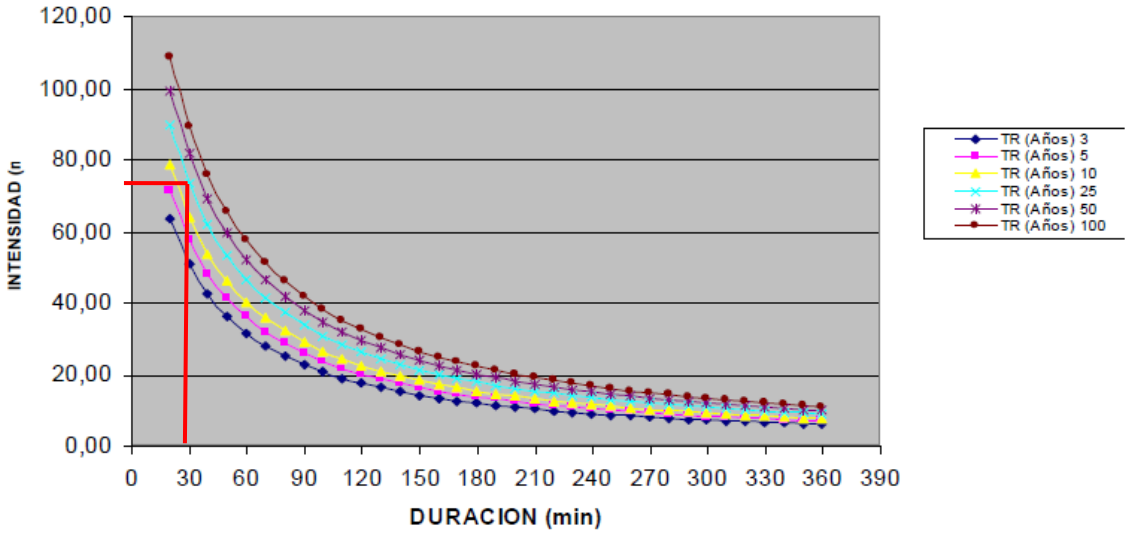


Figura 5 Curva IDF para estación El Dorado Cundinamarca.

Fuente: Informe ingeniería ambiental y geodesia. Secretaria de ambiente de Bogotá (2004).

Los datos utilizados para encontrar la Intensidad en las curvas I.D.F. son:

- **Frecuencia:** 25 años.
- **Duración:** 30 minutos.

Se encontró el siguiente dato de intensidad en la Figura 5 con base en los datos anteriores:

- **Intensidad:** $75\frac{mm}{hora}$

Se toma un tiempo de concentración bajo con el fin de aumentar la intensidad y brindar más seguridad al diseño, según lo recomendado en el Manual de Drenaje para Carreteras.

Al tener todos los datos necesarios para el cálculo del caudal, se pasan todos los valores con las mismas unidades.

$$\boldsymbol{i_C} = 75\ \frac{\text{mm}}{\text{hr}} * \frac{1\ \text{hr}}{3600\ \text{seg}} * \frac{1\ \text{m}}{1000\ \text{mm}} = 2.083 \times 10^{-5}\ \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$\boldsymbol{A} = 1\ \text{ha} = 10000\ \text{m}^2$$

Remplazando los datos obtenidos en la Ecuación 1 obtenemos:

$$Q = (0.88) * \left(2.083 \times 10^{-5}\ \frac{m}{seg}\right) * (10000\ m^2)$$

$$\boxed{Q = 0.1833\ \frac{m^3}{seg}}$$

$$\boxed{Q = 183.3\ \frac{lts}{seg}}$$

5.2 Dimensionamiento De Cunetas

5.2.1 Dimensionamiento de la cuneta semi-circular.

A partir caudal obtenido por el método racional se procede a realizar el dimensionamiento de la sección para una cuneta semicircular a partir de las ecuaciones de Manning y Darcy-Colebrook:

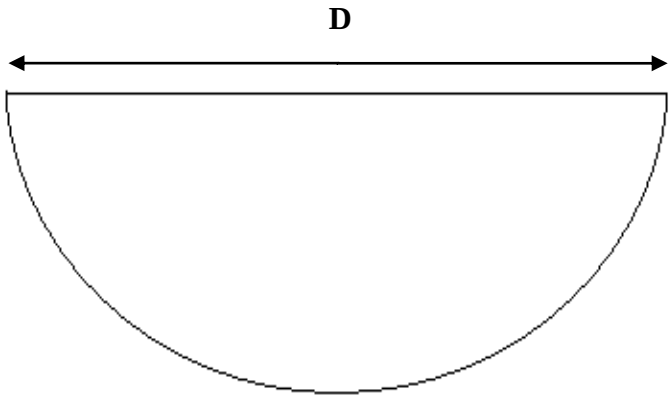


Figura 6 Sección semicircular

Fuente: Elaboración propia

- **Variables Del Flujo**

– *CAUDAL OBTENIDO A PARTIR DEL METODO RACIONAL*

$$\boldsymbol{Q = 183.3\ lps}$$

– *COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING PARA CONCRETO*

$$\boldsymbol{\eta = 0.013}$$

– *PENDIENTE DE LA CARRETERA*

$$\boldsymbol{S_R = \sqrt{S^2 + S_X^2}} \qquad \textbf{\textit{Ecuación 11}}$$

Donde:

$\boldsymbol{S_R}$	*Pendiente resultante*
$\boldsymbol{S}$	*Pendiente longitudinal*
$\boldsymbol{Sx}$	*Pendiente transversal*

En el Manual de Drenaje para Carreteras se recomienda usar una pendiente longitudinal de 0.5%, teniendo en cuenta un mínimo establecido de 0.3%. La pendiente transversal a usar se determina por la siguiente tabla tomada del mismo manual.

Tabla 2

Pendiente transversal recomendada por el manual de drenaje para carreteras

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	PENDIENTE TRANSVERSAL (%)
Concreto asfáltico o hidráulico	2
Tratamiento superficial	2 - 3
Tierra o grava	2 - 4

Nota: La pendiente transversal para concreto asfaltico o hidráulico es del 2%.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior se adoptó los siguientes valores de pendiente longitudinal y transversal, y se obtuvo la pendiente resultante como se muestra:

$\boldsymbol{S = 0.5\%}$ *Pendiente longitudinal*

$\boldsymbol{Sx = 2\%}$ *Pendiente transversal*

$$\boldsymbol{S_R = \sqrt{S^2 + S_X^2}}$$

$$\boldsymbol{S_R = \sqrt{0.5^2 + 2^2}}$$

$\boldsymbol{S_R = 2.06\ \%}$ *PENDIENTE RESULTANTE*

- **Variables Geométricas**

ÀREA

$$\boldsymbol{A = \frac{\pi D^2}{8}}$$ Ecuación 12

PERIMETRO

$$\boldsymbol{P = \frac{\pi D}{2}}$$ Ecuación 13

RADIO HIDRAULICO

$$\boldsymbol{R_H = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi D^2}{8}}{\frac{\pi D}{2}} = \frac{D}{4}}$$ Ecuación 14

5.2.2 Ecuación De Chezy-Manning

$$\boldsymbol{Q = \frac{1.49}{\eta} AR_H^{2/3} \sqrt{S}}$$ Ecuación 15

Separando las variables independientes de las geométricas:

$$AR_H^{2/3} = \frac{Q\,\eta}{1.49\,\sqrt{S}}$$

Remplazando:

$$\frac{\pi\,D^2}{8}\,\frac{D^{2/3}}{2.52} = \frac{0.183\,\frac{m}{s}\,0.013}{1.49\,\sqrt{0.02}}$$

$$0.1558\;\;D^{8/3} = 0.01129$$

Despejando D:

$$D^{8/3} = \frac{0.0113}{0.1558}$$

$$D^{8/3} = 0.0725$$

$$D = 0.3738\,mts$$

$$D = 37.38\,cm$$

El diámetro encontrado fue determinado en condiciones hidráulicamente llenas, para establecer si este cumple con los parámetros de dichas secciones se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Se determina el caudal para la sección hidráulicamente llena con la siguiente fórmula:

$$Q_0 = 0.312\, D_0^{8/3}\, \frac{\sqrt{S}}{n} \qquad \text{Ecuación 16}$$

$$Q_0 = 0.312 * 0.3738 m^{8/3}\, \frac{\sqrt{S}}{n}$$

$$Q_0 = 0.2497\ m^3/s$$

- Se halla la relación entre el caudal con sección hidráulicamente llena y el caudal inicial:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{0.183\ m^3/s}{0.2497\ m^3/s}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0.734$$

- Con la ayuda de la gráfica de las características de flujo de una sección circular tomada de (Chow, 1994), se obtiene la altura de lámina de agua.

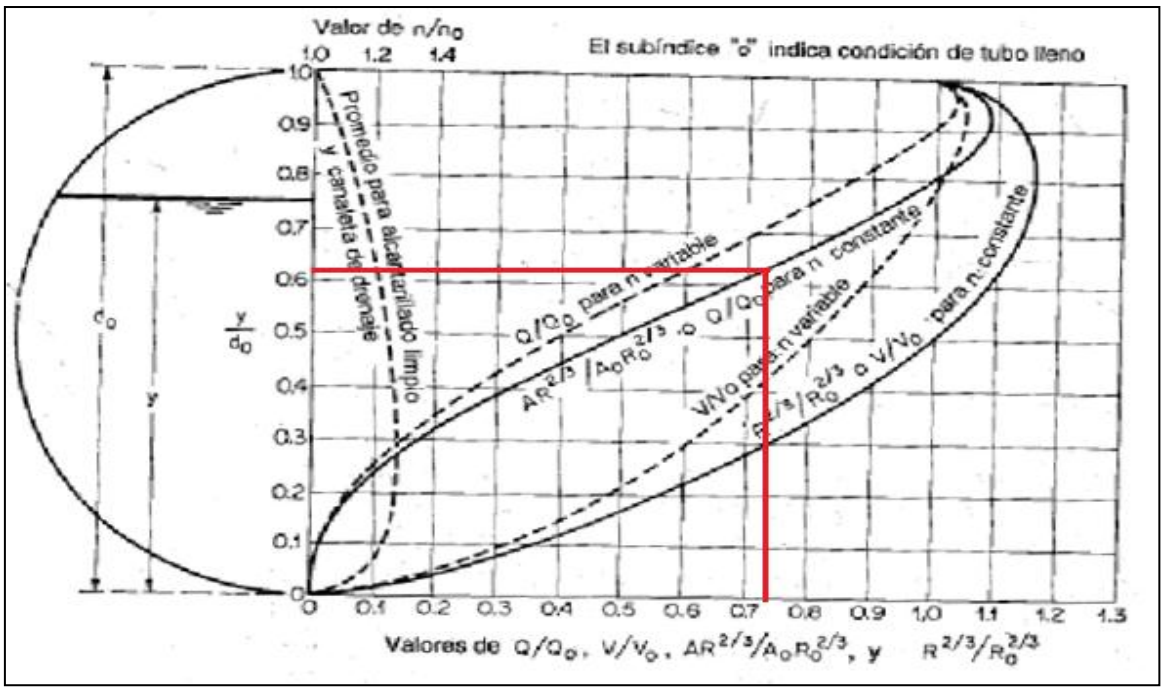


Figura 7 Características de flujo de una sección circular

Fuente: Extraído del libro Ven Te Chow (2004). *Hidráulica de canales Abiertos . (p.140)*

El valor leído fue:

$$\frac{y}{D_0} = 0.62$$

- Despejando la profundidad se obtiene:

$$y = 0.62 * D_0$$

$$y = 0.62 * 0.3738$$

$$y = 0.2317\ m$$

$$y = 23.17\ cm$$

5.2.3 Ecuación De Darcy – Colebrook

$$\boldsymbol{V = -2\sqrt{2g\ D\ S}\ \log\left(\frac{K_s}{3.7\ D} + \frac{2.51\ \upsilon}{D\sqrt{2g\ DS}}\right)} \qquad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$K_s = 0.36\ mm$ *RUGOSIDAD ABSOLUTA DEL CONCRETO*

$\upsilon = 0.01010\ \ \text{cm}^2/\text{seg}$ *VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA A 20ºC*

$S = 2.06\%$ *PENDIENTE DE FONDO*

- Remplazando en la ecuación de continuidad:

$$Q = \frac{V}{A} \qquad \text{Ecuación 18}$$

Se obtiene:

$$Q = -2A\sqrt{2g\ D\ S}\ \log\left(\frac{K_s}{3.7\ D} + \frac{2.51\ \upsilon}{D\sqrt{2g\ DS}}\right)$$

- Remplazando el área del semi-circulo

$$Q = -2\left(\frac{\pi D^2}{8}\right)\sqrt{2g\ D\ S}\ \log\left(\frac{K_s}{3.7\ D} + \frac{2.51\ v}{D\sqrt{2g\ DS}}\right)$$

- Usando la función de Valor Objetivo de EXCEL, se obtuvo el valor del diámetro de la siguiente forma:

Q	0.182	m3/seg
G	9.81	m/seg2
Ks	0.00036	M
V	0.00000101	m2/seg
Π	3.1416	
D	0.4010	M
S	0.0206	m/m

El diámetro a sección hidráulicamente llena es:

$$D_0 = 0.4010\ m$$

- Se determina el caudal para la sección hidráulicamente llena con ayuda de la Ecuación 16:

$$Q_0 = 0.312\ 0.4010\ m^{8/3}\ \frac{\sqrt{S}}{n}$$

$$Q_0 = 0.2968\ m^3/s$$

- Se halla la relación entre el caudal con sección hidráulicamente llena y el caudal inicial:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{0.183\ m^3/s}{0.2968\ m^3/s}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0.6176$$

- Con la ayuda de la gráfica de las características de flujo de una sección circular tomada (Chow, 1994), se obtiene la altura de lámina de agua.

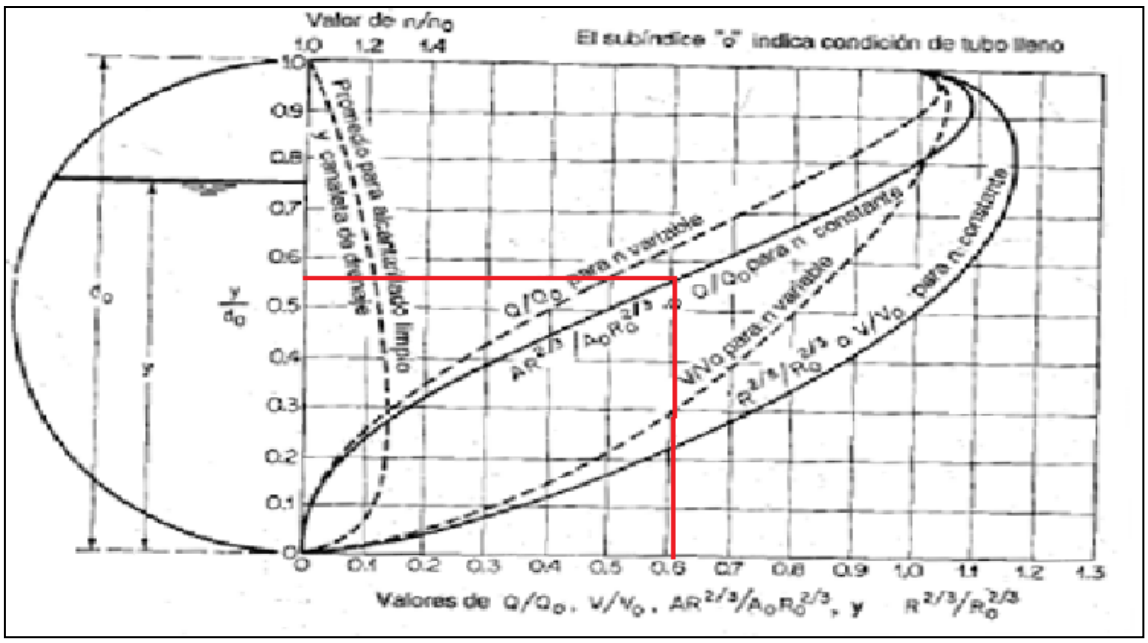


Figura 8 **Características de flujo de una sección circular**

Fuente: Extraído del libro Ven Te Chow (2004). *Hidráulica de canales abiertos . (p.140)*

Se obtiene el valor leído de:

$$\frac{y}{D_0} = 0.56$$

- Despejando la profundidad:

$$y = 0.56 * D_0$$

$$y = 0.56 * 0.4010$$

$$y = 0.2246\ m$$

$$y = 22.46\ cm$$

5.3 Calculo De Las Escalas

Con el fin de poder dimensionar el prototipo a una escala más cómoda para el trabajo de laboratorio, se escaló con base al criterio de similitud de Froude, el cual se usa cuando el flujo es característico a superficie libre, esto permitirá obtener un comportamiento muy cercano al real. Se debe tener en cuenta que para analizar los fenómenos en el modelo que es necesario que exista semejanza geométrica, cinemática y dinámica con el prototipo.

5.3.1 Calculo De Las Escalas Del Modelo Por El Criterio De Similitud De Froude.

A continuación se mostrará el cálculo de las escalas del modelo con base al criterio de similitud de Froude según Orozco-Chávez[1]:

- Escala De Longitud

[1] (Andrés Felipe Orozco Ahumada-Julio Cesar Chávez Rojas, 2010)

Se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$E_l = \frac{L_P}{L_M} \qquad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

L_P Ancho de calzada del prototipo

L_M Ancho de calzada del modelo

La carretera se clasifica como secundaria según su funcionalidad debido a que la cuneta a diseñar se espera sea para una vía pavimentada que conecte una vía primaria.

El terreno de la carretera se clasifica como ondulado. Las pendientes longitudinales a utilizar según El Manual de Diseño Geométrico de Vías deben estar entre 3% y el 6%, estas se encuentran dentro del rango del modelo. Las pendientes transversales exigen valores entre 6% y el 13%, estos valores son altos para el modelo ya que este permite pendientes combinadas (longitudinales y transversales) de hasta el 13%, por lo tanto se manejarán pendientes inferiores o de 6%.

La decisión de tomar el terreno como ondulado se debió a que, a diferencia de otros terrenos como el plano, el montañoso o el escarpado; el modelo se acerca bastante en ambas pendientes de este tipo de terreno.

La velocidad de diseño del tramo se asume como 50 km/h ya que las pendientes longitudinales pueden llegar a ser más altas en el modelo.

Tabla 3

Ancho de calzada (metros)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

Los conceptos y datos tomados para determinar el ancho de calzada de la carretera fueron tomados del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

El ancho de la calzada real es de 7.00 metros, sin embargo el modelo que se utiliza para desarrollar la investigación se compone de media calzada, con el objetivo de mantener la similitud física se debe dividir el ancho de la calzada en dos, obteniendo los siguientes datos:

$L_P = 3.50\ m$ Ancho de media calzada del prototipo

$L_M = 0.80\ m$ Ancho de media calzada del modelo

Remplazando en la ecuación de Escala de Longitud:

$$E_l = \frac{3.50\ m}{0.80\ m}$$

$$E_L = 4.375$$

Teniendo la escala de la longitud podemos usar este valor para determinar los diámetros a usar en el modelo.

5.3.2 Determinación del diámetro de diseño de la cuneta por Chezy – Manning.

Para determinar el diámetro de la cuneta se usa la *Ecuación 19* de Escala de Longitud y se despeja la longitud del modelo, lo que corresponde al diámetro a diseñar:

$$L_M = \frac{L_P}{E_L}$$

Donde:

$L_P = 0.3738\ m$ Diámetro de la cuneta sin escalar

Entonces:

$$L_M = \frac{0.3738\ m}{4.375}$$

$$L_M = 0.0854\ m$$

El diámetro de diseño de la cuneta es de:

$$D = 8.54\ cm$$

$$\boxed{D = 3.36\ " \approx 4"}$$

5.3.3 Determinación del diámetro de diseño de la cuneta por Darcy - Colebrook

$$E_L = \frac{L_P}{L_M}$$

Se despeja la longitud del modelo, lo que corresponde al diámetro a diseñar:

$$L_M = \frac{L_P}{E_L}$$

$L_P = 0.4010\ m$ Diámetro de la cuneta sin escalar

$$L_M = \frac{0.4010\ m}{4.375}$$

$$L_M = 0.0917\ m$$

El diámetro de diseño de la cuneta es de:

$$D = 9.17\ cm$$

$$D = 3.61\ "\ \approx\ 4"$$

5.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO

Conociendo las dimensiones del modelo físico, halladas en el Capítulo 5.3 *Cálculo de Escalas*, se empezó la construcción del modelo físico en este se hizo la simulación de una

vía de media calzada, donde en un costado se encontraba la cuneta, esto se muestra en la Figura 9, donde se detalla la calzada y la zona para la construcción de la cuneta.

Figura 9 Construcción del modelo físico

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la localización de la cuneta, las características geométricas y el tipo de material, se dispuso hacer en icopor la forma de la cuneta con el fin de que funcionara como soporte para la formaleta, esta cama de icopor la podemos ver en la Figura 10 y Figura 11.

Figura 10 Colocación de la cama de icopor

Fuente: elaboración propia

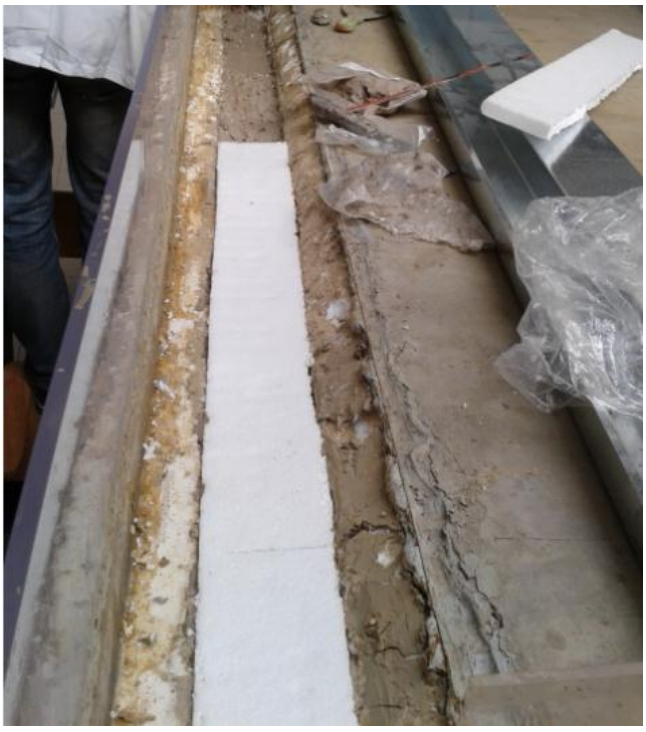


Figura 11 Colocación de la cama de icopor

Fuente: elaboración propia

Al tener dicha cama de icopor, le aplicamos una capa de greda con el fin de producir una adherencia entre el icopor y la formaleta previniendo errores en la construcción. La capa de greda la podemos ver en las siguientes figuras.

Figura 12 Colocación de la capa de greda

Fuente: elaboración propia

Figura 13 Colocación de la capa de greda

Fuente: elaboración propia

Figura 14 Colocación de la capa de greda

Fuente: elaboración propia

Posterior a ello se puso la formaleta, como formaleta se utilizó medio tubo de 4 pulgadas visto en la Figura 15 y Figura 16.

Figura 15 Formaleta en el modelo físico.

Fuente: elaboración propia

Figura 16 Formaleta en el modelo físico.

Fuente: elaboración propia

Teniendo la formaleta en su sitio, se utilizó silicona con el fin de pegar aún más la formaleta al modelo físico y se aplicó SIKA para impermeabilizar en zonas donde se pudiera filtrar agua. En la Figura 17 se puede observar la formaleta con silicona y SIKA ya aplicada.

Figura 17 Aplicación del impermeabilizante

Fuente: elaboración propia

Culminado este proceso, se preparó la mezcla de mortero y con ello se aplicó SIKA-1 que es un aditivo que aporta durabilidad e impermeabilización al mortero, esto se puede observar en la Figura 18. En la Figura 19 y Figura 20 se observa la preparación de la mezcla.

Figura 18 **Aditivo de la mezcla de mortero..**

Fuente: elaboración propia

Figura 19 **Preparación de la mezcla de mortero.**

Fuente: elaboración propia

Figura 20 Preparación de la mezcla de mortero.

Fuente: elaboración propia

La mezcla preparada anteriormente se aplica a la formaleta de manera uniforme dejando juntas de dilatación, esto se observa en la Figura 21 y Figura 22.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 21 Aplicación mezcla de mortero en el modelo fisico.

Fuente: elaboración propia

Figura 22 Vista general del modelo fisico.

Fuente: elaboración propia

Después de tener listo el modelo físico, se realiza el curado por 2 semanas Figura 23 y se dispone a iniciar la toma de información

Figura 23 Curado de la mezcla..

Fuente: elaboración propia

5.5 Toma De Información

Teniendo listo el modelo físico, se empieza a realizar la toma de información, esta inicia con los pesos de los recipientes utilizados para captar los caudales de escorrentía y cuneta, en la Figura 24 se muestra cada uno de los recipientes con su respecto peso en gramos.

ESCORRENTIA CUNETA

Figura 24 Recipientes para la toma de información.

Fuente: elaboración propia

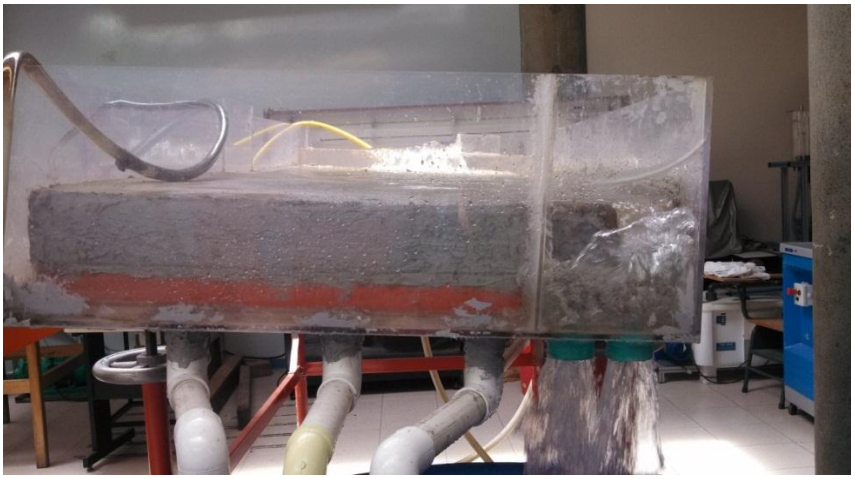
Conociendo los pesos de los recipientes, se inició el aforo del caudal de la bomba utilizada, esta se realizó tomando el volumen en un tiempo determinado para lo captado en escorrentía como por la cuneta. Las bombas utilizadas para la toma de información se observan en la siguiente fotografía, si bien en ella se observan solamente dos bombas, en la práctica se utilizó las dos bombas por separado, en conjunto y la bomba de mayor capacidad a menos del cien por ciento, el resultado del aforo se presenta en el ANEXO 1.

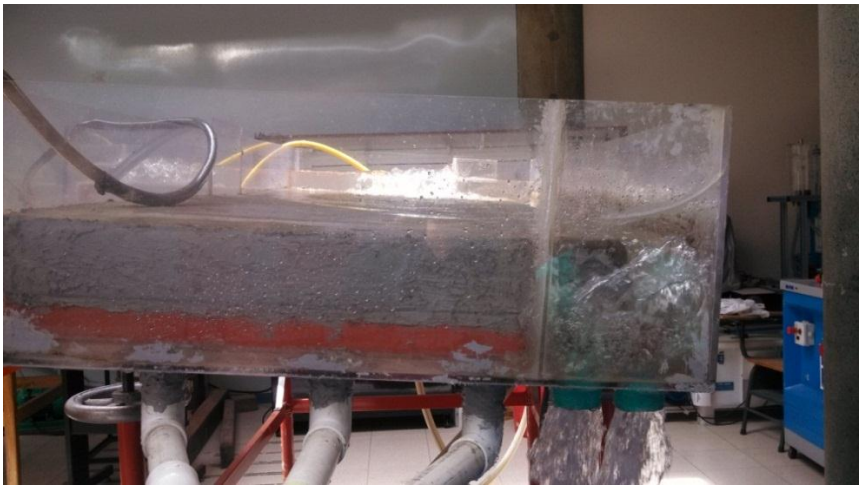
Figura 25 Bombas Hidráulicas.

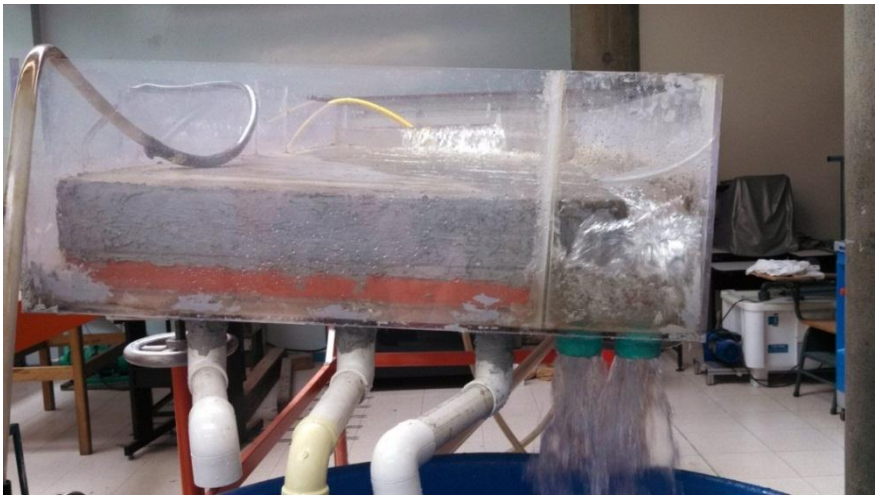
Fuente: elaboración propia

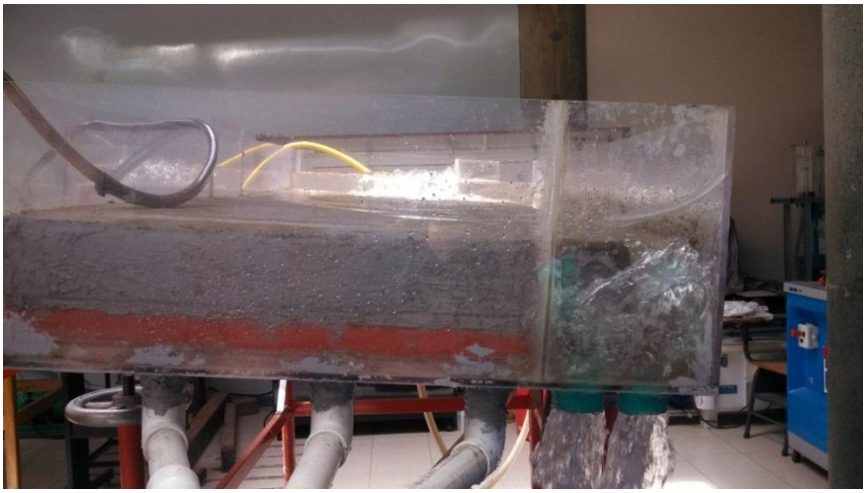
Los ensayos se realizaron para 7 pendientes longitudinales y para 2 pendientes trasversales, con los cuatro caudales suministrados por las bombas anteriormente

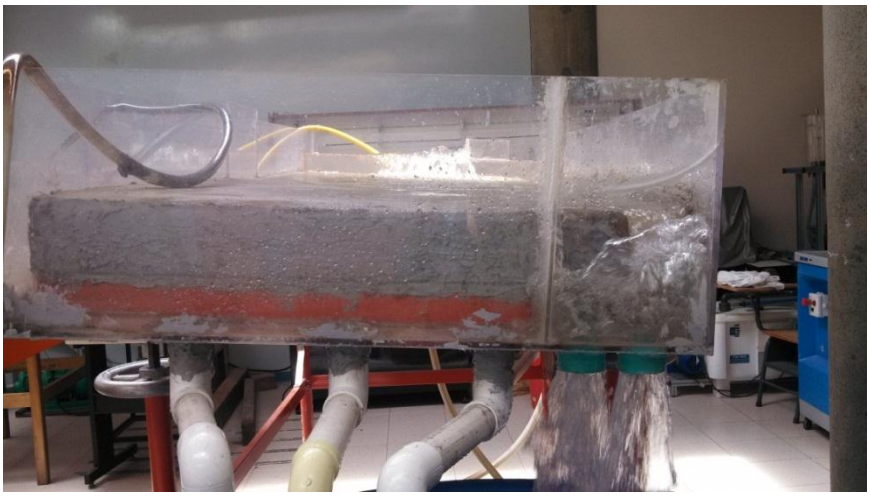
mostradas, aquí igualmente se tomó el caudal captado por cuneta y escorrentía para cada una de las pendientes, todos los datos tomados se presentan en el ANEXO 2. A continuación se muestran algunas de las pendientes tomadas:

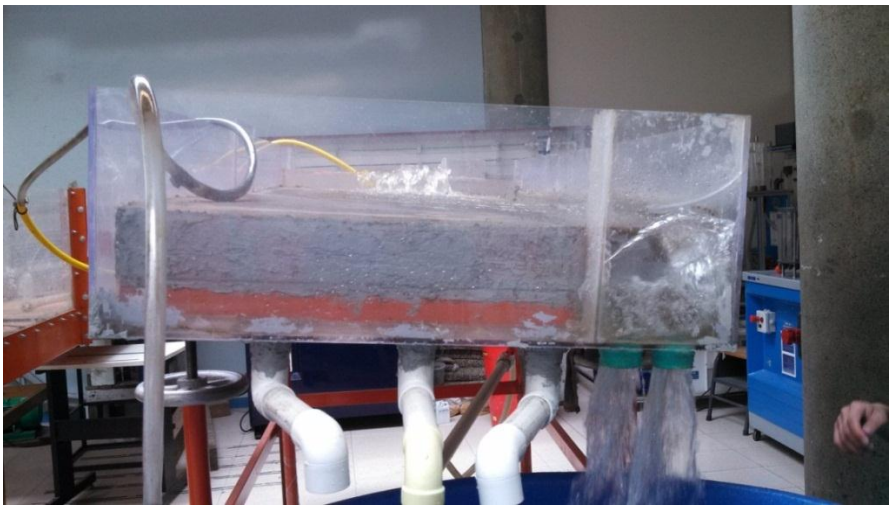


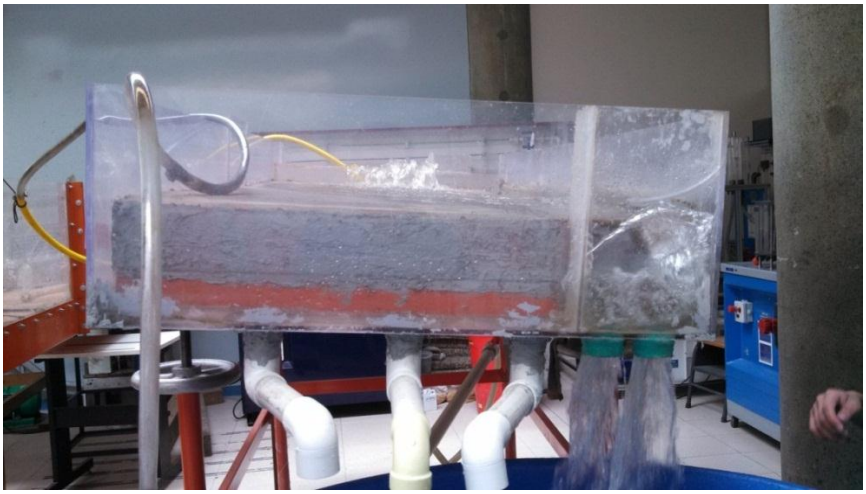












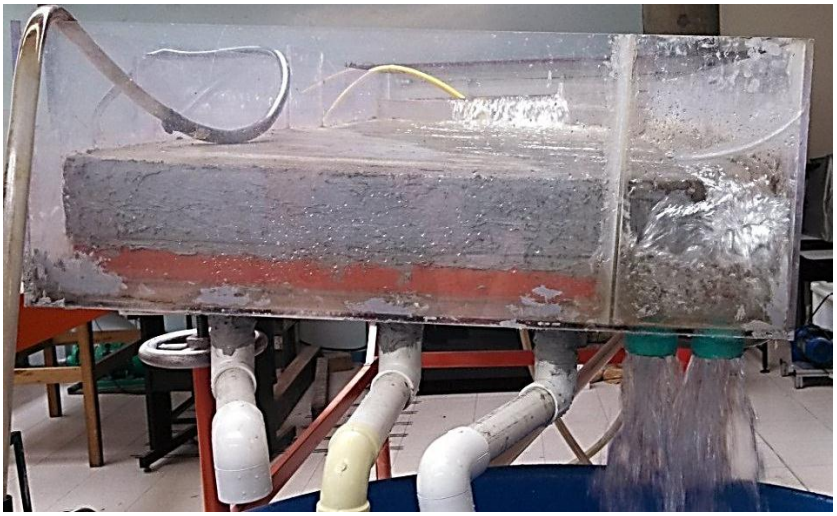


Figura 26 Pendientes para la toma de información.

Fuente: elaboración propia

Durante la toma de información se hizo el registro de cada uno de los valores, y finalizada esta labor se empezó a la realización de los cálculos.

6 ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Eficiencia De La Cuneta

Luego de realizar la toma de datos completa y de establecer el respectivo caudal para cada volumen de agua, se determinó la eficiencia de la cuneta con respecto al caudal que transporta; es decir, se establece cual es el porcentaje de caudal que se conduce a través de la cuneta.

Lo anterior se desarrolla mediante una proporcionalidad, en donde el caudal de agua aportado al modelo corresponde al 100% de eficiencia y se determina el porcentaje que se dirige por la cuneta de la siguiente forma, a modo de ejemplo:

$$Q_{Total} = 2.6794 \rightarrow 100\%$$

$$Q_{Cuneta} = 2.6639 \rightarrow X(\%)$$

Usando la proporcionalidad:

$$Q_{Cuneta} = \frac{2.6639 * 100\%}{2.6794}$$

$$Q_{Cuneta} = 99.42\ \%$$

Al modificar la pendiente longitudinal y transversal, de la anterior forma se hallaron todos los valores de eficiencia de la cuneta, que se presentan a continuación en las tablas

6.1.1 Pendiente 6%

Como se puede observar en la Tabla 4 , al mantenerse una pendiente transversal de 6% y modificar la pendiente longitudinal de 3% a 6% en la cuneta, variando los caudales según la capacidad de las bombas se observó, a partir de la Figura 27, que la cuneta no solo tiene la capacidad de transportar prácticamente en su totalidad los caudales aportados por las bombas, sino que además, debido a la elevada pendiente transversal el agua se conduce en una distancia muy corta de la calzada a la cuneta.

Como es sabido, a medida que se aumenta la pendiente transversal, el agua fluye con mayor rapidez a la cuneta, y a medida que se aumenta la pendiente longitudinal el agua fluye con mayor velocidad en la superficie del modelo. A excepción de la pendiente longitudinal de 6% con un caudal de 0.244 lt/s, correspondiente al caudal de la bomba sumergible, todos los datos de eficiencia de la cuneta obtenidos a una pendiente transversal de 6%, son de 100% o muy cercanos, lo que indica que el caudal aplicado al modelo se transportó por la cuneta.

Tabla 4

Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 6%

PENDIENTE LONGITUDINAL	CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE			CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)			CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE			CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)		
	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA
3,0	0,3013	0,3013	100,00	1,6806	1,6806	100,00	1,9212	1,9212	100,00	3,0984	3,0850	99,57
3,5	0,2470	0,2470	100,00	1,9847	1,9847	100,00	1,9849	1,9849	100,00	3,3368	3,3263	99,69
4,0	0,2234	0,2234	100,00	2,0054	2,0054	100,00	2,1669	2,1669	100,00	3,8356	3,8232	99,68
4,5	0,2447	0,2447	100,00	1,9706	1,9706	100,00	2,4289	2,4289	100,00	3,5243	3,5135	99,69
5,0	0,2311	0,2311	100,00	1,9297	1,9297	100,00	2,1938	2,1938	100,00	2,6794	2,6639	99,42
5,5	0,2563	0,2563	100,00	1,6705	1,6705	100,00	2,0658	2,0658	100,00	3,8467	3,8255	99,45
6,0	0,3395	0,2584	76,12	1,8554	1,8554	100,00	2,2146	2,2138	99,96	3,7364	3,7176	99,50

Fuente: Elaboración propia.

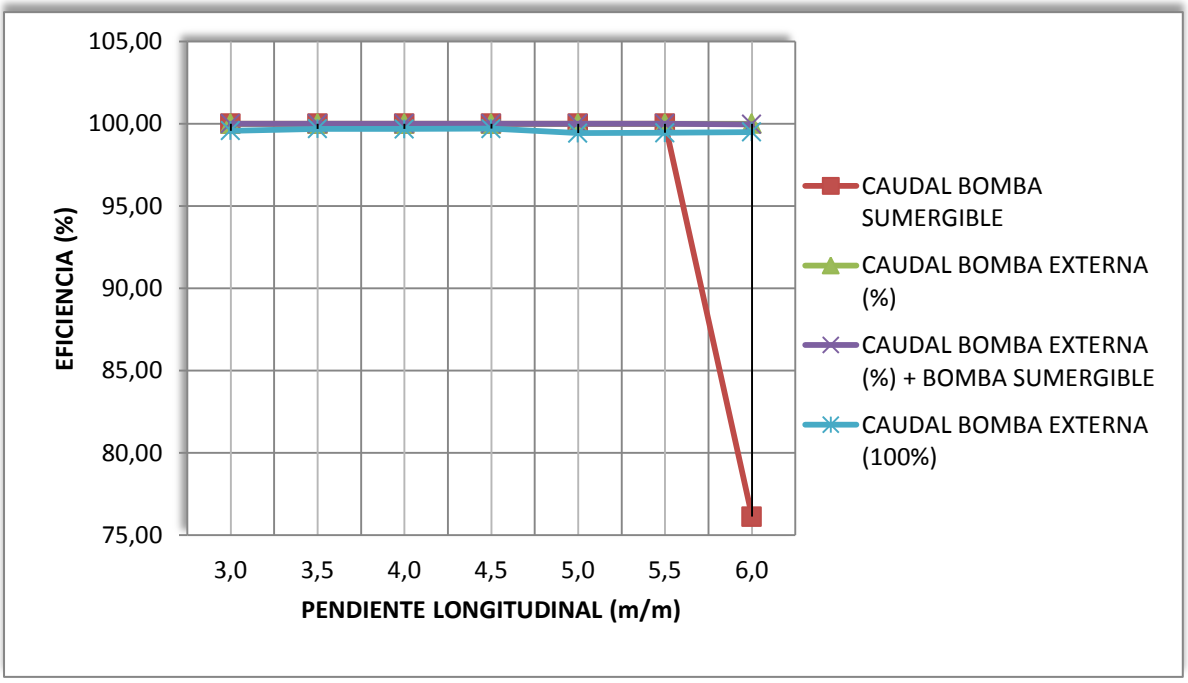


Figura 27 **Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 6%**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 7%

PENDIENTE LONGITUDINAL	CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE			CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)			CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE			CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)		
	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	% DE EFICIENCIA
3,0	0,2762	0,2762	100,00	1,7643	1,7643	100,00	1,9636	1,9636	100,00	3,3735	3,3713	99,93
3,5	0,2340	0,2340	100,00	1,6417	1,6417	100,00	2,3143	2,3143	100,00	3,5256	3,5234	99,94
4,0	0,2378	0,2378	100,00	1,4550	1,4550	100,00	1,9363	1,9363	100,00	3,8320	3,8298	99,94
4,5	0,2747	0,2747	100,00	1,7265	1,7265	100,00	1,9586	1,9586	100,00	4,0340	4,0319	99,95
5,0	0,2233	0,2233	100,00	1,9779	1,9779	100,00	1,9980	1,9978	99,99	3,5404	3,5379	99,93
5,5	0,2087	0,2087	100,00	1,8193	1,8193	100,00	2,3875	2,3870	99,98	3,6698	3,6666	99,91
6,0	0,2180	0,2180	100,00	1,7370	1,7370	100,00	2,2004	2,2004	100,00	3,1430	3,1383	99,85

Fuente: Elaboración propia

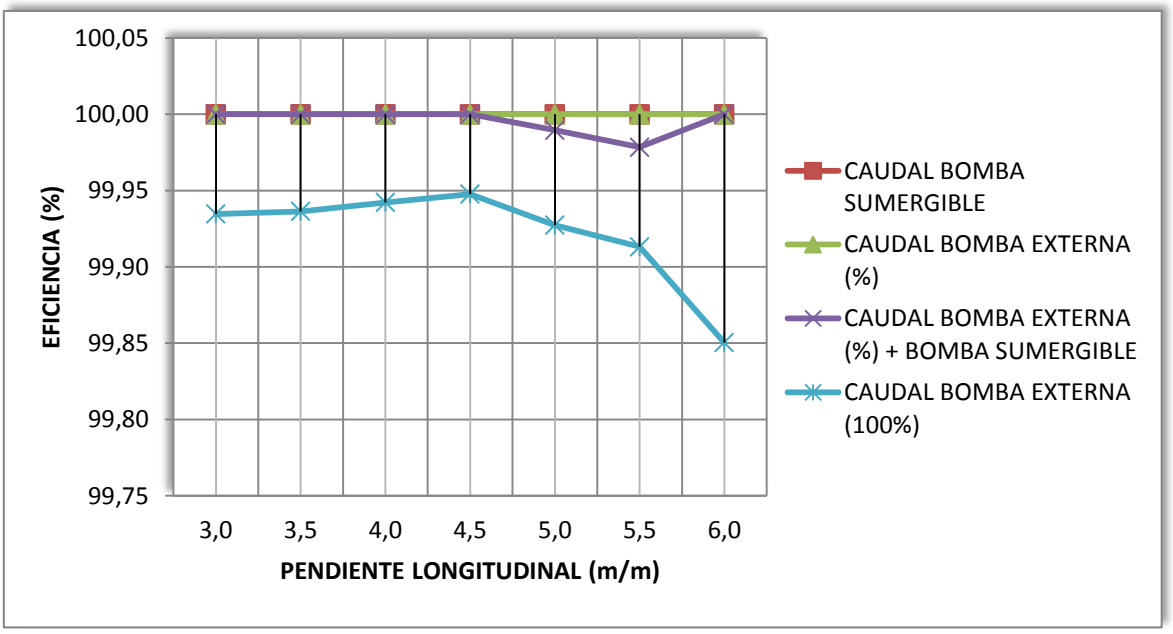


Figura 28 **Eficiencia de la cuneta: pendiente transversal de 7%**

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Pendiente 7%

La eficiencia de la cuneta al aumentar la pendiente transversal al 7% mejora como es esperado, manteniendo niveles de 100% o muy cercanos en su mayoría, ya que el caudal aportado al modelo se dirige con más rapidez a la cuneta.

Como se evidencia en los valores de la Tabla 5 y en la Figura 28, la eficiencia de la cuneta al someter al modelo a un caudal de 3.484 lt/s, correspondiente al caudal de la bomba externa al 100%, muestra valores inferiores al resto, sin embargo la eficiencia se mantiene sobre el 99%. Cuando se presentaron los resultados de la eficiencia de la cuneta con una pendiente longitudinal de 6% los valores de eficiencia de la cuneta con el mismo caudal también son inferiores al resto, debido a que el caudal se transporta con mayor velocidad y en una mayor área del modelo, sin embargo en los dos casos la eficiencia de la cuneta es bastante alta.

6.2 Caudales Teóricos

Con el objetivo principal de realizar la comparación de la eficiencia de la ecuación de Chezy-Manning y Darcy-Colebrook, se determinó el caudal teórico de la cuneta teniendo en cuenta cada una de las pendientes longitudinales utilizadas en el modelo, para posteriormente comparar los resultados de cada ecuación con los obtenidos en el laboratorio y determinar cuál es más eficiente. Lo anterior se realizó debido a que no se pueden comparar de forma directa los datos obtenidos en el laboratorio, puesto que en el

previo diseño de la cuneta, se obtuvo el mismo resultado al desarrollarse por las dos ecuaciones.

Para determinar el caudal teórico a partir de las ecuaciones, es necesario despejar el caudal en términos de diámetro, con el fin de obtener el valor del caudal para cada una de las pendientes longitudinales utilizadas y para el diámetro de diseño. Cabe resaltar que en ninguna de las ecuaciones se tiene en cuenta el valor de la pendiente transversal, motivo por el cual se comparan solo unos datos teóricos, correspondientes a cada ecuación, con los obtenidos en el laboratorio por ambas pendientes transversales.

Como se menciona anteriormente, se despejará las dos ecuaciones de caudal en términos de diámetro para facilidad de cálculo, como se muestra a continuación:

6.2.1 Ecuación de Chezy-Manning

A partir de la ecuación de Chezy-Manning se determinarán los diferentes caudales para cada una de las pendientes longitudinales utilizadas en el laboratorio, siendo este último dato la única variable de la ecuación; ya que el diámetro se considera constante al ser el mismo de diseño para cada inclinación de la vía y la rugosidad relativa del concreto y la constante matemática “π” también se consideran como tal.

Para obtener el caudal en función del diámetro se remplazan los valores de área, perímetro y finalmente radio hidráulico del semi-circulo como se muestra a continuación:

$A = \frac{\pi D^2}{8}$ *ÀREA*

$P = \frac{\pi\, D}{2}$ *PERIMETRO*

$R_H = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi D^2}{8}}{\frac{\pi D}{2}} = \frac{D}{4}$ *RADIO HIDRAULICO*

$$Q = \frac{1.49}{\eta}\frac{\pi\, D^2}{8}\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3}\sqrt{S} \qquad \text{Ecuación 20}$$

Al multiplicar el valor del área por el de radio hidráulico se obtiene:

$$Q = \frac{1.49}{\eta}\frac{\pi\, D^{8/3}}{20.159}\sqrt{S}$$

Simplificando se obtiene la ecuación de caudal de Chezy-Manning en función de diámetro:

$$Q = \frac{0.074}{\eta}\pi\, D^{8/3}\sqrt{S}$$

A continuación en la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de caudal teórico en base a la anterior ecuación:

Tabla 6

Caudal teórico Ecuación de Chezy-Manning

CALCULO DE CAUDAL ECUACION DE CHEZY - MANNING					
PENDIENTE LONGITUDINAL "S"	DIAMETRO (m)	RUGOSIDAD "n"	π	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (lt/s)
3				0,070	69,617
3,5				0,075	75,195
4				0,080	80,387
4,5	0,1016	0,013	3,1416	0,085	85,263
5				0,090	89,875
5,5				0,094	94,262
6				0,098	98,454

Fuente: Elaboración propia.

El Diámetro utilizado en el cálculo de caudal es el diámetro de diseño luego de aplicar la escala equivalente a 4”.

6.2.2 Ecuación de Darcy-Colebrook

Al igual que en la ecuación de Chezy-Manning la ecuación de caudal de Darcy-Colebrook se deja en función del diámetro, este último es el mismo diámetro de diseño escalado previamente, el cual tiene el mismo valor de 4”.

La ecuación de Darcy-Colebrook contiene más constantes que la anterior ya analizada, sin embargo se desarrolla de la misma forma usando el diámetro constante y dejando como única variable la pendiente longitudinal del terreno.

La ecuación de flujo en términos de caudal de Darcy-Colebrook es:

$$Q = -2A\sqrt{2g\ D\ S}\log\left(\frac{K_s}{3.7\ D} + \frac{2.51\ \upsilon}{D\sqrt{2g\ DS}}\right) \qquad \text{Ecuación 21}$$

Donde las constantes a parte del diámetro son:

$K_s = 0.36\ mm$ *RUGOSIDAD ABSOLUTA DEL CONCRETO*

$\upsilon = 0.01010\ \ \text{cm}^2/\text{seg}$ *VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA A 20ºC*

$S = 2.06\%$ *PENDIENTE DE FONDO*

Remplazando en el área del semi-circulo en la ecuación 21:

$$Q = -2\left(\frac{\pi\ D^2}{8}\right)\sqrt{2g\ D\ S}\log\left(\frac{K_s}{3.7\ D} + \frac{2.51\ \upsilon}{D\sqrt{2g\ DS}}\right)$$

En la Tabla 7 se muestran los valores de caudal para las pendientes trabajadas en el laboratorio, de igual forma se evidencia que el caudal es directamente proporcional a la

pendiente longitudinal del terreno, aumentando la velocidad del agua con el incremento de pendiente.

Tabla 7

Caudal teórico Ecuación de Darcy-Colebrook

CALCULO DE CAUDAL ECUACION DE DARCY - COLEBROOK							
PENDIENTE LONGITUDINAL "S"	DIAMETRO (m)	RUGOSIDAD ABSOLUTA (m)	π	VISCOSIDAD CINEMATICA DEL AGUA A 20ºC (m2/s)	GRAVEDAD m/s2	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (lt/s)
3						0,0598	59,759
3,5						0,0646	64,555
4						0,0690	69,018
4,5	0,1016	0,00036	3,1416	0,00000101	9,81	0,0732	73,210
5						0,0772	77,175
5,5						0,0809	80,947
6						0,0846	84,550

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Diferencia Porcentual de Caudales Teóricos

Como se puede observar en los resultados teóricos de ambas ecuaciones los caudales obtenidos varían según la pendiente longitudinal y también según la ecuación utilizada. Con el objetivo de determinar un porcentaje de dicha variación y teniendo en cuenta que cada una usa constantes diferentes, se elaboró la Tabla 8 que indica con exactitud la desviación de cálculo al obtener el caudal por las dos ecuaciones.

Tabla 8

Diferencia porcentual de caudales teóricos

DIFERENCIA PORCENTUAL DE CAUDALES TEORICOS			
PENDIENTE	CAUDAL CHEZY-MANNING	CAUDAL DARCY-COLEBROOK	DIF. PORCENTUAL
3	0,070	0,0598	14,16
3,5	0,075	0,0646	14,15
4	0,080	0,0690	14,14
4,5	0,085	0,0732	14,14
5	0,090	0,0772	14,13
5,5	0,094	0,0809	14,13
6	0,098	0,0846	14,12

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Tabla 8 que teóricamente todos los caudales de calculados por Chezy-Manning transportan en general 14% más caudal que los hallados por Darcy-Colebrook. Resaltando que solo se tiene en cuenta los datos teóricos, es necesario comparar cada uno de estos datos con los obtenidos en el laboratorio, para así determinar cuál ecuación es más eficiente.

6.4 Eficiencia de las Ecuaciones

Debido a que el diseño de la cuneta usando la ecuación de Chezy-Mannig arrojo el mismo valor que al diseñar con la ecuación de Darcy-Colebrook, en el laboratorio se manejó una cuneta que representa a las dos ecuaciones. Para poder comparar la eficiencia de cada una

es necesario comparar el valor del caudal obtenido en la práctica con el valor de caudal obtenido de forma teórica.

Como en ninguna de las dos ecuaciones se considera el peralte de la vía en el diseño, para obtener un solo valor de laboratorio, con cada caudal y cada pendiente transversal, se realizó un promedio entre los caudales obtenidos con una pendiente transversal de 6% y de 7%.

Para obtener la eficiencia de cada ecuación a partir de la comparación ya mencionada, se tomó como referencia el caudal teórico y a partir de este se obtuvo un porcentaje de eficiencia del caudal de laboratorio, de la siguiente forma:

$$Q_{TEÓRICO} \rightarrow 100\%$$

$$Q_{LABORATORIO} \rightarrow X(\%)$$

$$X(\%) = \frac{Q_{LABORATORIO} * 100\%}{Q_{TEÓRICO}}$$

Este valor nos indica a cuanto equivale el caudal obtenido de forma práctica, con respecto al caudal teórico.

Los dos factores que tienen mayor influencia en los valores de eficiencia son la pendiente longitudinal y el caudal. Debido a que este último es mucho más representativo para el dato que se busca obtener, se desarrolla con mayor profundidad en cada ecuación. Sin embargo en los resultados arrojados por la Tabla 9 y Tabla10 se evidencia un aumento de eficiencia con la disminución de la pendiente longitudinal, lo que se presenta debido a que los caudales captados por la cuneta son mayores al disminuir la velocidad de flujo en el terreno.

6.4.1 Eficiencia de la ecuación de Chezy-Manning

Buscando encontrar la máxima eficiencia posible al cotejar los valores experimentales con los teóricos, se realizó la tabla 9 que expresa los valores de eficiencia al modificar la pendiente longitudinal y el caudal de aporte. Como se puede observar en la figura los valores de eficiencia máxima conciernen a los obtenidos con el caudal más alto, correspondiente al de la bomba externa trabajando al 100%, a su vez se evidencia que los valores más bajos son los que corresponden al menor caudal. Lo anterior es debido a que la cuneta está en condiciones de transportar este caudal.

En todos los caudales utilizados al modificar el peralte de la vía, los valores de eficiencia aumentaron como se muestra en la Figura 29, presentando el valor más alto con una pendiente logitudinal de 4% y la bomba de 3,48 lt/seg, correspondiente a la bomba externa al 100%, dando como resultado una eficiencia de 4,76%.

Tabla 9

Eficiencia de la Ecuación de Chezy-Manning

EFICIENCIA DE LA CUNETA ECUACIÓN CHEZY-MANNING									
PENDIENTE LONGITUDINAL	CAUDAL TEORICO (lt/s)	CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)	% DE EFICIENCIA
3	69,617	0,289	0,41	1,722	2,47	1,942	2,79	3,228	4,64
3,5	75,195	0,240	0,32	1,813	2,41	2,150	2,86	3,425	4,55
4	80,387	0,231	0,29	1,730	2,15	2,052	2,55	3,826	4,76
4,5	85,263	0,260	0,30	1,849	2,17	2,194	2,57	3,773	4,42
5	89,875	0,227	0,25	1,954	2,17	2,096	2,33	3,101	3,45
5,5	94,262	0,233	0,25	1,745	1,85	2,226	2,36	3,746	3,97
6	98,454	0,238	0,24	1,796	1,82	2,207	2,24	3,428	3,48

Fuente: Elaboración propia

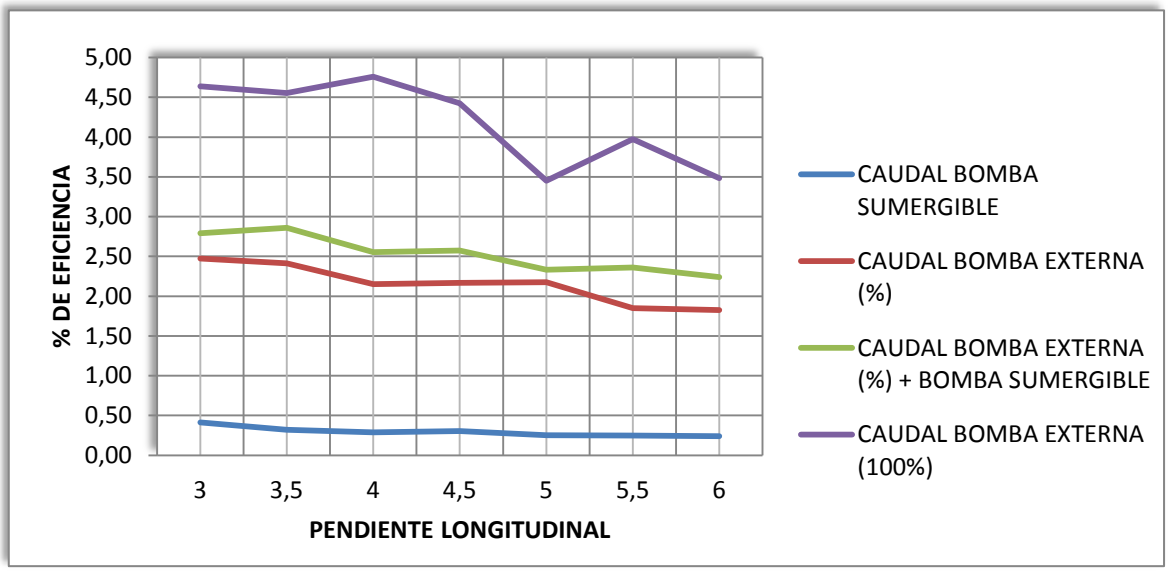


Figura 29 Eficiencia de la Ecuación de Chezy-Manning

Fuente: Elaboración propia

6.4.2 Eficiencia de la ecuación de Darcy-Colebrook

Debido a que los valores teóricos de caudal determinados por la ecuación de Darcy-Colebrook también presentaron valores mucho más altos que los aportados por las bombas en el laboratorio, los resultados de la eficiencia son bajos a causa de la gran diferencia de caudales a analizar.

Observando la tabla 10, y si se compara la eficiencia de las dos ecuaciones se evidencian valores más altos en la ecuación de Darcy-Colebrook, esto es debido a que los caudales teóricos de esta ecuación son inferiores a los de la ecuación de Chezy-Manning, lo que los hace más cercanos a los valores de caudal obtenidos en el laboratorio. Además el factor más importante en el valor de la eficiencia nuevamente es el caudal por sobre la pendiente longitudinal.

Por razones ya mencionadas, los valores de máxima eficiencia se presentan en el caudal de la bomba externa trabajando al 100%, y el valor más alto, coincidiendo con la ecuación de Chezy-Manning, corresponde a un peralte de 4%, con un valor de eficiencia de 5,54% como se evidencia a continuación en la Figura 30

Tabla 10

Eficiencia de la Ecuación de Darcy-Colebrook

EFICIENCIA DE LA CUNETA ECUACIÓN DARCY-COLEBROOK									
PENDIENTE LONGITUDINAL	CAUDAL TEORICO (lt/s)	CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE	% DE EFICIENCIA	CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)	% DE EFICIENCIA
3	59,759	0,289	0,48	1,722	2,88	1,942	3,25	3,228	5,40
3,5	64,555	0,240	0,37	1,813	2,81	2,150	3,33	3,425	5,31
4	69,018	0,231	0,33	1,730	2,51	2,052	2,97	3,826	5,54
4,5	73,210	0,260	0,35	1,849	2,52	2,194	3,00	3,773	5,15
5	77,175	0,227	0,29	1,954	2,53	2,096	2,72	3,101	4,02
5,5	80,947	0,233	0,29	1,745	2,16	2,226	2,75	3,746	4,63
6	84,550	0,238	0,28	1,796	2,12	2,207	2,61	3,428	4,05

Fuente: Elaboración propia

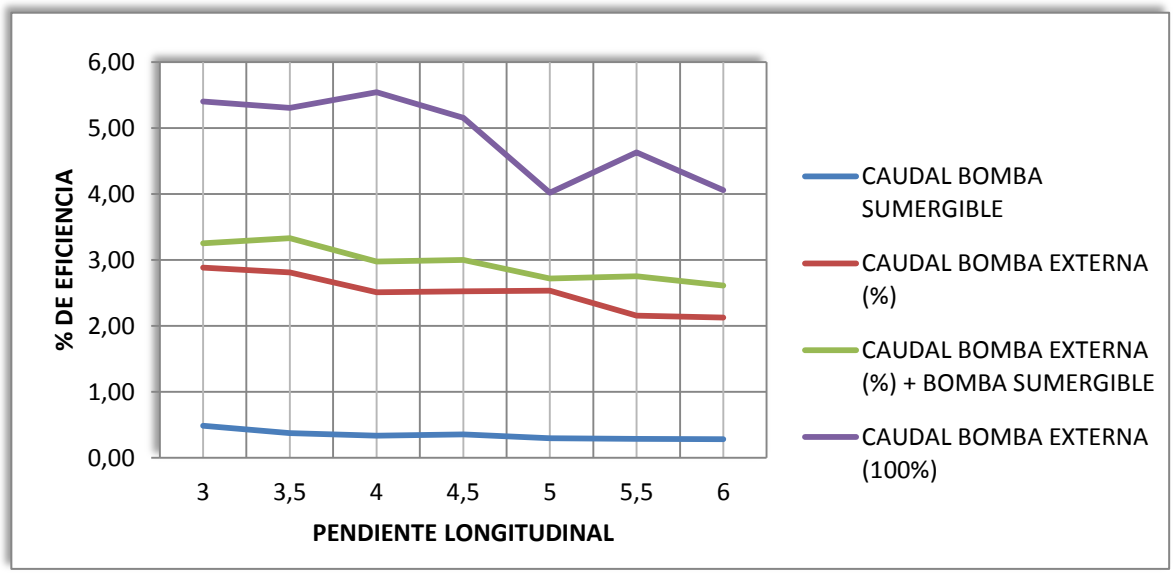


Figura 30 **Eficiencia de la Ecuación de Darcy-Colebrook**

Fuente: Elaboración propia

7 CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta las variables utilizadas en el diseño de la cuneta para las dos ecuaciones de estudio (velocidad, caudal, rugosidad, pendientes y profundidad) se observa que no se tuvieron grandes diferencias en la sección transversal, con lo anterior podemos decir que el diseño de una cuneta se puede realizar por medio de las dos fórmulas de estudio, teniendo resultados confiables y las cuales pueden ser utilizadas dependiendo de la información con la que se cuenta.

- Debido a que el diseño de la cuneta por las dos ecuaciones arrojo el mismo valor de diámetro, no se presenta diferencia alguna en el proceso constructivo. Es por lo anterior que se determinó la eficiencia de caudal de la cuneta a partir de los datos óptimos o teóricos para cada situación, siendo la ecuación de Darcy-Colebrok la más eficiente ya que arroja porcentajes de eficiencia mayores que con la ecuación de Chezy-Manning.

- Debido a que la pendiente transversal no se tiene en cuenta en ninguna de las dos ecuaciones de diseño, no es posible determinar de forma teórica la eficiencia de cada una de las ecuaciones, tal como se realizó con las pendientes longitudinales. Por otro lado al determinar la eficiencia de la cuneta en forma experimental se obtuvo resultados muy positivos y similares, a su vez se evidencio que con un

peralte de 7% es posible captar más agua de escorrentía que con un peralte de 6%, siendo este primero más eficiente.

- Luego de hacer el respectivo análisis para las dos ecuaciones, el mayor porcentaje de eficiencia se presentó al trabajar la cuneta con una pendiente longitudinal de 4% y un caudal de 3.48 lt/seg. En este punto la cuneta logra su máxima eficiencia, debido a que el caudal es el más significativo que se le aporta al modelo, razón por la cual también es el mayor volumen de agua captado por la cuneta.

- Con base a los resultados obtenidos en el modelo físico, la sección semicircular muestra un buen comportamiento para la zona de estudio, barrio la Candelaria en Bogotá, ya que este presenta un terreno de tipo ondulado y además se encuentran altas pendientes longitudinales y en algunas zonas transversales. Como se menciona anteriormente esto ayuda debido a que a medida que se aumenta la pendiente transversal, el agua fluye con mayor rapidez hacia la cuneta, y a medida que se aumenta la pendiente longitudinal el agua fluye con mayor velocidad permitiendo una mayor captación para agua de escorrentía.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto nacional de vías. . Subdirección de Apoyo Técnico. (2009*), Manual de drenaje urbano para carreteras.* Bogotá D.C.: Colombia.

- Gobierno de España, Ministerio de obras públicas y urbanismo, *Instrucciones 5.2-IC Drenaje Superficial* (Julio 1990). MOPU Tecnología carreteras

- República de Colombia, Ministerio de Transporte. Instituto nacional de vías. Subdirección de Apoyo Técnico. (2008), *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá D.C.: Colombia.

- Tamayo Y T.Mario. Serie aprender a investigar. Módulo 2 ICFES. Cali: Universidad ICESI, (s.d.)
- Ven Te Chow, *Hidráulica de canales abiertos* (1994). Ed Mc Graw-Gill, Bogotá D.C., Colombia.

Artículo:

- Marbello, R.& Cárdenas, M. (2012) *Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy&Weisbach- Colebrook& White*

ANEXOS

ANEXO 1: AFORO DE BOMBAS HIDRÀULICAS

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

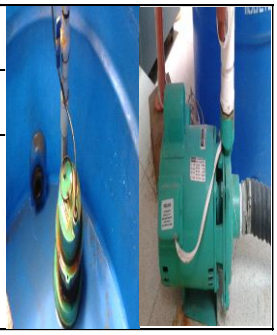
No	TIEMPO (seg)	MASA AGUA + RECIPIENTE (gr)		MASA AGUA (gr)			VOLUMEN (lt)	CAUDAL (lt/s)	CAUDAL (m3/s)
		ESCORRENTIA	CUNETA	ESCORRENTIA	CUNETA	TOTAL			
1	1,42	410,5	741,5	0	311	311	0,3331	0,2439	0,0002
2	1,13	410,5	720,2	0	289,7	289,7			
3	1,48	410,5	772,1	0	341,6	341,6			
4	1,56	410,5	824,3	0	393,8	393,8			
5	1,24	410,5	760,1	0	329,6	329,6			
PROMEDIO	1,366					333,14			

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

No	TIEMPO (seg)	MASA AGUA + RECIPIENTE (gr)		MASA AGUA (gr)			VOLUMEN (lt)	CAUDAL (lt/s)	CAUDAL (m3/s)
		ESCORRENTIA	CUNETA	ESCORRENTIA	CUNETA	TOTAL			
1	1,24	410,5	2618,4	0	2187,9	2187,9	1,9058	1,6123	0,0016
2	1,06	410,5	2478,2	0	2047,7	2047,7			
3	1,26	410,5	2209,6	0	1779,1	1779,1			
4	1,22	410,5	2250,4	0	1819,9	1819,9			
5	1,13	410,5	2124,8	0	1694,3	1694,3			
PROMEDIO	1,182					1905,78			

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

No	TIEMPO (seg)	MASA AGUA + RECIPIENTE (gr)		MASA AGUA (gr)			VOLUMEN (lt)	CAUDAL (lt/s)	CAUDAL (m3/s)
		ESCORRENTIA	CUNETA	ESCORRENTIA	CUNETA	TOTAL			
1	1,07	410,5	2619,2	0	2188,7	2188,7	2,3407	2,0318	0,0020
2	1,02	410,5	2690,2	0	2259,7	2259,7			
3	1,14	410,5	2653,8	0	2223,3	2223,3			
4	1,17	410,5	2879	0	2448,5	2448,5			
5	1,36	410,5	3013,7	0	2583,2	2583,2			
PROMEDIO	1,152					2340,68			



CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

No	TIEMPO (seg)	MASA AGUA + RECIPIENTE (gr)		MASA AGUA (gr)			VOLUMEN (lt)	CAUDAL (lt/s)	CAUDAL (m3/s)
		ESCORRENTIA	CUNETA	ESCORRENTIA	CUNETA	TOTAL			
1	1,93	3536,7	4267,2	3126,2	3836,7	6962,9	7,8462	3,4841	0,0035
2	2,06	4193	4628,2	3782,5	4197,7	7980,2			
3	2,22	3890,5	4544	3480	4113,5	7593,5			
4	2,69	4623,7	5400,5	4213,2	4970	9183,2			
5	2,36	3809,9	4542,1	3399,4	4111,6	7511			
PROMEDIO	2,252					7846,16			

ANEXO 2 RESULTADOS DE TOMA DE DATOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	3	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,34	410,5	820,9	0	390,4	0	0,3904	0	0,3297	0,3297
	2	1,2	410,5	761,9	0	331,4	0	0,3314	0	0,2799	0,2799
	3	1,08	410,5	747,9	0	317,4	0	0,3174	0	0,2681	0,2681
	4	1,08	410,5	785,9	0	355,4	0	0,3554	0	0,3002	0,3002
	5	1,22	410,5	819,5	0	389	0	0,389	0	0,3285	0,3285
PROMEDIO		1,184	410,5	787,22	0	356,72	0	0,35672	0	0,3013	0,3013

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,95	410,5	3585,3	0	3154,8	0	3,1548	0	1,9260	1,9260
	2	1,56	410,5	3218,1	0	2787,6	0	2,7876	0	1,7018	1,7018
	3	1,8	410,5	3310,3	0	2879,8	0	2,8798	0	1,7581	1,7581
	4	1,49	410,5	2930,1	0	2499,6	0	2,4996	0	1,5260	1,5260
	5	1,39	410,5	2873	0	2442,5	0	2,4425	0	1,4911	1,4911
PROMEDIO		1,638	410,5	3183,36	0	2752,86	0	2,75286	0	1,6806	1,6806

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,14	410,5	2402,3	0	1971,8	0	1,9718	0	1,6514	1,6514
	2	1,17	410,5	3156,3	0	2725,8	0	2,7258	0	2,2829	2,2829
	3	1,32	410,5	2835,5	0	2405	0	2,405	0	2,0142	2,0142
	4	1,06	410,5	2637,3	0	2206,8	0	2,2068	0	1,8482	1,8482
	5	1,28	410,5	2590,6	0	2160,1	0	2,1601	0	1,8091	1,8091
PROMEDIO		1,194	410,5	2724,4	0	2293,9	0	2,2939	0	1,9212	1,9212

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,66	441,4	5836,4	30,9	5405,9	0,0309	5,4059	0,021193416	3,7078	3,7289
	2	1,31	427,2	4748,3	16,7	4317,8	0,0167	4,3178	0,011454047	2,9615	2,9729
	3	1,76	426,9	5675,5	16,4	5245	0,0164	5,245	0,011248285	3,5974	3,6086
	4	1,21	427,2	3959,5	16,7	3529	0,0167	3,529	0,011454047	2,4204	2,4319
	5	1,35	427,2	4422,8	16,7	3992,3	0,0167	3,9923	0,011454047	2,7382	2,7497
PROMEDIO		1,458	429,98	4928,5	19,48	4498	0,01948	4,498	0,013360768	3,0850	3,0984

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	3,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,46	410,5	769,7	0	339,2	0	0,3392	0	0,2509	0,2509
	2	1,42	410,5	707,7	0	277,2	0	0,2772	0	0,2050	0,2050
	3	1,37	410,5	766,8	0	336,3	0	0,3363	0	0,2487	0,2487
	4	1,12	410,5	783,8	0	353,3	0	0,3533	0	0,2613	0,2613
	5	1,39	410,5	793,9	0	363,4	0	0,3634	0	0,2688	0,2688
PROMEDIO		1,352	410,5	764,38	0	333,88	0	0,33388	0	0,2470	0,2470

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,38	410,5	3038,6	0	2608,1	0	2,6081	0	2,0031	2,0031
	2	1,03	410,5	2632,1	0	2201,6	0	2,2016	0	1,6909	1,6909
	3	1,27	410,5	3192,2	0	2761,7	0	2,7617	0	2,1211	2,1211
	4	1,39	410,5	3170,1	0	2739,6	0	2,7396	0	2,1041	2,1041
	5	1,44	410,5	3039,6	0	2609,1	0	2,6091	0	2,0039	2,0039
PROMEDIO		1,302	410,5	3014,52	0	2584,02	0	2,58402	0	1,9847	1,9847

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,35	410,5	3071,2	0	2640,7	0	2,6407	0	2,3452	2,3452
	2	1,11	410,5	2648,5	0	2218	0	2,218	0	1,9698	1,9698
	3	1,06	410,5	2595,6	0	2165,1	0	2,1651	0	1,9228	1,9228
	4	1,16	410,5	2806,2	0	2375,7	0	2,3757	0	2,1099	2,1099
	5	0,95	410,5	2206,1	0	1775,6	0	1,7756	0	1,5769	1,5769
PROMEDIO		1,126	410,5	2665,52	0	2235,02	0	2,23502	0	1,9849	1,9849

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,22	425,2	4562,4	14,7	4131,9	0,0147	4,1319	0,010440341	2,9346	2,9450
	2	1,45	425,3	5334,6	14,8	4904,1	0,0148	4,9041	0,010511364	3,4830	3,4935
	3	1,55	425,2	5255,7	14,7	4825,2	0,0147	4,8252	0,010440341	3,4270	3,4374
	4	1,32	425,3	5266,7	14,8	4836,2	0,0148	4,8362	0,010511364	3,4348	3,4453
	5	1,5	425,1	5150,6	14,6	4720,1	0,0146	4,7201	0,010369318	3,3523	3,3627
PROMEDIO		1,408	425,22	5114	14,72	4683,5	0,01472	4,6835	0,010454545	3,3263	3,3368

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	4	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,3	410,5	713,2	0	282,7	0	0,2827	0	0,2016	0,2016
	2	1,37	410,5	708,6	0	278,1	0	0,2781	0	0,1984	0,1984
	3	1,35	410,5	781,5	0	351	0	0,351	0	0,2504	0,2504
	4	1,29	410,5	748,4	0	317,9	0	0,3179	0	0,2267	0,2267
	5	1,7	410,5	767,1	0	336,6	0	0,3366	0	0,2401	0,2401
PROMEDIO		1,402	410,5	743,76	0	313,26	0	0,31326	0	0,2234	0,2234

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,13	410,5	2912,1	0	2481,6	0	2,4816	0	1,8972	1,8972
	2	1,61	410,5	3638	0	3207,5	0	3,2075	0	2,4522	2,4522
	3	1,07	410,5	2730,2	0	2299,7	0	2,2997	0	1,7582	1,7582
	4	1,42	410,5	3241	0	2810,5	0	2,8105	0	2,1487	2,1487
	5	1,31	410,5	2746,7	0	2316,2	0	2,3162	0	1,7708	1,7708
PROMEDIO		1,308	410,5	3053,6	0	2623,1	0	2,6231	0	2,0054	2,0054

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	0,91	410,5	2261	0	1830,5	0	1,8305	0	1,5053	1,5053
	2	1,28	410,5	3062,5	0	2632	0	2,632	0	2,1645	2,1645
	3	1,34	410,5	3678,2	0	3247,7	0	3,2477	0	2,6708	2,6708
	4	1,24	410,5	3224,2	0	2793,7	0	2,7937	0	2,2975	2,2975
	5	1,31	410,5	3101,6	0	2671,1	0	2,6711	0	2,1966	2,1966
PROMEDIO		1,216	410,5	3065,5	0	2635	0	2,635	0	2,1669	2,1669

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,03	423,8	4764,8	13,3	4334,3	0,0133	4,3343	0,012090909	3,9403	3,9524
	2	0,99	424,1	4388,9	13,6	3958,4	0,0136	3,9584	0,012363636	3,5985	3,6109
	3	1,02	424,2	4730,7	13,7	4300,2	0,0137	4,3002	0,012454545	3,9093	3,9217
	4	1,08	424,6	3899,2	14,1	3468,7	0,0141	3,4687	0,012818182	3,1534	3,1662
	5	1,38	424,2	5396,3	13,7	4965,8	0,0137	4,9658	0,012454545	4,5144	4,5268
PROMEDIO		1,1	424,18	4635,98	13,68	4205,48	0,01368	4,20548	0,012436364	3,8232	3,8356

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	4,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	2	410,5	884,6	0	454,1	0	0,4541	0	0,2831	0,2831
	2	1,68	410,5	796,2	0	365,7	0	0,3657	0	0,2280	0,2280
	3	1,39	410,5	858,6	0	428,1	0	0,4281	0	0,2669	0,2669
	4	1,48	410,5	830,5	0	400	0	0,4	0	0,2494	0,2494
	5	1,47	410,5	745,3	0	314,8	0	0,3148	0	0,1963	0,1963
PROMEDIO		1,604	410,5	823,04	0	392,54	0	0,39254	0	0,2447	0,2447

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,33	410,5	2979,2	0	2548,7	0	2,5487	0	1,9819	1,9819
	2	1,49	410,5	3202,6	0	2772,1	0	2,7721	0	2,1556	2,1556
	3	1,01	410,5	2831,5	0	2401	0	2,401	0	1,8670	1,8670
	4	1,52	410,5	3105,3	0	2674,8	0	2,6748	0	2,0799	2,0799
	5	1,08	410,5	2704,9	0	2274,4	0	2,2744	0	1,7686	1,7686
PROMEDIO		1,286	410,5	2964,7	0	2534,2	0	2,5342	0	1,9706	1,9706

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,43	410,5	3373,6	0	2943,1	0	2,9431	0	2,5548	2,5548
	2	0,9	410,5	2881,7	0	2451,2	0	2,4512	0	2,1278	2,1278
	3	1,1	410,5	3317,2	0	2886,7	0	2,8867	0	2,5058	2,5058
	4	1,24	410,5	3394,2	0	2963,7	0	2,9637	0	2,5727	2,5727
	5	1,09	410,5	3176,3	0	2745,8	0	2,7458	0	2,3835	2,3835
PROMEDIO		1,152	410,5	3228,6	0	2798,1	0	2,7981	0	2,4289	2,4289

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,65	424,4	5505	13,9	5074,5	0,0139	5,0745	0,010131195	3,6986	3,7087
	2	1,51	426	6532,4	15,5	6101,9	0,0155	6,1019	0,011297376	4,4474	4,4587
	3	1,14	426,4	4479,4	15,9	4048,9	0,0159	4,0489	0,011588921	2,9511	2,9627
	4	1,2	424,5	4675,9	14	4245,4	0,014	4,2454	0,010204082	3,0943	3,1045
	5	1,36	425,5	5062,1	15	4631,6	0,015	4,6316	0,010932945	3,3758	3,3867
PROMEDIO		1,372	425,36	5250,96	14,86	4820,46	0,01486	4,82046	0,010830904	3,5135	3,5243

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,9	410,5	854,2	0	423,7	0	0,4237	0	0,2466	0,2466
	2	1,53	410,5	781,6	0	351,1	0	0,3511	0	0,2044	0,2044
	3	2,18	410,5	874,1	0	443,6	0	0,4436	0	0,2582	0,2582
	4	1,44	410,5	859	0	428,5	0	0,4285	0	0,2494	0,2494
	5	1,54	410,5	768,9	0	338,4	0	0,3384	0	0,1970	0,1970
PROMEDIO		1,718	410,5	827,56	0	397,06	0	0,39706	0	0,2311	0,2311

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,99	410,5	3987,2	0	3556,7	0	3,5567	0	2,0464	2,0464
	2	1,67	410,5	3855,6	0	3425,1	0	3,4251	0	1,9707	1,9707
	3	1,59	410,5	3764,8	0	3334,3	0	3,3343	0	1,9185	1,9185
	4	1,95	410,5	3717,8	0	3287,3	0	3,2873	0	1,8914	1,8914
	5	1,49	410,5	3596,4	0	3165,9	0	3,1659	0	1,8216	1,8216
PROMEDIO		1,738	410,5	3784,36	0	3353,86	0	3,35386	0	1,9297	1,9297

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,39	410,5	3655,9	0	3225,4	0	3,2254	0	2,6438	2,6438
	2	1,04	410,5	2787,4	0	2356,9	0	2,3569	0	1,9319	1,9319
	3	1,19	410,5	2795,8	0	2365,3	0	2,3653	0	1,9388	1,9388
	4	1,44	410,5	3238,2	0	2807,7	0	2,8077	0	2,3014	2,3014
	5	1,04	410,5	3057,4	0	2626,9	0	2,6269	0	2,1532	2,1532
PROMEDIO		1,22	410,5	3106,94	0	2676,44	0	2,67644	0	2,1938	2,1938

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,28	427,2	4473,2	16,7	4042,7	0,0167	4,0427	0,013666121	3,3083	3,3219
	2	1,12	427,9	4061,6	17,4	3631,1	0,0174	3,6311	0,014238953	2,1136	2,1278
	3	1,16	430,3	5139,5	19,8	4709	0,0198	4,709	0,016202946	2,7410	2,7572
	4	1,38	432,6	4774,2	22,1	4343,7	0,0221	4,3437	0,018085106	2,5283	2,5464
	5	1,17	429,2	4946,4	18,7	4515,9	0,0187	4,5159	0,015302782	2,6286	2,6439
PROMEDIO		1,222	429,44	4678,98	18,94	4248,48	0,01894	4,24848	0,015499182	2,6639	2,6794

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	5,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1	410,5	823,9	0	393,4	0	0,3934	0	0,3122	0,3122
	2	1,35	410,5	708,6	0	278,1	0	0,2781	0	0,2207	0,2207
	3	1,24	410,5	755,1	0	324,6	0	0,3246	0	0,2576	0,2576
	4	1,36	410,5	725,1	0	294,6	0	0,2946	0	0,2338	0,2338
	5	1,35	410,5	754,5	0	324	0	0,324	0	0,2571	0,2571
PROMEDIO		1,26	410,5	753,44	0	322,94	0	0,32294	0	0,2563	0,2563

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,4	410,5	3373,4	0	2942,9	0	2,9429	0	1,7538	1,7538
	2	1,93	410,5	3475,6	0	3045,1	0	3,0451	0	1,8147	1,8147
	3	1,35	410,5	2938,1	0	2507,6	0	2,5076	0	1,4944	1,4944
	4	1,7	410,5	3450,3	0	3019,8	0	3,0198	0	1,7996	1,7996
	5	2,01	410,5	2930,2	0	2499,7	0	2,4997	0	1,4897	1,4897
PROMEDIO		1,678	410,5	3233,52	0	2803,02	0	2,80302	0	1,6705	1,6705

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,94	410,5	4116,7	0	3686,2	0	3,6862	0	2,5670	2,5670
	2	1,04	410,5	3451,6	0	3021,1	0	3,0211	0	2,1038	2,1038
	3	1,36	410,5	3311,4	0	2880,9	0	2,8809	0	2,0062	2,0062
	4	1,64	410,5	2882,5	0	2452	0	2,452	0	1,7075	1,7075
	5	1,2	410,5	3222,6	0	2792,1	0	2,7921	0	1,9444	1,9444
PROMEDIO		1,436	410,5	3396,96	0	2966,46	0	2,96646	0	2,0658	2,0658

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,12	435,2	5016,7	24,7	4586,2	0,0247	4,5862	0,020583333	3,8218	3,8424
	2	1,16	434,5	5555,3	24	5124,8	0,024	5,1248	0,02	4,2707	4,2907
	3	1,14	435,6	5072,7	25,1	4642,2	0,0251	4,6422	0,020916667	3,8685	3,8894
	4	1,42	437,1	4843,2	26,6	4412,7	0,0266	4,4127	0,022166667	3,6773	3,6994
	5	1,16	437,6	4617,3	27,1	4186,8	0,0271	4,1868	0,022583333	3,4890	3,5116
PROMEDIO		1,2	436	5021,04	25,5	4590,54	0,0255	4,59054	0,02125	3,8255	3,8467

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	6	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	6
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s))	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,2	510,4	768,2	99,9	337,7	0,0999	0,3377	0,081087662	0,2741	0,3552
	2	1,46	510,4	755,7	99,9	325,2	0,0999	0,3252	0,081087662	0,2640	0,3450
	3	1,02	510,4	745	99,9	314,5	0,0999	0,3145	0,081087662	0,2553	0,3364
	4	1,08	510,4	725,3	99,9	294,8	0,0999	0,2948	0,081087662	0,2393	0,3204
	5	1,4	510,4	750,3	99,9	319,8	0,0999	0,3198	0,081087662	0,2596	0,3407
PROMEDIO		1,232	510,4	748,9	99,9	318,4	0,0999	0,3184	0,081087662	0,2584	0,3395

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s))	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,76	410,5	3470,2	0	3039,7	0	3,0397	0	1,9190	1,9190
	2	1,82	410,5	3434,2	0	3003,7	0	3,0037	0	1,8963	1,8963
	3	1,12	410,5	2789,2	0	2358,7	0	2,3587	0	1,4891	1,4891
	4	1,45	410,5	3466,9	0	3036,4	0	3,0364	0	1,9169	1,9169
	5	1,77	410,5	3687	0	3256,5	0	3,2565	0	2,0559	2,0559
PROMEDIO		1,584	410,5	3369,5	0	2939	0	2,939	0	1,8554	1,8554

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s))	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,38	410,5	3243,4	0	2812,9	0	2,8129	0	2,0237	2,0237
	2	1,27	410,5	3717,5	0	3287	0	3,287	0	2,3647	2,3647
	3	1,22	410,5	3140	0	2709,5	0	2,7095	0	1,9493	1,9493
	4	1,73	411,5	3615,2	1	3184,7	0,001	3,1847	0,000719424	2,2912	2,2919
	5	1,35	415,4	3822	4,9	3391,5	0,0049	3,3915	0,00352518	2,4399	2,4435
PROMEDIO		1,39	411,68	3507,62	1,18	3077,12	0,00118	3,07712	0,000848921	2,2138	2,2146

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s))	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,07	440,2	5443,2	29,7	5012,7	0,0297	5,0127	0,021902655	3,6967	3,7186
	2	1,4	439,3	5567,2	28,8	5136,7	0,0288	5,1367	0,021238938	3,7881	3,8094
	3	1,32	437,1	5426,8	26,6	4996,3	0,0266	4,9963	0,019616519	3,6846	3,7042
	4	1,76	436,2	5971,4	25,7	5540,9	0,0257	5,5409	0,018952802	4,0862	4,1052
	5	1,23	427,3	4949,1	16,8	4518,6	0,0168	4,5186	0,012389381	3,3323	3,3447
PROMEDIO		1,356	436,02	5471,54	25,52	5041,04	0,02552	5,04104	0,018820059	3,7176	3,7364

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	3	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,22	410,5	798,4	0	367,9	0	0,3679	0	0,2766	0,2766
	2	1,38	410,5	848,6	0	418,1	0	0,4181	0	0,3144	0,3144
	3	1,35	410,5	763,3	0	332,8	0	0,3328	0	0,2502	0,2502
	4	1,24	410,5	809,6	0	379,1	0	0,3791	0	0,2850	0,2850
	5	1,46	410,5	769,1	0	338,6	0	0,3386	0	0,2546	0,2546
PROMEDIO		1,33	410,5	797,8	0	367,3	0	0,3673	0	0,2762	0,2762

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,09	410,5	2613,5	0	2183	0	2,183	0	1,7436	1,7436
	2	1,08	410,5	2728,1	0	2297,6	0	2,2976	0	1,8351	1,8351
	3	1,48	410,5	2730,1	0	2299,6	0	2,2996	0	1,8367	1,8367
	4	1,43	410,5	2354	0	1923,5	0	1,9235	0	1,5363	1,5363
	5	1,18	410,5	2771,3	0	2340,8	0	2,3408	0	1,8696	1,8696
PROMEDIO		1,252	410,5	2639,4	0	2208,9	0	2,2089	0	1,7643	1,7643

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,82	410,5	3236,8	0	2806,3	0	2,8063	0	1,8860	1,8860
	2	1,16	410,5	3306,1	0	2875,6	0	2,8756	0	1,9325	1,9325
	3	1,32	410,5	3232,4	0	2801,9	0	2,8019	0	1,8830	1,8830
	4	1,4	410,5	3755,4	0	3324,9	0	3,3249	0	2,2345	2,2345
	5	1,74	410,5	3230,9	0	2800,4	0	2,8004	0	1,8820	1,8820
PROMEDIO		1,488	410,5	3352,32	0	2921,82	0	2,92182	0	1,9636	1,9636

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	0,92	413	3851,1	2,5	3420,6	0,0025	3,4206	0,002204586	3,0164	3,0186
	2	1,27	413	4440,5	2,5	4010	0,0025	4,01	0,002204586	3,5362	3,5384
	3	1,1	413	4418,8	2,5	3988,3	0,0025	3,9883	0,002204586	3,5170	3,5192
	4	1,4	413	4301,7	2,5	3871,2	0,0025	3,8712	0,002204586	3,4138	3,4160
	5	0,98	413	4255,8	2,5	3825,3	0,0025	3,8253	0,002204586	3,3733	3,3755
PROMEDIO		1,134	413	4253,58	2,5	3823,08	0,0025	3,82308	0,002204586	3,3713	3,3735

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	3,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,2	410,5	729,7	0	299,2	0	0,2992	0	0,2134	0,2134
	2	1,47	410,5	795,5	0	365	0	0,365	0	0,2603	0,2603
	3	1,38	410,5	712,2	0	281,7	0	0,2817	0	0,2009	0,2009
	4	1,37	410,5	739,2	0	308,7	0	0,3087	0	0,2202	0,2202
	5	1,59	410,5	816,2	0	385,7	0	0,3857	0	0,2751	0,2751
PROMEDIO		1,402	410,5	758,56	0	328,06	0	0,32806	0	0,2340	0,2340

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,3	410,5	2283,1	0	1852,6	0	1,8526	0	1,4406	1,4406
	2	1,3	410,5	3287,9	0	2857,4	0	2,8574	0	2,2219	2,2219
	3	1,2	410,5	2441,2	0	2010,7	0	2,0107	0	1,5635	1,5635
	4	1,39	410,5	2212,3	0	1781,8	0	1,7818	0	1,3855	1,3855
	5	1,24	410,5	2483,9	0	2053,4	0	2,0534	0	1,5967	1,5967
PROMEDIO		1,286	410,5	2541,68	0	2111,18	0	2,11118	0	1,6417	1,6417

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,21	410,5	3217,5	0	2787	0	2,787	0	2,1114	2,1114
	2	1,3	410,5	3792,6	0	3362,1	0	3,3621	0	2,5470	2,5470
	3	1,26	410,5	3534,4	0	3103,9	0	3,1039	0	2,3514	2,3514
	4	1,61	410,5	3452,7	0	3022,2	0	3,0222	0	2,2895	2,2895
	5	1,22	410,5	3429,5	0	2999	0	2,999	0	2,2720	2,2720
PROMEDIO		1,32	410,5	3485,34	0	3054,84	0	3,05484	0	2,3143	2,3143

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,17	413	4379,9	2,5	3949,4	0,0025	3,9494	0,002244165	3,5452	3,5475
	2	1,2	413	4115,4	2,5	3684,9	0,0025	3,6849	0,002244165	3,3078	3,3101
	3	1,03	413	4466,8	2,5	4036,3	0,0025	4,0363	0,002244165	3,6232	3,6255
	4	1,2	413	4238,1	2,5	3807,6	0,0025	3,8076	0,002244165	3,4180	3,4202
	5	0,97	413	4577,5	2,5	4147	0,0025	4,147	0,002244165	3,7226	3,7249
PROMEDIO		1,114	413	4355,54	2,5	3925,04	0,0025	3,92504	0,002244165	3,5234	3,5256

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	4	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,6	410,5	794,5	0	364	0	0,364	0	0,2545	0,2545
	2	1,22	410,5	778,6	0	348,1	0	0,3481	0	0,2434	0,2434
	3	1,64	410,5	803,4	0	372,9	0	0,3729	0	0,2608	0,2608
	4	1,33	410,5	718,1	0	287,6	0	0,2876	0	0,2011	0,2011
	5	1,36	410,5	758	0	327,5	0	0,3275	0	0,2290	0,2290
PROMEDIO		1,43	410,5	770,52	0	340,02	0	0,34002	0	0,2378	0,2378

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,34	410,5	2206,3	0	1775,8	0	1,7758	0	1,3077	1,3077
	2	1,29	410,5	2444,1	0	2013,6	0	2,0136	0	1,4828	1,4828
	3	1,39	410,5	2648,5	0	2218	0	2,218	0	1,6333	1,6333
	4	1,3	410,5	2304,2	0	1873,7	0	1,8737	0	1,3797	1,3797
	5	1,47	410,5	2429	0	1998,5	0	1,9985	0	1,4716	1,4716
PROMEDIO		1,358	410,5	2406,42	0	1975,92	0	1,97592	0	1,4550	1,4550

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,81	410,5	3189,7	0	2759,2	0	2,7592	0	1,9513	1,9513
	2	1,32	410,5	3481,3	0	3050,8	0	3,0508	0	2,1576	2,1576
	3	1,2	410,5	3075,4	0	2644,9	0	2,6449	0	1,8705	1,8705
	4	1,48	410,5	3181,4	0	2750,9	0	2,7509	0	1,9455	1,9455
	5	1,26	410,5	2914	0	2483,5	0	2,4835	0	1,7564	1,7564
PROMEDIO		1,414	410,5	3168,36	0	2737,86	0	2,73786	0	1,9363	1,9363

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORRENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	0,93	413	4646,9	2,5	4216,4	0,0025	4,2164	0,002212389	3,7313	3,7335
	2	0,99	413	4945,7	2,5	4515,2	0,0025	4,5152	0,002212389	3,9958	3,9980
	3	1,2	413	4625,7	2,5	4195,2	0,0025	4,1952	0,002212389	3,7126	3,7148
	4	1,38	413	5088	2,5	4657,5	0,0025	4,6575	0,002212389	4,1217	4,1239
	5	1,15	413	4484,4	2,5	4053,9	0,0025	4,0539	0,002212389	3,5875	3,5897
PROMEDIO		1,13	413	4758,14	2,5	4327,64	0,0025	4,32764	0,002212389	3,8298	3,8320

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	4,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,09	410,5	781,9	0	351,4	0	0,3514	0	0,2750	0,2750
	2	1,46	410,5	793,5	0	363	0	0,363	0	0,2840	0,2840
	3	1,48	410,5	832,2	0	401,7	0	0,4017	0	0,3143	0,3143
	4	1,02	410,5	744,2	0	313,7	0	0,3137	0	0,2455	0,2455
	5	1,34	410,5	756,2	0	325,7	0	0,3257	0	0,2549	0,2549
PROMEDIO		1,278	410,5	781,6	0	351,1	0	0,3511	0	0,2747	0,2747

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,16	410,5	2441,6	0	2011,1	0	2,0111	0	1,4853	1,4853
	2	1,6	410,5	2569,8	0	2139,3	0	2,1393	0	1,5800	1,5800
	3	1,38	410,5	3077,8	0	2647,3	0	2,6473	0	1,9552	1,9552
	4	1,5	410,5	3000,8	0	2570,3	0	2,5703	0	1,8983	1,8983
	5	1,13	410,5	2750,8	0	2320,3	0	2,3203	0	1,7137	1,7137
PROMEDIO		1,354	410,5	2768,16	0	2337,66	0	2,33766	0	1,7265	1,7265

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,31	410,5	3312,7	0	2882,2	0	2,8822	0	2,1802	2,1802
	2	1,36	410,5	3846,1	0	3415,6	0	3,4156	0	2,5837	2,5837
	3	1,14	410,5	2759	0	2328,5	0	2,3285	0	1,7613	1,7613
	4	1,5	410,5	2995,8	0	2565,3	0	2,5653	0	1,9405	1,9405
	5	1,3	410,5	2185,3	0	1754,8	0	1,7548	0	1,3274	1,3274
PROMEDIO		1,322	410,5	3019,78	0	2589,28	0	2,58928	0	1,9586	1,9586

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,18	413	5802	2,5	5371,5	0,0025	5,3715	0,002111486	4,5367	4,5389
	2	1,21	413	4533	2,5	4102,5	0,0025	4,1025	0,002111486	3,4649	3,4671
	3	1,37	413	5672,3	2,5	5241,8	0,0025	5,2418	0,002111486	4,4272	4,4293
	4	1,35	413	5867,8	2,5	5437,3	0,0025	5,4373	0,002111486	4,5923	4,5944
	5	0,81	413	4146	2,5	3715,5	0,0025	3,7155	0,002111486	3,1381	3,1402
PROMEDIO		1,184	413	5204,22	2,5	4773,72	0,0025	4,77372	0,002111486	4,0319	4,0340

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,68	410,5	825	0	394,5	0	0,3945	0	0,2487	0,2487
	2	1,55	410,5	808,9	0	378,4	0	0,3784	0	0,2386	0,2386
	3	1,44	410,5	803,5	0	373	0	0,373	0	0,2352	0,2352
	4	1,68	410,5	705,5	0	275	0	0,275	0	0,1734	0,1734
	5	1,58	410,5	780,3	0	349,8	0	0,3498	0	0,2206	0,2206
PROMEDIO		1,586	410,5	784,64	0	354,14	0	0,35414	0	0,2233	0,2233

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,68	410,5	2915,6	0	2485,1	0	2,4851	0	1,7306	1,7306
	2	1,49	410,5	3886,9	0	3456,4	0	3,4564	0	2,4070	2,4070
	3	1,34	410,5	3375,6	0	2945,1	0	2,9451	0	2,0509	2,0509
	4	1,5	410,5	3306,5	0	2876	0	2,876	0	2,0028	2,0028
	5	1,17	410,5	2868,9	0	2438,4	0	2,4384	0	1,6981	1,6981
PROMEDIO		1,436	410,5	3270,7	0	2840,2	0	2,8402	0	1,9779	1,9779

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,26	410,6	3035,6	0,1	2605,1	0,0001	2,6051	6,94444E-05	1,8091	1,8092
	2	1,5	410,7	3246,9	0,2	2816,4	0,0002	2,8164	0,000138889	1,9558	1,9560
	3	1,5	411,1	3178,9	0,6	2748,4	0,0006	2,7484	0,000416667	1,9086	1,9090
	4	1,38	410,8	3592,2	0,3	3161,7	0,0003	3,1617	0,000208333	2,1956	2,1958
	5	1,56	410,8	3482,7	0,3	3052,2	0,0003	3,0522	0,000208333	2,1196	2,1198
PROMEDIO		1,44	410,8	3307,26	0,3	2876,76	0,0003	2,87676	0,000208333	1,9978	1,9980

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,42	414	5596,3	3,5	5165,8	0,0035	5,1658	0,002433936	3,5924	3,5948
	2	1,95	414	5499,8	3,5	5069,3	0,0035	5,0693	0,002433936	3,5252	3,5277
	3	1,12	414,6	4494,1	4,1	4063,6	0,0041	4,0636	0,002851182	2,8259	2,8287
	4	1,26	412,7	5954,8	2,2	5524,3	0,0022	5,5243	0,001529903	3,8417	3,8432
	5	1,44	415,7	6044,7	5,2	5614,2	0,0052	5,6142	0,003616134	3,9042	3,9078
PROMEDIO		1,438	414,2	5517,94	3,7	5087,44	0,0037	5,08744	0,002573018	3,5379	3,5404

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	5,5	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,24	410,5	737	0	306,5	0	0,3065	0	0,2014	0,2014
	2	1,78	410,5	787,5	0	357	0	0,357	0	0,2346	0,2346
	3	1,17	410,5	723	0	292,5	0	0,2925	0	0,1922	0,1922
	4	1,35	410,5	750,1	0	319,6	0	0,3196	0	0,2100	0,2100
	5	2,07	410,5	743,2	0	312,7	0	0,3127	0	0,2055	0,2055
PROMEDIO		1,522	410,5	748,16	0	317,66	0	0,31766	0	0,2087	0,2087

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,95	410,5	3718,9	0	3288,4	0	3,2884	0	1,9141	1,9141
	2	1,62	410,5	3528,4	0	3097,9	0	3,0979	0	1,8032	1,8032
	3	2,08	410,5	4289,6	0	3859,1	0	3,8591	0	2,2463	2,2463
	4	1,56	410,5	3350,1	0	2919,6	0	2,9196	0	1,6994	1,6994
	5	1,38	410,5	2893,1	0	2462,6	0	2,4626	0	1,4334	1,4334
PROMEDIO		1,718	410,5	3556,02	0	3125,52	0	3,12552	0	1,8193	1,8193

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,22	411,5	3821,5	1	3391	0,001	3,391	0,000782473	2,6534	2,6541
	2	1,12	411,2	4048,1	0,7	3617,6	0,0007	3,6176	0,000547731	2,8307	2,8312
	3	1,53	411,1	3419,6	0,6	2989,1	0,0006	2,9891	0,000469484	2,3389	2,3394
	4	1,32	410,9	3111,2	0,4	2680,7	0,0004	2,6807	0,000312989	2,0976	2,0979
	5	1,2	411,1	3005,2	0,6	2574,7	0,0006	2,5747	0,000469484	2,0146	2,0151
PROMEDIO		1,278	411,16	3481,12	0,66	3050,62	0,00066	3,05062	0,000516432	2,3870	2,3875

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)

CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,54	414,6	5483,7	4,1	5053,2	0,0041	5,0532	0,003139357	3,8692	3,8724
	2	0,86	414,5	4955,2	4	4524,7	0,004	4,5247	0,003062787	3,4645	3,4676
	3	1,1	414,8	4935,2	4,3	4504,7	0,0043	4,5047	0,003292496	3,4492	3,4525
	4	1,51	414,6	5182,7	4,1	4752,2	0,0041	4,7522	0,003139357	3,6387	3,6419
	5	1,52	414,8	5538,5	4,3	5108	0,0043	5,108	0,003292496	3,9112	3,9145
PROMEDIO		1,306	414,66	5219,06	4,16	4788,56	0,00416	4,78856	0,003185299	3,6666	3,6698

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA

PROYECTO: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN CUNETAS CIRCULARES USANDO LAS ECUACIONES DE CHEZY-MANNING Y DARCY-COLEBROOK EN UN MODELO FÍSICO

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

PENDIENTE LONGITUDINAL	6	**PENDIENTE TRANSVERSAL**	7
PESO RECIPIENTE 1 Captación Escorrentía (gr)	410,5	**PESO RECIPIENTE 2 Captación Cuneta (gr)**	430,5

CAUDAL BOMBA SUMERGIBLE											
CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
0,2439	1	1,39	410,5	803,2	0	372,7	0	0,3727	0	0,2632	0,2632
	2	1,69	410,5	764	0	333,5	0	0,3335	0	0,2355	0,2355
	3	1,44	410,5	702	0	271,5	0	0,2715	0	0,1917	0,1917
	4	1,31	410,5	713	0	282,5	0	0,2825	0	0,1995	0,1995
	5	1,25	410,5	713,7	0	283,2	0	0,2832	0	0,2000	0,2000
PROMEDIO		1,416	410,5	739,18	0	308,68	0	0,30868	0	0,2180	0,2180

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%)											
CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
1,6123	1	1,4	410,5	3008	0	2577,5	0	2,5775	0	1,4628	1,4628
	2	1,46	410,5	2892,8	0	2462,3	0	2,4623	0	1,3974	1,3974
	3	1,67	410,5	3823,4	0	3392,9	0	3,3929	0	1,9256	1,9256
	4	1,92	410,5	3851,2	0	3420,7	0	3,4207	0	1,9414	1,9414
	5	2,36	410,5	3880,1	0	3449,6	0	3,4496	0	1,9578	1,9578
PROMEDIO		1,762	410,5	3491,1	0	3060,6	0	3,0606	0	1,7370	1,7370

CAUDAL BOMBA EXTERNA (%) + BOMBA SUMERGIBLE											
CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
2,0318	1	1,39	410,5	3465,1	0	3034,6	0	3,0346	0	2,3745	2,3745
	2	1,09	410,5	3232,1	0	2801,6	0	2,8016	0	2,1922	2,1922
	3	1,38	410,5	3220,6	0	2790,1	0	2,7901	0	2,1832	2,1832
	4	1,42	410,5	3437,7	0	3007,2	0	3,0072	0	2,3531	2,3531
	5	1,11	410,5	2857,5	0	2427	0	2,427	0	1,8991	1,8991
PROMEDIO		1,278	410,5	3242,6	0	2812,1	0	2,8121	0	2,2004	2,2004

CAUDAL BOMBA EXTERNA (100%)											
CAUDAL DE ESCORRENTIA (lt/s)	DATO NÚMERO	TIEMPO (seg)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua+Recipien. (gr)	CAPTACIÓN ESCORENTI Masa Agua(gr)	CAPTACIÓN CUNETA Masa Agua (gr)	VOLUMEN ESCORRENTIA(lt)	VOLUMEN CUNETA (lt)	CAUDAL ESCORRENTIA (lt/s)	CAUDAL CUENTA (lt/s)	CAUDAL TOTAL
3,4841	1	1,42	418,7	5269,5	8,2	4839	0,0082	4,839	0,00579096	3,4174	3,4232
	2	1,13	417,5	4410,4	7	3979,9	0,007	3,9799	0,004943503	2,8107	2,8156
	3	0,99	417	4221,1	6,5	3790,6	0,0065	3,7906	0,004590395	2,6770	2,6816
	4	1,41	416,2	4874,4	5,7	4443,9	0,0057	4,4439	0,004025424	3,1383	3,1424
	5	1,77	416,4	5596,3	5,9	5165,8	0,0059	5,1658	0,004166667	3,6482	3,6523
PROMEDIO		1,344	417,16	4874,34	6,66	4443,84	0,00666	4,44384	0,00470339	3,1383	3,1430