UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CANALES ABIERTOS DE HORMIGÓN INCLUYENDO MICRO PARTÍCULAS DE CENIZA VOLCÁNICA, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE.

Autores:

Víctor Hugo Yaulema Llangarí

Henry Gabriel Velasteguí Chango

Tutor:

Ing. Nelson Patiño, MsC.

Riobamba – Ecuador

Año 2018

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: "COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CANALES ABIERTOS DE HORMIGÓN INCLUYENDO MICRO PARTÍCULAS DE CENIZA VOLCÁNICA, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE" presentado por **Víctor Hugo Yaulema Llangarí, Henry Gabriel Velasteguí Chango** y dirigida por: Ing. Nelson Patiño. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Nelson Patiño
Tutor del Proyecto

……
Firma

Dr. Víctor García
Miembro del Tribunal

……
Firma

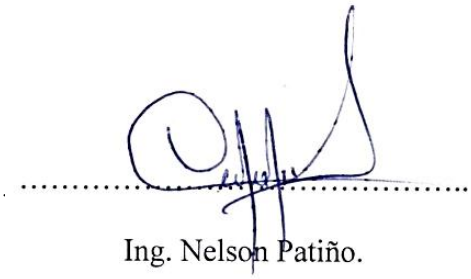
Ing. Alfonso Arellano
Miembro del Tribunal

……
Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Nelson Patiño**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: "COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CANALES ABIERTOS DE HORMIGÓN INCLUYENDO MICRO PARTÍCULAS DE CENIZA VOLCÁNICA, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE", CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los Señores **Víctor Hugo Yaulema Llangarí, Henry Gabriel Velasteguí Chango**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



Ing. Nelson Patiño.

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Víctor Hugo Yaulema Llangarí, Henry Gabriel Velasteguí Chango e Ing. Nelson Patiño; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

.....

Sr. Víctor Hugo Yaulema Llangarí

C.I. 060409263-5

.....

Sr. Henry Gabriel Velasteguí Chango

C.I. 160066557-2

AGRADECIMIENTO

El amor recibido, la dedicación y la paciencia que me brindaron mis padres durante toda esta etapa universitaria, es simplemente única y se convirtieron en el pilar fundamental para alcanzar tan anhelada meta.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí, a mis hermanos por la paciencia y apoyo incondicional, a mis tíos, primos y amigos que siempre han estado conmigo cuando más los necesitaba.

Gracias a Dios por la vida de mis padres, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que me quieren, y por permitirme amar a mis padres, gracias a mis padres por permitirme conocer a Dios y a su infinito amor, sin el nada de esto sería posible.

A mi tutor Ing. Nelson Patiño por la paciencia, dedicación y por guiarnos tan acertadamente durante el desarrollo de este proyecto.

Víctor Hugo Yaulema Llangarí

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mis padres, por ser el mayor ejemplo de amor puro que existe en esta vida, ya que con su demostración de afecto y cariño me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos. A mi familia por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

Henry Gabriel Velasteguí Chango

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios quien con sus bendiciones me permite luchar días tras día por mis sueños.

A mi querida madre Gladys a quien adoro con el alma por ser una mujer luchadora que siempre quiso darme lo mejor y me dio la oportunidad de culminar esta meta, a mis hermanos Cristian y Stalyn que siempre mostraron su apoyo y paciencia estando conmigo en todo momento. ¡Los quiero mucho!

A mi padre Marín que siempre estuvo pendiente de mí brindándome su apoyo incondicional.

A toda mi familia que es lo mejor que tengo en la vida, siempre me han hecho sentir como un ser amado e importante, el apoyo y el cariño se siente y también son parte de esto.

Víctor Hugo Yaulema Llangarí

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida profesional. A mis padres Adán Velasteguí y Wilma Chango, a mis hermanas Herlinda, Grace, Janeth, Shirley, Brigitte, Alisson, Haylís y Desiree por ser el pilar más importante durante toda mi vida, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Y como no a mi hermosa novia Tania Fernanda por ser un sustento emocional cada vez que el camino se ha puesto difícil.

También dedico este logro a cada una de las personas que siempre han estado pendientes de mí y motivándome para conseguir mis sueños

Henry Gabriel Velasteguí Chango

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE TABLAS xiii

RESUMEN xvii

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 3

2.1. OBJETIVO GENERAL 3

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

3. MARCO TEÓRICO 4

4. METODOLOGÍA 8

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40

6.1. CONCLUSIONES 40

6.2. RECOMENDACIONES 41

7. BIBLIOGRAFIA 42

8. ANEXOS 44

Anexo 1.- Modelo físico del canal hidráulico (Universidad Técnica de Ambato). 44

Anexo 2: Análisis Granulométrico 45

Anexo 3: Cortado y ensamblaje de los prototipos de canales prefabricados. 49

Anexo 4: Prototipo de canal ensamblado 50

Anexo 5: Ensayo de Fluidez 51

Anexo 6: Ensayo de Estabilidad 54

Anexo 7.- Cálculo de las dosificaciones 57

Anexo 8.- Colocación de las lechadas en los prototipos de canales prefabricados..... 59

Anexo 9.- Cálculo del coeficiente de rugosidad 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.- Esquema de la metodología planteada 8

Figura N° 2.- Ubicación de los depósitos naturales de ceniza volcánica (Puela) 9

Figura N° 3.- Prototipo prefabricado del canal de Fibrocemento. 12

Figura N° 4.- Corte transversal del prototipo prefabricado del canal de Fibrocemento. 13

Figura N° 5.- Resumen de curvas granulométricas. 19

Figura N° 6.- Promedio de curvas granulométricas 20

Figura N° 7.- Relación de Rugosidad y Caudal de descarga del modelo matemático.... 25

Figura N° 8.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (IP-15%MCV) 31

Figura N° 9.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (HE-15%MCV) 32

Figura N° 10.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (IP-25%MCV) 33

Figura N° 11.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (HE-25%MCV) 34

Figura N° 12.- Curva Pendiente vs Rugosidad 35

Figura N° 13.- Coeficientes de rugosidad experimentales vs al teórico. 37

Figura N° 14.- Porcentaje de aumento de caudal de descarga 38

Figura N° 15.- Modelo físico del canal hidráulico (UTA) 44

Figura N° 16.- Mecanismo para el cambio de pendiente longitudinal en el canal 44

Figura N° 17.- Curva granulométrica – Muestra 1 45

Figura N° 18.- Curva granulométrica – Muestra 2 46

Figura N° 19.- Curva granulométrica – Muestra 2 47

Figura N° 20.- Colocación de la ceniza volcánica en los tamices 48

Figura N° 21.- Tamizado de las muestras 48

Figura N° 22.- Proceso de cortado de las planchas de fibrocemento 49

Figura N° 23.- Ensamblaje de las partes del canal de fibrocemento 49

Figura N° 24.- Canal prefabricado de fibrocemento..... 50

Figura N° 25.- Proceso de mezclado de materiales 53

Figura N° 26.- Llenado de embudo para ensayo de fluidez..... 53

Figura N° 27.- Calibración de la mezcla..... 56

Figura N° 28.- Colocación de 250 ml de mezcla en la probeta 56

Figura N° 29.- Colocación de las lechadas en el prototipo de canal prefabricado 59

Figura N° 30.- Prototipos finales 59

Figura N° 31.- Colocación del prototipo en el canal hidráulico 88

Figura N° 32.- Calibración de la pendiente en el canal hidráulico 88

Figura N° 33.- Aforamiento volumétrico..... 89

Figura N° 34.- Medición de la profundidad de flujo 89

Figura N° 35.- Medición de la profundidad de flujo. 90

Figura N° 36.- Visita técnica del tutor del proyecto de investigación. 90

Figura N° 37.- Visita técnica del tutor del proyecto de investigación. 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.- Porcentajes de Micro-partículas de ceniza volcánica 13

Tabla N° 2.- Resumen del análisis granulométrico de las muestras 19

Tabla N° 3.- Cantidad total de Micro-partículas 21

Tabla N° 4.- Primera simulación del Modelo Matemático 22

Tabla N° 5.- Segunda simulación del Modelo Matemático 23

Tabla N° 6.- Tercera simulación del Modelo Matemático 24

Tabla N° 7.- Resumen Ensayo de Fluidez 26

Tabla N° 8.- Resumen Ensayo de Estabilidad 28

Tabla N° 9.- Resumen de las dosificaciones de las lechadas 29

Tabla N° 10.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-15%MCV) 30

Tabla N° 11.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-15%MCV).... 31

Tabla N° 12.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-25%MCV) 32

Tabla N° 13.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-25%MCV).... 33

Tabla N° 14.- Coeficientes de rugosidad experimentales vs al teórico..... 36

Tabla N° 15.- Porcentaje de aumento de caudal de descarga 38

Tabla N° 16.- Análisis granulométrico - Muestra 1 45

Tabla N° 17.- Análisis granulométrico - Muestra 2 46

Tabla N° 18.- Análisis granulométrico - Muestra 3 47

Tabla N° 19.- Ensayo de fluidez – Cemento IP 51

Tabla N° 20.- Ensayo de fluidez – Cemento HE 52

Tabla N° 21.- Ensayo de estabilidad – Cemento IP 54

Tabla N° 22.- Ensayo de estabilidad – Cemento HE 55

Tabla N° 23.- Dosificación 1 (IP-15%MCV) 57

Tabla N° 24.- Dosificación 2 (IP-25%MCV) 57

Tabla N° 25.- Dosificación 3 (HE-15%MCV)..... 58

Tabla N° 26.- Dosificación 4 (HE-25%MCV)..... 58

Tabla N° 27.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (IP-15%MCV) 60

Tabla N° 28.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (IP-15%MCV) 60

Tabla N° 29.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (IP-15%MCV) 61

Tabla N° 30.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (IP-15%MCV) 61

Tabla N° 31.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (IP-15%MCV) 62

Tabla N° 32.-Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (IP-15%MCV) 62

Tabla N° 33.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (IP-15%MCV) 63

Tabla N° 34.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (IP-15%MCV) 63

Tabla N° 35.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (IP-15%MCV) 64

Tabla N° 36.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (IP-15%MCV) 64

Tabla N° 37.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (IP-15%MCV) 65

Tabla N° 38.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (IP-15%MCV) 65

Tabla N° 39.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (HE-15%MCV)..... 67

Tabla N° 40.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (HE-15%MCV)..... 67

Tabla N° 41.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (HE-15%MCV)..... 68

Tabla N° 42.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (HE-15%MCV)..... 68

Tabla N° 43.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (HE-15%MCV)..... 69

Tabla N° 44.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (HE-15%MCV)..... 69

Tabla N° 45.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (HE-15%MCV)..... 70

Tabla N° 46.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (HE-15%MCV)..... 70

Tabla N° 47.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (HE-15%MCV)..... 71

Tabla N° 48.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (HE-15%MCV)..... 71

Tabla N° 49.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (HE-15%MCV)..... 72

Tabla N° 50.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (HE-15%MCV)..... 72

Tabla N° 51.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (IP-25%MCV) 74

Tabla N° 52.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (IP-25%MCV) 74

Tabla N° 53.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (IP-25%MCV) 75

Tabla N° 54.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (IP-25%MCV) 75

Tabla N° 55.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (IP-25%MCV) 76

Tabla N° 56.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (IP-25%MCV) 76

Tabla N° 57.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (IP-25%MCV) 77

Tabla N° 58.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (IP-25%MCV) 77

Tabla N° 59.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (IP-25%MCV) 78

Tabla N° 60.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (IP-25%MCV) 78

Tabla N° 61.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (IP-25%MCV) 79

Tabla N° 62.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (IP-25%MCV) 79

Tabla N° 63.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (HE-25%MCV)..... 81

Tabla N° 64.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (HE-25%MCV)..... 81

Tabla N° 65.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (HE-25%MCV)..... 82

Tabla N° 66.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (HE-25%MCV)..... 82

Tabla N° 67.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (HE-25%MCV)..... 83

Tabla N° 68.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (HE-25%MCV)..... 83

Tabla N° 69.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (HE-25%MCV)..... 84

Tabla N° 70.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (HE-25%MCV)..... 84

Tabla N° 71.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (HE-25%MCV)..... 85

Tabla N° 72.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (HE-25%MCV)..... 85

Tabla N° 73.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (HE-25%MCV)..... 86

Tabla N° 74.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (HE-25%MCV)..... 86

RESUMEN

En los últimos años se han realizado muchas investigaciones sobre el coeficiente de rugosidad en varias partes del mundo. Sin embargo, todavía existen dudas sobre la estimación precisa de este coeficiente en canales revestidos de hormigón para el cálculo del caudal. Se conoce además que la incorporación de materiales nano como nano-partículas de sílice, alúmina, hierro, etc., aplicados en los recubrimientos del fondo y paredes de los canales para reducir el valor del coeficiente de rugosidad es de origen reciente y ha revolucionado la industria de la construcción en el campo hidráulico, pues ayuda a aumentar el caudal de descarga, reducir el costo de construcción y mantenimiento. En nuestro país no existen investigaciones sobre la variación del coeficiente de rugosidad aplicando nano y micro-materiales como recubrimientos en canales revestidos de hormigón. Por lo tanto el objetivo de nuestra investigación es conocer la variación de este coeficiente incluyendo micro partículas de ceniza volcánica, cemento portland tipo IP y HE como recubrimientos del canal. Se elaboraron 4 prototipos de canales prefabricados de fibrocemento, revestidos con porcentajes de 15 y 25% de micro-partículas de ceniza volcánica como sustituto parcial del cemento con la finalidad de evaluar la influencia de estos porcentajes en la variación del coeficiente de rugosidad que sufren estos recubrimientos y compararlos entre sí. Se obtuvo como resultado que la sustitución parcial de cemento por micro-partículas de ceniza volcánica muestra una disminución desde el 14% al 21% del coeficiente de rugosidad respecto a la rugosidad teórica del concreto terminado con llana metálica.

Palabras claves: Coeficiente de rugosidad, Micro partículas de ceniza volcánica, Canal revestido de hormigón.

Abstract

In recent years, several academic research has been carried out, on the roughness coefficient in different parts of the world. However, there are still doubts about the precise estimation of this coefficient in concrete-lined channels for calculating the flow rate. In addition, it is not known that mainstreaming process of nano materials such as nano-particles of silica, alumina, iron, etc., applied to the bottom coatings and walls of the channels to reduce the value of the roughness coefficient is of recent origin. It has revolutionized the construction industry in the hydraulic field because it helps to increase the flow of discharge; reduce the cost of construction and maintenance. In our country there is no research on the variation of the roughness coefficient applying nano and micro-materials as coatings in concrete lined channels. Therefore this research aims to know the variation of this coefficient including micro particles of volcanic ash, portland cement type IP and HE as canal coatings. Four prototypes of prefabricated fiber cement channels were prepared, covered with percentages of 15 and 25% of volcanic ash microparticles as a partial substitute for cement, with the purpose of evaluating the influence of these percentages on the variation of the coefficient of roughness suffered by these coatings and compare them to each other. As a result, partial replacement of cement by volcanic ash micro-particles reveals a decrease from 14% to 21% of the roughness coefficient with regard to the theoretical roughness of concrete finished with a metal trowel.

***Keywords**: roughness coefficient, Micro particles of volcanic ash, Channel covered with concrete.*

Reviewed by: Solís, Lorena

Language Center Teacher

CENTRO DE IDIOMAS INSTITUCIONAL - DIRECCION -

1. INTRODUCCIÓN

En la Ingeniería Hidráulica el coeficiente de rugosidad influye de manera significativa al determinar el caudal y velocidad del fluido, se han realizado innumerables estudios para definir los valores adecuados de rugosidad. Últimamente los investigadores se han visto en la obligación de buscar nuevas alternativas para reducir el coeficiente de rugosidad con el fin de obtener mayores cantidades de descarga en menores secciones transversales de canal.

Lau & Afshar (2013) realizaron una investigación experimental sobre el efecto de la rugosidad en el caudal. Para lo cual cambiaron el material de recubrimiento del fondo de un canal abierto por diferentes tipos de materiales finos y realizaron las pruebas hidráulicas con varios caudales para tres tipos de pendientes. La investigación concluye que el coeficiente de rugosidad de Manning disminuyó con las partículas de menor tamaño y en pendientes más bajas.

Shaoyun (2013) propone la adición de nano-partículas de silicato en la mezcla de concreto como revestimiento del piso de un canal de laboratorio con el fin de reducir el coeficiente de rugosidad. Obteniendo como resultado una disminución desde el 16 al 38% del coeficiente de rugosidad calculado en el hormigón que contiene nano-partículas de silicato, respecto a la rugosidad normal del concreto sin adición de ningún material tamaño nano.

Estherrani, Muthukumaran & Prince Arulraj (2018) en su investigación para determinar el efecto en la reducción del coeficiente de rugosidad de Manning utilizan nano-cemento como sustituto parcial del cemento en azulejos de revestimiento, demostrando que el coeficiente de rugosidad de Manning se reduce hasta un 52.63% respecto a un mortero de cemento.

Debido a la evidente escasez de información y teniendo en cuenta que la obtención de estas nano partículas es costosa, y casi imposible de conseguirlas dentro de los límites de nuestro país, hemos optado por utilizar micro partículas de ceniza volcánica propias de la zona, puesto que

existen estudios que indican que esta ceniza favorece a las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Nuestra investigación se enfocará en el uso de este material, ya que se desconoce la variación que ocurre en el coeficiente de rugosidad, al incorporar micro partículas de ceniza volcánica y cemento portland tipo I y HE en los diferentes revestimientos aplicados en las paredes y fondo del canal. Esta investigación tiene como objetivo reducir la rugosidad al incorporar dichos materiales en los canales.

En el presente estudio se construyeron 4 prototipos de canales prefabricados de fibrocemento, revestidos con una mezcla de agua, cemento y micro-partículas de ceniza volcánica con porcentajes de 15 y 25%, los mismos que se ensayaron en el modelo físico de canal hidráulico del Centro de Investigación y Estudio del Recurso Agua de la carrera de Civil (laboratorio de Hidráulica y Sanitaria) de la Universidad Técnica de Ambato.

Se calibró un caudal constante por medio de una motobomba, graduando la entrada del flujo al modelo, para posteriormente alinear la pendiente longitudinal del mismo estabilizando el flujo. Se tomaron tres medidas de la profundidad de flujo que determinaron la geometría de la sección transversal y finalmente se calculó el coeficiente de rugosidad de Manning de cada uno de los prototipos para compararlos entre sí.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados se formula la siguiente pregunta de investigación. ¿Es posible que mediante la incorporación de micro-partículas de ceniza volcánica en los recubrimientos elaborados a base de agua y cemento portland tipo I y HE de canales abiertos de hormigón, se reduzca el coeficiente de rugosidad?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Conocer la variación del coeficiente de rugosidad en canales abiertos de hormigón; incorporando micro partículas de ceniza volcánica, cemento portland tipo I y HE como recubrimiento en las paredes y fondo del canal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir un modelo matemático por medio de la ecuación de Manning, el cual nos permita establecer la metodología para medir el efecto del coeficiente de rugosidad en los prototipos de canales prefabricados de fibrocemento que se van a construir.
2. Determinar las dosificaciones para el diseño de los recubrimientos conformados por agua, cemento portland tipo I y HE, incorporando micro partículas de ceniza volcánica en porcentajes del 15% y 25%.
3. Calcular el coeficiente de rugosidad en los diferentes tipos de recubrimientos, aplicados en las paredes y fondo de los prototipos de canales prefabricados de fibrocemento y compararlo con los valores de rugosidad teóricos del hormigón.

3. MARCO TEÓRICO

Dentro del campo de la Ingeniería hidráulica la selección del coeficiente de rugosidad y su cálculo son cuestiones fundamentales. Además, el analizar el buen comportamiento del caudal e interacción con otros parámetros hidráulicos como la velocidad de flujo, la forma de sección transversal y el régimen de flujo, es uno de los problemas principales en la mecánica de fluidos; del mismo modo el hecho de minimizar la rugosidad en el diseño de estructuras hidráulicas y redes de riego con el fin de aumentar la velocidad de flujo y el caudal, son temas que han sido de gran interés para investigadores y empresarios industriales desde hace años (Shaoyun, 2013).

Entendiendo como coeficiente de rugosidad al parámetro que determina el grado de resistencia, que ofrecen las paredes y fondo del canal en sentido opuesto a la dirección del flujo, hay que tomar en consideración que el valor del coeficiente de rugosidad (n) es muy variable, por lo tanto para seleccionar un valor apropiado hay que tener un conocimiento básico de ciertos factores como: rugosidad superficial, vegetación, irregularidad del canal, sedimentación. (Mailapalli, Singh, Schmitz, & Lennartz, 2008).

Saib, Tun, & Onn (2011) realizaron una investigación experimental para determinar el efecto de la rugosidad incorporando grava y un material liso en el fondo de la superficie de un canal de dimensión (10 m x 0,3 m x 0,46 m). Con la superficie lisa y la superficie de grava, la velocidad de flujo y la rugosidad se determinaron variando la pendiente y con diferentes caudales de flujo. La conclusión de esta investigación es que el coeficiente de rugosidad de Manning era alto para la superficie rugosa y bajo para la superficie lisa.

Siguiendo esta línea base de experimentación, Lau & Afshar (2013) realizaron una investigación experimental sobre el efecto de la rugosidad en el caudal de descarga y los factores que afectan al coeficiente de rugosidad. Los experimentos consistían en cambiar el material de

recubrimiento del fondo de un canal de (8 m x 0,3 m x 0,4 m) por diferentes tipos de materiales con tamaño de grano de 2 mm y 5 mm, las pruebas se realizaron con varios caudales para tres tipos de pendientes (1: 300, 1: 600 y 1: 900) para de esta manera poder determinar el efecto de las pendientes en el coeficiente de rugosidad. La investigación concluye que el tamaño de grano de 5 mm tuvo el coeficiente de rugosidad más alto en comparación con otros y que el coeficiente de rugosidad de Manning disminuyó en una pendiente más plana.

Muthukumaran & Prince Arulraj (2017) contribuyeron con una línea base inicial para nuestra investigación, ya que plantearon que la incorporación de materiales tamaño nano como Nano-sílice, Nano-alúmina, Nano óxido de titanio y Nano-cenizas volantes en el recubrimiento de canales abiertos de hormigón ayudan a reducir el coeficiente de rugosidad, y al lograr dicha reducción se puede aumentar el caudal de descarga, minimizar los costos de construcción y mantenimiento y diseñar obras hidráulicas y redes de riego óptimas durante su vida útil.

Conociendo que la parte teórica se complementa con la etapa de experimentación, Shaoyun (2013) plantea la adición de nano-partículas de silicato en la mezcla de concreto como revestimiento del piso de un canal de laboratorio con el fin de reducir el coeficiente de rugosidad, obteniendo buenos resultados, ya que en promedios generales las nano-partículas de silicato pueden lograr disminuir el coeficiente hasta un 28.06% respecto a la rugosidad normal del concreto sin adición de ningún material tamaño nano, además demuestra que al lograr dicha reducción en la rugosidad la velocidad de flujo incrementa y el porcentaje de sedimentación disminuye en los canales y las instalaciones de agua.

Por otro lado Estherrani, Muthukumaran & Prince Arulraj (2018) plantean el uso de nano-cemento como sustituto parcial del cemento en azulejos de revestimiento, con el fin de determinar el efecto en la reducción del coeficiente de rugosidad de Manning, en esta investigación se

obtuvieron resultados sumamente alentadores para el desarrollo de la Mecánica de fluidos y la Nanotecnología de materiales, ya que llegaron a la conclusión de que la reducción del coeficiente de rugosidad de Manning se encuentra entre el 1.35% hasta 52.63% respecto a un mortero de cemento y que el aumento en el caudal debido a la reducción en el valor de rugosidad se encuentra entre 1,44% a 55,99%.

Materiales como nano partículas de silicato, nano partículas de cemento y grava con varias medidas fueron empleados en modelos experimentales con el fin de reducir el coeficiente de rugosidad de los materiales de recubrimiento. Sin embargo, el efecto de materiales micro no fue estudiado. Además, el recubrimiento de los materiales se usó solo en el fondo, pero en las paredes del canal no se probaron.

En esta investigación se ha intentado utilizar micro-partículas de ceniza volcánica para la sustitución parcial del cemento.

La adición de micro partículas en las proporciones adecuadas, añade a la matriz cementicia importantes propiedades específicas, de acuerdo al tipo y a las propiedades de las micro partículas utilizadas, además se debe tomar en cuenta el rango de porcentaje de ceniza empleado en las mezclas de cemento (Raki, Beaudoin, Alizadeh, Makar, & Sato, 2010).

La óptima cantidad de ceniza, cuando se usa como sustituto parcial del cemento, se encuentra en el rango de 10 a 30% y puede ser tan baja como 4 a 6% para cenizas naturales (Suárez & Urgiles, 2010).

Conociéndose como ceniza volcánica a partículas muy finas con diámetros menores a 2mm, producto de las rocas cuarteadas y separadas provenientes de las explosiones volcánicas, llegando así, a ser parte del grupo de puzolanas naturales por poseer en su composición química cierto porcentaje de sílice y alúmina, convirtiéndose en cementantes solo al entrar en contacto con

el hidróxido de calcio y el agua, ya que, si están en contacto tan sólo con el agua, éstas no reaccionan como material cementante. (Coppiano, 2016)

Se conoce que la ceniza volcánica en estado crudo es un material que podría ser aprovechado en diferentes situaciones para ser aplicada a mezclas de hormigón por su potencial aporte en sus propiedades mecánicas. Por ejemplo Coppiano (2016) demostró que al sustituir 10% de ceniza volcánica por cemento en las mezclas de hormigón de f´c=350Kg/cm2, la resistencia a la flexión se vio mejorada en un 35% en comparación a la alcanzada en la muestra patrón, la misma que no contenía ningún porcentaje de ceniza volcánica; esto sin comprometer la resistencia a la compresión del diseño. Además la aplicación de ceniza volcánica en estado crudo podría permitir un ahorro económico del 7,8% del costo del m3 de hormigón de f´c= 350 Kg/cm2.

Además como materia prima de esta investigación, se plantea el uso de un cemento puzolánico de alta resistencia y durabilidad como es el Cemento Portland tipo HE, el cual se caracteriza principalmente por aportar al concreto endurecido una capacidad de resistir a la acción del medioambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil, además permite que desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento (Cemento Chimborazo, 2012).

Es esencial en nuestra investigación el cemento Portland tipo HE, ya que por su propiedades físicas, muestra un módulo de finura inferior al del cemento tipo I de uso general, lo que conlleva a suponer que se podría obtener menores valores de coeficiente de rugosidad si se aplicara este material.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un alcance exploratorio. Puesto que no contamos con estudios que involucren el uso de micro-partículas de ceniza volcánica en la determinación del coeficiente de rugosidad de canales revestidos de hormigón. En el siguiente diagrama se muestra el proceso sistemático para la elaboración de esta investigación.

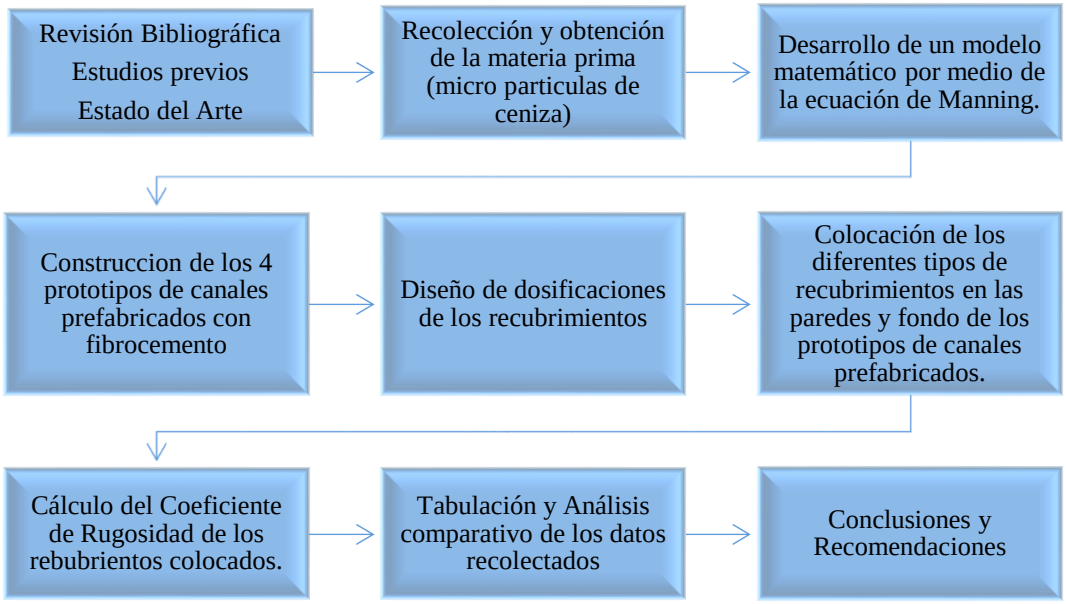


Figura N° 1.- Esquema de la metodología planteada

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

La revisión bibliográfica se realizó en diferentes plataformas de información académica como Scopus, Scielo, HighBeam Research, Proquest, ASCE, google académico y repositorios digitales de universidades, con el objetivo de asegurar que la información obtenida sea real, actual y aprobada por la comunidad científica, las cuales nos proporcionaron artículos científicos que acreditaron la existencia del problema sobre el desconocimiento del efecto que ocasionará al coeficiente de rugosidad, el incorporar materiales tamaño micro en el fondo y paredes de canales, y a su vez aporten información para resolverlo usando micro-partículas de ceniza volcánica en diferentes porcentajes.

La ceniza volcánica utilizada en este proyecto, se obtuvo en depósitos naturales de sectores aledaños al volcán Tungurahua, específicamente en la parroquia Puela, cantón Penipe, provincia de Chimborazo. Se utilizó además cemento Portland tipo IP y cemento Portland puzolánico HE.

En la Figura N° 2 se muestra la ubicación de los depósitos naturales de ceniza volcánica.

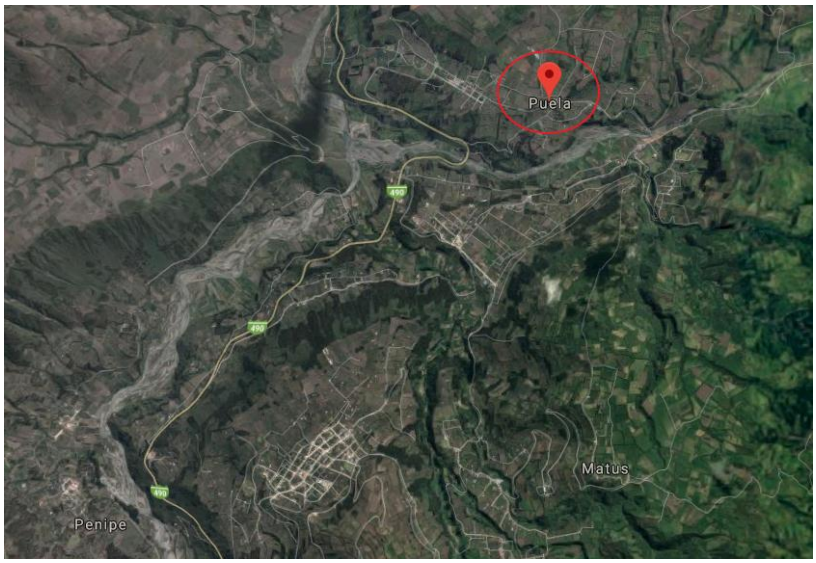


Figura N° 2.- Ubicación de los depósitos naturales de ceniza volcánica (Puela)

Fuente: Google Maps

Se realizó un análisis físico de la ceniza volcánica para determinar su propiedad granulométrica, según el procedimiento establecido por el (Instituto Ecuatoriano de Normalización), INEN 696 (INEN, 2011).

La norma INEN 696 (INEN, 2011) detalla el procedimiento a seguir para realizar la granulometría de la ceniza volcánica como árido fino, mismo que se efectúa para determinar el porcentaje granulométrico de las partículas y su módulo de finura. El procedimiento de este ensayo consiste en colocar las muestras en bandejas metálicas para posteriormente ponerlas a secar en el horno por un lapso de 24 horas a 110 °C ± 5 ºC. Una vez transcurrido este tiempo, la muestra se encontrará libre de contenido de humedad y lista para sacarla del horno. Se toma 1000 gramos en una bandeja metálica, y se coloca en los tamices ordenados de manera descendente: Nº 4, Nº 8,

Nº16, Nº 30, Nº50, Nº100, Nº200 y se los coloca en la máquina tamizadora por 5 minutos. Una vez tamizada se retira cuidadosamente y se procede a registrar los pesos acumulados en cada uno de los tamices para finalmente calcular y tabular los datos obtenidos. Cabe indicar que se tomó tres muestras de ceniza volcánica para así obtener un resultado más seguro.

Las micro-partículas de ceniza volcánica corresponden a la cantidad total de partículas de 75 micras que pasan el tamiz N° 200, las mismas que se obtuvieron a partir de un proceso adaptado a la norma INEN 696 (INEN, 2011), el cual consiste en colocar una muestra de 1000 gramos de ceniza volcánica en los tamices ordenados de manera descendente; Nº50, Nº100, Nº200 y se los coloca en la máquina tamizadora por 3 minutos. Una vez tamizada se procede a registrar la masa que pasa por el tamiz No 200.

Se desarrolló un modelo matemático basado en la ecuación de Manning que describe teóricamente la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad con algunos parámetros importantes en el diseño de canales de riego, tales como el caudal de descarga y la velocidad media del flujo, cabe indicar que en esta representación numérica la rugosidad es nuestra variable independiente , mientras que el caudal y la velocidad son variables dependientes, por lo tanto para medir este efecto se planteó la siguiente metodología, la misma que nos permitió determinar una geometría apropiada de los canales revestidos, con la que se espera obtener resultados favorables al momento de la experimentación:

1) Asumimos secciones transversales del canal revestido de hormigón, las mismas que deben permanecer constantes durante todo el proceso de prueba, a medida que el caudal varía de acuerdo al valor de rugosidad deseado.
2) Definimos una pendiente constante del 1‰ para trabajar con un régimen de flujo subcrítico en el canal revestido de hormigón. El canal tendría una longitud de 5m, la cual es suficiente

para lograr estabilizar el flujo y así poder realizar las mediciones aplicando la ecuación de Manning.

3) El caudal se calculó asumiendo una variación lineal del coeficiente de rugosidad, dicha variación tiene un incremento progresivo de 0.001 y empieza con un valor mínimo de 0.004.
4) Se calculó las velocidades de flujo, comprobando que éstas cumplan con el valor mínimo de 0.40 (m/s) y máximo de 2.5 (m/s) que se permite en el diseño de canales abiertos revestidos de hormigón recomendadas por la U.S. BUREAU OF RECLAMATION.

Una vez concluido el proceso iterativo del modelo matemático y definidas las dimensiones apropiadas del canal, se pronosticó el efecto que existe al variar el coeficiente de rugosidad respecto al cálculo del caudal de descarga. Aunque estos resultados son alentadores los métodos constructivos experimentales para generar un caudal constante presentan una evidente imprecisión. Debido a que nuestra investigación requiere tener resultados con la mayor exactitud posible nos vimos obligados a utilizar equipos hidráulicos que nos brinden la facilidad de mantener como parámetro constante el caudal de descarga, por lo que tuvimos la necesidad de solicitar el uso del canal hidráulico con el que cuenta la Universidad Técnica de Ambato (UTA). Esto nos permitió abandonar la idea de construir manualmente los canales de hormigón, y reemplazarlos por prototipos de canales prefabricados construidos con planchas de fibrocemento, adaptados al canal del laboratorio de hidráulica de la UTA que presenta la siguiente geometría 4m de largo, 20cm de ancho y 30cm de altura, constituido por acrílico en las paredes y aluminio en el fondo del canal, este sistema de circulación del agua funciona a base de una motobomba. En el anexo 1 se muestra el modelo físico del canal hidráulico.

Para la construcción de los cuatro prototipos de canales, se utilizó planchas de fibrocemento impermeables con dimensiones de 244cm de largo, 122cm de ancho y 1cm de espesor, pasando éstas por un proceso de cortado por medio de una sierra eléctrica se llegó a obtener las siguientes dimensiones: en la base 18.5 cm de ancho y 400 cm de longitud, mientras que para las dos paredes sus dimensiones finales fueron de 30 cm por 400 cm como se muestra en la figura N° 2:

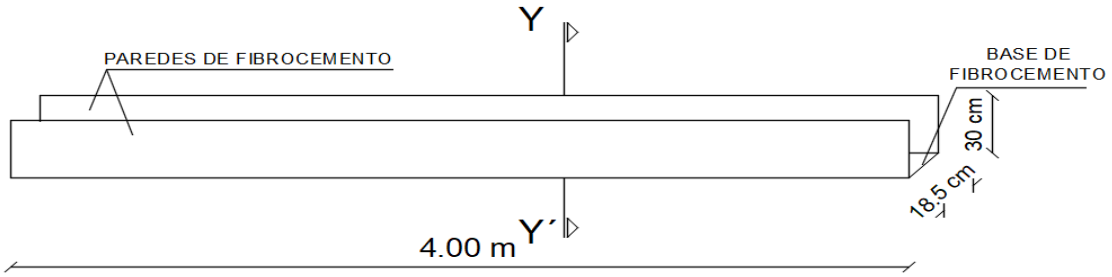


Figura N° 3.- Prototipo prefabricado del canal de Fibrocemento.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Estas dimensiones fueron consideradas teniendo en cuenta una holgura de 1.5 cm para que no existan problemas de rozamiento entre las superficies del canal hidráulico y el prototipo prefabricado al momento de la colocación en el ensayo. El ensamblaje del canal se realizó uniendo cada pieza entre sí con tornillos de cabeza plana y taco Fisher de 3/16 de pulgada, y para evitar filtraciones de agua al momento del ensayo se colocó masilla plástica en las uniones del canal.

Cabe indicar que las dimensiones internas del canal son de 16.5 cm de ancho, 29 cm de altura y 400 cm de longitud, tal como se puede observar en la figura No.-3 y en los anexos 3 y 4.

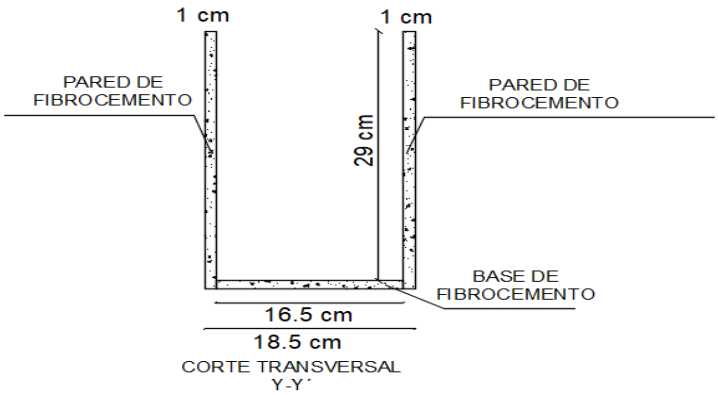


Figura N° 4.- Corte transversal del prototipo prefabricado del canal de Fibrocemento.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Sabiendo que los materiales constituyentes para los respectivos recubrimientos son: cemento Portland tipo IP y cemento Portland puzolánico HE y micro-partículas de ceniza volcánica como sustito parcial del cemento, en nuestra investigación proponemos las siguientes relaciones entre estos materiales con el propósito de conocer el efecto que ocasionan a la rugosidad del canal:

Tabla N° 1.- Porcentajes de Micro-partículas de ceniza volcánica

N°	Cemento	% Micro-Partículas de Ceniza Volcánica
1	IP	15 25
2	HE	15 25

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

En la Tabla N° 1 se muestra los porcentajes de micro-partículas de ceniza volcánica que reemplazarán a los dos tipos cemento, estos porcentajes de sustitución serán respecto al peso total del cemento.

Para el diseño de la dosificación del recubrimiento tipo lechada, se utilizó un método empírico volumétrico basado en la densidad de los materiales, partiendo de tres relaciones agua-

cemento (a/c): 0.8, 0.6 y 0.55, las cuales fueron comparadas con una lechada patrón constituida únicamente por cemento como aglomerante con las mismas relaciones (a/c). Para determinar las propiedades reológicas como la trabajabilidad y homogeneidad de estas mezclas se realizaron ensayos de Estabilidad y Fluidez según lo especificado por (Velásquez et al., 2016).

El proceso de mezclado mecánico de las pastas se realizó de acuerdo a las disposiciones de la norma INEN 0155 (INEN, 2011), para lo cual se utilizó una mezcladora OSTER 2500 Inspire Hand Mixer with Rotating Bowl (240WRB) y 3 recipientes de acero inoxidable de 5 litros de capacidad, y se detalla a continuación:

1) Colocar la mezcladora en posición de trabajo, la cual debe estar totalmente limpia y seca tanto el recipiente y las alas.
2) Colocar el agua de mezclado en el recipiente, la cual debe ser previamente pesada
3) Agregar la cantidad total de cemento y micro-partículas de ceniza volcánica al agua y dejarlo 30 segundos para que absorba el agua.
4) Encender la mezcladora y mezclar durante un periodo de 30 segundos a una velocidad baja.
5) Detener la mezcladora por un periodo de tiempo de 15 segundos, durante este periodo remover hacia abajo toda la pasta que se haya adherido a las paredes del recipiente.
6) Encender nuevamente la mezcladora y mezclar la pasta por un periodo de 60 segundos a una velocidad media.

Una vez terminado este proceso se coloca la mezcla en un vaso de precipitación y se deja reposar por un tiempo de 3 minutos, después de este tiempo la mezcla se divide según lo especificado para los ensayos de fluidez y estabilidad.

El ensayo de fluidez se lo realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la norma ASTM C 939 (ASTM, 1997) realizado por estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo, para lo

cual se elaboraron 3 mezclas para cada tipo de relación (a/c) de 0.55, 0.60 y 0.8 usando cemento Portland tipo IP y HE, teniendo así un total de 9 mezclas para cada tipo de cemento, a continuación se detalla las 3 mezclas para cada una de las relaciones (a/c) y tipo de cemento propuestos: la primera mezcla corresponde a una lechada patrón conformada únicamente por cemento como aglomerante, la segunda mezcla está compuesta por cemento y 15% de micro-partículas de ceniza volcánica, mientras que la tercera mezcla está conformada por cemento y 25 % de micro-partículas de ceniza volcánica.

Por lo tanto el procedimiento para medir la fluidez de estas mezclas es el siguiente: una vez terminado el proceso de mezclado y pasado los 3 minutos de reposo se coloca 100 ml de mezcla en una probeta graduada, para posteriormente vertirla en un embudo con una salida de 10 mm de abertura que se encuentra taponeado. Se coloca el embudo sobre un recipiente y se libera el flujo de mezcla que estaba retenida por taponamiento, y finalmente medimos el tiempo que se demora en vaciarse el embudo. Este procedimiento debe repetirse para cada mezcla propuesta.

El ensayo de estabilidad se lo realizó según lo especificado por Velásquez et al. (2016), con las mismas mezclas y relaciones (a/c) consideradas en el ensayo de fluidez. Para lo cual, después de haber terminado el proceso de mezclado y pasado los 3 minutos de reposo. Se colocan 250 ml de mezcla en una probeta graduada y se la deja reposar por 30 minutos, una vez transcurrido ese tiempo se realizará la lectura de la distancia de separación entre los sólidos y el líquido producto de la sedimentación. Este procedimiento debe repetirse para cada mezcla propuesta.

Finalizados los ensayos de Estabilidad y Fluidez se seleccionó la relación (agua-cemento y macropartículas de ceniza volcánica) que tuvo un tiempo de fluidez dentro del rango permitido y menor porcentaje de sedimentación. La cantidad total de mezcla que se debe colocar como recubrimiento interno en las paredes y fondo de los 4 prototipos de canales prefabricados están en

función de su volumen y debe tener un espesor constante de 3mm con ±1mm de tolerancia, para lo cual se utilizará herramientas de albañilería como llanas, bailejos, espátulas, esponjas, etc.

Para conocer el efecto del Coeficiente de rugosidad de estos recubrimientos respecto a una pendiente longitudinal, planteamos 12 pendientes (1 $^0/_{00}$, 2 $^0/_{00}$, 3 $^0/_{00}$, 4 $^0/_{00}$, 5 $^0/_{00}$, 6 $^0/_{00}$, 7 $^0/_{00}$, 8 $^0/_{00}$, 9 $^0/_{00}$, 1%, 2 % y 3%), entendiéndose que "1 $^0/_{00}$" indica que por cada metro de longitud hay un milímetro de desnivel vertical. Estas gradientes hidráulicas nos permitieron cubrir regímenes de flujo súper-crítico, crítico y sub-crítico. Es importante indicar que para el cálculo del coeficiente de rugosidad de cada una de estas pendientes el caudal de descarga y la base del prototipo prefabricado deben ser un parámetro constante, mientras que la pendiente y las profundidades de flujo son medidas variables.

Por tal motivo para calcular el coeficiente de rugosidad (n) de Manning de los recubrimientos colocados en los prototipos de canales prefabricados se realiza el siguiente procedimiento:

1) Colocar el prototipo de canal prefabricado dentro del modelo físico de canal hidráulico y sellar las distancias de separación entre ambos canales usando plastilina.
2) Calibrar la motobomba para tener una salida de flujo de agua con un caudal constante de 20 l/seg.
3) Alinear el modelo físico según la pendiente que se quiere trabajar y esperamos de 3 a 5 minutos para que se estabilice el flujo y generar un flujo uniforme.
4) Realizar un aforamiento volumétrico al flujo de agua, para comprobar que el caudal calibrado sea correcto.
5) Medir 3 profundidades de agua en el tramo de canal donde se desarrolle flujo uniforme.
6) Calcular el coeficiente de rugosidad de acuerdo a la ecuación de Manning.

7) Variar el valor de la pendiente y repetir los ítems del 3 al 6 previamente establecidos, hasta cubrir el número de pendientes propuestas en esta investigación.

Repetir todo el procedimiento desarrollado anteriormente con cada uno de los 4 prototipos de canales prefabricados construidos.

Una vez culminadas las distintas pruebas se realizará la comparación de los resultados obtenidos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica sobre la variación del coeficiente de rugosidad (n) de Manning indicaron que solo se han llevado a cabo algunas investigaciones sobre el tema en estudio, sin embargo estas investigaciones exponen el uso de materiales tamaño nano como recubrimiento en las paredes y fondo del canal para determinar el efecto que producen estos recubrimientos en el coeficiente de rugosidad. Algunos de estos estudios exponen también que al reducir el coeficiente de rugosidad incorporando nano partículas es posible aumentar el caudal de descarga y minimizar los costos de construcción y mantenimiento, siendo este dato considerado como punto de partida de nuestra investigación.

En la recolección de la materia prima que se utilizó en esta investigación, no existió inconveniente alguno ya que la ceniza volcánica fue obtenida de depósitos naturales de sectores aledaños al volcán Tungurahua, en la parroquia Puela, cantón Penipe, provincia de Chimborazo y con ayuda de herramienta menor se la pudo recolectar y transportar.

La determinación de la granulometría de las muestras de ceniza volcánica se realizó mediante el ensayo por tamizado, siguiendo las disposiciones de la norma INEN 696 (INEN, 2011). En el Anexo 2, y en la Tabla N° 2, se indican los cálculos del ensayo granulométrico de las tres muestras.

Tabla N° 2.- Resumen del análisis granulométrico de las muestras

GRANULOMETRÍA				
TAMICES	**Muestra 1 % pasa**	**Muestra 2 % pasa**	**Muestra 3 % pasa**	**Promedio Muestras % pasa**
N° 4	99.40	99.50	99.60	99.50
N° 8	98.60	98.90	98.90	98.80
N° 16	96.40	96.60	96.80	96.60
N° 30	85.50	83.30	83.70	84.17
N° 50	53.70	42.90	43.10	46.57
N° 100	19.90	14.80	14.70	16.47
N° 200	5.00	4.20	4.30	4.50
Módulo de Finura	2.42	2.60	2.59	2.53

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

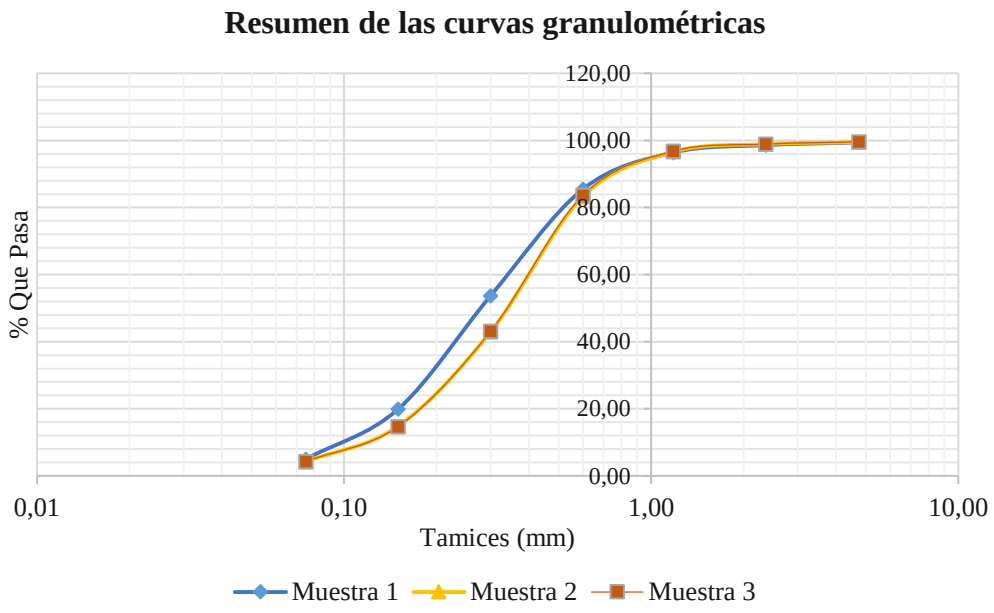


Figura N° 5.- Resumen de curvas granulométricas.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

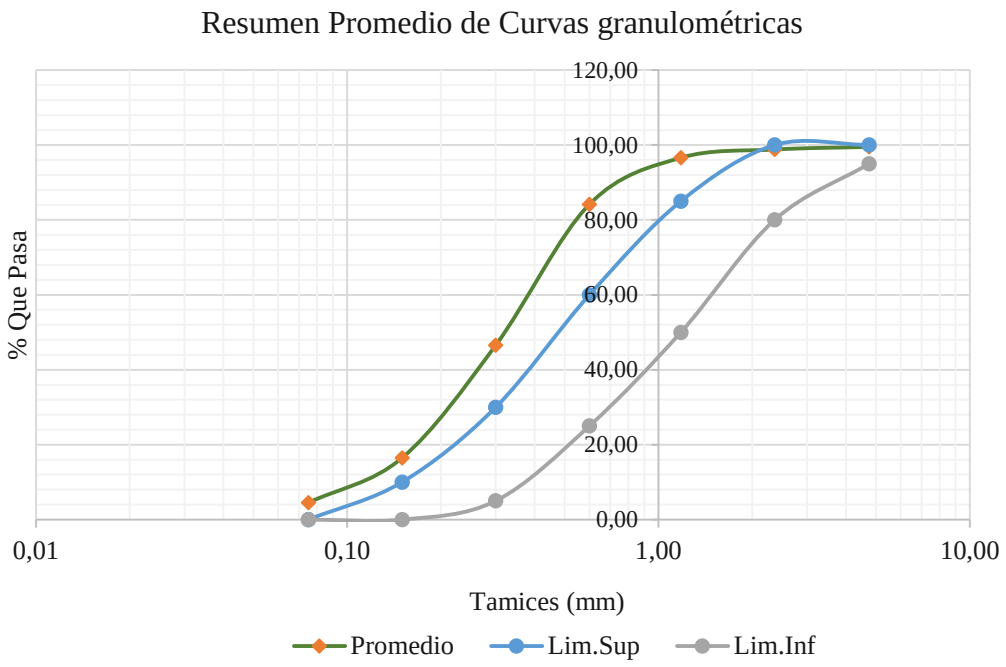


Figura N° 6.- Promedio de curvas granulométricas

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

En la tabla N.- 2 se puede observar que en las 3 muestras de ceniza volcánica el porcentaje de módulo de finura no presenta variaciones representativas en su valor, con ello se puede asumir que la fuente natural de depósito de ceniza volcánica fue relativamente homogénea, lo que hace que la curva granulométrica de la muestra 2 prácticamente se superponga sobre la curva de la muestra 3, tal como muestra la Figura N° 4. Además el valor promedio del módulo de finura de las muestras igual a 2.53 se encuentra dentro del rango recomendado por la norma INEN 872 (INEN, 2011), por lo tanto este material es aceptado para la elaboración de mezclas de hormigón, sin embargo hay que tomar en consideración que porcentajes bajos de módulo de finura pueden reducir la trabajabilidad de la mezcla.

De igual manera en la figura N° 3 la curva granulométrica promedio de las muestras presenta un porcentaje de material fino alto, lo que conlleva a tener que usar mayor cantidad de

agua en la dosificación para evitar la presencia de grietas debido a los cambios volumétricos de la mezcla.

También se puede observar que la curva granulométrica promedio sobresale del límite superior establecido por la norma INEN 696 (INEN, 2011), por lo tanto si se quiere utilizar este material para el diseño de una mezcla debe ser sometido a un proceso de mejoramiento para optimizar su uso.

Las micro-partículas de ceniza volcánica corresponden a la cantidad total de partículas de 75 micras que pasan el tamiz N° 200, las mismas que se obtuvieron mediante un proceso de tamizado adaptado a la norma INEN 696 (INEN, 2011), en la tabla N° 3 se muestra la cantidad total de micro-partículas obtenidas.

Tabla N° 3.- Cantidad total de Micro-partículas

Cantidad total de Micro-partículas	
Cantidad total de Ceniza volcánica (kg)	Cantidad total de Micro partículas de ceniza volcánica (kg)
365	**18.25**

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Es importante mencionar que por cada 1000g de muestra de ceniza volcánica se obtiene 50g de micro-partículas de este material puzolánico.

Se realizaron 3 simulaciones a esta representación numérica, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 4.- Primera simulación del Modelo Matemático

Primera simulación del Modelo Matemático					
Profundidad de flujo (m)	**Base (m)**	**Área Mojada (m2)**	**Perímetro Mojado (m)**	**Radio Hidráulico (m)**	**Pendiente (%o)**
0.2	0.25	0.05	0.65	0.077	0.001
	n	**Q(m^3/s)**	**v(m/s)**	**Observación**	
	0.004	0.071	1.430	CUMPLE	
	0.005	0.057	1.144	CUMPLE	
	0.006	0.048	0.953	CUMPLE	
	0.007	0.041	0.817	CUMPLE	
	0.008	0.036	0.715	NO CUMPLE	
	0.009	0.032	0.636	NO CUMPLE	
	0.010	0.029	0.572	NO CUMPLE	
	0.011	0.026	0.520	NO CUMPLE	

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

En la tabla N° 4 teóricamente se puede observar que a medida que disminuye el coeficiente de rugosidad de Manning el caudal de descarga aumenta de manera progresiva. Para tal efecto, se propone una sección transversal del canal de 0.2 m de profundidad de flujo por 0.25 m de base y se analiza el rango de coeficiente de rugosidad de (0.008 hasta 0.009) ya que es ahí donde se obtiene la menor cantidad de caudal de descarga puesto que en la práctica será difícil conseguir caudales constantes de gran capacidad.

En el rango de rugosidad expuesto, los límites de descarga van desde 0.032 m^3/s hasta 0.036 m^3/s. En la columna denominada observación se evalúa si la velocidad cumple con los valores de diseño recomendados por la la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, mínimo de 0.61 (m/s) y máximo de 2.5 (m/s) para canales revestidos de hormigón, obteniendo para esta primera simulación velocidades de flujo de 0.64 m/s hasta 0.72 m/s las mismas que son aceptables para el diseño.

Pese a que los resultados de esta primera simulación son alentadores, el caudal de descarga con esta sección transversal asumida todavía tiene valores altos en comparación a los que nos proporcionan las motobombas de uso residencial, razón por la cual procedemos a realizar una segunda simulación.

Tabla N° 5.- Segunda simulación del Modelo Matemático

Segunda simulación del Modelo Matemático					
Profundidad de flujo (m)	**Base (m)**	**Área Mojada (m2)**	**Perímetro Mojado (m)**	**Radio Hidráulico (m)**	**Pendiente (‰)**
0.15	0.2	0.03	0.5	0.060	0.001
	n	**Q(m^3/s)**	**v(m/s)**	**Observación**	
	0.004	0.036	1.212	CUMPLE	
	0.005	0.029	0.969	CUMPLE	
	0.006	0.024	0.808	CUMPLE	
	0.007	0.021	0.692	NO CUMPLE	
	0.008	0.018	0.606	NO CUMPLE	
	0.009	0.016	0.539	NO CUMPLE	
	0.010	0.015	0.485	NO CUMPLE	
	0.011	0.013	0.441	NO CUMPLE	

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

En la tabla N° 5 se observa la segunda simulación del modelo matemático en la cual se propone una nueva geometría de canal de 0.15 m de profundidad de flujo por 0.20 m de base, y se analiza el rango de coeficiente de rugosidad de (0.005 hasta 0.006), obteniendo así valores de caudal de descarga que varían desde 0.024 m^3/s hasta 0.029 m^3/s, mientras que las velocidades de flujo oscilarían en el rango de 0.81 m/s hasta 0.97 m/s, las mismas que cumplen con los valores de diseño recomendados.

Aunque se ha logrado disminuir el caudal de descarga, este todavía sigue siendo alto para poder generarlo mediante el uso de una motobomba. Debido a esto se procede a realizar una tercera simulación.

Tabla N° 6.- Tercera simulación del Modelo Matemático

Tercera simulación del Modelo Matemático					
Profundidad de flujo (m)	**Base (m)**	**Área Mojada (m2)**	**Perímetro Mojado (m)**	**Radio Hidráulico (m)**	**Pendiente (%o)**
0.15	0.15	0.0225	0.45	0.05	0.001
	n	**Q(m^3/s)**	**v(m/s)**	**Observación**	
	0.004	0.024	1.073	CUMPLE	
	0.005	0.019	0.858	CUMPLE	
	0.006	0.016	0.715	NO CUMPLE	
	0.007	0.014	0.613	NO CUMPLE	
	0.008	0.012	0.536	NO CUMPLE	
	0.009	0.011	0.477	NO CUMPLE	
	0.01	0.010	0.429	NO CUMPLE	
	0.011	0.009	0.390	NO CUMPLE	

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se observa en la tabla N° 6 se detalla la tercera simulación del modelo matemático, con las siguiente dimensiones de sección transversal de canal de 0.15 m de profundidad de flujo por 0.15 m de base, el rango de coeficiente de rugosidad analizado esta vez es de (0.004 hasta 0.005), obteniendo así valores de caudal de descarga que varían desde 0.019 m^3/s hasta 0.024 m^3/s, mientras que las velocidades de flujo oscilarían en el rango de 0.86 m/s hasta 1.07 m/s, las mismas que cumplen con los valores de diseño recomendados.

En esta tercera simulación se ha llegado a un valor de caudal mínimo de 0.019 m^3/s, el cual todavía no es posible generar en una motobomba de uso residencial

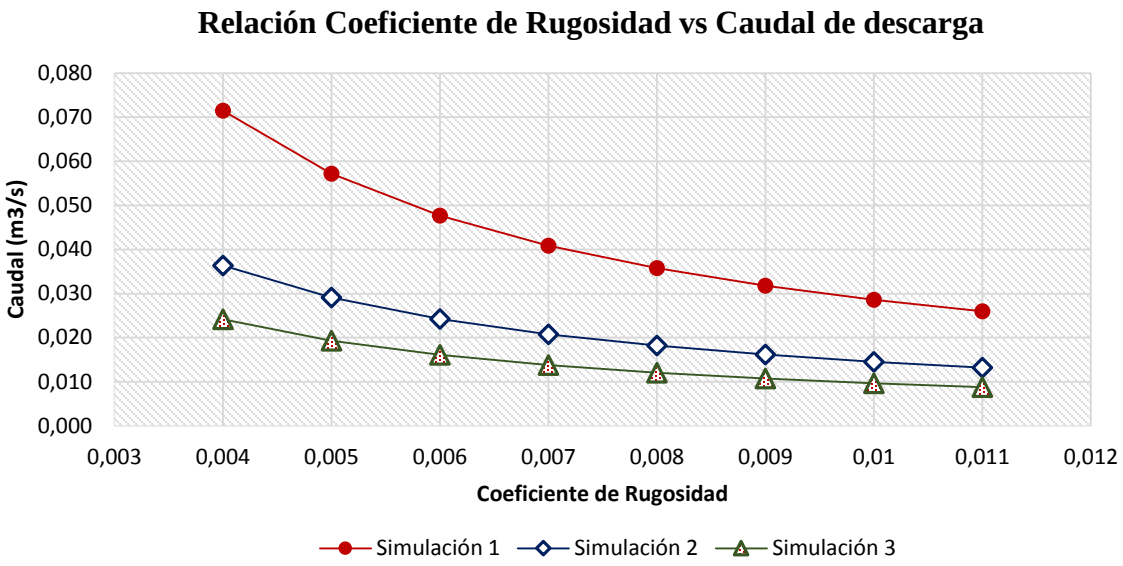


Figura N° 7.- Relación de Rugosidad y Caudal de descarga del modelo matemático.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se observa en la figura N° 6 a medida que se continúe reduciendo la sección transversal de canal, no se podría apreciar una variación significativa del coeficiente de rugosidad (n) respecto al caudal de descarga (Q). Por ejemplo en la curva de la primera simulación en la cual se propuso una sección transversal de canal 0.2m de profundidad x 0.25m de base, se puede apreciar que con una reducción lineal del coeficiente de rugosidad de 0.001 el caudal de descarga aumenta aproximadamente un 20%, mientras que en la segunda simulación hay un aumento aproximado del 15%, y para la tercera simulación con una sección geométrica de 0.15m de profundidad y 0.15 de base hubo un 13 % de aumento de caudal. Es evidente que si se continúa reduciendo las dimensiones al canal no podríamos obtener una variación representativa entre estas dos variables (**n** y **Q**).

Por lo tanto, para que el modelo matemático desarrollado obtenga resultados significativos para medir una variación considerable entre el coeficiente de rugosidad vs el caudal de descarga y también limitar la cantidad de caudal a aproximadamente 0.020 m^3/s de caudal constante, la

sección transversal del canal a construirse debe ser la más cercana a las dimensiones propuestas en la tercera simulación con una profundidad de flujo de 0.15m y una base de 0.15m. Por otro lado a partir de este punto se inicia la búsqueda de un equipo hidráulico capaz de generar aproximadamente 0.020 m^3/s de caudal constante, logrando así conseguir un canal hidráulico que cumple con los requerimientos de caudal constante de 0.024 m^3/s generado por una bomba industrial centrífuga de 5 HP y un diámetro de sección y descarga de 4 pulgadas, localizado en las instalaciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad Técnica de Ambato (UTA).

En la Tabla N°7 se muestra un resumen de las distintas relaciones (a/c) compuestas por 2 tipos de cemento y 2 porcentajes de micro-partículas de ceniza volcánica al igual que la muestra patrón la cual fue realizada sin la adición de ceniza volcánica.

En el Anexo 5 se muestra los resultados de este ensayo con mayor detalle.

Tabla N° 7.- Resumen Ensayo de Fluidez

Resumen Ensayo de Fluidez			
Relación (a/c)	**% De Micro-partículas de Ceniza volcánica**	**Tipo de cemento**	**Tiempo de vaciado (seg)**
0.55	0	I	33.77
	0	HE	32.47
	15	I	13.20
	15	HE	11.49
	25	I	8.22
	25	HE	6.40
0.6	0	I	31.00
	0	HE	30.86
	15	I	12.98
	15	HE	10.92
	25	I	7.31
	25	HE	4.70
0.8	0	I	5.02
	0	HE	3.33
	15	I	2.60
	15	HE	1.98
	25	I	2.03
	25	HE	1.81

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se puede observar en la tabla N° 7, las lechadas realizadas con una relación (a/c) de 0.55, cemento portland tipo I y HE tienen un tiempo de fluidez dentro del rango óptimo expuesto en la literatura, lo cual indica un rango de 6 a 15 segundos, garantizando de esta forma que la pasta tenga una buena trabajabilidad y no exista escurrimientos. Además se puede evidenciar que la sustitución de cemento por micro-partículas de ceniza volcánica incrementa la fluidez de la lechada, sin embargo estas micro-partículas ayudan a que las lechadas terminen de fraguar mucho más rápido ya que absorben la humedad. Así mismo las lechadas realizados con cemento tipo HE tienen menores tiempos de vaciado, lo que indica que estas lechadas tienen una mayor fluidez.

Otro aspecto que se consideró para encontrar la relación (a/c) óptima para la dosificación, fue evaluar la estabilidad de las lechadas de acuerdo a lo establecido por Velásquez et al. (2016). En la tabla N° 8 se muestra en resumen de los resultados del ensayo de estabilidad con distintas relaciones (a/c) compuestas por 2 tipos de cemento y 2 porcentajes de micro-partículas de ceniza volcánica al igual que la muestra patrón la cual fue realizada sin la adición de ceniza volcánica.

En el Anexo 6 se muestra los resultados de este ensayo con mayor detalle.

Tabla N° 8.- Resumen Ensayo de Estabilidad

Resumen Ensayo de Estabilidad			
Relación (a/c)	**% De Micro-partículas de Ceniza volcánica**	**Tipo de cemento**	**% Sedimentación**
0.55	0	I	0,6
	0	HE	0,8
	15	I	0,8
	15	HE	1
	25	I	1
	25	HE	1
0.6	0	I	1,2
	0	HE	2
	15	I	1,6
	15	HE	3,2
	25	I	2
	25	HE	4,4
0.8	0	I	3
	0	HE	3,2
	15	I	3,2
	15	HE	3,4
	25	I	3,6
	25	HE	3,2

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

La tabla N° 8 muestra que la relación agua cemento (a/c) de 0.55 tiene porcentajes de sedimentación mucho más bajos que las demás, lo que indica que tienen mayor estabilidad (cohesión), garantizando así, evitar la retracción debido al cambio de volumen durante los procesos de fraguado y endurecimiento de la mezcla, además con un bajo porcentaje de sedimentación controlamos que la mezcla no presente segregación debido a un ineficiente proceso de amasado.

Las dosificaciones de las lechadas definitivas que servirán como recubrimientos en las paredes y fondo de los 4 prototipos de canales prefabricados se las realizará con la relación agua cemento (a/c) de 0.55, debido a los buenos resultados que presentó en los ensayos de fluidez y estabilidad.

Con la finalidad de que exista una mejor comprensión, las dosificaciones de las lechadas tendrán la siguiente nomenclatura: los tipos de cemento serán representados por las siglas IP o HE, después estará el porcentaje de micro-partículas de ceniza volcánica 15, 25 %, seguido de las siglas MCV que significa micro-partículas de ceniza volcánica.

La tabla N° 9 muestra las dosificaciones de las lechada, realizada mediante un método empírico volumétrico basado en la densidad de los materiales, con una relación (a/c) de 0.55 y para un volumen de 0.011 m^3 tomando en cuenta las dimensiones de los prototipos de canales prefabricados con un espesor de aproximadamente 3 mm y con 15 % más de volumen de lechada por desperdicios.

En el Anexo 7 se indica el procedimiento más detallado para el cálculo de estas dosificaciones.

Tabla N° 9.- Resumen de las dosificaciones de las lechadas

Resumen de dosificaciones			
Dosificación	**Cant. Cemento (Kg)**	**Cant. Micro. Part. Ceniza (Kg)**	**Cant. Agua (Kg)**
IP-15%MCV	10,42	1,84	6,74
IP-25%MCV	9,19	3,06	6,74
HE-15%MCV	10,51	1,86	6,80
HE-25%MCV	9,28	3,09	6,80

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

En la colocación de las lechadas como recubrimiento en las paredes y fondo de los 4 prototipos de canales prefabricados no existió ningún inconveniente relevante, ya que se usaron herramientas idóneas de fácil obtención para este proceso, como: llana metálica, bailejo, espátula metálica, esponja. Obteniendo un espesor uniforme de 3 mm aproximadente en todas las superficies de los canales.

En el anexo 8 se muestra la colocación de las lechadas en los prototipos de canales.

Por último se presenta los resultados del coeficiente de rugosidad de Manning de nuestras lechadas, para lo cual se elaboró un prototipo de canal prefabricado de fibrocemento para cada dosificación. Se siguió el procedimiento detallado en nuestra metodología siendo los resultados los siguientes:

En el anexo 9 se muestra el proceso más detallado del cálculo del coeficiente de rugosidad para cada dosificación realizada.

Para un mejor entendimiento de los resultados, los elementos geométricos de los canales serán representados con las siguientes siglas: S= Pendiente longitudinal del canal (m/m), y= Profundidad de flujo (m), b= Base (m), n= Coeficiente de Rugosidad de Manning, Q= Caudal de descarga (m^3/s), v= Velocidad de flujo (m/s) y Fr= Número de Froude.

Tabla N° 10.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-15%MCV)

Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-15%MCV)							
S	**b (m)**	**y (cm)**	**Q (m3/s)**	**v(m/s)**	**Fr**	**n**	**Régimen de flujo**
0.001	0.165	13.50	0.02	0.90	0.78	0.00487	Subcrítico
0.002	0.165	13.167	0.02	0.92	0.81	0.00667	Subcrítico
0.003	0.165	12.97	0.02	0.93	0.83	0.00801	Subcrítico
0.004	0.165	12.77	0.02	0.95	0.85	0.00907	Subcrítico
0.005	0.165	12.43	0.02	0.97	0.88	0.00981	Subcrítico
0.006	0.165	12.13	0.02	1.00	0.91	0.01042	Subcrítico
0.007	0.165	11.83	0.02	1.02	0.95	0.0109	Subcrítico
0.008	0.165	11.63	0.02	1.04	0.97	0.0114	Subcrítico
0.009	0.165	11.40	0.02	1.06	1.00	0.01178	Crítico
0.01	0.165	10.97	0.02	1.10	1.06	0.01182	Supercrítico
0.02	0.165	7.53	0.02	1.61	1.26	0.01019	Supercrítico
0.03	0.165	5.27	0.02	2.30	1.81	0.00762	Supercrítico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

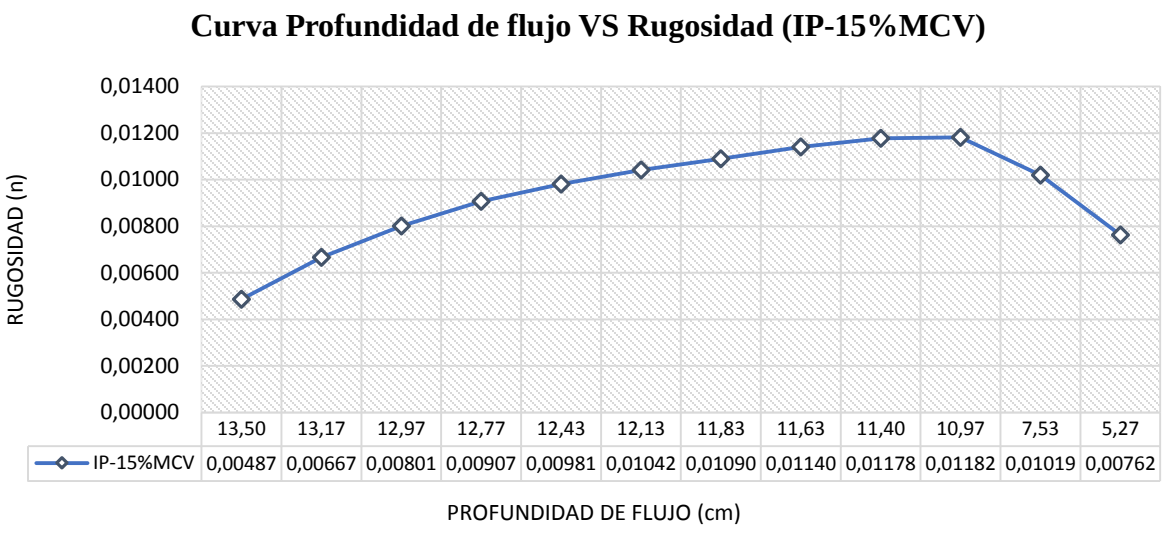


Figura N° 8.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (IP-15%MCV)

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 11.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-15%MCV)

Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-15%MCV)							
S	**y (cm)**	**b (m)**	**Q (m3/s)**	**v(m/s)**	**Fr**	**n**	**Régimen de flujo**
0.001	13.23	0.165	0.02	0.91	0.80	0.00477	Subcrítico
0.002	12.97	0.165	0.02	0.93	0.83	0.00654	Subcrítico
0.003	12.67	0.165	0.02	0.96	0.86	0.00778	Subcrítico
0.004	12.50	0.165	0.02	0.97	0.87	0.00883	Subcrítico
0.005	12.23	0.165	0.02	0.99	0.90	0.00961	Subcrítico
0.006	11.97	0.165	0.02	1.01	0.93	0.01024	Crítico
0.007	11.73	0.165	0.02	1.03	0.96	0.01078	Supercrítico
0.008	11.47	0.165	0.02	1.06	0.99	0.01119	Supercrítico
0.009	11.23	0.165	0.02	1.08	1.03	0.01156	Supercrítico
0.01	10.90	0.165	0.02	1.11	1.07	0.01173	Supercrítico
0.02	7.23	0.165	0.02	1.67	1.99	0.00965	Supercrítico
0.03	5.13	0.165	0.02	2.36	3.32	0.00735	Supercrítico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

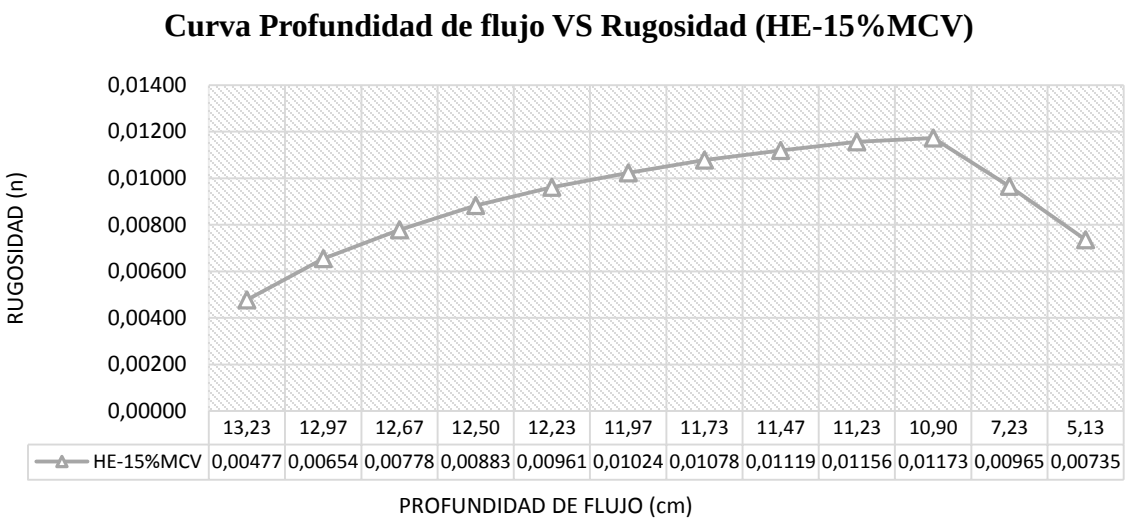


Figura N° 9.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (HE-15%MCV)

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 12.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-25%MCV)

Coeficiente de rugosidad de Manning (IP-25%MCV)							
S	**y (cm)**	**b (m)**	**Q (m3/s)**	**v (m/s)**	**Fr**	**n**	**Régimen de flujo**
0.001	12.93	0.165	0.02	0.93	0.82	0.00464	Subcrítico
0.002	12.67	0.165	0.02	0.95	0.85	0.0064	Subcrítico
0.003	12.43	0.165	0.02	0.97	0.88	0.00759	Subcrítico
0.004	12.17	0.165	0.02	0.99	0.91	0.00858	Subcrítico
0.005	11.93	0.165	0.02	1.01	0.93	0.00936	Crítico
0.006	11.77	0.165	0.02	1.02	0.95	0.01007	Supercrítico
0.007	11.53	0.165	0.02	1.04	0.98	0.0106	Supercrítico
0.008	11.23	0.165	0.02	1.07	1.02	0.01096	Supercrítico
0.009	10.93	0.165	0.02	1.10	1.06	0.01122	Supercrítico
0.01	10.67	0.165	0.02	1.13	1.10	0.01148	Supercrítico
0.02	7.20	0.165	0.02	1.67	1.99	0.00962	Supercrítico
0.03	5.00	0.165	0.02	2.41	3.44	0.00712	Supercrítico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

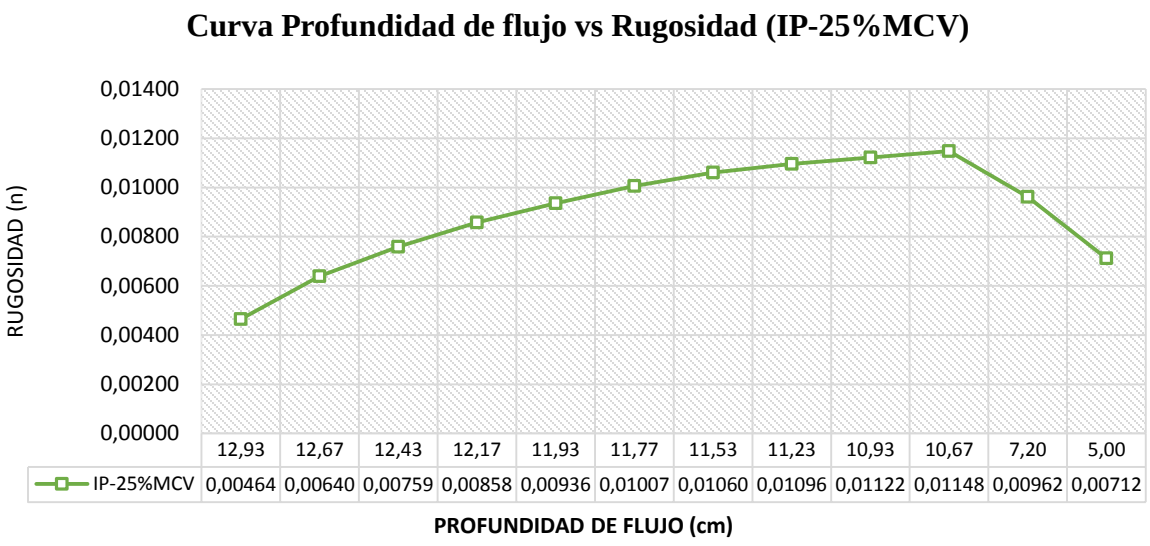


Figura N° 10.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (IP-25%MCV)

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 13.- Resultados de Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-25%MCV)

Coeficiente de rugosidad de Manning (HE-25%MCV)							
S (%o)	**y (cm)**	**b (m)**	**Q (m3/s)**	**v(m/s)**	**Fr**	**n**	**Régimen de flujo**
0.001	12.67	0.165	0.02	0.95	0.85	0.0045	Subcrítico
0.002	12.47	0.165	0.02	0.96	0.87	0.00627	Subcrítico
0.003	12.17	0.165	0.02	0.99	0.91	0.00741	Subcrítico
0.004	11.83	0.165	0.02	1.02	0.94	0.00828	Subcrítico
0.005	11.63	0.165	0.02	1.03	0.97	0.00907	Subcrítico
0.006	11.43	0.165	0.02	1.05	0.99	0.00974	Subcrítico
0.007	11.13	0.165	0.02	1.08	1.03	0.01014	Supercrítico
0.008	10.83	0.165	0.02	1.11	1.07	0.01051	Supercrítico
0.009	10.65	0.165	0.02	1.13	1.10	0.01087	Supercrítico
0.01	10.50	0.165	0.02	1.14	1.13	0.01125	Supercrítico
0.02	6.97	0.165	0.02	1.73	2.09	0.00922	Supercrítico
0.03	4.80	0.165	0.02	2.50	3.65	0.00673	Supercrítico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

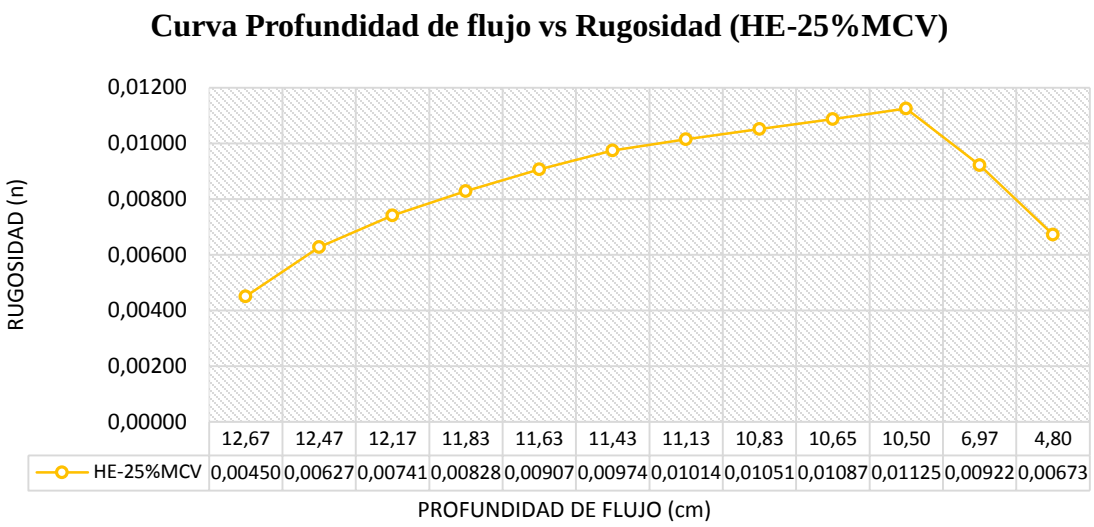


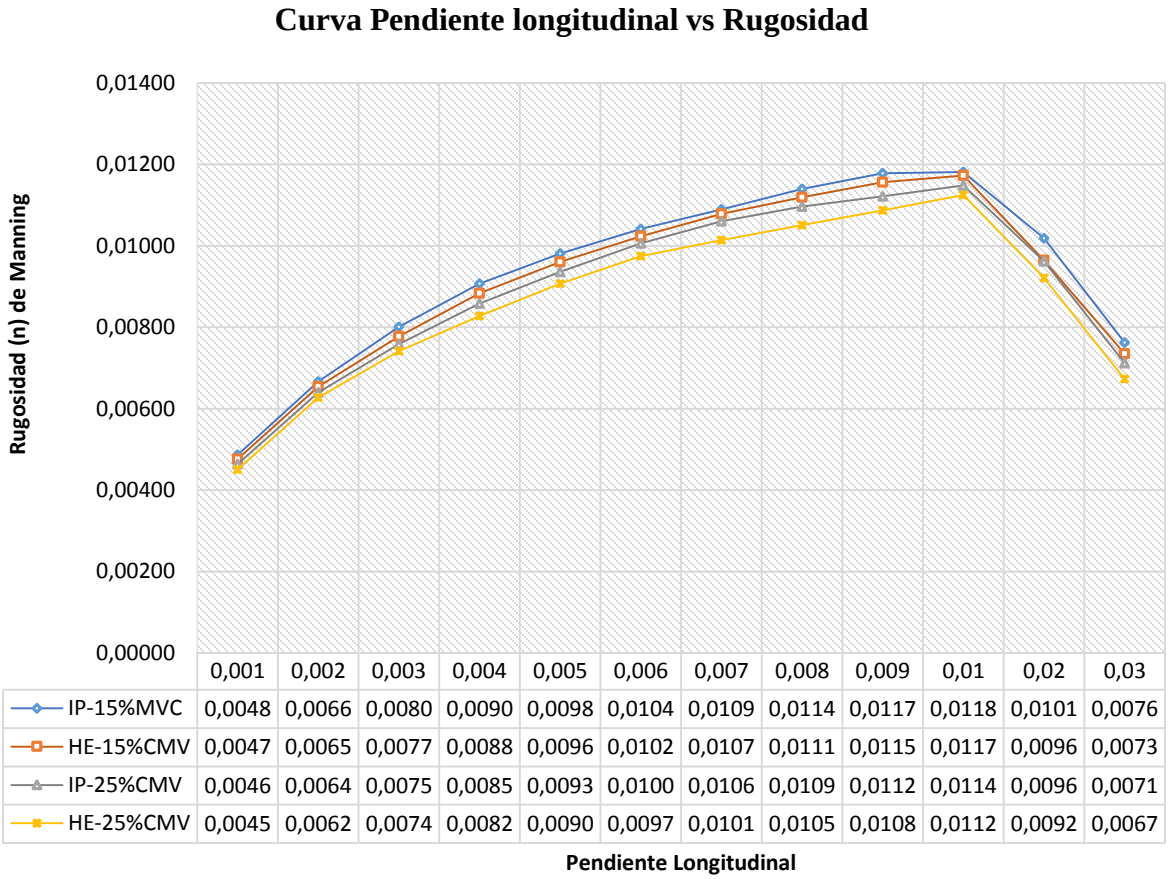
Figura N° 11.- Curva Profundidad de flujo vs Rugosidad (HE-25%MCV)

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se puede observar en las Tablas N° 10, 11, 12 y 13 y en las Figuras N° 7, 8, 9 y 10 la profundidad de flujo (y) decrece a medida que el coeficiente de rugosidad de Manning (n) aumenta, esto se debe a que mientras se vaya incrementando el grado de inclinación del canal la presión hidrostática en cualquier punto de la sección del canal disminuye, causando que la velocidad de flujo aumente, obligando así que la resistencia a la fricción que proporcionan los materiales constituyentes de los recubrimientos en las paredes y fondo del canal también aumente hasta alcanzar su resistencia máxima. La figura N° 7 muestra que la máxima resistencia a la fricción alcanzada fue en la dosificación IP-15%MCV con un valor de coeficiente de rugosidad (n) igual a 0.01182 y a partir de este punto esta comienza a decrecer.

Por otro lado, al cambiar el tipo de cemento y aumentar el porcentaje de micro-partículas de ceniza volcánica se alcanza regímenes de flujo supercríticos mucho más rápido en pendientes longitudinales teóricamente bajas, esto se debe a que mientras menor sea el tamaño de los materiales constituyentes de las lechadas (cemento y micro-partículas de ceniza volcánica), la velocidad de flujo tiende a aumentar levemente, al ocurrir esto el número de Froude que determina

el régimen de flujo aumenta ya que este es directamente proporcional a la velocidad de flujo. Esto se puede evidenciar en las Tablas N° 10 y 13, donde en la lechada IP-15%MCV con una pendiente (S) de 0.01 se llega a un régimen supercrítico con un numero de Froude (Fr) igual a 1.06, mientras que en la lechada HE-25%MCV se alcanza un régimen de flujo supercrítico con un Fr = 1.03 en una pendiente (S) de 0.007.



	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03
IP-15%MVC	0,0048	0,0066	0,0080	0,0090	0,0098	0,0104	0,0109	0,0114	0,0117	0,0118	0,0101	0,0076
HE-15%CMV	0,0047	0,0065	0,0077	0,0088	0,0096	0,0102	0,0107	0,0111	0,0115	0,0117	0,0096	0,0073
IP-25%CMV	0,0046	0,0064	0,0075	0,0085	0,0093	0,0100	0,0106	0,0109	0,0112	0,0114	0,0096	0,0071
HE-25%CMV	0,0045	0,0062	0,0074	0,0082	0,0090	0,0097	0,0101	0,0105	0,0108	0,0112	0,0092	0,0067

Figura N° 12.- Curva Pendiente vs Rugosidad

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se puede observar en la figura N° 11 el coeficiente de rugosidad (n) de Manning incrementa conforme la pendiente longitudinal del canal aumenta, sin embargo la tasa de aumento no es linealmente proporcional al aumento de la pendiente, esto se debe a que a medida que la pendiente del canal vaya en aumento, la fuerza de adherencia entre las moléculas de agua y las moléculas del material constituyente del recubrimiento en las paredes y fondo del canal incrementa de igual manera, sin embargo esta fuerza aumenta hasta cuando el material de recubrimiento alcanza su grado de saturación máximo, y a partir de este momento dicha fuerza empieza a decrecer cuando el flujo de agua incursiona dentro de pendientes altas. Los resultados obtenidos indican que la lechada IP-15%MCV presenta una mayor fuerza de adherencia y por ende un elevado coeficiente de rugosidad (n) igual a 0.01182, lo que nos conlleva a suponer ciertamente que esta dosificación tiene un grado de saturación alto respecto a las otras dosificaciones de lechadas.

Tabla N° 14.- Coeficientes de rugosidad experimentales vs al teórico.

Comparación de coeficientes de rugosidad experimentales respecto a los teóricos				
Dosificaciones	**Coeficientes de rugosidad (n) promedios experimentales**	**Porcentaje de reducción entre lechadas (%)**	**Coeficiente de rugosidad (n) teórico**	**Porcentaje de reducción de rugosidad experimental – teórico (%)**
IP-15%MCV	0.00938	4.37	Concreto terminado con llana metálica Mínimo n = 0.011	14.73
IP-25%MCV	0.00897			16.64
HE-15%MCV	0.00917	5.45		18.45
HE-25%MCV	0.00867			21.18
Promedio =	0.009048			17.75

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

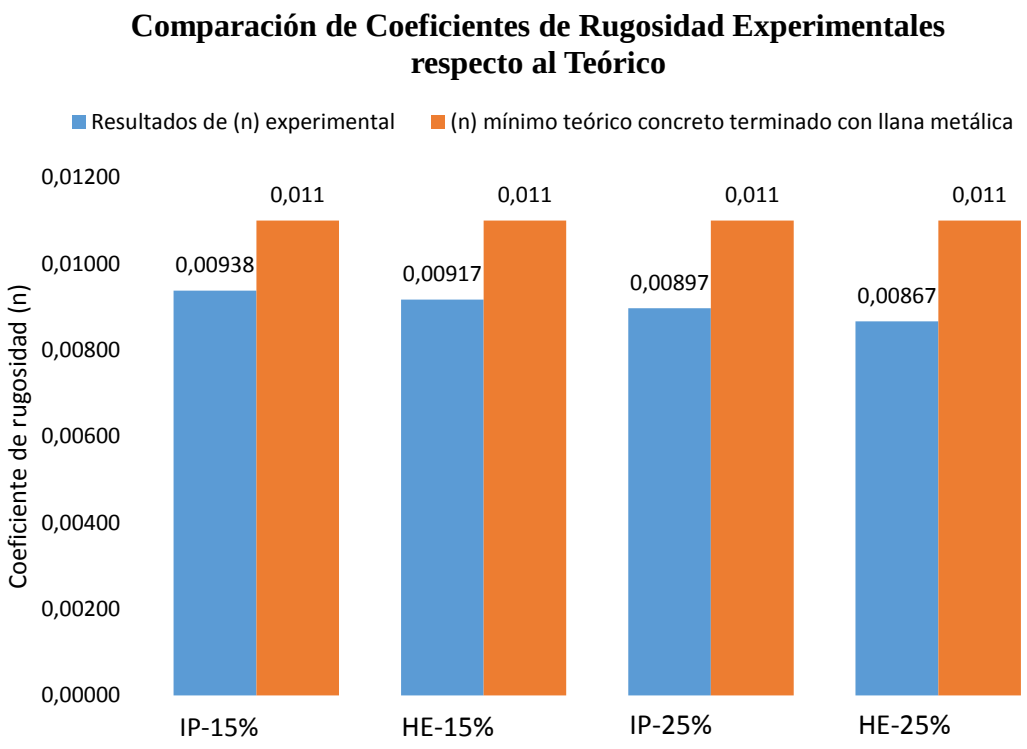


Figura N° 13.- Coeficientes de rugosidad experimentales vs al teórico.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se observa en la Tabla N° 14, mientras se incremente el porcentaje de micro-partículas de ceniza volcánica a las dosificaciones, el coeficiente de rugosidad (n) de Manning disminuye levemente, obteniendo así que con un aumento del 10% de micro-partículas de ceniza volcánica entre las lechadas constituidas por cemento portland tipo IP (IP-15%MCV y IP-25%MCV) hubo una reducción del 4.37% en el coeficiente de rugosidad, del mismo modo en las lechadas conformadas por cemento tipo HE (HE-15%MCV y HE-25%MCV) hubo una reducción del coeficiente de rugosidad del 5.45% . Por otro lado como se observa en la Figura N° 12, al comparar los coeficientes de rugosidad experimentales respecto a la rugosidad teórica de un concreto terminado con llana metálica con un n= 0.011 se obtuvieron los siguientes resultados: en la lechada IP-15%MCV hubo una reducción de (n) del 14.73%, mientras que en la lechada IP-

25%MCV la rugosidad se disminuyó un 18.45%, así mismo en las lechadas constituidas por cemento tipo HE (HE-15%MCV y HE-25%MCV) hubo una reducción del coeficiente de rugosidad (n) de 16.64% y 21.18% respectivamente.

Los promedios generales revelan que las micro-partículas de ceniza volcánica pueden disminuir el coeficiente de rugosidad hasta un 17.75% respecto a la rugosidad de un concreto terminado con llana metálica.

Tabla N° 15.- Porcentaje de aumento de caudal de descarga

Comparación del caudal de descarga usando el coeficiente de rugosidad experimental respecto al teórico				
Coeficiente de rugosidad (n) promedio experimental	**Caudal calculado con (n) experimental**	**Coeficiente de rugosidad (n) teórico**	**Caudal calculado con (n) teórico**	**Porcentaje de aumento de caudal promedio (%)**
0.009048	0.020	0.011	0.01611	19.45

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Comparación del caudal de descarga promedio usando el coeficiente de rugosidad experimental respecto al teórico

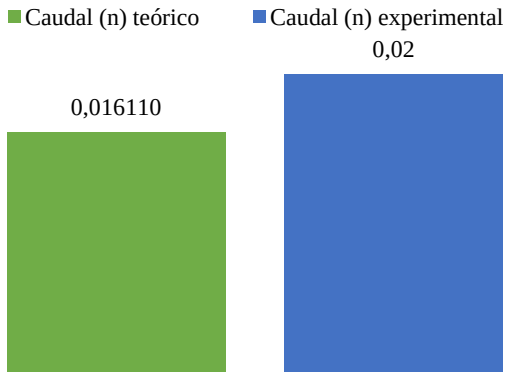


Figura N° 14.- Porcentaje de aumento de caudal de descarga

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Como se puede observar en la Tabla N° 15 y en la Figura N°13, el caudal de descarga promedio calculado con el coeficiente de rugosidad experimental n = 0.009048 aumenta un 19.45%, en comparación con un caudal estimado con una rugosidad teórica de n = 0.011 correspondiente a un concreto con terminado de llana metálica.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación fue conocer la variación del coeficiente de rugosidad en canales abiertos de hormigón; incorporando micro partículas de ceniza volcánica, cemento portland tipo I y HE como recubrimiento en las paredes y fondo del canal. Una vez realizados los ensayos y hecho un análisis comparativo entre las dosificaciones diseñadas, se determinó que al incorporar micro partículas de ceniza volcánica, cemento portland tipo I y HE el coeficiente de rugosidad tiende a reducirse dependiendo del porcentaje de micro-partículas de ceniza volcánica que se adiciona a la mezcla.

Los resultados experimentales como coeficiente de rugosidad, velocidad de flujo y caudal de descarga usando una pendiente longitudinal de 0.001, se encuentran dentro los límites esperados en la tercera simulación del modelo matemático, ya que en todas las dosificaciones diseñadas el coeficiente de rugosidad (n) está dentro del rango de (0.004 y 0.005), así mismo la velocidad de flujo se encuentra en los límites de (0.86 m/s y 1.07 m/s) y del mismo modo el caudal de descarga oscila dentro del rango de (0.019 m^3/s hasta 0.024 m^3/s), por lo tanto al implementar el modelo matemático en esta investigación se pudo predecir de manera satisfactoria el efecto que tendría el coeficiente de rugosidad en los prototipos de canales prefabricados de fibrocemento y además se logró obtener resultados significativos durante la parte experimental.

La sustitución parcial de cemento por micro-partículas de ceniza volcánica en las pastas con cemento y agua muestran una disminución desde el 14% al 21% del coeficiente de rugosidad respecto a la rugosidad teórica del concreto terminado con llana metálica. Las mezclas que presentaron mejores resultados al reducir el coeficiente de rugosidad al incluir micro-partículas de ceniza volcánica son las que contienen cemento portland tipo HE el cual se caracteriza por tener

menor módulo de finura y alta resistencia, esto significa que la presencia de materiales muy finos ayudan a reducir el coeficiente de rugosidad de manera notable.

La pendiente del canal parece ser el principal factor en la determinación del coeficiente de rugosidad, puesto que a medida que aumenta la pendiente también aumenta el coeficiente de rugosidad, sin embargo, el porcentaje de incremento no es linealmente proporcional al aumento de la pendiente.

El aumento en el caudal de descarga debido a la reducción en el valor del coeficiente de rugosidad (n) es de un 19.45%.

6.2. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta las conclusiones anteriores se recomienda:

La colocación de los recubrimientos en las paredes y fondo del canal se debe hacer en el tramo del modelo físico donde se genera flujo uniforme, para garantizar que los datos recolectados puedan ser correctamente procesados mediante la ecuación de Manning.

Realizar mayor cantidad de mediciones de profundidades de flujo variando el caudal de descarga en cada pendiente longitudinal en estudio, para de esta manera poder contar con datos adicionales que corroboren los resultados obtenidos en la presente investigación.

Desarrollar un modelo matemático adaptado a las condiciones propias de cada estudio hidráulico, para poder tener una idea real del comportamiento de la variable en análisis.

7. BIBLIOGRAFIA

Coppiano, I. (2016). *Uso de ceniza volcánica como puzolana natural en mezclas de hormigón*.

Estherrani, V; Muthukumaran, N; Prince Arulraj, G. (2018). EFFECT OF NANO-CEMENT IN REDUCING THE VALUE OF ROUGHNESS COEFFICIENT. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, *9*(4), 744–751.

INEN. INEN 696 Análisis Granulométrico en los áridos, fino y gruesos (2011).

INEN. INEN 872 Áridos para hormigón. Requisitos.(2011)

Lau, T. W., & Afshar, N. R. (2013). Effect of Roughness on Discharge. *UNIMAS E-Journal of Civil Engineering*, *4*(3), 29–33.

Mailapalli, D., Singh, R., Schmitz, G., & Lennartz, F. (2008). Spatial and temporal variation of manning´s roughness coeficient in furrow irrigation. *American Society of Civil Engineers (ASCE)*.

Muthukumaran & Prince Arulraj. (2017). State of art of the application of nano materials on the reduction of roughness coefficient in open channels. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, *60*(19), 60–62.

Raki, L., Beaudoin, J., Alizadeh, R., Makar, J., & Sato, T. (2010). Cement and concrete nanoscience and nanotechnology. *Materials*, *3*(2), 918–942. https://doi.org/10.3390/ma3020918

Saib, N. A., Tun, U., & Onn, H. (2011). Influence of bed roughness in open channel. *Proceeding of International Seminar on Application of Science Matehmatics 2011 (ISASM2011)*, *2011*, 1–3.

Shaoyun, D. (2013). Experimental research on application of nano-concrete to reduce roughness coefficient. *Proceedings - 2013 4th International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2013*, 572–574. https://doi.org/10.1109/ICDMA.2013.135

Suárez, A. E., & Urgiles, M. P. (2010). Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante cal - puzolana, 1–81. Retrieved from http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3659/1/ENF08.pdf#page=1&zoom=auto,-107,848

Velásquez, J., Lindao, V., Mera, A., Merino, A., Moyón, C., & Aragadovay, J. (2016). *Informe del IV Concurso Nacional de Hormigones (INECYC). Inecyc*.

8. ANEXOS

Anexo 1.- Modelo físico del canal hidráulico (Universidad Técnica de Ambato).

Figura N° 15.- Modelo físico del canal hidráulico (UTA)

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 16.- Mecanismo para el cambio de pendiente longitudinal en el canal

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 2: Análisis Granulométrico

Tabla N° 16.- Análisis granulométrico - Muestra 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Ceniza Volcánica

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Muestreo: 18/06/2018 (10H00)

Fecha de Ensayo: 19/06/2018 (13H00)

Peso recipiente: 494 (g)

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

TAMICES	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial – Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
N° 4	500	6	0.60	99.40	95	100
N° 8	502	8	1.40	98.60	80	100
N° 16	516	22	3.60	96.40	50	85
N°30	603	109	14.50	85.50	25	60
N° 50	812	318	46.30	53.70	5	30
N° 100	832	338	80.10	19.90	0	10
N° 200	643	149	95.00	5.00	0	0
BANDEJA	543	49	99.90	0.10		
TOTAL		999				
MÓDULO DE FINURA		**2.42**				

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

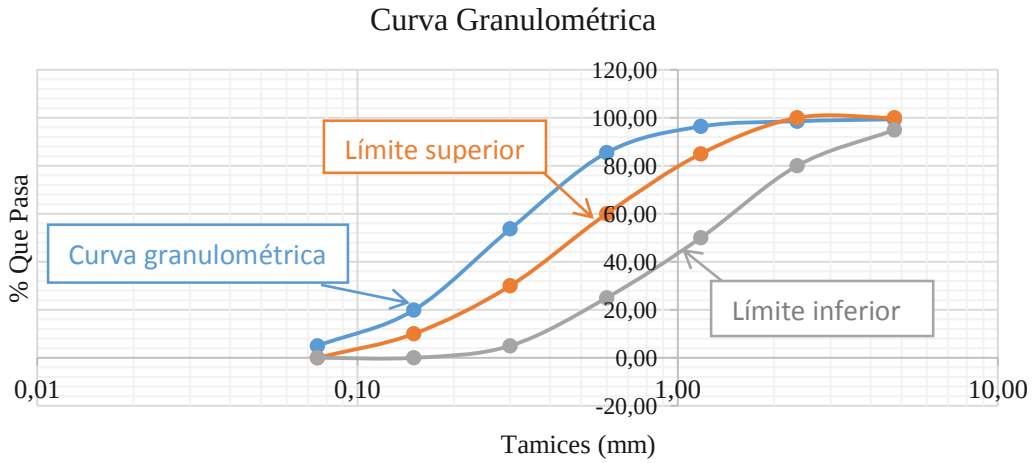


Figura N° 17.- Curva granulométrica – Muestra 1

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 17.- Análisis granulométrico - Muestra 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Ceniza Volcánica

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Muestreo: 18/06/2018 (10H00)

Fecha de Ensayo: 19/06/2018 (13H00)

Peso recipiente: 494 (g)

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

TAMICES	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial – Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
N° 4	499	5	0.50	99.50	95	100
N° 8	500	6	1.10	98.90	80	100
N° 16	517	23	3.40	96.60	50	85
N°30	627	133	16.70	83.30	25	60
N° 50	898	404	57.10	42.90	5	30
N° 100	775	281	85.20	14.80	0	10
N° 200	600	106	95.80	4.20	0	0
BANDEJA	535	41	99.90	0.10		
TOTAL		999				
MÓDULO DE FINURA		**2.60**				

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

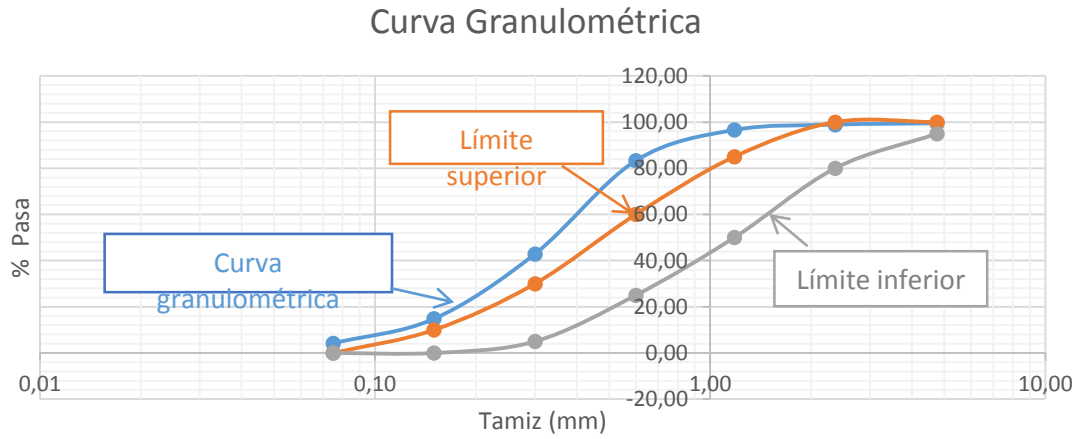


Figura N° 18.- Curva granulométrica – Muestra 2

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 18.- Análisis granulométrico - Muestra 3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Ceniza Volcánica

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Muestreo: 18/06/2018 (10H00)

Fecha de Ensayo: 19/06/2018 (13H00)

Peso recipiente: 494 (g)

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

TAMICES	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial – Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
N° 4	498	4	0.40	99.60	95	100
N° 8	501	7	1.10	98.90	80	100
N° 16	515	21	3.20	96.80	50	85
N°30	625	131	16.30	83.70	25	60
N° 50	900	406	56.90	43.10	5	30
N° 100	778	284	85.30	14.70	0	10
N° 200	598	104	95.70	4.30	0	0
BANDEJA	534	40	99.70	0.30		
TOTAL		997				
MÓDULO DE FINURA		**2.59**				

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

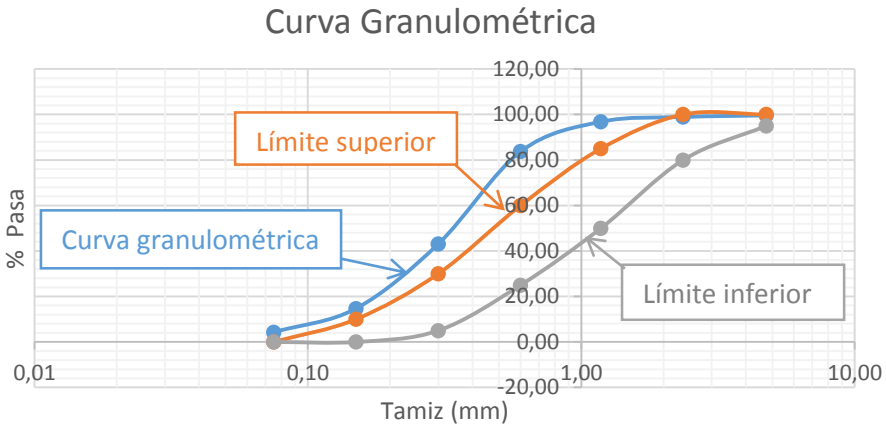


Figura N° 19.- Curva granulométrica – Muestra 2

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 20.- Colocación de la ceniza volcánica en los tamices

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 21.- Tamizado de las muestras

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 3: Cortado y ensamblaje de los prototipos de canales prefabricados.

Figura N° 22.- Proceso de cortado de las planchas de fibrocemento

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 23.- Ensamblaje de las partes del canal de fibrocemento

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 4: Prototipo de canal ensamblado

Figura N° 24.- Canal prefabricado de fibrocemento

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 5: Ensayo de Fluidez

Tabla N° 19.- Ensayo de fluidez – Cemento IP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Cemento IP

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Tipo de Ensayo: Fluidez

Fecha de Ensayo: 15/08/2018

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	% Micro Partículas de Ceniza Volcánica	Cant. Cemento(Kg)	Cant. Micro-Ceniza(Kg)	Cant. Agua (Kg)	Tiempo de vaciado (seg)			Tiempo Promedio (seg)
					t1	t2	t3	
0.55	0	0.111	0	0.061	35.36	32.83	33.12	33.77
	15	0.094	0.017	0.061	13.83	12.76	13.02	13.20
	25	0.083	0.028	0.061	8.18	8.21	8.26	8.22
0.6	0	0.105	0	0.063	30.22	31.01	31.78	31.00
	15	0.089	0.016	0.063	13.06	13.1	12.79	12.98
	25	0.079	0.026	0.063	7.59	7.34	7.01	7.31
0.8	0	0.1	0	0.08	5.01	4.9	5.16	5.02
	15	0.085	0.015	0.08	2.6	2.54	2.65	2.60
	25	0.075	0.025	0.08	1.98	1.99	2.13	2.03

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 20.- Ensayo de fluidez – Cemento HE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Cemento HE

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Tipo de Ensayo: Fluidez

Fecha de Ensayo: 15/08/2018

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	% Micro Partículas de Ceniza Volcánica	Cant. Cemento(Kg)	Cant. Micro-Ceniza(Kg)	Cant. Agua (Kg)	Tiempo de vaciado (seg)			Tiempo Promedio (seg)
					t1	t2	t3	
0.55	0	0.112	0	0.062	32.56	32.87	31.97	32.47
	15	0.095	0.017	0.062	11.56	11.67	11.24	11.49
	25	0.084	0.028	0.062	6.35	6.67	6.18	6.40
0.6	0	0.106	0	0.064	30.97	30.85	30.75	30.86
	15	0.09	0.016	0.064	11.01	10.96	10.78	10.92
	25	0.08	0.027	0.064	4.44	4.65	5.01	4.70
0.8	0	0.1	0	0.08	3.33	3.45	3.22	3.33
	15	0.085	0.015	0.08	2.01	1.97	1.95	1.98
	25	0.075	0.025	0.08	1.76	1.81	1.86	1.81

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 25.- Proceso de mezclado de materiales

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 26.- Llenado de embudo para ensayo de fluidez

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 6: Ensayo de Estabilidad

Tabla N° 21.- Ensayo de estabilidad – Cemento IP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 1: Cemento IP

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Tipo de Ensayo: Estabilidad

Fecha de Muestreo: 15/08/2018

Tiempo de Ensayo: 30min

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	% Micro Partículas de Ceniza Volcánica	Cant. Cemento(Kg)	Cant. Micro-Ceniza(Kg)	Cant. Agua (Kg)	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	% Sedimentación
0.55	0	0.278	0	0.153	250	245	2
	15	0.236	0.042	0.153	250	245	2
	25	0.208	0.069	0.153	250	246	1.6
0.6	0	0.263	0	0.158	250	247	1.2
	15	0.223	0.039	0.158	250	246	1.6
	25	0.197	0.066	0.158	250	245	2
0.8	0	0.217	0	0.174	250	242.5	3
	15	0.185	0.033	0.174	250	242	3.2
	25	0.163	0.054	0.174	250	241	3.6

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 22.- Ensayo de estabilidad – Cemento HE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Muestra 2: Cemento HE

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Tipo de Ensayo: Estabilidad

Fecha de Ensayo: 16/08/2018

Tiempo de Ensayo: 30min

Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	% Micro Partículas de Ceniza Volcánica	Cant. Cemento(Kg)	Cant. Micro-Ceniza(Kg)	Cant. Agua (Kg)	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	% Sedimentación
0.55	0	0.28	0	0.154	250	247.5	1
	15	0.238	0.042	0.154	250	245	2
	25	0.21	0.07	0.154	250	245	2
0.6	0	0.265	0	0.159	250	245	2
	15	0.225	0.04	0.159	250	242	3.2
	25	0.199	0.066	0.159	250	239	4.4
0.8	0	0.219	0	0.175	250	242	3.2
	15	0.186	0.033	0.175	250	241.5	3.4
	25	0.164	0.055	0.175	250	242	3.2

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 27.- Calibración de la mezcla

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

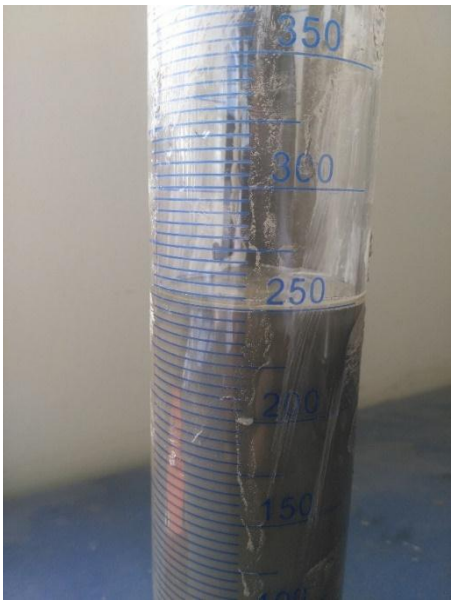


Figura N° 28.- Colocación de 250 ml de mezcla en la probeta

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 7.- Cálculo de las dosificaciones

Tabla N° 23.- Dosificación 1 (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Fecha de Ensayo: 01/09/2018

Realizado por: Víctor Yaulema y Henry Velasteguí

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	Volumen (m3)	Unid. Medida	Cemento	Micro partículas de Ceniza Volcánica	Agua
0,55	1	Kg	943,52	166,50	610,52
		m3	0,33	0,06	0,61
	0,011	Kg	10,42	1,84	6,74
		m3	0,00365	0,00064	0,00674

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 24.- Dosificación 2 (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Fecha de Ensayo: 01/09/2018

Realizado por: Víctor Yaulema y Henry Velasteguí

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	Volumen (m3)	Unid. Medida	Cemento	Micro partículas de Ceniza Volcánica	Agua
0,55	1	Kg	832,52	277,51	610,52
		m3	0,29	0,10	0,61
	0,011	Kg	9,19	3,06	6,74
		m3	0,00322	0,00107	0,00674

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 25.- Dosificación 3 (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Fecha de Ensayo: 01/09/2018

Realizado por: Víctor Yaulema y Henry Velasteguí

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	Volumen (m3)	Unid. Medida	Cemento	Micro partículas de Ceniza Volcánica	Agua
0,55	1	Kg	952,42	168,07	616,27
		m3	0,33	0,06	0,62
	0,011	Kg	10,51	1,86	6,80
		m3	0,00360	0,00064	0,00680

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 26.- Dosificación 4 (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV

Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

Fecha de Ensayo: 01/09/2018

Realizado por: Víctor Yaulema y Henry Velasteguí

Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

TABULACION DE RESULTADOS

Relación Agua-Cemento (a/c)	Volumen (m3)	Unid. Medida	Cemento	Micro partículas de Ceniza Volcánica	Agua
0,55	1	Kg	840,37	280,12	616,27
		m3	0,29	0,10	0,62
	0,011	Kg	9,28	3,09	6,80
		m3	0,00318	0,00106	0,00680

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 8.- Colocación de las lechadas en los prototipos de canales prefabricados.

Figura N° 29.- Colocación de las lechadas en el prototipo de canal prefabricado

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 30.- Prototipos finales

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Anexo 9.- Cálculo del coeficiente de rugosidad

Tabla N° 27.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,001
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,51 seg	**Q1=**	0,01996	m3/seg	**y1=**	13,5	cm	**S=**	0,001
t2=	5,53 seg	**Q2=**	0,01989	m3/seg	**y2=**	13,5	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,5 seg	**Q3=**	0,02000	m3/seg	**y3=**	13,5	cm		
t4=	5,49 seg	**Q4=**	0,02004	m3/seg	**yprom=**	13,5	cm		
t5=	5,53 seg	**Q5=**	0,01989	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,004866	**v=**	0,896	m/s
A=	0,0223 m2	**n2=**	0,0048832	**Fr=**	0,779	
P=	0,435 m	**n3=**	0,0048567	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0512 m	**n4=**	0,0048479			
		n5=	0,0048832			
		n prom=	0,0048673			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 28.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,002
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,48 seg	**Q1=**	0,02007	m3/seg	**y1=**	13,20	cm	**S=**	0,002
t2=	5,53 seg	**Q2=**	0,01989	m3/seg	**y2=**	13,20	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,52 seg	**Q3=**	0,01993	m3/seg	**y3=**	13,10	cm		
t4=	5,53 seg	**Q4=**	0,01989	m3/seg	**yprom=**	13,17	cm		
t5=	5,49 seg	**Q5=**	0,02004	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,006632	**v=**	0,919	m/s
A=	0,022 m2	**n2=**	0,006693	**Fr=**	0,809	
P=	0,428 m	**n3=**	0,006680	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,051 m	**n4=**	0,006693			
		n5=	0,006644			
		n prom=	0,006668			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 29.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,003
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,52 seg	**Q1=**	0,01993	m3/seg	**y1=**	12,9	cm	**S=**	0,003
t2=	5,5 seg	**Q2=**	0,02000	m3/seg	**y2=**	13	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,53 seg	**Q3=**	0,01989	m3/seg	**y3=**	13	cm		
t4=	5,51 seg	**Q4=**	0,01996	m3/seg	**yprom=**	12,9666667	cm		
t5=	5,49 seg	**Q5=**	0,02004	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,008026	**v=**	0,933	m/s
A=	0,0214 m2	**n2=**	0,007997	**Fr=**	0,827	
P=	0,4243 m	**n3=**	0,008040	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0504 m	**n4=**	0,008011			
		n5=	0,007982			
		n prom=	0,008011			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 30.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,004
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,49 seg	**Q1=**	0,02004	m3/seg	**y1=**	12,70	cm	**S=**	0,004
t2=	5,51 seg	**Q2=**	0,01996	m3/seg	**y2=**	12,80	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,54 seg	**Q3=**	0,01986	m3/seg	**y3=**	12,80	cm		
t4=	5,49 seg	**Q4=**	0,02004	m3/seg	**yprom=**	12,77	cm		
t5=	5,52 seg	**Q5=**	0,01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,009038	**v=**	0,948	m/s
A=	0,0211 m2	**n2=**	0,009071	**Fr=**	0,847	
P=	0,420 m	**n3=**	0,009121	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0501 m	**n4=**	0,009038			
		n5=	0,009088			
		n prom=	0,009071			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 31.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,005
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,54 seg	**Q1=**	0,01986	m3/seg	**y1=**	12,50	cm	**S=**	0,005
t2=	5,49 seg	**Q2=**	0,02004	m3/seg	**y2=**	12,40	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,53 seg	**Q3=**	0,01989	m3/seg	**y3=**	12,40	cm		
t4=	5,5 seg	**Q4=**	0,02000	m3/seg	**yprom=**	12,43	cm		
t5=	5,49 seg	**Q5=**	0,02004	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,009862	**v=**	0,973	m/s
A=	0,0205 m2	**n2=**	0,0097728	**Fr=**	0,881	
P=	0,4137 m	**n3=**	0,009844	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0496 m	**n4=**	0,0097906			
		n5=	0,0097728			
		n prom=	0,0098084			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 32.-Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 10/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,006
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,52 seg	**Q1=**	0,01993	m3/seg	**y1=**	12,10	cm	**S=**	0,006
t2=	5,5 seg	**Q2=**	0,02000	m3/seg	**y2=**	12,10	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,53 seg	**Q3=**	0,01989	m3/seg	**y3=**	12,20	cm		
t4=	5,49 seg	**Q4=**	0,02004	m3/seg	**yprom=**	12,13	cm		
t5=	5,51 seg	**Q5=**	0,01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,010436	**v=**	0,997	m/s
A=	0,020 m2	**n2=**	0,010398	**Fr=**	0,914	
P=	0,408 m	**n3=**	0,010455	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0491 m	**n4=**	0,010379			
		n5=	0,010417			
		n prom=	0,010417			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 33.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,007
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,49 seg	**Q1=**	0,02004	m3/seg	**y1=**	11,90	cm	**S=**	0,007
t2=	5,55 seg	**Q2=**	0,01982	m3/seg	**y2=**	11,80	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,52 seg	**Q3=**	0,01993	m3/seg	**y3=**	11,80	cm		
t4=	5,48 seg	**Q4=**	0,02007	m3/seg	**yprom=**	11,83	cm		
t5=	5,51 seg	**Q5=**	0,01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,010859	**v=**	1,022	m/s
A=	0,0195 m2	**n2=**	0,010978	**Fr=**	0,949	
P=	0,4017 m	**n3=**	0,0109187	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,0486 m	**n4=**	0,0108396			
		n5=	0,0108989			
		n prom=	0,01090			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 34.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,008
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,55 seg	**Q1=**	0,01982	m3/seg	**y1=**	11,60	cm	**S=**	0,008
t2=	5,51 seg	**Q2=**	0,01996	m3/seg	**y2=**	11,70	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,47 seg	**Q3=**	0,02011	m3/seg	**y3=**	11,60	cm		
t4=	5,53 seg	**Q4=**	0,01989	m3/seg	**yprom=**	11,63	cm		
t5=	5,49 seg	**Q5=**	0,02004	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,011484	**v=**	1,040	m/s
A=	0,019 m2	**n2=**	0,011401	**Fr=**	0,974	
P=	0,398 m	**n3=**	0,011318	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0,048 m	**n4=**	0,011442			
		n5=	0,011359			
		n prom=	0,011401			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 35.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,009
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,52 seg	**Q1=**	0,01993	m3/seg	**y1=**	11,4	cm	**S=**	0,009
t2=	5,55 seg	**Q2=**	0,01982	m3/seg	**y2=**	11,4	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,5 seg	**Q3=**	0,02000	m3/seg	**y3=**	11,4	cm		
t4=	5,5 seg	**Q4=**	0,02000	m3/seg	**yprom=**	11,4	cm		
t5=	5,48 seg	**Q5=**	0,02007	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,011805	**v=**	1,061	m/s
A=	0,0188 m2	**n2=**	0,0118688	**Fr=**	1,00	
P=	0,393 m	**n3=**	0,0117619	**Régimen de Flujo=**	FLUJO CRÍTICO	
R=	0,0479 m	**n4=**	0,0117619			
		n5=	0,0117191			
		n prom=	0,0117833			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 36.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,01
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,5 seg	**Q1=**	0,02000	m3/seg	**y1=**	11,00	cm	**S=**	0,010
t2=	5,53 seg	**Q2=**	0,01989	m3/seg	**y2=**	11,00	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,49 seg	**Q3=**	0,02004	m3/seg	**y3=**	10,90	cm		
t4=	5,55 seg	**Q4=**	0,01982	m3/seg	**yprom=**	10,97	cm		
t5=	5,48 seg	**Q5=**	0,02007	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,011797	**v=**	1,103	m/s
A=	0,018 m2	**n2=**	0,011861	**Fr=**	1,064	
P=	0,384 m	**n3=**	0,011775	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0,047 m	**n4=**	0,011904			
		n5=	0,011754			
		n prom=	0,011818			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 37.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,02
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,52 seg	**Q1=**	0,01993	m3/seg	**y1=**	7	cm	**S=**	0,020
t2=	5,48 seg	**Q2=**	0,02007	m3/seg	**y2=**	7,8	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,53 seg	**Q3=**	0,01989	m3/seg	**y3=**	7,8	cm		
t4=	5,52 seg	**Q4=**	0,01993	m3/seg	**yprom=**	7,53	cm		
t5=	5,5 seg	**Q5=**	0,02000	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,01021	**v=**	1,606	m/s
A=	0,0124 m2	**n2=**	0,0101361	**Fr=**	1,262	
P=	0,3157 m	**n3=**	0,0102285	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0,0394 m	**n4=**	0,01021			
		n5=	0,010173			
		n prom=	0,0101915			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 38.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (IP-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 11/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,03
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5,52 seg	**Q1=**	0,01993	m3/seg	**y1=**	4,50	cm	**S=**	0,030
t2=	5,48 seg	**Q2=**	0,02007	m3/seg	**y2=**	5,50	cm	**b=**	16,5 cm
t3=	5,54 seg	**Q3=**	0,01986	m3/seg	**y3=**	5,80	cm		
t4=	5,53 seg	**Q4=**	0,01989	m3/seg	**yprom=**	5,27	cm		
t5=	5,48 seg	**Q5=**	0,02007	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0,007636	**v=**	2,297	m/s
A=	0,009 m2	**n2=**	0,007581	**Fr=**	1,806	
P=	0,270 m	**n3=**	0,007664	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0,032 m	**n4=**	0,007650			
		n5=	0,007581			
		n prom=	0,007622			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

CÁLCULO TIPO

Ejemplo Dosificación IP-15% MCV con S=0.001

Datos:

Volumen (V)=110 lts = 0.11 m3, **Pendiente (S)=** 0.001, **Base (b)=** 16.5 cm

Aforamiento Volumétrico:

Toma de tiempos aforados (t):

t1= 5.51seg, **t2=** 5.53seg, **t3=**5.50seg, **t4=**5.49seg, **t5=**5.53seg

Cálculo del Caudal (Q):

$$\mathbf{Q1} = \frac{V}{t1} = \frac{0.11\ m3}{5.51\ seg} = \mathbf{0.01996\ m3/seg}$$

Q1= 0.01996 m3/seg, **Q2=** 0,01989 m3/seg, **Q3=** 0,02 m3/seg **Q4=** 0,02004 m3/seg

Q5= 0,01989 m3/seg.

Medición de Profundidad de flujo (y):

y1= 13.5 cm, **y1=** 13.5 cm, **y1=** 13.5 cm

$$\boldsymbol{yprom} = \frac{y1 + y2 + y3}{3} = \frac{0.135\ m + 0.135\ m + 0.135\ m}{3} = \mathbf{0.135\ m}$$

Cálculo del área mojada (A):

$$\boldsymbol{A} = b * yprom = 0.165\ m * 0.135\ m = \mathbf{0,022275\ m2}$$

Cálculo del perímetro mojado (P):

$$\boldsymbol{P} = b + 2yprom = 0.165\ m + 2 * (0.135\ m) = \mathbf{0,435\ m}$$

Cálculo del Radio Hidráulico (R):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.022275\ m2}{0.435\ m} = 0{,}0512\ m$$

Cálculo del Coeficiente de Rugosidad según Manning (n):

$$n1 = \frac{1}{Q1} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.01996\frac{m^3}{seg}} * 0.022\ m^2 * (0.0512\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,004866}$$

n1= 0,004866 **n2=** 0,004883 **n3=** 0,004857 **n4=** 0,004848 **n5=** 0,004883

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{n1 + n2 + n3 + n4 + n5}{5}$$

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{0.004866 + 0.004883 + 0.004857 + 0.004848 + 0.004883}{5} = \mathbf{0,004867}$$

Cálculo de la velocidad (v)

$$\boldsymbol{v} = \frac{1}{n\ prom} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.004867} * (0.0512\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 0.90\ m/seg$$

Cálculo del número de Froude (Fr):

$$\boldsymbol{D_H} = \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{T=b}} = \frac{\mathbf{0.02275\ m^2}}{\mathbf{0.165\ m}} = \mathbf{0,135\ m} \qquad \boldsymbol{Gravedad\ (g)} = \mathbf{9.81\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\boldsymbol{Fr} = \frac{\boldsymbol{v}}{\sqrt{\boldsymbol{g * D_H}}} = \frac{\mathbf{0.90\ m/seg}}{\sqrt{\mathbf{9.81\frac{m}{seg^2} * 0.135\ m}}} = \mathbf{0.78} \longrightarrow \textit{Flujo Subcrítico}$$

Tabla N° 39.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,001
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	13.2	cm	**S=**	0.001
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	13.2	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.51 seg	**Q3=**	0.01996	m3/seg	**y3=**	13.3	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	13.23	cm		
t5=	5.58 seg	**Q5=**	0.01971	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.004754	**v=**	0.910	m/s
A=	0.0218 m2	**n2=**	0.0047711	**Fr**	0.799	
P=	0.4297 m	**n3=**	0.0047453	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0508 m	**n4=**	0.0047625			
		n5=	0.0048055			
		n prom=	0.0047676			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 40.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,002
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.5 seg	**Q1=**	0.02000	m3/seg	**y1=**	13.00	cm	**S=**	0.002
t2=	5.48 seg	**Q2=**	0.02007	m3/seg	**y2=**	13.00	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.57 seg	**Q3=**	0.01975	m3/seg	**y3=**	12.90	cm		
t4=	5.51 seg	**Q4=**	0.01996	m3/seg	**yprom=**	12.97	cm		
t5=	5.49 seg	**Q5=**	0.02004	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.006529	**v=**	0.933	m/s
A=	0.021 m2	**n2=**	0.006506	**Fr**	0.827	
P=	0.424 m	**n3=**	0.006612	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.050 m	**n4=**	0.006541			
		n5=	0.006517			
		n prom=	0.006541			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 41.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,003
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.51 seg	**Q1=**	0.01996	m3/seg	**y1=**	12.7	cm	**S=**	0.003
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	12.6	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.48 seg	**Q3=**	0.02007	m3/seg	**y3=**	12.7	cm		
t4=	5.5 seg	**Q4=**	0.02000	m3/seg	**yprom=**	12.6666667	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.007778	**v=**	0.955	m/s
A=	0.0209 m2	**n2=**	0.007821	**Fr**	0.857	
P=	0.4183 m	**n3=**	0.007736	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.05 m	**n4=**	0.007764	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.007792			
		n prom=	0.007778			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 42.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,004
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.53 seg	**Q1=**	0.01989	m3/seg	**y1=**	12.50	cm	**S=**	0.004
t2=	5.52 seg	**Q2=**	0.01993	m3/seg	**y2=**	12.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.47 seg	**Q3=**	0.02011	m3/seg	**y3=**	12.50	cm		
t4=	5.52 seg	**Q4=**	0.01993	m3/seg	**yprom=**	12.50	cm		
t5=	5.51 seg	**Q5=**	0.01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.008864	**v=**	0.968	m/s
A=	0.0206 m2	**n2=**	0.008848	**Fr**	0.874	
P=	0.415 m	**n3=**	0.008768	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0497 m	**n4=**	0.008848	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.008832			
		n prom=	0.008832			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 43.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,005
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.48 seg	**Q1=**	0.02007	m3/seg	**y1=**	12.30	cm	**S=**	0.005
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	12.20	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.53 seg	**Q3=**	0.01989	m3/seg	**y3=**	12.20	cm		
t4=	5.49 seg	**Q4=**	0.02004	m3/seg	**yprom=**	12.23	cm		
t5=	5.51 seg	**Q5=**	0.01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009557	**v=**	0.989	m/s
A=	0.0202 m2	**n2=**	0.0096612	**Fr**	0.903	
P=	0.4097 m	**n3=**	0.0096437	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0493 m	**n4=**	0.009574			
		n5=	0.0096089			
		n prom=	0.0096089			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 44.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 12/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,006
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.5 seg	**Q1=**	0.02000	m3/seg	**y1=**	12.00	cm	**S=**	0.006
t2=	5.48 seg	**Q2=**	0.02007	m3/seg	**y2=**	12.00	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.52 seg	**Q3=**	0.01993	m3/seg	**y3=**	11.90	cm		
t4=	5.51 seg	**Q4=**	0.01996	m3/seg	**yprom=**	11.97	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010217	**v=**	1.011	m/s
A=	0.020 m2	**n2=**	0.010180	**Fr**	0.933	
P=	0.404 m	**n3=**	0.010254	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0488 m	**n4=**	0.010235			
		n5=	0.010291			
		n prom=	0.010235			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 45.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,007
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.47 seg	**Q1=**	0.02011	m3/seg	**y1=**	11.80	cm	**S=**	0.007
t2=	5.51 seg	**Q2=**	0.01996	m3/seg	**y2=**	11.70	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.52 seg	**Q3=**	0.01993	m3/seg	**y3=**	11.70	cm		
t4=	5.52 seg	**Q4=**	0.01993	m3/seg	**yprom=**	11.73	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010703	**v=**	1.031	m/s
A=	0.0194 m2	**n2=**	0.0107816	**Fr**	0.961	
P=	0.3997 m	**n3=**	0.0108012	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0484 m	**n4=**	0.0108012	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.0108208			
		n prom=	0.01078			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 46.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,008
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.48 seg	**Q1=**	0.02007	m3/seg	**y1=**	11.50	cm	**S=**	0.008
t2=	5.52 seg	**Q2=**	0.01993	m3/seg	**y2=**	11.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.51 seg	**Q3=**	0.01996	m3/seg	**y3=**	11.40	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	11.47	cm		
t5=	5.5 seg	**Q5=**	0.02000	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011132	**v=**	1.055	m/s
A=	0.0189 m2	**n2=**	0.011213	**Fr**	0.9949	
P=	0.394 m	**n3=**	0.011193	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.048 m	**n4=**	0.011254	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.011172			
		n prom=	0.011193			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 47.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,009
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	11.2	cm	**S=**	0.009
t2=	5.53 seg	**Q2=**	0.01989	m3/seg	**y2=**	11.2	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.48 seg	**Q3=**	0.02007	m3/seg	**y3=**	11.3	cm		
t4=	5.49 seg	**Q4=**	0.02004	m3/seg	**yprom=**	11.23	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011584	**v=**	1.077	m/s
A=	0.019 m2	**n2=**	0.011605	**Fr**	1.03	
P=	0.390 m	**n3=**	0.011500	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRITICO	
R=	0.048 m	**n4=**	0.011521			
		n5=	0.011605			
		n prom=	0.011563			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 48.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,01
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.49 seg	**Q1=**	0.02004	m3/seg	**y1=**	10.90	cm	**S=**	0.010
t2=	5.49 seg	**Q2=**	0.02004	m3/seg	**y2=**	10.90	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.51 seg	**Q3=**	0.01996	m3/seg	**y3=**	10.90	cm		
t4=	5.52 seg	**Q4=**	0.01993	m3/seg	**yprom=**	10.90	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011683	**v=**	1.110	m/s
A=	0.018 m2	**n2=**	0.011683	**Fr**	1.07	
P=	0.383 m	**n3=**	0.011726	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.047 m	**n4=**	0.011747			
		n5=	0.011790			
		n prom=	0.011726			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 49.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,02
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.47 seg	**Q1=**	0.02011	m3/seg	**y1=**	7.3	cm	**S=**	0.020
t2=	5.51 seg	**Q2=**	0.01996	m3/seg	**y2=**	7	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.5 seg	**Q3=**	0.02000	m3/seg	**y3=**	7.4	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	7.23	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009577	**v=**	1.673	m/s
A=	0.0119 m2	**n2=**	0.0096468	**Fr**	1.99	
P=	0.3097 m	**n3=**	0.0096293	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.0385 m	**n4=**	0.0096993			
		n5=	0.0096818			
		n prom=	0.0096468			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 50.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (HE-15%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-15%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 13/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,03
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.5 seg	**Q1=**	0.02000	m3/seg	**y1=**	4.30	cm	**S=**	0.030
t2=	5.53 seg	**Q2=**	0.01989	m3/seg	**y2=**	5.60	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.5 seg	**Q3=**	0.02000	m3/seg	**y3=**	5.50	cm		
t4=	5.49 seg	**Q4=**	0.02004	m3/seg	**yprom=**	5.13	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.007338	**v=**	2.357	m/s
A=	0.008 m2	**n2=**	0.007379	**Fr**	3.321	
P=	0.268 m	**n3=**	0.007338	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.032 m	**n4=**	0.007325			
		n5=	0.007379			
		n prom=	0.007352			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

CÁLCULO TIPO

Ejemplo Dosificación HE-15% MCV con S=0.001

Datos:

Volumen (V)=110 lts = 0.11 m3, **Pendiente (S)=** 0.001, **Base (b)=** 16.5 cm

Aforamiento Volumétrico:

Toma de tiempos aforados (t):

t1= 5,52seg, **t2=** 5.54seg, **t3=**5.51seg, **t4=**5.53seg, **t5=**5.58seg

Cálculo del Caudal (Q):

$$\mathbf{Q1} = \frac{V}{t1} = \frac{0.11\ m3}{5.52\ seg} = \mathbf{0.01993\ m3/seg}$$

Q1= 0.01993 m3/seg, **Q2=** 0,01986 m3/seg, **Q3=** 0,01996 m3/seg **Q4=** 0,01989 m3/seg

Q5= 0,01971 m3/seg.

Medición de Profundidad de flujo (y):

y1= 13.2 cm, **y1=** 13.2 cm, **y1=** 13.3 cm

$$\boldsymbol{yprom} = \frac{y1 + y2 + y3}{3} = \frac{0.132\ m + 0.132\ m + 0.133\ m}{3} = \mathbf{0.1323\ m}$$

Cálculo del área mojada (A):

$$\boldsymbol{A} = b * yprom = 0.165\ m * 0.1323\ m = \mathbf{0,021835\ m2}$$

Cálculo del perímetro mojado (P):

$$\boldsymbol{P} = b + 2yprom = 0.165\ m + 2 * (0.1323\ m) = \mathbf{0,43\ m}$$

Cálculo del Radio Hidráulico (R):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.021835\ m2}{0.43\ m} = 0{,}0508\ m$$

Cálculo del Coeficiente de Rugosidad según Manning (n):

$$n1 = \frac{1}{Q1} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.01993\frac{m^3}{seg}} * 0.0218\ m^2 * (0.0508\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,004754}$$

n1= 0,004754 **n2=** 0,004771 **n3=** 0,004745 **n4=** 0,004762 **n5=** 0,004806

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{n1 + n2 + n3 + n4 + n5}{5}$$

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{0.004754 + 0.004771 + 0.004745 + 0.004762 + 0.004806}{5} = \mathbf{0,004768}$$

Cálculo de la velocidad (v)

$$\boldsymbol{v} = \frac{1}{n\ prom} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.004768} * (0.0508\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 0.91\ m/seg$$

Cálculo del número de Froude (Fr):

$$\boldsymbol{D_H} = \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{T=b}} = \frac{\mathbf{0.021835\ m^2}}{\mathbf{0.165\ m}} = \mathbf{0,1323\ m} \qquad \boldsymbol{Gravedad\ (g)} = \mathbf{9.81\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\boldsymbol{Fr} = \frac{\boldsymbol{v}}{\sqrt{\boldsymbol{g * D_H}}} = \frac{\mathbf{0.91\ m/seg}}{\sqrt{\mathbf{9.81\frac{m}{seg2} * 0.1323\ m}}} = \mathbf{0.80} \longrightarrow \textit{Flujo Subcrítico}$$

Tabla N° 51.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,001
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.56 seg	**Q1=**	0.01978	m3/seg	**y1=**	13	cm	**S=**	0.001
t2=	5.57 seg	**Q2=**	0.01975	m3/seg	**y2=**	12.9	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.54 seg	**Q3=**	0.01986	m3/seg	**y3=**	12.9	cm		
t4=	5.51 seg	**Q4=**	0.01996	m3/seg	**y prom=**	12.93	cm		
t5=	5.56 seg	**Q5=**	0.01978	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.004652	**v=**	0.929	m/s
A=	0.0213 m2	**n2=**	0.0046605	**Fr**	0.82	
P=	0.4237 m	**n3=**	0.0046354	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0504 m	**n4=**	0.0046103			
		n5=	0.0046522			
		n prom=	0.0046421			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 52.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,002
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	12.70	cm	**S=**	0.002
t2=	5.56 seg	**Q2=**	0.01978	m3/seg	**y2=**	12.60	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.55 seg	**Q3=**	0.01982	m3/seg	**y3=**	12.70	cm		
t4=	5.59 seg	**Q4=**	0.01968	m3/seg	**y prom=**	12.67	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.006362	**v=**	0.948	m/s
A=	0.021 m2	**n2=**	0.006409	**Fr**	0.851	
P=	0.418 m	**n3=**	0.006397	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.050 m	**n4=**	0.006443			
		n5=	0.006374			
		n prom=	0.006397			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 53.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,003
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.51 seg	**Q1=**	0.01996	m3/seg	**y1=**	12.5	cm	**S=**	0.003
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	12.4	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.48 seg	**Q3=**	0.02007	m3/seg	**y3=**	12.4	cm		
t4=	5.46 seg	**Q4=**	0.02015	m3/seg	**yprom=**	12.43	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.007598	**v=**	0.975	m/s
A=	0.0205 m2	**n2=**	0.007639	**Fr**	0.88	
P=	0.4137 m	**n3=**	0.007556	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0496 m	**n4=**	0.007529			
		n5=	0.007611			
		n prom=	0.007586			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 54.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,004
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.57 seg	**Q1=**	0.01975	m3/seg	**y1=**	12.20	cm	**S=**	0.004
t2=	5.52 seg	**Q2=**	0.01993	m3/seg	**y2=**	12.20	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.47 seg	**Q3=**	0.02011	m3/seg	**y3=**	12.10	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	12.17	cm		
t5=	5.6 seg	**Q5=**	0.01964	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.008628	**v=**	0.989	m/s
A=	0.0201 m2	**n2=**	0.008551	**Fr**	0.905	
P=	0.408 m	**n3=**	0.008473	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0492 m	**n4=**	0.008581			
		n5=	0.008674			
		n prom=	0.008581			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 55.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,005
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	12.00	cm	**S=**	0.005
t2=	5.57 seg	**Q2=**	0.01975	m3/seg	**y2=**	11.90	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.58 seg	**Q3=**	0.01971	m3/seg	**y3=**	11.90	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	11.93	cm		
t5=	5.51 seg	**Q5=**	0.01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009327	**v=**	1.008	m/s
A=	0.0197 m2	**n2=**	0.0094119	**Fr**	0.932	
P=	0.4037 m	**n3=**	0.0094287	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0488 m	**n4=**	0.0093443			
		n5=	0.0093105			
		n prom=	0.0093645			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 56.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 14/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,006
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.54 seg	**Q1=**	0.01986	m3/seg	**y1=**	11.80	cm	**S=**	0.006
t2=	5.5 seg	**Q2=**	0.02000	m3/seg	**y2=**	11.70	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.57 seg	**Q3=**	0.01975	m3/seg	**y3=**	11.80	cm		
t4=	5.51 seg	**Q4=**	0.01996	m3/seg	**yprom=**	11.77	cm		
t5=	5.56 seg	**Q5=**	0.01978	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010073	**v=**	1.023	m/s
A=	0.019 m2	**n2=**	0.010000	**Fr**	0.953	
P=	0.400 m	**n3=**	0.010127	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0485 m	**n4=**	0.010018			
		n5=	0.010109			
		n prom=	0.010065			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 57.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,007
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.57 seg	**Q1=**	0.01975	m3/seg	**y1=**	11.50	cm	**S=**	0.007
t2=	5.51 seg	**Q2=**	0.01996	m3/seg	**y2=**	11.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.56 seg	**Q3=**	0.01978	m3/seg	**y3=**	11.60	cm		
t4=	5.52 seg	**Q4=**	0.01993	m3/seg	**yprom=**	11.53	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010662	**v=**	1.044	m/s
A=	0.019 m2	**n2=**	0.0105476	**Fr**	0.981	
P=	0.3957 m	**n3=**	0.0106433	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUBCRÍTICO	
R=	0.0481 m	**n4=**	0.0105667			
		n5=	0.0105859			
		n prom=	0.01060			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 58.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,008
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.53 seg	**Q1=**	0.01989	m3/seg	**y1=**	11.20	cm	**S=**	0.008
t2=	5.55 seg	**Q2=**	0.01982	m3/seg	**y2=**	11.20	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.58 seg	**Q3=**	0.01971	m3/seg	**y3=**	11.30	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	11.23	cm		
t5=	5.51 seg	**Q5=**	0.01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010941	**v=**	1.071	m/s
A=	0.019 m2	**n2=**	0.010981	**Fr**	1.020	
P=	0.390 m	**n3=**	0.011040	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRITICO	
R=	0.048 m	**n4=**	0.010961			
		n5=	0.010902			
		n prom=	0.010965			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 59.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,009
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	11	cm	**S=**	0.009
t2=	5.53 seg	**Q2=**	0.01989	m3/seg	**y2=**	10.9	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.51 seg	**Q3=**	0.01996	m3/seg	**y3=**	10.9	cm		
t4=	5.57 seg	**Q4=**	0.01975	m3/seg	**yprom=**	10.9333333	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011188	**v=**	1.102	m/s
A=	0.018 m2	**n2=**	0.0112084	**Fr**	1.06	
P=	0.3837 m	**n3=**	0.0111679	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.047 m	**n4=**	0.0112895			
		n5=	0.0112287			
		n prom=	0.0112165			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 60.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,01
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.53 seg	**Q1=**	0.01989	m3/seg	**y1=**	10.60	cm	**S=**	0.010
t2=	5.56 seg	**Q2=**	0.01978	m3/seg	**y2=**	10.70	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.58 seg	**Q3=**	0.01971	m3/seg	**y3=**	10.70	cm		
t4=	5.55 seg	**Q4=**	0.01982	m3/seg	**yprom=**	10.67	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011445	**v=**	1.127	m/s
A=	0.018 m2	**n2=**	0.011507	**Fr**	1.101	
P=	0.378 m	**n3=**	0.011548	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.047 m	**n4=**	0.011486			
		n5=	0.011424			
		n prom=	0.011818			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 61.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,02
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.56 seg	**Q1=**	0.01978	m3/seg	**y1=**	6.4	cm	**S=**	0.020
t2=	5.51 seg	**Q2=**	0.01996	m3/seg	**y2=**	7.3	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.5 seg	**Q3=**	0.02000	m3/seg	**y3=**	7.9	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	7.20	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009674	**v=**	1.675	m/s
A=	0.0119 m2	**n2=**	0.0095865	**Fr**	1.993	
P=	0.309 m	**n3=**	0.0095692	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.0384 m	**n4=**	0.0096387			
		n5=	0.0096213			
		n prom=	0.0096179			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 62.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (IP-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: IP-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 17/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,03
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	4.50	cm	**S=**	0.030
t2=	5.6 seg	**Q2=**	0.01964	m3/seg	**y2=**	4.80	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.54 seg	**Q3=**	0.01986	m3/seg	**y3=**	5.70	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	5.00	cm		
t5=	5.51 seg	**Q5=**	0.01996	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.007096	**v=**	2.407	m/s
A=	0.008 m2	**n2=**	0.007199	**Fr**	3.44	
P=	0.265 m	**n3=**	0.007122	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.031 m	**n4=**	0.007109			
		n5=	0.007083			
		n prom=	0.007122			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

CÁLCULO TIPO

Ejemplo Dosificación IP-25% MCV con S=0.001

Datos:

Volumen (V)=110 lts = 0.11 m3, **Pendiente (S)=** 0.001, **Base (b)=** 16.5 cm

Aforamiento Volumétrico:

Toma de tiempos aforados (t):

t1= 5,56seg, **t2=** 5.57seg, **t3=**5.54seg, **t4=**5.51seg, **t5=**5.56seg

Cálculo del Caudal (Q):

$$\mathbf{Q1} = \frac{V}{t1} = \frac{0.11\,m3}{5.56\,seg} = \mathbf{0.01978\,m3/seg}$$

Q1= 0.01978 m3/seg, **Q2=** 0,01975 m3/seg, **Q3=** 0,01986 m3/seg **Q4=** 0,01996 m3/seg

Q5= 0,01978 m3/seg.

Medición de Profundidad de flujo (y):

y1= 13 cm, **y1=** 12.9 cm, **y1=** 12.9 cm

$$\boldsymbol{yprom} = \frac{y1 + y2 + y3}{3} = \frac{0.13\,m + 0.129\,m + 0.129\,m}{3} = \mathbf{0.1293\,m}$$

Cálculo del área mojada (A):

$$\boldsymbol{A} = b * yprom = 0.165\,m * 0.1293\,m = \mathbf{0,02134\,m2}$$

Cálculo del perímetro mojado (P):

$$\boldsymbol{P} = b + 2yprom = 0.165\,m + 2 * (0.1293\,m) = \mathbf{0,424\,m}$$

Cálculo del Radio Hidráulico (R):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.02134\,m2}{0.424\,m} = 0{,}0504\,m$$

Cálculo del Coeficiente de Rugosidad según Manning (n):

$$n1 = \frac{1}{Q1} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.01978\frac{m^3}{seg}} * 0.02134\,m^2 * (0.0504\,m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,004652}$$

n1= 0,004652 **n2=** 0,004661 **n3=** 0,004635 **n4=** 0,004610 **n5=** 0,004652

$$\boldsymbol{n\,prom} = \frac{n1 + n2 + n3 + n4 + n5}{5}$$

$$\boldsymbol{n\,prom} = \frac{0.004652 + 0.004661 + 0.004635 + 0.004610 + 0.004652}{5} = \mathbf{0,004642}$$

Cálculo de la velocidad (v):

$$\boldsymbol{v} = \frac{1}{n\,prom} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.004642} * (0.0504\,m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 0.93\,m/seg$$

Cálculo del número de Froude (Fr):

$$\boldsymbol{D_H} = \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{T=b}} = \frac{\mathbf{0.02134\,m^2}}{\mathbf{0.165\,m}} = \mathbf{0,129\,m} \qquad \boldsymbol{Gravedad\ (g)} = \mathbf{9.81\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\boldsymbol{Fr} = \frac{\boldsymbol{v}}{\sqrt{\boldsymbol{g * D_H}}} = \frac{\mathbf{0.93\,m/seg}}{\sqrt{\mathbf{9.81\frac{m}{seg^2} * 0.129\,m}}} = \mathbf{0.82} \longrightarrow \textit{Flujo Subcrítico}$$

Tabla N° 63.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.001- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,001
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.49 seg	**Q1=**	0.02004	m3/seg	**y1=**	12.7	cm	**S=**	0.001
t2=	5.52 seg	**Q2=**	0.01993	m3/seg	**y2=**	12.7	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.54 seg	**Q3=**	0.01986	m3/seg	**y3=**	12.6	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**y prom=**	12.67	cm		
t5=	5.55 seg	**Q5=**	0.01982	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.004474	**v=**	0.952	m/s
A=	0.0209 m2	**n2=**	0.0044989	**Fr**	0.85	
P=	0.4183 m	**n3=**	0.0045152	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.05 m	**n4=**	0.0045071	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.0045234			
		n prom=	0.0045038			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 64.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.002- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,002
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.55 seg	**Q1=**	0.01982	m3/seg	**y1=**	12.50	cm	**S=**	0.002
t2=	5.56 seg	**Q2=**	0.01978	m3/seg	**y2=**	12.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.55 seg	**Q3=**	0.01982	m3/seg	**y3=**	12.40	cm		
t4=	5.57 seg	**Q4=**	0.01975	m3/seg	**y prom=**	12.47	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.006270	**v=**	0.963	m/s
A=	0.021 m2	**n2=**	0.006281	**Fr**	0.87	
P=	0.414 m	**n3=**	0.006270	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.050 m	**n4=**	0.006292	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.006258			
		n prom=	0.006397			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 65.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.003- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,003
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.51 seg	**Q1=**	0.01996	m3/seg	**y1=**	12.2	cm	**S=**	0.003
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	12.2	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.56 seg	**Q3=**	0.01978	m3/seg	**y3=**	12.1	cm		
t4=	5.5 seg	**Q4=**	0.02000	m3/seg	**yprom=**	12.17	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.007392	**v=**	0.992	m/s
A=	0.0201 m2	**n2=**	0.007432	**Fr**	0.91	
P=	0.4083 m	**n3=**	0.007459	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0492 m	**n4=**	0.007378	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.007405			
		n prom=	0.007413			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 66.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.004- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,004
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.55 seg	**Q1=**	0.01982	m3/seg	**y1=**	11.90	cm	**S=**	0.004
t2=	5.57 seg	**Q2=**	0.01975	m3/seg	**y2=**	11.80	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.51 seg	**Q3=**	0.01996	m3/seg	**y3=**	11.80	cm		
t4=	5.54 seg	**Q4=**	0.01986	m3/seg	**yprom=**	11.83	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.008299	**v=**	1.017	m/s
A=	0.0195 m2	**n2=**	0.008329	**Fr**	0.944	
P=	0.402 m	**n3=**	0.008239	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0486 m	**n4=**	0.008284	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.008254			
		n prom=	0.008581			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 67.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.005- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,005
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.52 seg	**Q1=**	0.01993	m3/seg	**y1=**	11.60	cm	**S=**	0.005
t2=	5.59 seg	**Q2=**	0.01968	m3/seg	**y2=**	11.70	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.56 seg	**Q3=**	0.01978	m3/seg	**y3=**	11.60	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	11.63	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.00903	**v=**	1.034	m/s
A=	0.0192 m2	**n2=**	0.009144	**Fr**	0.968	
P=	0.3977 m	**n3=**	0.009095	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0483 m	**n4=**	0.0090459	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.0090295			
		n prom=	0.0090688			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 68.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.006- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 18/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,006
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.55 seg	**Q1=**	0.01982	m3/seg	**y1=**	11.40	cm	**S=**	0.006
t2=	5.57 seg	**Q2=**	0.01975	m3/seg	**y2=**	11.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.57 seg	**Q3=**	0.01975	m3/seg	**y3=**	11.40	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	11.43	cm		
t5=	5.58 seg	**Q5=**	0.01971	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009727	**v=**	1.049	m/s
A=	0.019 m2	**n2=**	0.009762	**Fr**	0.990	
P=	0.394 m	**n3=**	0.009762	**Régimen de**	FLUJO	
R=	0.0479 m	**n4=**	0.009692	**Flujo=**	SUBCRÍTICO	
		n5=	0.009780			
		n prom=	0.009745			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 69.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.007- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,007
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.58 seg	**Q1=**	0.01971	m3/seg	**y1=**	11.10	cm	**S=**	0.007
t2=	5.55 seg	**Q2=**	0.01982	m3/seg	**y2=**	11.10	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.53 seg	**Q3=**	0.01989	m3/seg	**y3=**	11.20	cm		
t4=	5.52 seg	**Q4=**	0.01993	m3/seg	**yprom=**	11.13	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010209	**v=**	1.080	m/s
A=	0.0184 m2	**n2=**	0.0101545	**Fr**	1.034	
P=	0.3877 m	**n3=**	0.0101179	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRITICO	
R=	0.0474 m	**n4=**	0.0100996			
		n5=	0.0101362			
		n prom=	0.01014			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 70.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.008- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,008
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.56 seg	**Q1=**	0.01978	m3/seg	**y1=**	10.90	cm	**S=**	0.008
t2=	5.54 seg	**Q2=**	0.01986	m3/seg	**y2=**	10.80	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.58 seg	**Q3=**	0.01971	m3/seg	**y3=**	10.80	cm		
t4=	5.6 seg	**Q4=**	0.01964	m3/seg	**yprom=**	10.83	cm		
t5=	5.55 seg	**Q5=**	0.01982	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010500	**v=**	1.106	m/s
A=	0.018 m2	**n2=**	0.010462	**Fr**	1.072	
P=	0.382 m	**n3=**	0.010538	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRITICO	
R=	0.047 m	**n4=**	0.010575			
		n5=	0.010481			
		n prom=	0.010965			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 71.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.009- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,009
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.53 seg	**Q1=**	0.01989	m3/seg	**y1=**	10.6	cm	**S=**	0.009
t2=	5.56 seg	**Q2=**	0.01978	m3/seg	**y2=**	10.7	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.54 seg	**Q3=**	0.01986	m3/seg	**y3=**	10.65	cm		
t4=	5.58 seg	**Q4=**	0.01971	m3/seg	**yprom=**	10.65	cm		
t5=	5.54 seg	**Q5=**	0.01986	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.010835	**v=**	1.128	m/s
A=	0.0176 m2	**n2=**	0.0108943	**Fr**	1.10	
P=	0.378 m	**n3=**	0.0108551	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.0465 m	**n4=**	0.0109335			
		n5=	0.0108551			
		n prom=	0.0108747			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 72.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.01- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,01
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.55 seg	**Q1=**	0.01982	m3/seg	**y1=**	10.40	cm	**S=**	0.010
t2=	5.57 seg	**Q2=**	0.01975	m3/seg	**y2=**	10.50	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.54 seg	**Q3=**	0.01986	m3/seg	**y3=**	10.60	cm		
t4=	5.55 seg	**Q4=**	0.01982	m3/seg	**yprom=**	10.50	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.011255	**v=**	1.145	m/s
A=	0.017 m2	**n2=**	0.011295	**Fr**	1.13	
P=	0.375 m	**n3=**	0.011234	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.0462 m	**n4=**	0.011255			
		n5=	0.011194			
		n prom=	0.011247			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 73.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.02- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,02
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.54 seg	**Q1=**	0.01986	m3/seg	**y1=**	6.4	cm	**S=**	0.020
t2=	5.52 seg	**Q2=**	0.01993	m3/seg	**y2=**	7	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.6 seg	**Q3=**	0.01964	m3/seg	**y3=**	7.5	cm		
t4=	5.51 seg	**Q4=**	0.01996	m3/seg	**yprom=**	6.97	cm		
t5=	5.53 seg	**Q5=**	0.01989	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.009217	**v=**	1.727	m/s
A=	0.0115 m2	**n2=**	0.0091835	**Fr**	2.09	
P=	0.3043 m	**n3=**	0.0093166	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.0378 m	**n4=**	0.0091669			
		n5=	0.0092002			
		n prom=	0.0092168			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Tabla N° 74.- Cálculo del Coeficiente de Rugosidad S=0.03- (HE-25%MCV)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dosificación: HE-25%MCV
Ubicación: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH
Director del Proyecto: Ing. Nelson Patiño

Fecha de Ensayo: 19/09/2018
Realizado por: Victor Yaulema y Henry Velasteguí
Pendiente de línea de Energía: 0,03
Volumen de Aforamiento: 110 lts

TABULACION DE RESULTADOS

t1=	5.54 seg	**Q1=**	0.01986	m3/seg	**y1=**	4.00	cm	**S=**	0.030
t2=	5.59 seg	**Q2=**	0.01968	m3/seg	**y2=**	4.80	cm	**b=**	16.5 cm
t3=	5.55 seg	**Q3=**	0.01982	m3/seg	**y3=**	5.60	cm		
t4=	5.53 seg	**Q4=**	0.01989	m3/seg	**yprom=**	4.80	cm		
t5=	5.52 seg	**Q5=**	0.01993	m3/seg					

RESULTADOS

Qprom=	20 lt/seg	**n1=**	0.006721	**v=**	2.504	m/s
A=	0.008 m2	**n2=**	0.006782	**Fr**	3.65	
P=	0.261 m	**n3=**	0.006734	**Régimen de Flujo=**	FLUJO SUPERCRÍTICO	
R=	0.030 m	**n4=**	0.006709			
		n5=	0.006697			
		n prom=	0.006729			

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

CÁLCULO TIPO

Ejemplo Dosificación HE-25% MCV con S=0.001

Datos:

Volumen (V)=110 lts = 0.11 m3, **Pendiente (S)=** 0.001, **Base (b)=** 16.5 cm

Aforamiento Volumétrico:

Toma de tiempos aforados (t):

t1= 5,49seg, **t2=** 5.52seg, **t3=**5.54seg, **t4=**5.53seg, **t5=**5.55seg

Cálculo del Caudal (Q):

$$\mathbf{Q1} = \frac{V}{t1} = \frac{0.11\ m3}{5.49\ seg} = \mathbf{0.02004\ m3/seg}$$

Q1= 0.02004 m3/seg, **Q2=** 0,01993 m3/seg, **Q3=** 0,01986 m3/seg **Q4=** 0,01989 m3/seg

Q5= 0,01982 m3/seg.

Medición de Profundidad de flujo (y):

y1= 12.7 cm, **y1=** 12.7 cm, **y1=** 12.6 cm

$$\boldsymbol{yprom} = \frac{y1 + y2 + y3}{3} = \frac{0.127\ m + 0.127\ m + 0.126\ m}{3} = \mathbf{0.1267\ m}$$

Cálculo del área mojada (A):

$$\boldsymbol{A} = b * yprom = 0.165\ m * 0.1267\ m = \mathbf{0,0209\ m2}$$

Cálculo del perímetro mojado (P):

$$\boldsymbol{P} = b + 2yprom = 0.165\ m + 2 * (0.1267\ m) = \mathbf{0,418\ m}$$

Cálculo del Radio Hidráulico (R):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.0209\ m2}{0.418\ m} = 0,0500\ m$$

Cálculo del Coeficiente de Rugosidad según Manning (n):

$$n1 = \frac{1}{Q1} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.02004\frac{m^3}{seg}} * 0.0209\ m^2 * (0.0500\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,004474}$$

n1= 0,004474 **n2=** 0,004499 **n3=** 0,004515 **n4=** 0,004507 **n5=** 0,004523

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{n1 + n2 + n3 + n4 + n5}{5}$$

$$\boldsymbol{n\ prom} = \frac{0.004474 + 0.004499 + 0.004515 + 0.004507 + 0.004523}{5} = \mathbf{0,004504}$$

Cálculo de la velocidad (v):

$$\boldsymbol{v} = \frac{1}{n\ prom} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.004504} * (0.0500\ m)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} = 0.95\ m/seg$$

Cálculo del número de Froude (Fr):

$$\boldsymbol{D_H} = \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{T=b}} = \frac{0.0209\ m^2}{0.165\ m} = \mathbf{0,127\ m} \qquad \boldsymbol{Gravedad\ (g)} = \mathbf{9.81\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\boldsymbol{Fr} = \frac{\boldsymbol{v}}{\sqrt{\boldsymbol{g * D_H}}} = \frac{0.95\ m/seg}{\sqrt{9.81\frac{m}{seg2} * 0.127\ m}} = \mathbf{0.85} \longrightarrow \textit{Flujo Subcrítico}$$

Figura N° 31.- Colocación del prototipo en el canal hidráulico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 32.- Calibración de la pendiente en el canal hidráulico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 33.- Aforamiento volumétrico

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 34.- Medición de la profundidad de flujo

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 35.- Medición de la profundidad de flujo.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 36.- Visita técnica del tutor del proyecto de investigación.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.

Figura N° 37.- Visita técnica del tutor del proyecto de investigación.

Elaborado por: Yaulema Ll. Víctor H. & Velasteguí Ch. Henry G.