



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE GRADO

**TEMA: INVESTIGACIÓN DE UNA OBRA DE TOMA DE AGUA
SUMERGIDA CON EFECTO COANDA**

AUTOR: BRENDA MELANY POZO FONSECA

DIRECTOR: ING. WASHINGTON SANDOVAL ERAZO, PhD.

CODIRECTOR: ING. SANTIAGO RIVADENEIRA ANDRADE

SANGOLQUÍ, 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. POZO FONSECA, BRENDA MELANY, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, Agosto del 2015



Ing. Whashington Sandoval, PhD.

Director



Ing. Santiago Rivadeneira

Codirector

REVISADO POR



Ing. Pablo Caiza Sánchez, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, POZO FONSECA, BRENDA MELANY

Declaro que:

El proyecto de grado denominado: “**INVESTIGACIÓN DE UNA OBRA DE TOMA DE AGUA SUMERGIDA CON EFECTO COANDA**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias bibliográficas insertadas en el texto, cuyas fuentes se incorporan en las referencias en el final del documento escrito. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Agosto del 2015



POZO FONSECA, BRENDA MELANY

AUTORIZACIÓN

Yo, POZO FONSECA, BRENDA MELANY

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución el proyecto titulado: **“INVESTIGACIÓN DE UNA OBRA DE TOMA DE AGUA SUMERGIDA CON EFECTO COANDA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Agosto del 2015



POZO FONSECA, BRENDA MELANY

DEDICATORIA

A mis padres Mirian Fonseca y Galo Pozo, por ser el eje fundamental de cada uno de los logros alcanzados en mi vida. Por su sacrificio diario y soporte incondicional en los retos presentados. A quienes amo y respeto por sobretodo.

A mi hermano Andrés, porque en su corta edad ha sabido enseñarme y acompañarme todo momento. A quien admiro por su madurez y responsabilidad.

A David, una persona que me ha apoyado siempre, a quien amo y admiro.

A mi familia y amigos en general, que han estado siempre con una voz de aliento para conmigo y así culminar mi carrera.

Brenda Melany Pozo Fonseca

AGRADECIMIENTO

A mi familia, quienes han estado en todo momento a mi lado, mi total agradecimiento por su ayuda emocional y económica brindada a lo largo de mi vida.

Un especial agradecimiento a mi Director de Tesis Dr. Washington Sandoval por su iniciativa y ayuda en la ejecución de mi proyecto de tesis. Y a mi codirector Ing. Santiago Rivadeneira, por ayudarme con las instalaciones donde se realizó el proyecto. A los dos por sus conocimientos impartidos, por su tiempo y entrega a todo momento.

Agradezco también a todas las personas que influenciaron en la obtención de este título de manera directa e indirecta.

Brenda Melany Pozo Fonseca

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
Capítulo 1	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVO GENERAL	2
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	2
1.4 HIPÓTESIS	2
1.5 JUSTIFICACIÓN	2
1.6 METAS.....	3
Capítulo 2	4
2.1 QUÉ ES EL EFECTO COANDA	4
2.2 DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS DE UNA OBRA DE TOMA.....	6
2.2.1 Canal de acercamiento.....	6
2.2.2 Azud.....	7
2.2.3 La rápida	7
2.2.4 Túnel de desvió.....	7
2.2.5 Colchón de aguas	7
2.2.6 Canal de descarga	7
2.2.7 Sistema de conducción	8

2.2.8 Desarenador	8
2.3 ANÁLISIS DE CAPTACIONES CONVENCIONALES.....	8
2.3.1 Derivación directa.....	8
2.3.2 Derivación con azud	14
2.3.3 Toma tipo tirolesa	16
2.3.4 Captación con pantalla tipo COANDA	22
Capítulo 3.....	33
3.1 TIPO DE SEMEJANZA.....	33
3.1.1 Semejanza Geométrica	34
3.1.2 Semejanza Cinemática.....	36
3.1.3 Semejanza Dinámica	37
Capítulo 4.....	41
4.1 ELEMENTOS DE LA OBRA DE TOMA A INVESTIGARSE.....	41
4.1.1 Transición + canal de acercamiento	41
4.1.2 Vertedero	42
4.1.3 Orificio.....	43
4.1.4 Canal de recolección.....	44
4.1.5 Canal de descarga	44
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	45
4.3 DISEÑO CONSTRUCTIVO	47
4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES	47
4.5 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO	51
4.6 DIMENSIONES FINALES	56
4.7 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	56
Capítulo 5.....	58
5.1 TOMA DE DATOS EN EL PROTOTIPO	58

5.1.1 Procedimientos	58
5.1.2 Obtención de datos	58
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
5.2.1 Tubo liso	64
5.2.2 Tubo corrugado.....	71
5.2.3 Sedimentación.....	77
5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OBRA DE TOMA CON EFECTO COANDA.....	87
5.3.1 Ventajas de la obra de toma con efecto COANDA	87
5.3.2 Desventajas de la obra de toma con efecto COANDA.....	88
Capítulo 6.....	89
6.1 CONCLUSIONES	89
6.2 RECOMENDACIONES	90
Bibliografía	91
Anexos	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Valores de μ para algunos tipos de coronamiento	12
Tabla 5.1	Primer toma de datos, tubo PVC liso, 21 muestras.....	60
Tabla 5.2	Segunda toma de datos, tubo PVC liso, 20 muestras.....	61
Tabla 5.3	Tercera toma de datos, tubo PVC liso, 7 muestras	61
Tabla 5.4	Toma de datos tubo PVC corrugado	63
Tabla 5.5	Ensayo de hidrometría en el QC, tubo liso, caudal captado	79
Tabla 5.6	Ensayo de hidrometría en el QP, tubo liso, caudal de paso	80
Tabla 5.9	Ensayo de hidrometría en el QP, tubo corrugado, caudal de paso	82
Tabla 5.10	Ensayo de hidrometría en el QC, tubo corrugado, caudal captado	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Efecto COANDA.....	5
Figura 2.2	Efecto COANDA en automóviles	6
Figura 2.3	Obra de toma con derivación directa.....	11
Figura 2.4	Obra de captación sumergida.....	13
Figura 2.5	Coefficiente de descarga μ_D según Gentilini.....	13
Figura 2.6	Obra de toma.....	14
Figura 2.7	Partes de la obra de toma tirolesa, vista en planta	18
Figura 2.8	Desarenador, vista en planta	21
Figura 2.9	Desrripador aguas arriba del umbral	21
Figura 2.11	Captación con pantalla tipo COANDA	23
Figura 2.12	Captación y conducción de agua mediante las mallas autolimpiante...	26
Figura 2.13	Modelo de obra de captación COANDA.....	26
Figura 2.14	Elementos de una obra de captación que emplea efecto COANDA	27
Figura 2.15	Placa de aceleración.....	27
Figura 2.16	Ingreso del agua en la obra de captación	28
Figura 2.17	Vista en proyección de las rejillas	28
Figura 2.18	Detalle del ingreso del agua a la obra de captación.....	29

Figura 2.19	Acumulación de escombros sobre reja por mal colocación.....	30
Figura 2.20	Ingreso de residuos menores a 2 mm.....	30
Figura 2.21	Proceso de autolimpieza en reja con correcto ángulo de inclinación ...	31
Figura 2.22	Debe existir un ligero desnivel entre los elementos de la reja.....	31
Figura 2.23	Captación de agua en ambas situaciones	32
Figura 3.1	Semejanza Geométrica	35
Figura 3.2	Semejanza Cinemática.....	37
Figura 3.3	Semejanza Dinámica	40
Figura 4.1	Diseño de la obra de toma	47
Figura 4.2	Dimensiones finales de la obra de toma	56
Figura 5.1	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QP	64
Figura 5.2	Gráfica del Caudal Q vs QC	64
Figura 5.3	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC/Q	65
Figura 5.4	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC	65
Figura 5.5	Gráfica del Caudal \hat{H} vs Q_{total}	66
Figura 5.6	Gráfica del Caudal \hat{H} vs q	66
Figura 5.7	Gráfica de \hat{H}/r vs 'm'	67
Figura 5.8	Gráfica de \hat{H}/r vs 'm', comparación con tesis de Arreaga.....	67
Figura 5.9	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 0^\circ$	68
Figura 5.10	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 45^\circ$	68
Figura 5.11	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 90^\circ$	69
Figura 5.12	Gráfica de \hat{H}/r vs h_1, h_2 y h_3	69
Figura 5.13	Gráfica de Estrías vs Q_t	70
Figura 5.14	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QP	71
Figura 5.15	Gráfica del Caudal Q vs QC	71
Figura 5.16	Gráfica \hat{H}/r vs QC/Q	72
Figura 5.17	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC	72
Figura 5.18	Gráfica del Caudal \hat{H} vs Q_{total}	73

Figura 5.19	Gráfica del Caudal \hat{H} vs q	73
Figura 5.20	Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs m	74
Figura 5.21	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 0^\circ$	74
Figura 5.22	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 45^\circ$	75
Figura 5.23	Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{lámina} 90^\circ$	75
Figura 5.24	Gráfica de \hat{H}/r vs h_1, h_2 y h_3	76
Figura 5.25	Gráfica Estrías vs Q_t	76
Figura 5.26	Gravedad específica y constante a	78
Figura 5.27	Curva Granulométrica de QC, Caudal captado, tubo liso.	79
Figura 5.28	Curva Granulométrica de QP, caudal que pasa, tubo liso..	81
Figura 5.29	Curva Granulométrica de QP, Caudal de paso, tubo corrugado.....	82
Figura 5.30	Curva Granulométrica de QC, Caudal captado, tubo corrugado.	84
Figura 5.31	Curva Granulométrica de QP y QC, tubo liso.	85
Figura 5.32	Curva Granulométrica de QP y QC, tubo corrugado.....	85
Figura 5.33	Curva Granulométrica Caudales captados, QC..	86
Figura 5.34	Curva Granulométrica Caudales de paso, QP.....	86

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1	Toma de fondo tipo Tirolesa.	17
Fotografía 2.2	Toma de fondo tipo Tirolesa, rejilla.....	19
Fotografía 2.3	Captación con pantalla tipo COANDA.	23
Fotografía 2.4	Proceso de colocación de una malla autolimpiante.	24
Fotografía 2.5	Parte inferior de la malla autolimpiante.	24
Fotografía 2.6	Obra terminada de una obra de captación con pantalla.	25
Fotografía 2.7	Obra de captación en pleno funcionamiento, captando agua..	25
Fotografía 4.1	Lectura limnimétrica..	42
Fotografía 4.2	Canal de acercamiento.....	42
Fotografía 4.3	Vertedero... ..	43
Fotografía 4.4	Orificio... ..	43

Fotografía 4.5	Canal de recolección.....	44
Fotografía 4.6	Canal de descarga.....	45
Fotografía 4.7	Herramienta utilizada.....	48
Fotografía 4.8	Piola.....	49
Fotografía 4.9	Bloques livianos 40 x 20 x 15 pared.....	49
Fotografía 4.10	Cemento y arena.....	49
Fotografía 4.11	Tubo PVC liso de 150 mm de diámetro para el canal.....	50
Fotografía 4.12	Tubo PVC liso de 200 mm de diámetro.....	50
Fotografía 4.13	Tubo PVC corrugado de 200 mm de diámetro.....	51
Fotografía 4.14	Limpieza.....	51
Fotografía 4.15	Implantación.....	52
Fotografía 4.16	Excavación.....	52
Fotografía 4.17	Revestimiento al canal de acercamiento.....	53
Fotografía 4.18	Colocación de bloques.....	53
Fotografía 4.19	Colocación del canal de recolección.....	54
Fotografía 4.20	Colocación tubo PVC liso.....	54
Fotografía 4.21	Colocación tubo PVC corrugado.....	55
Fotografía 4.22	Canal de salida.....	55
Fotografía 5.1	Estrías formadas.....	50
Fotografía 5.2	Estrías formadas.....	77

RESUMEN

El presente estudio experimental, es una idea del Ing. Washington Sandoval, PhD., aquí se presenta la investigación en campo de una obra de toma de agua sumergida usando el efecto COANDA. Este fenómeno describe el comportamiento de los líquidos y los sólidos cuando se encuentran cercanos a una superficie curva, los primeros siguen la trayectoria de la superficie y los segundos toman la dirección contraria. La obra de toma se realizó con materiales de la zona y de acuerdo a las condiciones físicas del lugar es por ello las dimensiones de la obra de toma. Acorde a nuestra investigación y toma de datos el uso del efecto COANDA es factible, puesto que sus ventajas son: facilidad en la construcción de la obra de toma con efecto COANDA, materiales accesibles para la construcción de la obra de toma, condiciones técnicas poco exigentes (estructura simple), mínimo impacto ambiental al realizar la construcción, no requiere una gran diferencia de niveles en la obra de toma, tiempo de construcción menor en comparación con otras obras de toma, el caudal captado se mantiene constante, en su mayoría. Además la captación de sedimentos se da de acuerdo a la teoría del efecto COANDA, los sedimentos en el caudal captado es menor en comparación al caudal que pasa.

PALABRAS CLAVES:

EFEECTO COANDA

OBRA DE TOMA SUMERGIDA

ESTUDIO EXPERIMENTAL

CONSTRUCCIÓN

ABSTRACT

This experimental study is an idea of Ing. Washington Sandoval, PhD., This research is presented in the field of an intake of underground water using the Coanda effect, the same that was studied by Ing. Henrie Coanda in 1910 and for this reason bears his name. This phenomenon describes the behavior of liquids and solids when they are close to a curved surface, follow the path the first surface and the second take the opposite direction. The intake was performed using local materials and according to the physical conditions of the place is why the size of the intake. According to our research and data collection using the Coanda effect it is feasible, since its advantages are: ease of construction of the intake Coanda effect, available for the construction of the intake materials, technical conditions undemanding (simple structure), minimal environmental impact while performing construction, does not require a level difference in the intake, reduced construction time compared to other headworks, the captured flow remains constant, mostly. Besides capturing sediments is given according to the theory of the Coanda effect, the sediments in the captured volume is lower compared to flow through.

KEYWORDS:

Coanda effect

Submerged TAKES WORK

PILOT STUDY

CONSTRUCTION FLOW.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El efecto Coanda fue estudiado por el ingeniero Rumano Henri-Marie Coanda en 1910 y estaba estrechamente ligado a la aeronáutica. El fenómeno que lleva su nombre describe el comportamiento de los fluidos en contacto con una superficie curva. Numerosos fenómenos que se observan a diario, están relacionados con el efecto COANDA, incluso se describe el vuelo de un “platillo volador” por medio de esa teoría. (Miranda & Vaca, 2012)

El aumento de la demanda por el uso racional de las aguas superficiales, exigen buscar soluciones amigables con el medio ambiente, que permitan un aprovechamiento y uso de los recursos hídricos con el menor impacto, evitando efectos ambientales desfavorables. Importantes esfuerzos se empiezan a realizar con el desarrollo de diversas investigaciones hidráulicas, buscando dejar de lado el alto costo de construcción que implican los componentes de una obra de toma y sea reemplazado, en este caso, por el efecto COANDA, con el agua como fluido.

Estudios elaborados en los últimos años concluyen que la utilización del efecto COANDA, en otras áreas de ingeniería en el diseño de obras de toma, son muy eficientes y confiables, lo que nos permite predecir que su utilización en el área hidráulica, especialmente en el diseño de obras de toma, también tendrán el mismo resultado.

1.2 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el funcionamiento y los parámetros de diseño de una obra de toma de agua sumergida con efecto COANDA propuesta por el Dr. Washington Sandoval, a través de modelación hidráulica.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analizar el funcionamiento de las obras de toma de agua en el fondo del cauce.
- Describir el efecto COANDA con el agua.
- Construir un prototipo de captación de fondo con efecto COANDA.
- Establecer los parámetros de diseño de la obra de toma de agua sumergida con efecto COANDA.

1.4 HIPÓTESIS

La funcionalidad del efecto Coanda aplicado y demostrado en el área aerodinámica y en obras de toma con el mismo nombre, supone buenos resultados en obras de captación de aguas que siendo diferente utilizan el mismo efecto.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Muchos estudios realizados con aplicación del efecto COANDA, presentan resultados interesantes en diferentes ámbitos de las ciencias y en particular en el diseño

de la obra de toma sumergida de agua, con eficiencia y confiabilidad. Algunos beneficios se destacan:

- Reducción en los costos de construcción de obras de toma debido a la eliminación o reducción de dimensiones de desarenadores o decantadores.
- Bajos costos de mantenimiento. No existen partes móviles que restaurar ni programar continuos trabajos de limpieza.
- En aguas de riego reduce sustancialmente la distribución de semillas no deseadas y malezas.
- Aparta toda la vida acuática, que puede continuar su curso normal sin ser afectada.
- Los costos se reducirían en gran magnitud debido que para su diseño y construcción se usarían materiales del sector, con ahorro económico en estudios e investigación del proyecto.

1.6 METAS

- Estudiar el mecanismo de funcionamiento de una obra de toma de fondo.
- Determinar el comportamiento del efecto COANDA en perfiles curvos.
- Establecer un pre-diseño con los caudales disponibles de la obra de toma.
- Construir un prototipo de la obra de toma sumergida con efecto COANDA.
- Investigar los parámetros para el dimensionamiento de futuras obras de toma de este tipo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 QUÉ ES EL EFECTO COANDA

El efecto Coanda fue estudiado por el ingeniero Rumano Henri-Marie Coanda en 1910 y estaba estrechamente ligado a la aeronáutica. El fenómeno que lleva su nombre describe el comportamiento de los fluidos en contacto con una superficie curva. El término fue acuñado por Albert Metral en honor a Henri Coanda.

Es el fenómeno producido en mecánica de fluidos en el cual una corriente de fluido gaseosa o líquida tiende a ser atraída por una superficie vecina a su trayectoria. Una buena manera de explicar en qué consiste el efecto COANDA es con un ejemplo:

Suponer una superficie curva, por ejemplo un cilindro, tal como está en la ilustración. Si sobre él vertemos algo sólido (arroz, por ejemplo) rebotará hacia la derecha. El cilindro, por el principio de acción-reacción, tenderá a ir a la izquierda (Miranda & Vaca, 2012).

Al repetir esta experiencia con un líquido, debido a su viscosidad, tenderá a “pegarse” a la superficie curva. El fluido saldrá en dirección opuesta. En este caso, el fluido será atraído hacia el cilindro.

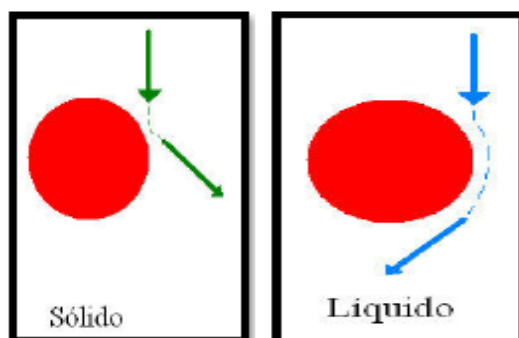


Figura 2.1: Efecto COANDA

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

La utilización del efecto COANDA en automovilismo deportivo, se lo da debido a la innovación de la Red Bull, esta escudería buscaba que los escapes soplasen hacia abajo, y la respuesta fue afirmativa de la mano del efecto COANDA.

En teoría parece fácil, lo cierto es que redirigir el flujo del escape hacia la zona exacta deseada es sumamente complejo, sobre todo teniendo en cuenta que hay otras corrientes de aire que intervienen en el proceso y que se pueden mezclar con la de los escapes, generando turbulencias (Mosquera, 2013).

Concretamente, son dos fluidos de aire que tienen que cruzarse para llegar a sus destinos. El primero es el que llega por la parte baja de los costados de los pontones y pasa entre las ruedas traseras para dirigirse sobre el difusor. El segundo es el que pasa sobre los pontones y que ayudan a dirigir los gases de escape hacia los costados del difusor.

La base física que explica que un fluido se sienta atraído en su trayectoria por un sólido es la siguiente. Suponiendo que se inyectase un chorro de aire por encima de una superficie que se curva, el chorro es capaz de arrastrar el aire, creando dos zonas de baja presión: una por encima, que es rápidamente compensada por la atmósfera, que compensa la baja de presión.

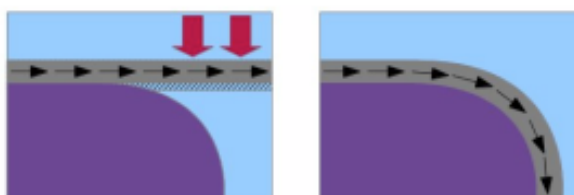


Figura 2.2: Efecto COANDA en automóviles

Fuente: (Mosquera, 2013)

Este fenómeno no puede ocurrir en la zona situada entre el chorro y la superficie, pues la atmósfera no tiene acceso, y por lo tanto estará a una presión menor que la parte situada por encima del chorro. Así, la presión mayor en la parte superior empujará el chorro hacia la superficie, haciendo que se aproxime hasta terminar circulando pegado a ella. El máximo partido del efecto COANDA se exprime sobre todo en curvas de alta velocidad con el gas a fondo, originando como consecuencia última mayor agarre. Este fenómeno también ha permitido, indirectamente, disminuir la usura de los neumáticos traseros al ser capaz de desviar gases calientes (Mosquera, 2013).

2.2 DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS DE UNA OBRA DE TOMA.

2.2.1 CANAL DE ACERCAMIENTO

El canal de acercamiento es una estructura hidráulica destinada a guiar el flujo y permitir que la lámina de agua se mantenga lo más uniforme posible. Así, se incrementa el ancho efectivo del flujo en los vanos del vertedero y disminuye la carga de agua necesaria para alcanzar la cota aguas arriba de las estructuras de regulación (Figuroa & Robles, 2009).

2.2.2 AZUD

El vertedero es una estructura complementaria obligatoria, puesto que constituye el elemento más importante de seguridad, previsto para evacuar las aguas en exceso generadas durante los eventos de máxima crecida, y lograr que se mantenga el nivel de agua establecido en el diseño de la presa (León, 2014).

2.2.3 LA RÁPIDA

Una rápida es un canal de pendiente pronunciada que conecta dos tramos entre los cuales existe un desnivel considerable y una corta longitud. El propósito de esta obra hidráulica complementaria es conducir el agua, de una manera segura, desde el vertedero hasta aguas debajo de la presa.

2.2.4 TÚNEL DE DESVÍO

En algunos casos puede reemplazarse una rápida por un túnel que funciona como canal cerrado parcialmente lleno.

2.2.5 COLCHÓN DE AGUAS

En la parte final se prevé la formación de un colchón de agua que permita la disipación de la energía residual antes de entregar el flujo al colector de aguas abajo (Figuroa & Robles, 2009).

2.2.6 CANAL DE DESCARGA

El flujo que sale del colchón de aguas necesita ser comunicado con el cauce natural por lo que se requiere de un canal de régimen sub-crítico en la mayoría de los casos.

2.2.7 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Este se lo diseña de acuerdo a la ubicación y naturales de la fuente de abastecimiento, así como de la topografía del terreno. El tipo de conducción también se lo realiza por la facilidad constructiva, el más usado es de sección rectangular puesto a la facilidad de conducción.

2.2.8 DESARENADOR

- Debe permitir la retención del material sólido que tenga diámetros mayores al diámetro máximo permitido por las condiciones de escurrimiento de la estructura de conducción.
- Los sedimentos atrapados deberán ser rápidamente evacuados durante las operaciones de limpieza.

2.3 ANÁLISIS DE LAS CAPTACIONES CONVENCIONALES

2.3.1 DERIVACIÓN DIRECTA

Esta captación es de las más antiguas y cuya idea se mantienen en vigencia como alternativa para el riego de parcelas aledañas al río o quebrada. El diseño más elemental consiste en una sencilla abertura en el curso natural, canalizando el flujo hacia el sistema de conducción.

La obra de toma se orienta casi de manera perpendicular a la dirección de flujo para de esta manera proteger la toma de caudales en exceso y materiales sólidos cuando se dé las crecidas.

Para el riego de pequeñas parcelas se utilizan las obras de tomas tradicionales que incorporan además bloques de piedra, alineados diagonalmente cubriendo en muchos casos toda la sección. En estos casos, la toma es ubicada utilizando los accidentes naturales del terreno de manera que pueda servir de ayuda frente a las crecidas. Por ejemplo, este podría ser ubicado detrás o debajo de un sector rocoso (Espinoza & Vintimilla, 2013).

En épocas de estiaje “las obras complementarias” tienen carácter temporal, por cuanto su duración se limita a esos momentos; mientras que en época de lluvias aquellas serán estropeadas o derribadas.

Disposición de las obras:

En general la obra de toma está constituida por un órgano de cierre, estructuras de control, estructuras de limpieza, seguridad y la boca toma.

Cada elemento señalado cumple un objetivo específico, a saber:

- El órgano de cierre tiene por objeto elevar las aguas de manera de permitir el desvío de los volúmenes de agua requeridos
- Las estructuras de control permite la regulación del ingreso de las aguas a la obra de conducción.
- Las estructuras de limpieza serán elementos que puede evacuar los sedimentos que se acumulan inmediatamente aguas arriba del órgano de cierre.
- Las estructuras de seguridad evacúan las aguas que superen los volúmenes requeridos por el sistema receptor.
- La boca toma es el elemento que permite el ingreso de agua de captación hacia la estructura de conducción.

En el diseño de la obra de toma se debe considerar los siguientes aspectos:

- No debe originar perturbaciones exorbitantes.
- No debe originar choques excesivos sobre la mampostería de la estructuras.
- No debe originar cambios violentos en la dirección habitual del escurrimiento.
- Debe devolver las aguas en exceso al río sin generar solicitaciones que sobrepasen lo que puede resistir el medio físico.

- Debe admitir una transición progresiva del flujo desde el curso natural hacia la bocatoma.

En muchas ocasiones no es posible cumplir todas las condiciones al mismo tiempo, por lo cual se tomarán medidas complementarias que logren suavizar las eventuales efectos negativos.

Consideraciones hidráulicas: Consideremos un sector de un curso de agua, en el cual se quiere aplicar una obra de toma. Tenemos que:

- Derivación del caudal de toma ($Q_a = Q_o - Q_u$)
- Modificación de la dirección de flujo ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$)

Además la derivación puede ser:

- De superficie libre
- Sumergida

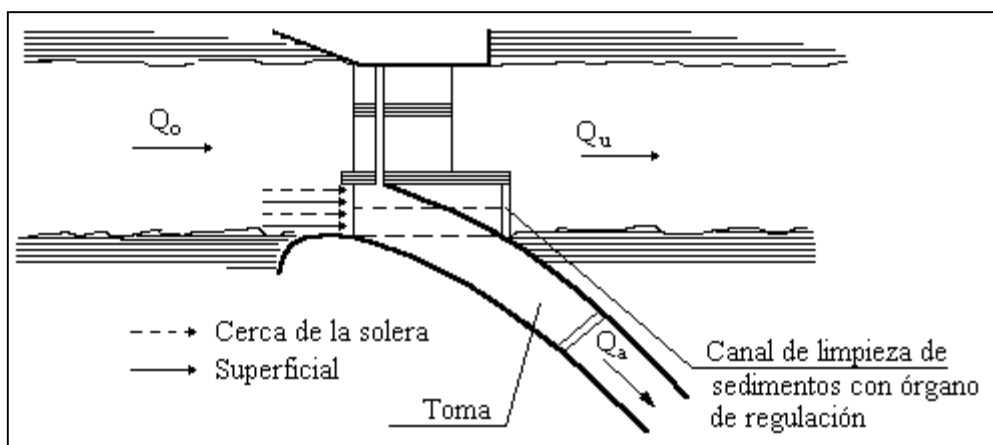


Figura 2.3: Obra de Toma con Derivación Directa

Fuente: (Irwin, 2002)

Para determinar el caudal de una sección rectangular, en forma general:

$$Q_a = \frac{2}{3} \cdot c \cdot \mu \cdot B_a \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

c: Coeficiente de flujo sumergido

μ : Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga μ es función principalmente de la forma del coronamiento del azud. Está de más señalar que este coeficiente depende del caudal, por lo que no es constante; sin embargo se considera constante por razones de facilidad de cálculo.

Para algunos tipos de coronamiento, Press plantea los siguientes valores de μ .

Tabla No. 2.1

Valores de μ para algunos tipos de coronamiento.

FORMA DE CORONAMIENTO	M
Cresta ancha, aristas vivas, horizontal.	0.49 – 0.51
Cresta ancha, con aristas redondeadas, horizontal.	0.50 – 0.55
Cresta delgada, con chorro aireado.	0.64

Cresta redondeada, con paramento superior vertical y paramento inferior inclinado	0.75
Azud en forma de dique, con coronamiento redondeado.	0.79

Fuente: (Irwin, 2002)

El factor de corrección c , considera el efecto del flujo aguas abajo en los casos en los que el nivel de aguas de este sector supera el nivel de coronamiento del azud (flujo sumergido).

El coeficiente de descarga para vertederos frontales o laterales no tiene grandes diferencias.

Se recomienda para vertederos sumergidos una reducción en la magnitud del coeficiente de descarga del orden del 5%.

Para una toma sumergida, la capacidad de captación se calcula con base en la ecuación de Galilei-Schuelers Toricelli, obteniendo la conocida expresión:

$$Q_a = k \cdot \mu_d \cdot a \cdot B_a \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

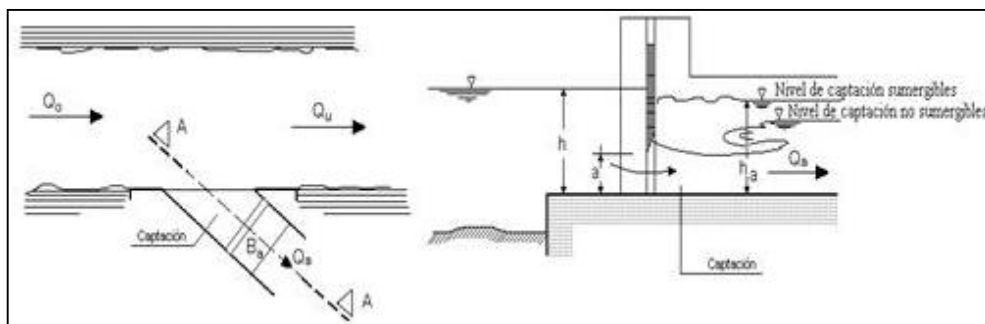


Figura 2.4: Obra de captación sumergida

Fuente: (Irwin, 2002)

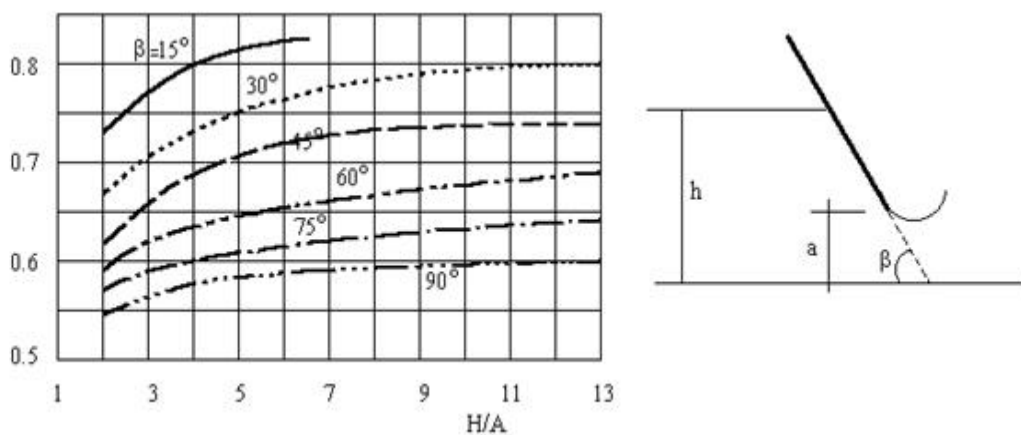


Figura 2.5: Coeficiente de descarga μ_D según Gentilini

Fuente: (Irwin, 2002)

Donde:

μ_d : Coeficiente de descarga para flujo sumergido.

k : Factor de reducción por flujo sumergido.

a : Abertura del orificio en m.

El coeficiente de descarga μ_d depende principalmente de las condiciones de abertura del orificio.

El factor de corrección k expresa, en analogía con una toma a superficie libre, la influencia del flujo que se desarrolla aguas abajo del elemento considerado. Para flujo no sumergido, k toma el valor de $k=1$. Para flujo sumergido se puede utilizar k que se encuentra en función del cociente (ha/a) , relación carga/apertura de compuerta de fondo (Irwin, 2002).

2.3.2 DERIVACIÓN CON AZUD

En ríos de montaña se construyen generalmente este tipo de obras, es decir en aquellos que tienen caudales parcialmente pequeños, gradientes relativamente grandes y que corren por valles no muy amplios. Se dispone de algunos elementos:

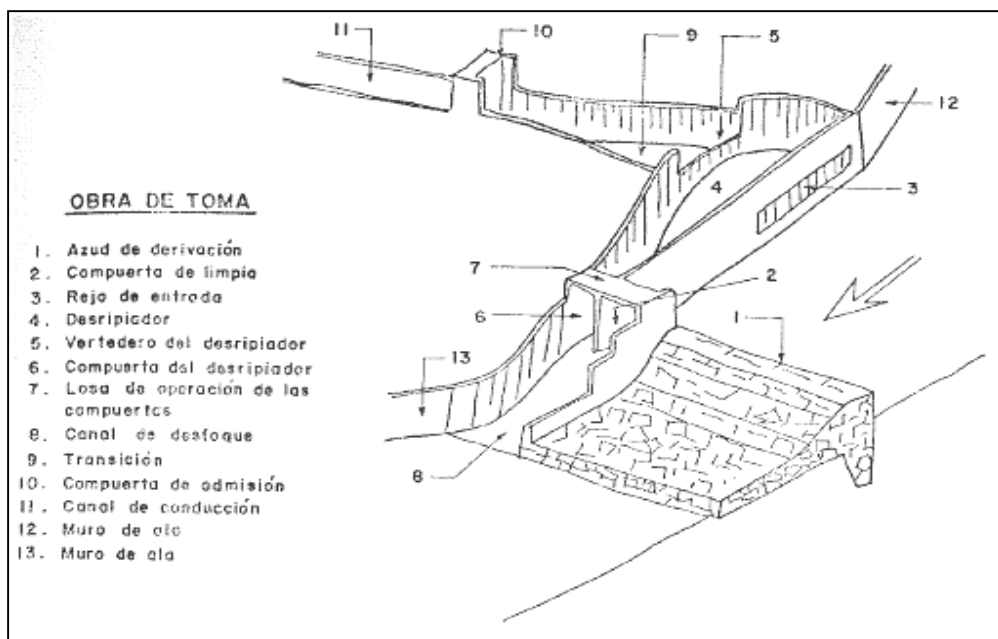


Figura 2.6: Obra de Toma

Fuente: (Novillo, 1985)

- Un dique que cierre el cauce del río y obliga a que toda el agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta entre la conducción.

Este tipo de dique vertedero se llama azud. El cual en tiempo de creciente el exceso de agua pasa por encima de este dique o sea que trabaja como vertedero. Para evitar que en el creciente entre excesiva agua a la conducción, entre éste y la toma se dejan estructuras de regulación. Una de ellas es la compuerta de admisión que permite interrumpir totalmente el servicio para el caso de reparación o inspección (Novillo, 1985).

- Una reja de entrada que imposibilita que atravesese hacia la conducción material sólido flotante demasiado grueso. Para esto el umbral de la reja se pone a cierta altura sobre el fondo del río y la separación entre barrotes no sobrepase de 20 cm. En vista de que a pesar de esto, parte del material sólido alcanza a pasar, al otro lado de la reja se deja una cámara llamada desripiador para contenerlo. El desripiador debe tener una compuerta hacia el río a través de la cual en periodos se lava el material apilado en el fondo (Novillo, 1985).

- Una transición de entrada al canal. Se requiere que la mayoría del material grueso que llega al desripiador se coloque dentro de éste y no pase al canal. Por este motivo la conexión del desripiador se hace habitualmente a través de un vertedero cuyo ancho es bastante mayor que el del canal que sigue. Para impedir que haya pérdidas grandes de energía entre la salida del desripiador y el canal las dos estructuras se acoplan por medio de una transición (Novillo, 1985).

- Un zampeado y un colchón de aguas al pie del azud. Puede socavar las obras y erosiona el cauce ocasionando su devastación, el agua que se vierte por el azud en creciente debido a que cae con gran energía. El zampeado o el colchón sirven para disipar la energía logrando que el agua atraviese el cauce no revestido con velocidades lo convenientemente bajas para no ocasionar erosiones.

El agua que filtra por debajo del azud ejerce una sub-presión en el zampeado que podría romperlo. Para disminuir un poco ésta sub-presión como también para anclar mejor el azud, se construye aguas arriba un dentellón y debajo del zampeado muchas veces se dejan drenes con sus respectivos filtros (Novillo, 1985).

- Una compuerta de purga que se sitúa en un extremo del azud, cerca de la reja de entrada. Generalmente del río acarrea en creciente una enorme cantidad de

pedras que se acumulan aguas arriba del azud pudiendo llegar a tajar la reja de entrada con lo cual el caudal de captación se merma considerablemente o puede ser totalmente suspendido (Novillo, 1985).

2.3.3 TOMA TIPO TIROLESA

Las obras de toma con rejillas de fondo o tipo Tirol surgieron en la región europea del Tirol Sur en la frontera entre Austria y Italia en el año de 1918, para satisfacer las necesidades de captación de agua para riego. Se construyen en el fondo del cauce natural o muy próximo al mismo para reducir su impacto sobre las corrientes torrenciales que transportan. Durante las avenidas, abundantes sedimentos o arrastre de fondo. Pueden disponer de uno o de dos sistemas de rejillas colocadas, generalmente, paralelas al flujo. Su función es retener, en uno o dos escalones, los sólidos de mayor tamaño, que el espaciamiento entre las rejillas no permite el ingreso de los mismos y posibilitar el paso del agua, aún cargada con sólidos menores, piedras que puedan pasar y sedimentos más finos, a un canal o galería ubicado bajo la rejilla. La galería descarga, a su vez, un canal de salida provisto, de un desarenador (Herrera, 2013).



Fotografía 2.1: Toma de fondo tipo Tirolesa.

Fuente: (Herrera, 2013)

Esta obra de toma se la puede emplear en cauces que tengan inclinaciones longitudinales fuertes. La estructura se implanta primordialmente en los lechos de los ríos de montaña ya que estos transportan pocos sedimentos en suspensión y mayor arrastre de material de fondo como son la grava, el canto rodado, etc.

Las aguas son captadas mediante una rejilla, la cual situada en sentido perpendicular al flujo con los barrotes dispuestos en la dirección de la corriente, la misma que permitirá el ingreso del caudal de captación y limitará el ingreso de los sedimentos, estará ubicada sobre la cámara o galería de captación que conduce el agua captada hacia el canal, el material sólido que ingrese a la cámara serpa evacuado mediante una compuerta de purga (Herrera, 2013).

2.3.3.1 UMBRAL DE FONDO Y ESTRUCTURAS EN LA ZONA DE APROXIMACIÓN

Para proteger la cámara de captación y demás estructuras situadas aguas abajo de la toma. Se construyen en la zona de aproximación muros de encauce que tienen la función de canalizar al río hacia la toma tirolesa.

Es necesario considerar una pre-cámara la cual posee la finalidad dividir uniformemente el flujo en la rejilla de captación, en crecida establece un volumen muerto, proporcionando de esta manera que el flujo traslade el material sólido sobre la rejilla de captación.

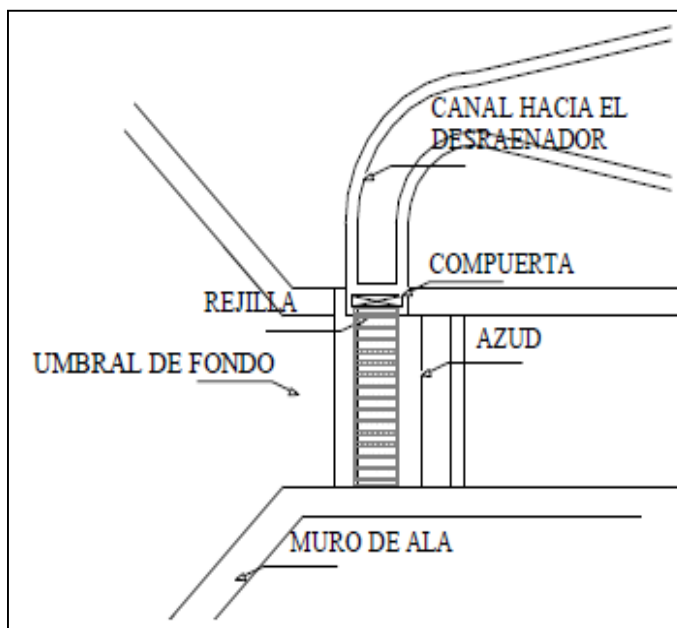


Figura 2.7: Partes de la obra de toma tipo Tirol, vista en planta

Fuente: (Herrera, 2013)

2.3.3.2 REJILLA DE ENTRADA

El agua que ingresará a la estructura es captada mediante una rejilla colocada transversalmente a la corriente y sobre la cámara de captación, esta rejilla estará dispuesta de barrotes que pueden ser de sección circular, rectangular, trapezoidal, sección tee, o una placa metálica con agujeros, dependiendo del tipo de sedimentos que arrastre la fuente se determinará la sección óptima de los barrotes de la rejilla, los mismos que deben ser fáciles de limpiar, no obstruirse con material de arrastre, no deformarse, y, permitir el paso del caudal de diseño, con un área de rejilla cuyas dimensiones sean técnicamente adecuadas, estos barrotes estarán colocados paralelamente a la dirección del río.



Fotografía 2.2: Toma de fondo tipo Tirolesa, rejilla.

Fuente: (Herrera, 2013)

La rejilla deberá tener una inclinación apropiada con la horizontal, ya que si está muy desnivelada el agua no ingresará lo suficiente por la misma es decir se escurrirá sobre ésta.

De manera semejante ocurrirá, si tiene poca inclinación los sólidos se quedarán sobre la rejilla obstruyendo el paso del agua. Generalmente se recomienda una inclinación óptima con la horizontal entre 14° y 20° para ayudar al paso de los sedimentos.

Una causa definitiva para establecer la capacidad de captación es el espaciamiento entre las barras paralelas, este depende del área libre en el sector de la toma y del diámetro máximo de las partículas que se prevea ingresarán a través de la rejilla, por lo que es indispensable conocer las condiciones de arrastre de sedimentos en el lugar donde se construirá la obra de toma.

Debe ser pronosticada la colocación de rejas gruesas en trayectos de agua sujetos a régimen torrencial y cuando los cuerpos flotantes grandes puedan deteriorar a las rejas finas.

Para las rejillas gruesas, el espaciamiento de los barrotes puede ser de 7.5 cm a 15 cm, y para las rejillas finas de 2 cm a 6 cm. En la sección de paso, perteneciente al nivel mínimo de agua, el área abertura de rejas debe ser igual o superior a $1.2 \text{ cm}^2/\text{l}/\text{min}$, de modo que la velocidad resultante sea igual o inferior a 10 cm/s, siendo las pérdidas de carga estimadas, admitida a la obstrucción del 50% de la sección de paso (Herrera, 2013).

2.3.3.3 GALERÍA DE RECOLECCIÓN Y DESARENADOR

Una vez que el flujo ha sobrepasado la rejilla, se deposita en un canal recolector que se constituye en una cámara de captación, la misma cuya función es recoger y trasladar el caudal que ingrese por la rejilla, y también el material sólido que pasa a través del ella.

La sección del canal colector será dimensionada para evacuar el caudal de diseño de la obra de toma.

En la salida de la toma tirolesa es claramente necesaria la construcción de un desarenador, con el objetivo de impedir que la grava y arena que ingresa por la rejilla siga hacia los canales. Esta se ubicaría entre la cámara de recolección y el canal de conducción y su función es detener y evacuar el material de arrastre que ingresa por la obra de toma.

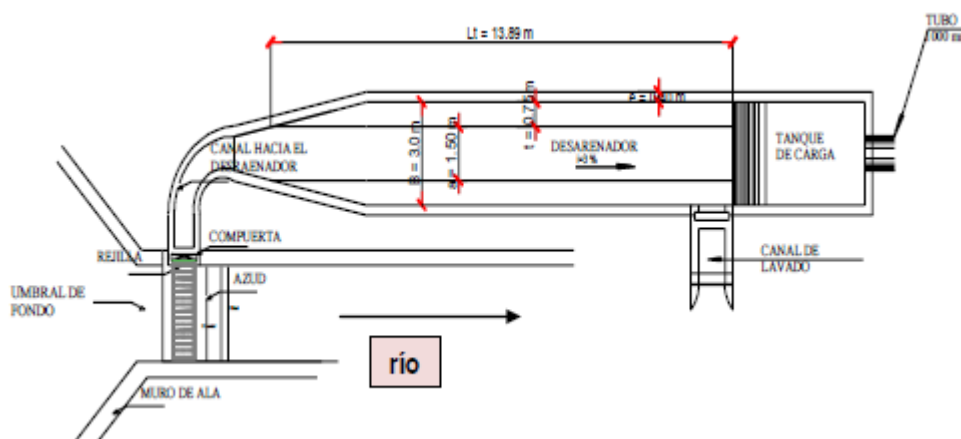


Figura 2.8: Desarenador vista en planta

Fuente: (Herrera, 2013)

Es importante tomar en cuenta que las aberturas de la rejilla dependen directamente del diámetro de las partículas que son arrastradas hacia el desripiador.

2.3.3.4 DESRIPIADOR AL INGRESO AGUAS ARRIBA DEL UMBRAL

Es necesario construir un canal desripiador aguas arriba del umbral debido a que en este tipo de captaciones, el agua es proveniente de ríos de montaña y tener arrastre de material flotante como hojas, ramas y demás podría ocasionar un taponamiento en la rejilla, pero dicha construcción debe ser justificada técnicamente porque si no es así, esto se constituiría en una incorrecta inversión económica.

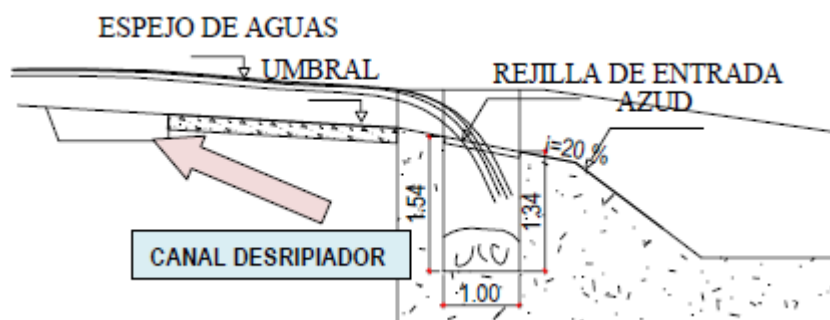


Figura 2.9: Desripiador aguas arriba del umbral, vista en corte.

Fuente: (Herrera, 2013)

2.3.3.5 CIMACIO DEL AZUD

Con la finalidad de incrementar el coeficiente de descarga, el azud debe tener, en lo posible, un perfil hidrodinámico. Para que el agua del río que no es captada por la toma tirolesa se vierte por encima del azud construido en el lecho del río.

Para que la presión producida en todos sus puntos sea casi nula comúnmente, este perfil se diseña con coordenadas de perfil Creager.

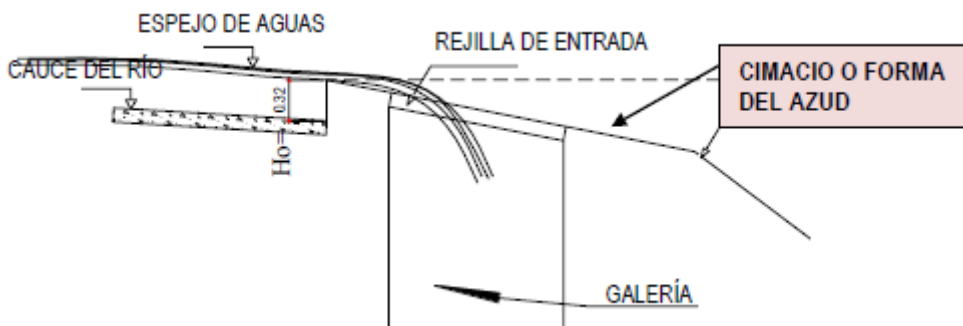


Figura 2.10: Cimacio del azud.

Fuente: (Herrera, 2013)

2.3.4 CAPTACIÓN CON PANTALLA TIPO COANDA

Esta captación con pantalla tipo COANDA aplica el efecto en las rejillas autolimpiantes, permitiendo que el agua ingrese entre los barrotes que la conforman.

2.3.4.1 ELEMENTOS DE LA CAPTACIÓN DE PANTALLA TIPO COANDA

a) Placa de aceleración

La placa de aceleración es una placa lisa sólida por encima de la pantalla. La placa de aceleración también suaviza el agua y la entrega en el ángulo correcto.



Fotografía 2.3: Captación con pantalla tipo COANDA.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

b) Rejillas autolimpiantes

La malla tipo COANDA es una reja autolimpiante que se usa como separador de sólidos. La forma de la reja provee al líquido un efecto llamado efecto COANDA, que se refiere a la tendencia de un fluido a pegarse a una superficie sólida lo cual hace autolimpiante y muy eficiente al separar sólidos. Los barrotes pueden tener diversas formas pero la más utilizada es la trapezoidal, con su base mayor hacia arriba y cada uno de estos tiene un ángulo en relación al siguiente que produce el efecto COANDA.

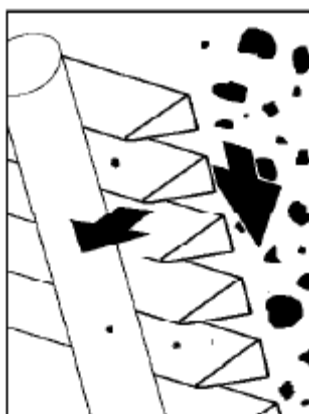


Figura 2.11: Captación con pantalla tipo COANDA.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

Las fotografías a continuación 2.4, 2.5 y 2.6 se muestra una malla innovativa autolimpiante. Muy utilizado en la concentración de minerales, la pantalla es en realidad un azud cuyo paramento aguas abajo está constituido por una pantalla curvilínea con perfiles transversales de acero inoxidable (Miranda & Vaca, 2012).



Fotografía 2.4: Proceso de colocación de una malla autolimpiante.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)



Fotografía 2.5: Parte inferior de la malla autolimpiante.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)



Fotografía 2.6: Obra terminada de una obra de captación con pantalla que emplea el efecto Coanda.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

Como se presenta a continuación la fotografía 2.7, figura 2.12 y figura 2.13 el agua pasa entre los perfiles y se recoge en un canal ubicado debajo de la pantalla, y los peces conjuntamente con la broza, y el 90% de las partículas de más de 0.5 mm de diámetro, siguen su camino río abajo. Para que los peces no se dañen al resbalar sobre la pantalla su superficie debe ser muy lisa. Los peces no pueden quedar en eco, por lo que es necesario que un cierto caudal de agua que podría ser el caudal ecológico recorra continuamente sobre la pantalla (Miranda & Vaca, 2012).



Fotografía 2.7: Obra de captación en pleno funcionamiento, captando agua.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

El caudal transportará también la broza que pueda haber quedado en el borde inferior de la pantalla, broza que pondría en riesgo la supervivencia de los peces retenidos en la zona. La pérdida de salto producida por este tipo de pantalla es alta entre 1.20 m y 1.60 m, por lo que no es recomendable la utilización en saltos de baja altura. La pantalla puede alternar hasta 140 l/s por metro lineal.

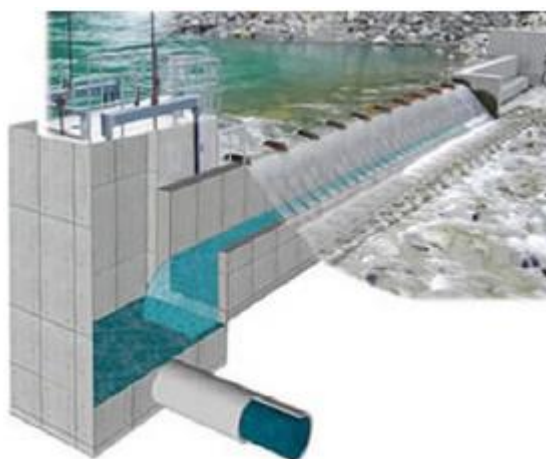


Figura 2.12: Captación y conducción de agua mediante las mallas autolimpiante.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

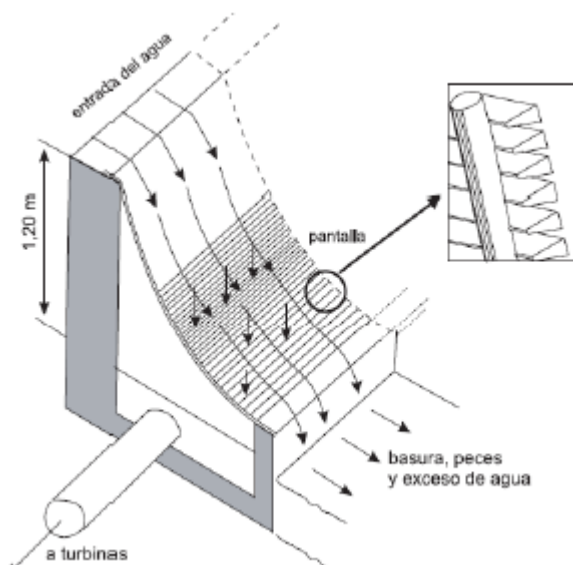


Figura 2.13: Modelo de obra de captación COANDA.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

A continuación en la figura 2.14 se puede observar los diferentes elementos que conforman una obra de captación tipo COANDA.

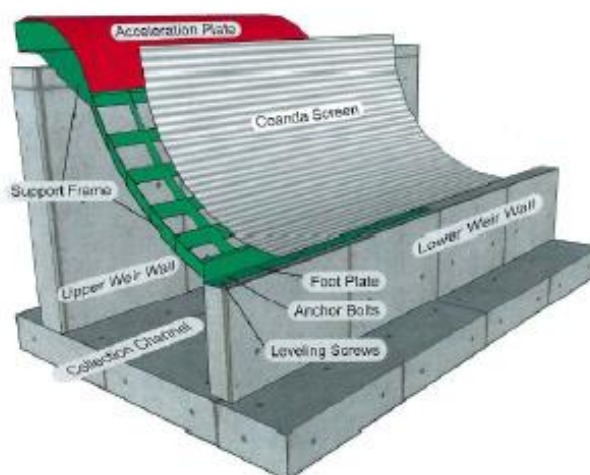


Figura 2.14: Elementos de una obra de captación que emplea el efecto COANDA.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

En el inicio el agua ingresa a la captación a una velocidad adecuada que es asignada por la inclinación de la placa de aceleración (figura 2.15).

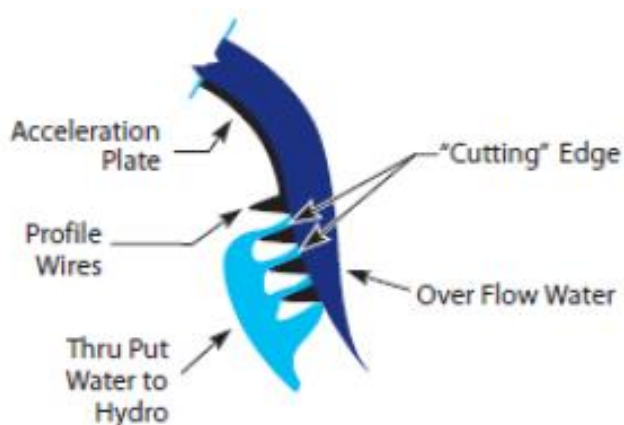


Figura 2.15: Placa de aceleración.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

La reja posee una inclinación apropiada la cual admite el ingreso del flujo de agua a la captación, la expulsión de los residuos sólidos y la conservación de la vida acuática. El agua pasa a través de las rejillas autolimpiantes (figura 2.16 y 2.17).

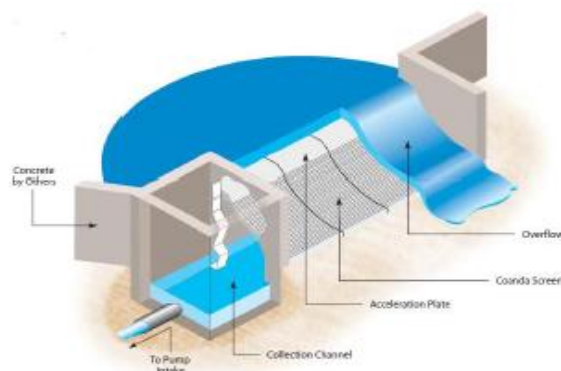


Figura 2.16: Ingreso del agua en la obra de captación.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)



Figura 2.17: Vista en proyección de las rejillas.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

En la figura a continuación se observa un resumen de todo lo anteriormente detallado.

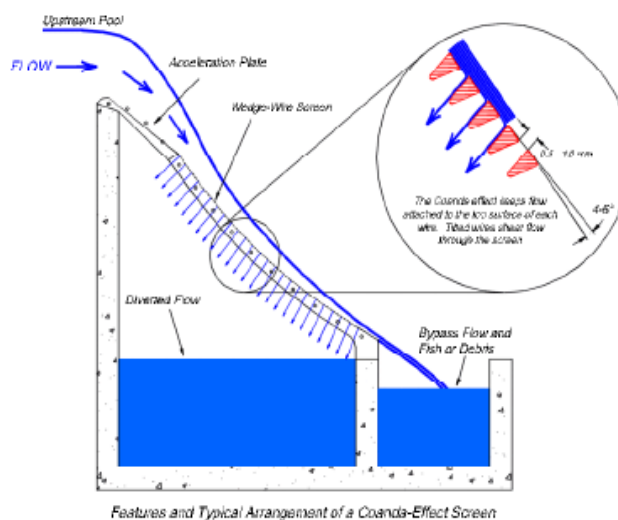


Figura 2.18: Detalle del ingreso del agua a la obra de captación mediante el empleo de la malla autofiltrante.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

2.3.4.2 CAUDAL DE AGUA A TRAVÉS DE LA INGESTA

El agua fluye a través del tamiz de alambre a una cámara de recogida debajo, la cámara de recogida desemboca en una cámara de amortiguación y luego en una tubería. La pantalla de cuña de alambre mantiene los residuos por encima de la pantalla y permite que sea arrastrado por la corriente. En la mayoría de los arroyos y ríos de la cantidad de desechos en el agua es mínima durante las horas de bajo flujo (Miranda & Vaca, 2012).

Durante el deshielo de la primavera o después de las fuertes lluvias ocasionan grandes cantidades de desechos. En esos momentos también hay abundancia de agua para barrer los escombros fuera de las pantallas y llevarla río abajo.

2.3.4.3 FUNCIONAMIENTO DE LAS REJAS AUTOLIMPIANTES

Cuando las rejas están orientadas en forma horizontal o no tienen la suficiente inclinación se acumulan los escombros sobre la reja (figura 2.19 y 2.20).

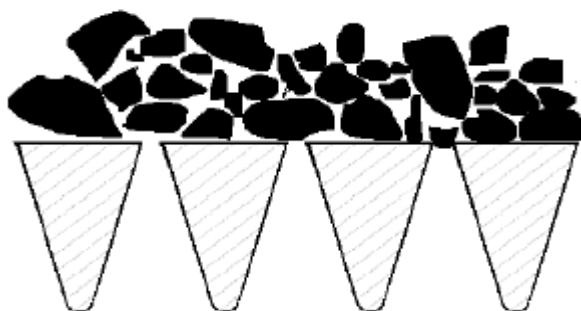


Figura 2.19: Acumulación de escombros sobre la reja por mal colocación de la misma.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

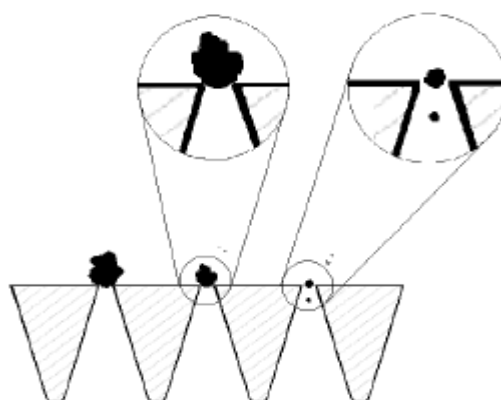


Figura 2.20: Ingreso de residuos menores a 2 mm.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

El cálculo de la inclinación de la reja autolimpiante es muy importante con el fin de eliminar los residuos sólidos y permitir que la obra de captación trabaje acorde al diseño (figura 2.21).

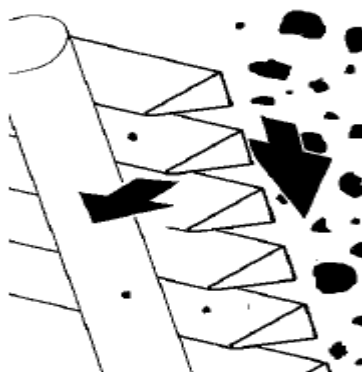


Figura 2.21: Proceso de autolimpieza en reja con correcto ángulo de inclinación.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

A más de la elección adecuada de la reja es muy importante el lugar donde se situará una de las varillas o alambres que forman, con el objetivo de incrementar el rendimiento de la reja. Se debe lograr que exista una diferencia de nivel entre cada varilla o alambre.

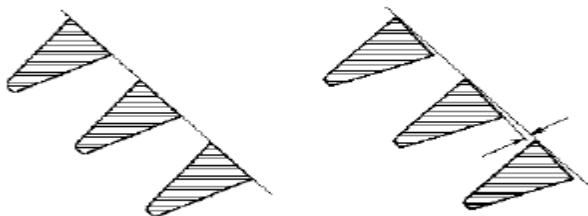


Figura 2.22: Debe existir un ligero desnivel entre los elementos de la reja autolimpiante.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

Si el rendimiento de la reja no es el apropiado, captaría agua pero no lo esperado, en la figura 2.23, se puede observar dos situaciones, en la primera vemos que sucede con el agua, siendo la segunda por que aumenta el caudal captado.

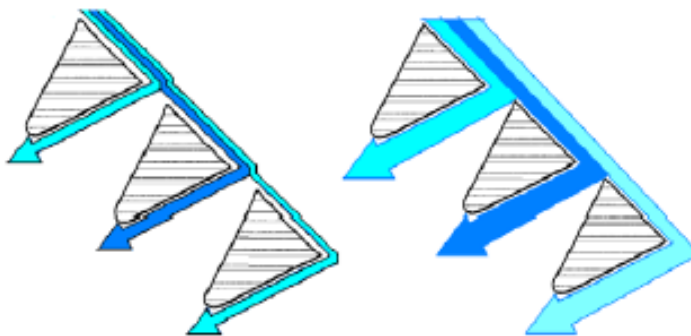


Figura 2.23: Captación de agua en ambas situaciones.

Fuente: (Miranda & Vaca, 2012)

CAPÍTULO 3

SEMEJANZA HIDRAULICA

3.1 TIPO DE SEMEJANZA

La semejanza se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno.

Últimamente se han desarrollado métodos, los cuales arrojan como resultado experimentos realizados en modelos a escala reducida con lo cual es posible predecir el comportamiento de una estructura o prototipo.

Los problemas son complejos y en ocasiones desconocidos como por ejemplo entender el comportamiento hidráulico del agua al pasar a través de una presa derivada y al ser captada por una toma. Aquí se debe estimar que tipo de investigación se adoptará. Esta se comenzará conceptualizando y sintetizando el problema para luego seleccionar la técnica física o matemática adecuada para estudiar el problema.

En conclusión, la semejanza implica simular un fenómeno real, conceptualizándolo y simplificándolo en mayor o menor medida y luego describirlo y cuantificarlo.

3.1.1 SEMEJANZA GEOMÉTRICA

La similitud geométrica es independiente del tipo de movimiento y contempla solo similitud en la forma. La propiedad característica de los sistemas geoméricamente similares, ya sean figuras planas, cuerpos sólidos o modelos de flujo, se basa en que la relación de cualquier longitud en el modelo con respecto a la longitud correspondiente en el prototipo, es en todas partes igual.

Un modelo y un prototipo son geoméricamente semejantes si, y solo si, todas las dimensiones espaciales en las tres coordenadas tienen la misma relación de escala lineal.

Esto hace referencia a tomar una fotografía del prototipo y se la redujese o agrandase hasta tener el tamaño del modelo. Si el mismo está construido a un decimo de tamaño del prototipo, su longitud, anchura y altura deben ser diez veces más pequeñas. No solo eso, sino que cualquiera de sus dimensiones deben ser diez veces más pequeñas y sus puntos deben ser homólogos, que tienen la misma posición relativa.

La similitud geométrica es la condición más obvia en un sistema modelo planificado para corresponder a un sistema prototipo dado. No obstante la mencionada semejanza perfecta no siempre es sencilla de conseguir. Puesto que también deberían ser geoméricamente similares las inevitables rugosidades de la superficie (Arreaga, 2014).

Por ejemplo, un prototipo y su modelo pueden tener igual configuración general, que es geoméricamente similar, sin embargo puede poseer acabados superficiales que no lo sean. En el caso de prototipos muy grandes, como ríos, el tamaño del modelo se restringirá con probabilidad por el espacio que se disponga; pero si el factor de escala utilizado para aminorar las longitudes horizontales se usa también para reducir las longitudes verticales, el desenlace será una corriente de muy poca profundidad, que la tensión superficial produzca un efecto considerable y, además el flujo puede ser laminar en lugar de turbulento. En este caso puede ser forzoso un modelo distorsionado.

1. El radio de borde de ataque del modelo debe ser un décimo más pequeño.
2. La rugosidad de la superficie del modelo debe ser un décimo más pequeña.
3. Si el prototipo tiene un alambre perturbador de 5 mm, para inducir la transición de la capa límite a turbulenta, situado a 1.5 m del borde de salida, el modelo debe tener un alambre de 0.5 mm situado a 0.15 m del borde de salida.
4. Si el prototipo se construye con remaches que sobresalen, el modelo debe tener los remaches correspondientes de tamaño un décimo menor.

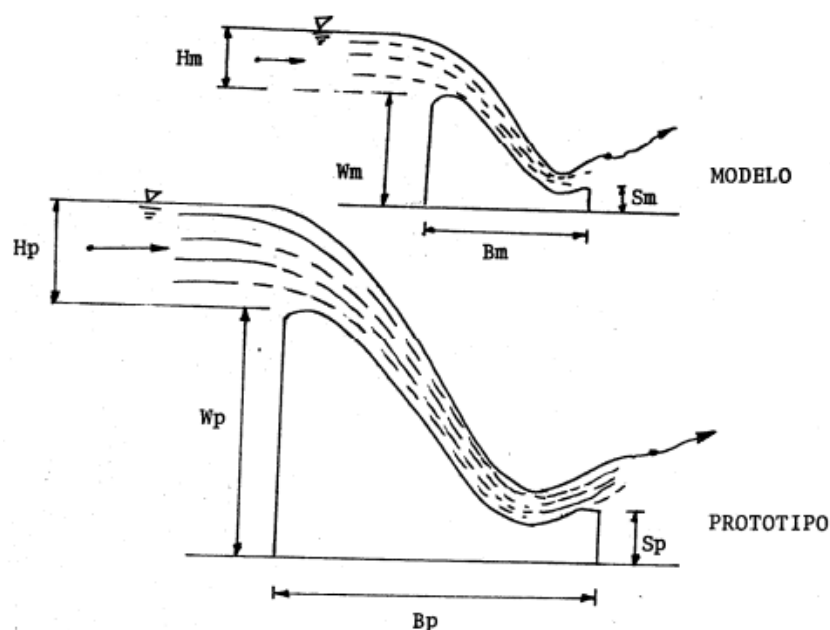


Figura 3.1: Semejanza geométrica.

3.1.2 SEMEJANZA CINEMÁTICA

La semejanza cinemática implica similitud en el movimiento. Esto implica similitud de longitud, que se refiere a la similitud geométrica, y adicionalmente similitud en intervalos de tiempo. Por ello, ya que las longitudes correspondientes se encuentran en una relación fija, las velocidades de las partículas pertinentes deben estar en una relación fija de magnitudes de tiempos correspondientes. Si la relación de longitudes es L_r y la relación de intervalos de tiempo es T_r , pues las magnitudes de las velocidades correspondientes será:

$$V_r = \frac{L_r}{T_r}$$

Los movimientos de dos sistemas son cinemáticamente semejantes si partículas homólogas alcanzan puntos homólogos en instantes homólogos.

La paridad de las escalas de longitud implica solo semejanza geométrica, sin embargo la paridad de las escalas de tiempo permite exigir consideraciones dinámicas adicionales tales como la igualdad de los números de Reynolds (Arreaga, 2014).

Un caso aislado es el flujo sin fricción y sin superficie libre de un fluido incomprensible, y se lo puede ver en la figura 3.2. Donde estos fluidos son cinemáticamente semejantes con escalas de longitud y tiempo independientes, y no se necesitan parámetros complementarios.

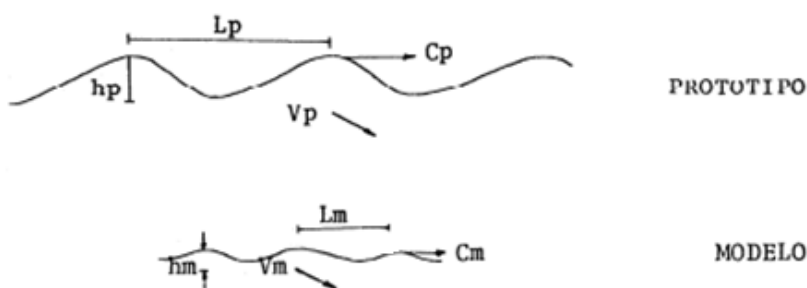


Figura 3.2: Semejanza Cinemática.

3.1.3 SEMEJANZA DINÁMICA

La semejanza dinámica entre dos sistemas geométrica y cinemáticamente iguales necesita que la razón de todas las fuerzas homólogas, incluyendo la fuerza inercial, en los dos sistemas sea la misma.

La segunda ley de Newton puede escribirse así:

$$M \cdot a = \sum F$$

$$M \cdot a = F_p + F_g + F_v + F_t + F_e$$

Donde: $M \cdot a$ es la relación de la masa de las fuerzas actuantes o fuerza de inercia; F_p fuerza de presión; F_g fuerza debida a la acción de la gravedad; F_t fuerza producida por la tensión superficial; F_v fuerza de corte debido a la viscosidad; F_e fuerza producida por compresión elástica del fluido. Es decir:

$$\frac{M_M \cdot a_M}{M_p \cdot a_p} = \frac{(F_p + F_g + F_v + F_t + F_e)_M}{(F_p + F_g + F_v + F_t + F_e)_P}$$

Los subíndices M se refieren al modelo y el P al prototipo. Para que la semejanza sea perfecta es necesario además que:

$$\frac{M_M \cdot a_M}{M_p \cdot a_p} = \frac{(F_p)_M}{(F_p)_P} = \frac{(F_g)_M}{(F_g)_P} = \frac{(F_v)_M}{(F_v)_P} = \frac{(F_t)_M}{(F_t)_P} = \frac{(F_e)_M}{(F_e)_P}$$

Pero no todas estas relaciones pueden considerarse como independientes debiendo determinarse algunas de ellas una vez establecidas las demás. Así tenemos fuerzas que actúan en forma mínima comparada con la fuerza actuante y predominante y otras fuerzas no actúan según el caso que se esté tratando. En la práctica, el movimiento de un fluido puede ser producido buscando en el modelo la similitud de sólo una de las fuerzas de la ecuación anterior (Arreaga, 2014).

Los problemas de obras hidráulicas y de ingeniería fluvial gobernados por flujo libre son dominados por las fuerzas de gravedad. La ley de semejanza en este caso, llamada semejanza de Froude, garantiza que esta fuerza en su proporción con la resultante, se reproduzca correctamente en el modelo.

Sabemos que el número de Froude viene determinado por la siguiente relación:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Donde: F es el número de Froude; V es la velocidad del fluido; g es la aceleración de la gravedad y L es una longitud característica.

La semejanza dinámica está dada cuando $Fr = 1$, es decir, la razón de los números de Froude del prototipo y modelo sea igual a uno; como la gravedad es la misma para los dos sistemas obtenemos:

$$\frac{V_M}{V_P} = \frac{\sqrt{L_M}}{\sqrt{L_P}} = L_r^{\frac{1}{2}}$$

Para determinar la relación de caudales Q_r tenemos:

$$Q_r = V_r \cdot A_r = L_r^{\frac{1}{2}} \cdot L_r^2 = L_r^{\frac{5}{2}}$$

Fuerza de viscosidad:

$$\mu = \frac{Fdy}{Adv} = \left[\frac{MLT^{-2}L}{L^2LT^{-1}} \right]$$

$$T = \frac{M}{\mu L} = \frac{\rho L^3}{\mu L}$$

$$T_r = \frac{L_r^2}{\nu_r}$$

Fuerza de tensión superficial:

$$F_\sigma = \sigma L \left[MLT^{-2} \right] = \sigma L$$

$$T = \sqrt{\frac{\rho L^3}{\sigma}}$$

$$T_r = \sqrt{\frac{\rho_r L_r^3}{\sigma_r}}$$

En conclusión, la semejanza dinámica aparece simultáneamente con la semejanza cinemática, si todas las fuerzas en el modelo y prototipo guardan la misma proporción. Ocurre si:

1. Flujo compresible: los números de Reynolds y Mach del modelo y el prototipo y la relación de calores específicos son iguales.
2. Flujo incompresible:
 - a. Sin superficie libre: los números de Reynolds del modelo y el prototipo son iguales.
 - b. Con superficie libre: los números de Reynolds, Froude, y si interviniesen, lo de Weber y de cavitación son iguales en el modelo y el prototipo.

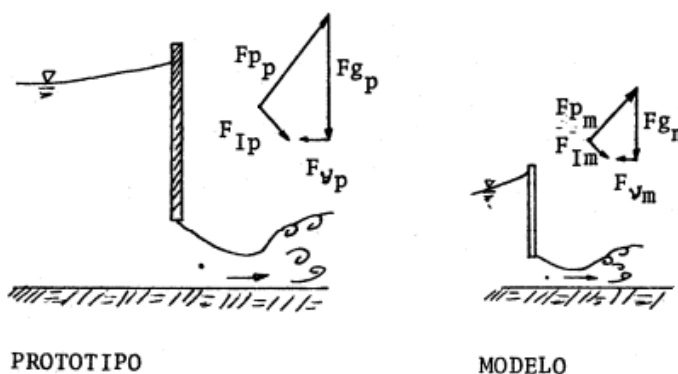


Figura 3.3: Semejanza Dinámica.

CAPÍTULO 4

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 ELEMENTOS DE LA OBRA DE TOMA A INVESTIGARSE

La obra de toma de agua sumergida con efecto COANDA, se la realizó con materiales de la zona por cercanía y disponibilidad. Las dimensiones del canal de acercamiento, vertedero y canal de descarga son de 40 cm de base, el vertedero tiene un diámetro de 20 cm., las paredes una altura de 20 cm y el canal de recolección un diámetro de 15 cm. Los elementos que la conforman son:

- Transición + canal de acercamiento
- Vertedero
- Orificio
- Canal de recolección
- Canal de descarga

A continuación se describen a detalle los elementos de la obra de toma investigada.

4.1.1 TRANSICIÓN + CANAL DE ACERCAMIENTO

La transición que se realizó fue hecha con el fin de minimizar las pérdidas de energía y aproximar de manera sutil el caudal hacia el canal de acercamiento.

El canal de acercamiento es una estructura hidráulica destinada a guiar el flujo y permitir que la lámina de agua se mantenga lo más uniforme posible. Así, se incrementa el ancho efectivo del flujo en los vanos del vertedero y disminuye la carga de agua necesaria para alcanzar la cota aguas arriba de las estructuras de regulación.

Adicional, en las paredes del canal de acercamiento se colocó reglas permitieron la lectura limnimétrica de la altura de la carga hidráulica.



Fotografía 4.1: Lectura limnimétrica.



Fotografía 4.2: Canal de acercamiento.

4.1.2 VERTEDERO

El tubo actúa como vertedero de forma circular. Es una estructura complementaria obligatoria, por ser el elemento controlador de los caudales y permite que se mantenga el nivel de agua establecido en las condiciones de diseño (Herrera, 2013).



Fotografía 4.3: Vertedero.

4.1.3 ORIFICIO

Para el sistema propuesto de captación de agua se requiere de un orificio y es una abertura alargada que se planifica este a lo largo entre el vertedero y el canal de recolección. Su altura varía entre 1.0 a 2.0 cm. Por esta hendidura se introduce el agua que se ha adherido al vertedero curvo y se transporta por el canal de recolección.



Fotografía 4.4: Orificio.

4.1.4 CANAL DE RECOLECCIÓN

Este canal recibe agua a través del orificio existente entre el vertedero y el canal de recolección. Y el mismo transita el agua captada hacia el canal de salida.

Por facilidad de construcción y de mantenimiento se utilizó un tubo de PVC de 15 cm. De diámetro, cortado a media sección. Garantizando la velocidad adecuada para que el agua fluya.



Fotografía 4.5: Canal de recolección.

4.1.5 CANAL DE DESCARGA

El canal de descarga es una estructura hidráulica por donde transita el agua que se desperdicia, puesto que no sigue la trayectoria curva que indica el efecto COANDA.

Por facilidad de construcción el canal, fue revestido de hormigón.



Fotografía 4.6: Canal de descarga.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de la obra de toma con efecto COANDA, se basó en las condiciones físicas del terreno en la cual se construyó. Es por ello que las dimensiones no han sido previamente establecidas mediante matrices de cálculo.

Las variables inmersas en la construcción de la obra de toma son:

- r = radio del vertedero de perfil circular, que por disponibilidad del material y por el medio físico de la construcción es de 10 cm.
- H/r = relación entre la carga sobre el vertedero y el radio del vertedero de perfil circular.
- h_{10° = altura de la lámina de agua cuando sobrepasa el vertedero en su cresta o parte superior.
- h_{245° = altura de la lámina de agua a 45° de la cresta hacia aguas abajo.
- h_{390° = altura de la lámina de agua a 90° de la cresta hacia aguas abajo.
- Q = Medición de caudales con aforo volumétrico. Se aplica generalmente en los laboratorios de hidráulica, ya que solo es funcional para pequeños caudales; sin embargo se pueden implementar también en pequeñas corrientes naturales de agua.

El aforo volumétrico consiste en medir el tiempo que gasta el agua en llenar un recipiente de volumen conocido para lo cual, el caudal es fácilmente calculable con la siguiente ecuación: (Rojas, 2006)

$$Q = \frac{V}{t}$$

- h_c = también denominado orificio en la redacción, este se encuentra a lo largo entre el vertedero y el canal recolector. Su dimensión varía entre 1 cm – 2 cm. Para la construcción se utilizó el promedio, es decir 1.5 cm.
- Ángulo 135° = este ángulo se usa debido a que “la lámina de agua que pasa por sobre el vertedero, para $H/R < 1$, permanece adherida a la superficie del perfil circular hasta llegar a un ángulo de 135° , después de lo cual se desprende” (Arreaga, 2014).

4.3 DISEÑO CONSTRUCTIVO

El diseño de la obra de toma se lo realizó mediante de la disponibilidad física del terreno en el cual se implantó la construcción. Y su esquema previo se hizo en base a la materiales existentes en el lugar.

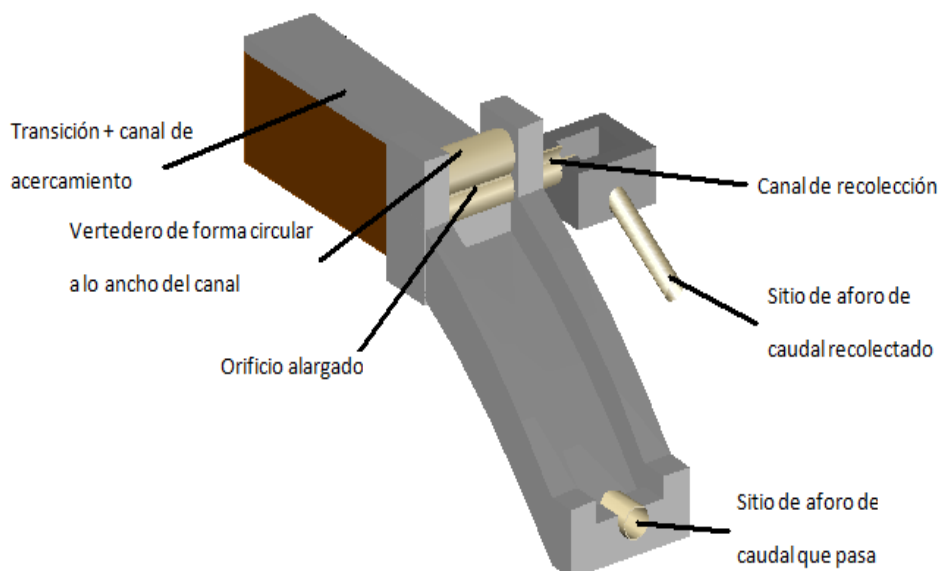


Figura 4.1: Diseño de la obra de toma.

4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES

Previo a realizar una selección de materiales para la construcción de la obra de toma con efecto COANDA, es necesario acudir hacia el sitio para analizar las condiciones del terreno, forma del terreno, donde se construirá la obra de toma. Además de lo mencionado anteriormente es importante considerar que los materiales empleados fueron seleccionados por ser considerados manejables y fáciles de encontrar en la zona de Guayllabamba.

Para construir la obra de toma, primero se limpiará el área de terreno que esta ocupara, también se realizará las excavaciones necesarias para ubicar de manera correcta el canal de recolección y obtener la pendiente adecuada de la obra de toma, para esta excavación se utilizaron herramientas como palas, pico, carretilla y herramienta menor para desalojar el volumen de material que ya no se necesitará, se utilizaron estas herramientas puesto que las excavaciones no representaron altos volúmenes de tierra.



Fotografía 4.7: Herramienta utilizada.

Para proceder con la construcción de la obra de toma se trazarán niveles con piola, los mismos que nos sirvieron para poder levantar las paredes del canal con bloque liviano de dimensiones 40x20x15 cm.



Fotografía 4.8: Piola.

Fotografía 4.9: Bloques livianos 40 x 20 x 15 pared.

El mortero que se utilizó tiene una dosificación 1:5 (un quintal de cemento y cinco parihuelas de arena), el mismo que fue utilizado para revestir la base del canal, revestir la base del canal recolector, para revestir la base del canal de descarga, y para las diferentes tareas.



Fotografía 4.10: Cemento y arena.

Se utilizaron dos tipos de tubería PVC de diferente diámetro para el primer prototipo, para el canal recolector se utilizó un tubo PVC 150 mm de diámetro cortado a media sección, mientras que para el vertedero circular un tubo PVC liso de 200 mm de diámetro. Luego se realizó un segundo prototipo reemplazando el tubo liso PVC, por un tubo corrugado PVC de iguales dimensiones de diámetro.



Fotografía 4.11: Tubo PVC liso de 150 mm de diámetro para el canal recolector.



Fotografía 4.12: Tubo PVC liso de 200 mm de diámetro.



Fotografía 4.13: Tubo PVC corrugado de 200 mm de diámetro para el vertedero.

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo de la obra de toma sumergida con efecto COANDA, se realizó en terrenos localizados en Guayllabamba. Una vez considerado el diseño y la selección de materiales adecuados, se procede con la construcción de la obra de toma sumergida con efecto COANDA.

1. Limpieza y desbroce del área del proyecto.



Fotografía 4.14: Limpieza.

2. Implantación de la obra en el terreno.



Fotografía 4.15: Implantación.

3. Excavación para la ubicación de la obra de toma.



Fotografía 4.16: Excavación.

4. Revestimiento de: la base del canal de acercamiento, la base del canal de descarga, la base del canal recolector.



Fotografía 4.17: Revestimiento al canal de acercamiento.

5. Colocación de bloques que conforman las paredes del canal de acercamiento y de descarga.



Fotografía 4.18: Colocación de bloques.

6. El canal de recolección está constituido por un tubo PVC liso de 150mm de diámetro cortado a media sección, el que se encuentra ubicado bajo el vertedero circular. Cuyo objetivo es recolectar el flujo que ingresa.



Fotografía 4.19: Colocación del canal de recolección.

7. Para lograr el efecto COANDA se utiliza un tubo PVC liso de 200 mm de diámetro el cual se encuentra ubicado al cambio de pendiente entre el canal de acercamiento y el canal de descarga.



Fotografía 4.20: Colocación tubo PVC liso.

8. Las juntas entre el mortero y el tubo PVC liso de 200 mm, se rellenan con silicón frío, para evitar posibles filtraciones y además para la fácil remoción del tubo. Puesto que posteriormente se realizará un segundo modelo cambiando el tubo PVC liso a tubo PVC corrugado de dimensiones semejantes. Para obtener las alturas de la lámina de agua, los tubos fueron graduados a 0° , 45° , 90° y 135° .



Fotografía 4.21: Colocación tubo PVC corrugado.

9. Canal de salida del Caudal captado, se lo construyó con un pequeño pedazo de tubería de 150 mm, adicional se hizo un cajón de hormigón donde repose el caudal colectado.



Fotografía 4.22: Canal de salida.

4.6 DIMENSIONES FINALES

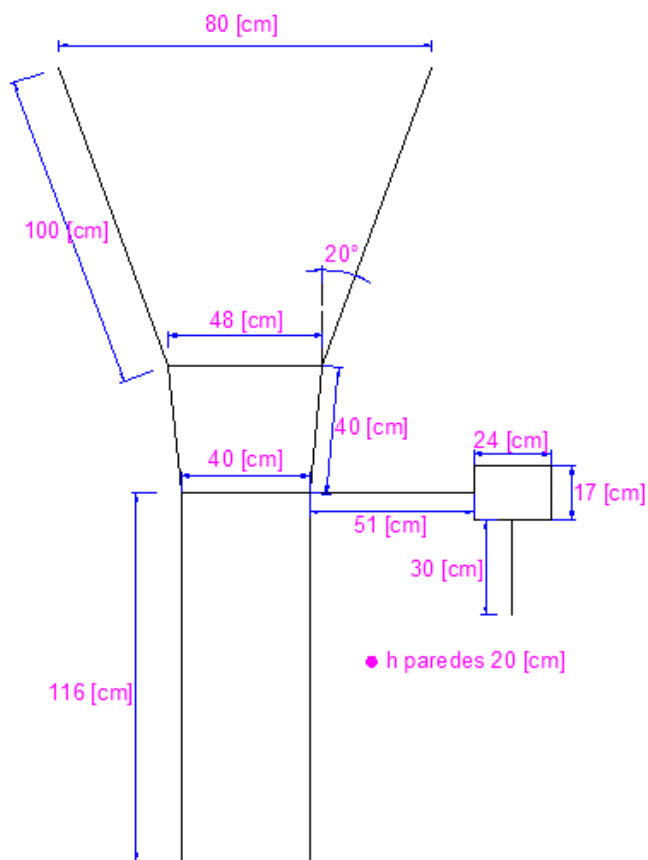


Figura 4.2: Dimensiones finales de la obra de toma.

4.7 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para corroborar el correcto funcionamiento de la obra de toma, se realizaron dos pruebas de funcionamiento:

- Prueba de infiltración
- Prueba de comprobación del efecto COANDA

En la primera prueba se busca determinar que no existan posibles filtraciones de agua entre el canal de acercamiento y el vertedero conformado por el tubo PVC,

puesto que estas pérdidas pueden resultar significativas para la toma de datos del caudal. Por esta razón como medida prevención, se coloca silicón fría en la junta. Al dejar el paso libre del agua se pudo comprobar que no se dieron tales infiltraciones, funcionando de manera correcta.

En la segunda prueba se observó que al pasar el agua por el vertedero, el efecto COANDA que se buscaba, se cumplió. Dando como resultado que la lámina de agua se adhiere a la superficie curva, mientras que la mayoría de los sólidos y material flotante se separan y van hacia el canal de descarga.

CAPÍTULO 5

INVESTIGACIÓN

5.1 TOMA DE DATOS EN EL PROTOTIPO

5.1.1 PROCEDIMIENTOS

Luego de confirmar el adecuado funcionamiento de la obra de toma de agua con efecto COANDA, se realizó cuatro ensayos para la toma de datos:

- Tuvo PVC liso
 1. Determinar caudales a través del canal de descarga.
 2. Determinar caudales a través del canal de recolección.
- Tuvo PVC corrugado
 1. Determinar caudales a través del canal de descarga.
 2. Determinar caudales a través del canal de recolección.

Adicionalmente es importante recalcar que la toma de datos se realizó con caudales máximos, regulares y mínimos. Esto se logró mediante el control manual del paso de agua hacia la obra de toma. A más de ello se tomaron datos de la altura “H” de la carga en el canal de ingreso y también se toman datos de la altura de la lámina de agua a diferentes grados marcados en el tubo PVC; 0°, 45° y 90°.

5.1.2 OBTENCIÓN DE DATOS

Se realizaron dos prototipos para comparación entre sí, el primero con vertedero de perfil circular liso y el segundo, corrugado.

Para la obtención de datos, se basa en la lectura de los siguientes parámetros; que se muestran en una tabla a continuación.

PRUEBA CON TUBO LISO

- Datos de tubo PVC liso, para ancho de vertedero de 40 cm
1. Tomar lectura del “H” de la carga en el canal de entrada, en los dos extremos izquierda “Hi” y derecha “Hd”.
 2. Determinar el tiempo en que se llena un recipiente de 23.5 lt., del canal de descarga.
 3. Determinar el tiempo en que se llena un recipiente de 23.5 lt., del canal recolector.
 4. Obtener las lecturas de la lámina a los diferentes ángulos 0° , 45° y 90° del vertedero circular, previamente marcados. Y de igual manera en ambos extremos izquierdo y derecho.

Tabla No. 5.1

Primer toma de datos, tubo PVC liso.

#	Hi	Hd	\hat{H} [cm]	\hat{H} [m]	\hat{H}/r	Tiempo		vol. [lt]	h1 0°		$\hat{h}1$ [cm]	h2 45°		$\hat{h}2$ [cm]	h3 90°		$\hat{h}3$ [cm]
	[cm]	[cm]				1 [s]	2 [s]		i	d		i	d		i	d	
1	3.5	3.4	3.45	0.03	0.345	4.36	30.68	23.5	1.9	2.2	2.05	0.9	0.5	0.7	0.95	0.8	0.88
2	4.2	4.3	4.25	0.04	0.425	4.19	26.12	23.5	1.6	1.5	1.55	1.1	0.9	1	0.6	0.6	0.6
3	3.5	3	3.25	0.03	0.325	3.79	28.77	23.5	1.5	1.7	1.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7
4	3.1	3.2	3.15	0.03	0.315	4.53	28.2	23.5	1.4	1.6	1.5	0.5	0.4	0.45	0.7	0.65	0.68
5	3	3.1	3.05	0.03	0.305	5.19	27.51	23.5	1	1.2	1.1	0.9	0.5	0.7	0.55	0.5	0.53
6	3	3.1	3.05	0.03	0.305	6.08	29.04	23.5	1.4	1.4	1.4	0.8	0.6	0.7	0.55	0.45	0.5
7	2.9	2.8	2.85	0.03	0.285	5.64	28.47	23.5	1.1	1.2	1.15	0.9	0.8	0.85	0.55	0.5	0.53
8	2.8	2.8	2.8	0.03	0.28	5.74	28.16	23.5	1.1	1.2	1.15	0.8	0.6	0.7	0.4	0.35	0.38
9	3	3	3	0.03	0.3	6.38	28.83	23.5	0.9	1	0.95	1.1	0.9	1	0.4	0.35	0.38
10	2.5	2.4	2.45	0.02	0.245	6.33	28.21	23.5	1	1	1	1.1	1.1	1.1	0.3	0.2	0.25
11	2.5	2.3	2.4	0.02	0.24	6.37	27.12	23.5	0.8	0.9	0.85	1.1	1.2	1.15	0.35	0.4	0.38
12	2.4	2.5	2.45	0.02	0.245	7.05	26.08	23.5	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3	0.4	0.35	0.38
13	2.4	2.2	2.3	0.02	0.23	7.08	25.57	23.5	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7	0.35	0.3	0.33
14	2.5	2.6	2.55	0.03	0.255	6.87	25.8	23.5	0.7	0.7	0.7	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
15	2.5	2.4	2.45	0.02	0.245	7.19	26.17	23.5	1	0.9	0.95	0.8	0.8	0.8	0.45	0.45	0.45
16	2.6	2.5	2.55	0.03	0.255	7.19	27.13	23.5	0.9	0.8	0.85	0.3	0.4	0.35	0.4	0.35	0.38
17	2.5	2.5	2.5	0.03	0.25	6.88	28.13	23.5	1	0.9	0.95	0.3	0.4	0.35	0.4	0.4	0.4
18	2.3	2.4	2.35	0.02	0.235	7.17	26.46	23.5	1	0.9	0.95	0.3	0.4	0.35	0.4	0.4	0.4
19	2.5	2.4	2.45	0.02	0.245	6.63	26.11	23.5	0.9	0.9	0.9	0.9	1	0.95	0.5	0.35	0.43
20	2.4	2.5	2.45	0.02	0.245	7.24	27.19	23.5	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.85	0.6	0.45	0.53
21	2.5	2.5	2.5	0.03	0.25	7.46	26.53	23.5	0.9	1	0.95	0.7	0.7	0.7	0.3	0.4	0.35

Tabla No. 5.2

Segunda toma de datos, tubo PVC liso, 20 muestras.

#	Hi		Hd		\hat{H}		\hat{H}/r	Tiempo		vol.	h1 0°		$\hat{h}1$	h2 45°		$\hat{h}2$	h3 90°		$\hat{h}3$
	[cm]	[cm]	[cm]	[m]	1 [s]	2 [s]		[lt]	i		d	[cm]		i	d		[cm]	i	
1	1.4	1.5	1.45	0.01	0.145	18.2	31.43	23.5	0.4	0.5	0.45	0.3	0.3	0.3	0.3	0.33	0.31		
2	1.4	1.6	1.5	0.02	0.15	18.18	32.22	23.5	0.5	0.4	0.45	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.28		
3	1.4	1.6	1.5	0.02	0.15	14.15	39.42	23.5	0.4	0.5	0.45	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.25		
4	1.2	1.3	1.25	0.01	0.125	25.96	43.03	23.5	0.4	0.3	0.35	0.2	0.2	0.2	0.25	0.15	0.2		
5	1.2	1.2	1.2	0.01	0.12	24.74	35.19	23.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
6	1.1	1.2	1.15	0.01	0.115	26.83	31.41	23.5	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.2	0.23		
7	1.1	1.1	1.1	0.01	0.11	26.87	34.18	23.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
8	1.8	1.8	1.8	0.02	0.18	11	41.11	23.5	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.55	0.4	0.48		
9	1.8	1.8	1.8	0.02	0.18	11.21	41.7	23.5	0.7	0.6	0.65	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.35		
10	1.7	1.7	1.7	0.02	0.17	11.29	43.83	23.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.4	0.25	0.33		
11	1.8	1.8	1.8	0.02	0.18	11.86	41.36	23.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.33	0.2	0.26		
12	1.7	1.7	1.7	0.02	0.17	12.89	36.24	23.5	0.6	0.5	0.55	0.5	0.45	0.48	0.25	0.25	0.25		
13	1.6	1.6	1.6	0.02	0.16	13.45	36.41	23.5	0.5	0.4	0.45	0.4	0.4	0.4	0.35	0.25	0.3		
14	1.5	1.5	1.5	0.02	0.15	15.09	33.81	23.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.25		
15	1.5	1.5	1.5	0.02	0.15	18.02	33.66	23.5	0.4	0.3	0.35	0.2	0.2	0.2	0.25	0.2	0.23		
16	1.5	1.4	1.45	0.01	0.145	19.04	32.99	23.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.25	0.2	0.15	0.18		
17	1.2	1.2	1.2	0.01	0.12	33.01	30.47	23.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.1	0.18		
18	1	1	1	0.01	0.1	39.21	29.59	23.5	0.2	0.3	0.25	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.13		
19	1	1	1	0.01	0.1	41.05	29.59	23.5	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15		
20	0.9	0.9	0.9	0.01	0.09	41.51	42.16	23.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1		

Tabla No. 5.3

Tercera toma de datos, tubo PVC liso, 7 muestras.

#	Hi	Hd	\hat{H}	\hat{H}	Tiempo	Tiempo	vol.
	[cm]	[cm]	[cm]	[m]	1 [s]	2 [s]	[lt]
1	4	4	4	0.04	8.25	31.09	23.5
2	2.2	2.2	2.2	0.022	60.14	24.27	23.5
3	5	5.1	5.05	0.051	4.29	23.23	23.5
4	5.5	5.4	5.45	0.055	3.29	23.96	23.5
5	6.1	6	6.05	0.061	2.63	35.74	23.5
6	6.1	6	6.05	0.061	2.1	24	23.5
7	6.1	6	6.05	0.061	2.09	24	23.5

Todos los datos y resultados de las pruebas de tubo PVC liso se encuentran en el anexo A

PRUEBA CON TUBO CORRUGADO

- Datos de tubo PVC corrugado, para un ancho de vertedero de 40 cm.
- 1. Tomar lectura del “H” de la carga en el canal de entrada, en los dos extremos izquierda “Hi” y derecha “Hd”.
- 2. Determinar el tiempo en que se llena un recipiente de 23.5 lt., del canal de descarga.
- 3. Determinar el tiempo en que se llena un recipiente de 23.5 lt., del canal recolector.
- 4. Obtener las lecturas de la lámina a los diferentes ángulos 0° , 45° y 90° en el valle y la cresta del vertedero circular, previamente marcados. Y de igual manera en ambos extremos izquierdo y derecho.

Tabla No. 5.4

Toma de datos, tubo PVC corrugado.

#	Hi	Hd	Ĥ	Ĥ	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	vol. [lt]	h1 0°		ĥ1	h2 45°		ĥ2	h3 90°		ĥ3	
	[cm]	[cm]	[cm]	[m]				i	d	[cm]	i	d	[cm]	i	d	[cm]	
1	7	7	7	0.07	3.31	21.11	23.5	c v	2.5 2.9	2.5 2.9	2.7	0.5 1.8	0.2 0.3	0.7	0.1 0.3	0.1 0.3	0.2
2	7.3	7.3	7.3	0.07	2.72	21.26	23.5	c v	2.5 2.9	2.5 2.9	2.7	1 1.2	0.9 1.2	1.1	0.1 0.4	0.9 0.5	0.5
3	7.2	7.2	7.2	0.07	3.56	22.46	23.5	c v	2 2.5	2 2.5	2.3	0.6 1.1	0.5 1	0.8	1.4 0.5	1.4 0.5	1
4	7	7	7	0.07	4.53	28.2	23.5	c v	1.9 2.2	1.9 2.2	2.1	0.6 1	0.5 1	0.8	0.2 1.1	0.2 1.1	0.7
5	6.8	6.8	6.8	0.07	4.12	23.44	23.5	c v	1.3 2.4	1.4 2	1.8	0.4 1	0.3 1	0.7	0.3 1.2	0.3 1.2	0.8
6	6.5	6.5	6.5	0.07	4.93	22.52	23.5	c v	1.5 2.1	1.6 2.3	1.9	0.3 0.8	0.5 0.8	0.6	1 0.8	0.7 0.5	0.8
7	6.7	6.7	6.7	0.07	4.93	22.52	23.5	c v	1.7 2.2	1.3 2.1	1.8	0.5 1	0.5 1.1	0.8	2 0.2	2 0.2	1.1
8	6.9	6.9	6.9	0.07	4.49	22.29	23.5	c v	1.7 2.2	1.3 2.1	1.8	0.5 1	0.5 1.1	0.8	2 0.2	2 0.2	1.1
9	7	7	7	0.07	3.33	22.61	23.5	c v	1.5 2	1.5 2	1.8	0.5 1.1	0.5 1.1	0.8	1.4 0.8	1.4 0.8	1.1

Todos los datos y resultados de las pruebas de tubo PVC corrugado se encuentran en anexo “B”.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se lo realiza con ayuda del programa informático Excel, para generar los gráficos, ecuación y línea de tendencia.

Se realizaron dos prototipos para comparación entre sí, el primero con vertedero de perfil circular liso y el segundo, corrugado.

5.2.1 TUBO LISO

Se muestra la relación entre el caudal obtenido en el canal de descarga y el cociente entre la altura de la carga de agua sobre el vertedero para el radio del vertedero de perfil circular.

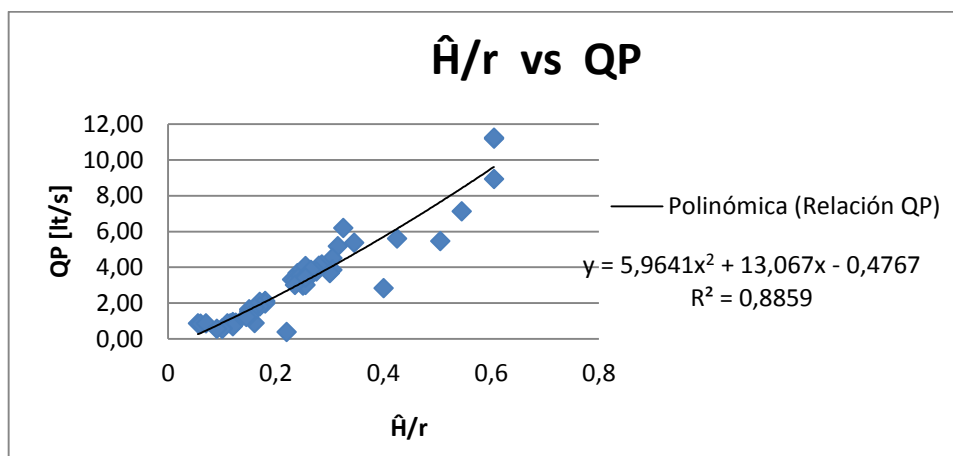


Figura 5.1: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QP

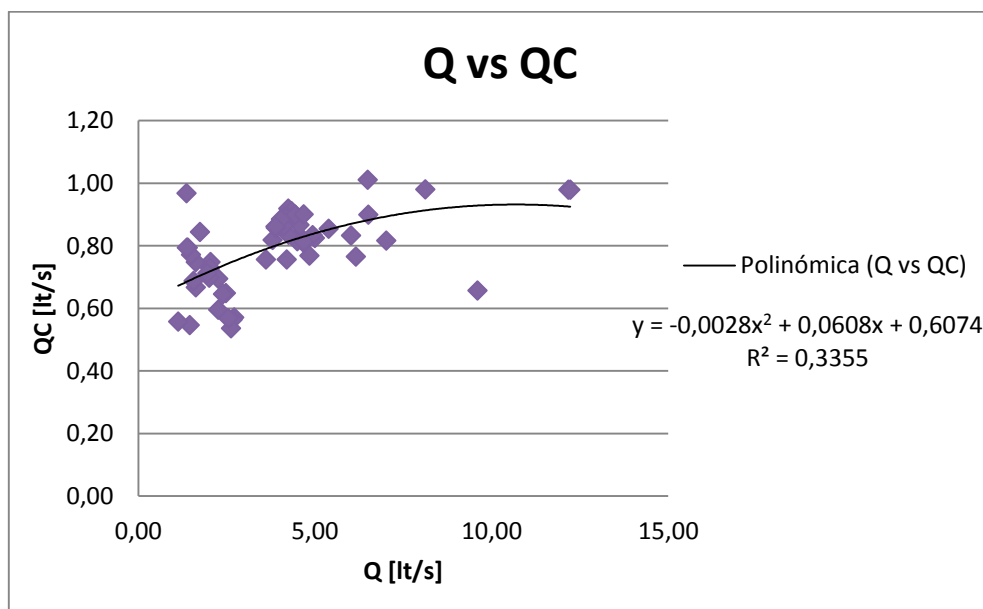


Figura 5.2: Gráfica del Caudal Q vs QC

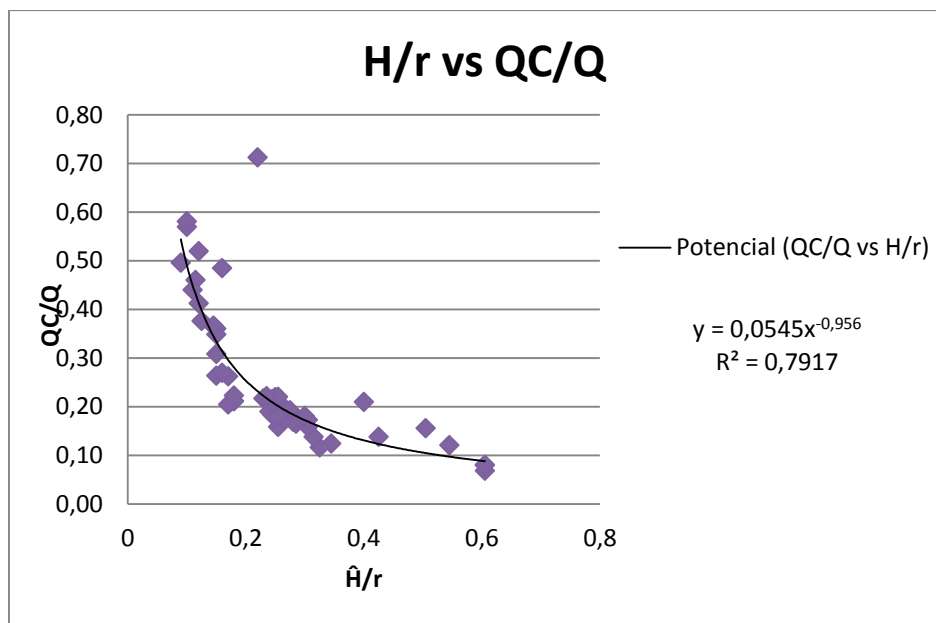


Figura 5.3: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC/Q

Se presenta la relación entre el caudal obtenido en el canal de recolección y el cociente entre la altura de la carga de agua sobre el vertedero para el radio del vertedero del perfil circular.

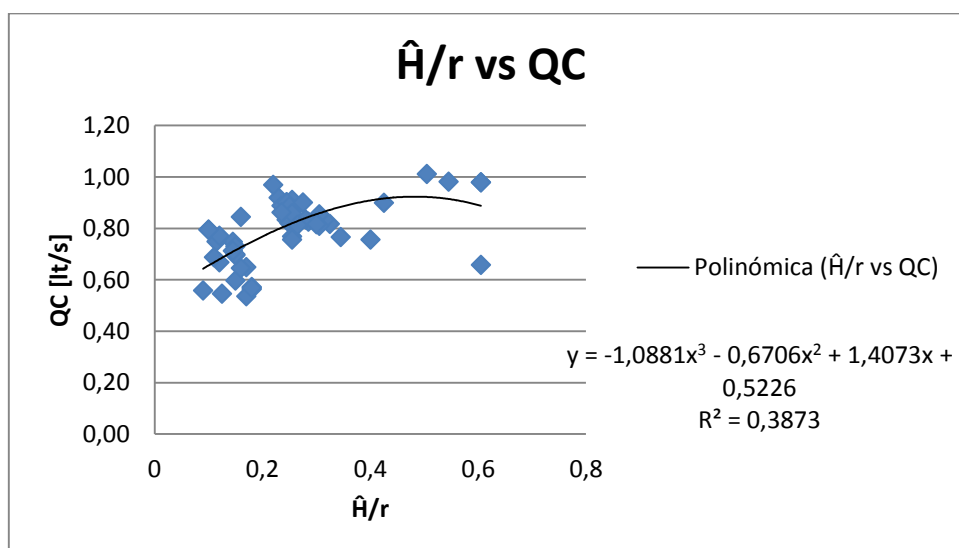


Figura 5.4: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC

Ahora relacionamos el caudal total obtenido entre el canal de descarga más el canal recolector y la altura promedio de la carga de agua sobre el vertedero.

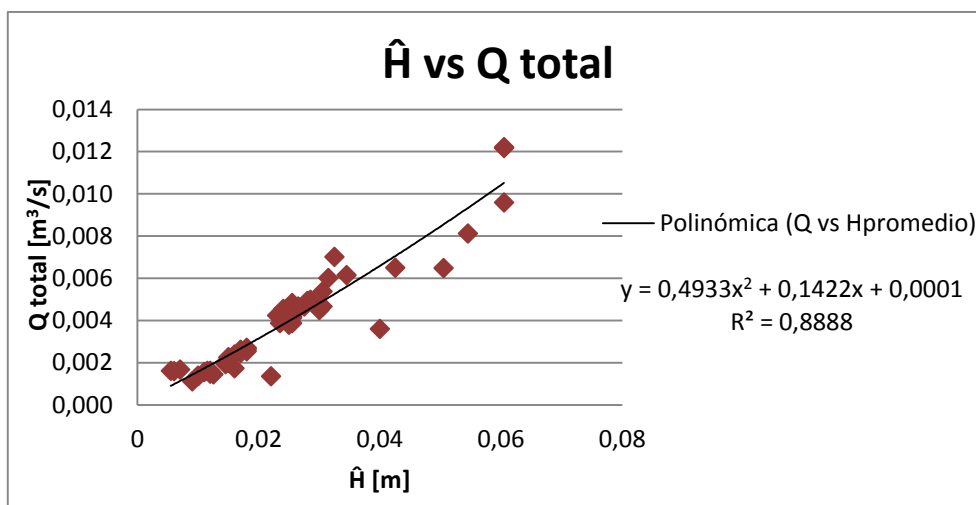


Figura 5.5: Gráfica del Caudal \hat{H} vs Q_{total}

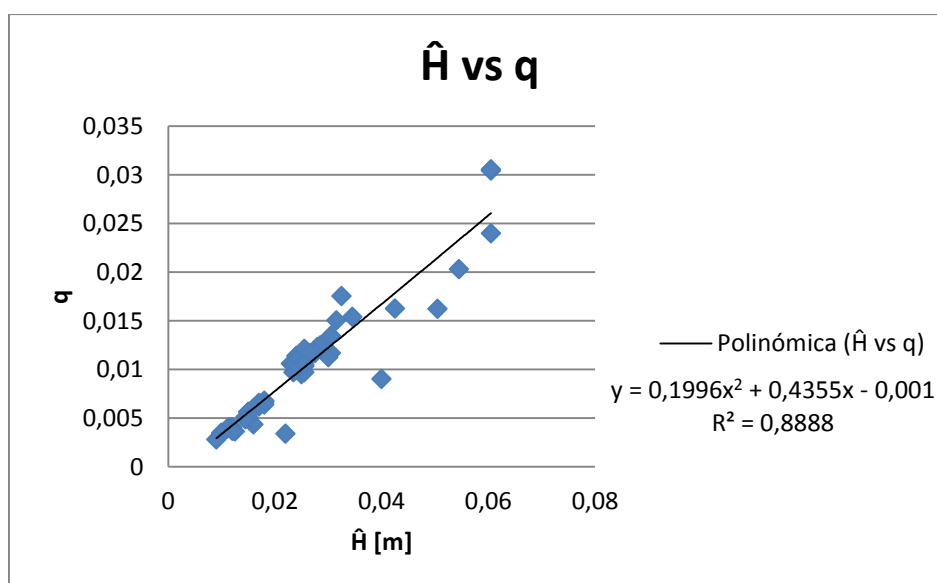


Figura 5.6: Gráfica del Caudal \hat{H} vs q

De la fórmula de $Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}}$, se despeja el coeficiente 'm' y

obtenemos: $m = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}}}$ Y se grafica \hat{H}/r y 'm'.

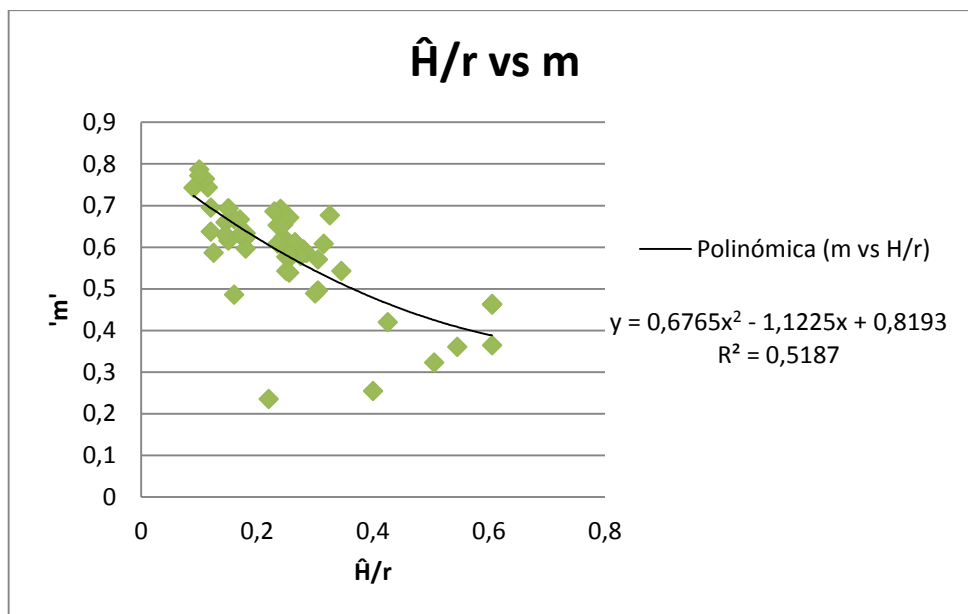


Figura 5.7: Gráfica de \hat{H}/r vs ' m '

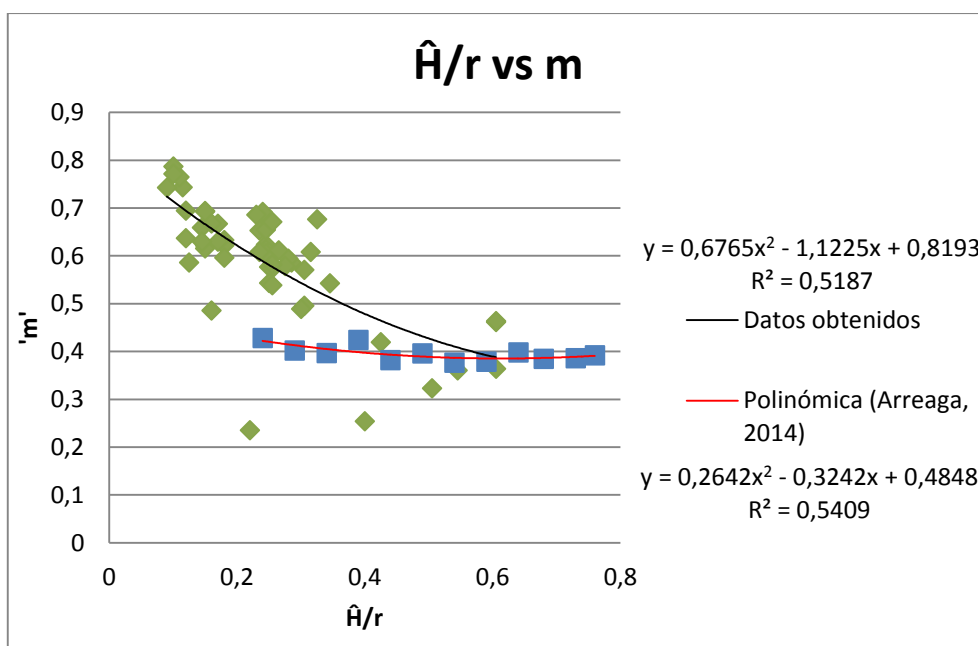


Figura 5.8: Gráfica de \hat{H}/r vs ' m ', comparación con tesis de Arreaga

Se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en cero grados (0°).

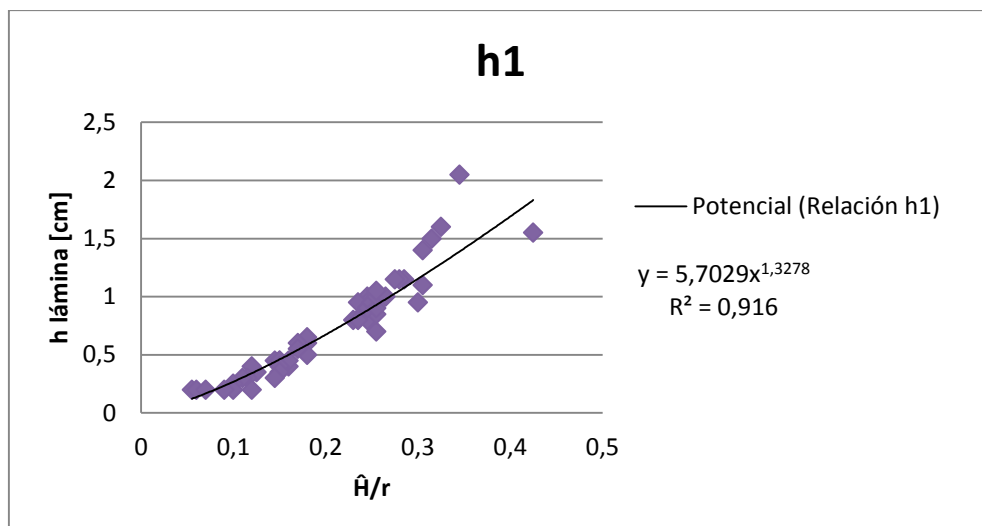


Figura 5.9: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina}} 0^\circ$

También se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en 45° .

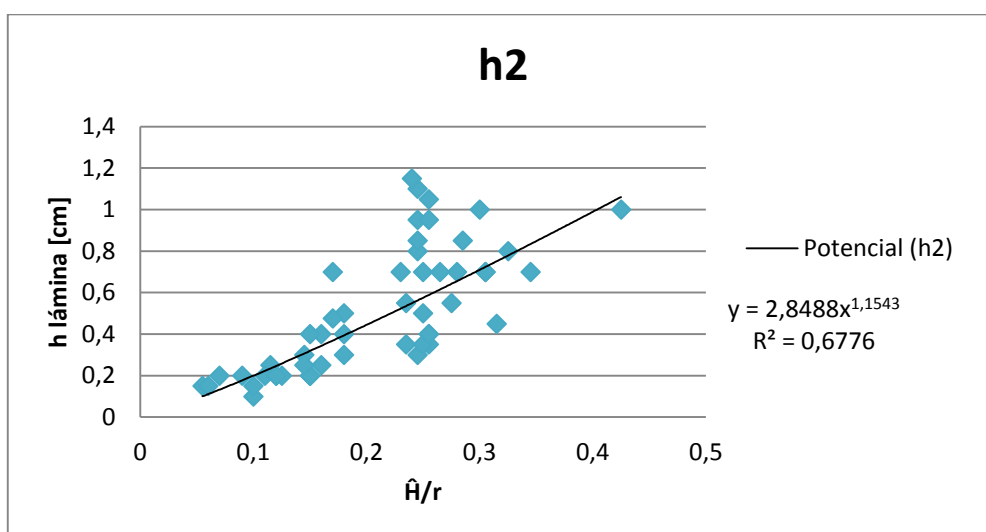


Figura 5.10: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina}} 45^\circ$

También se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en 90° .

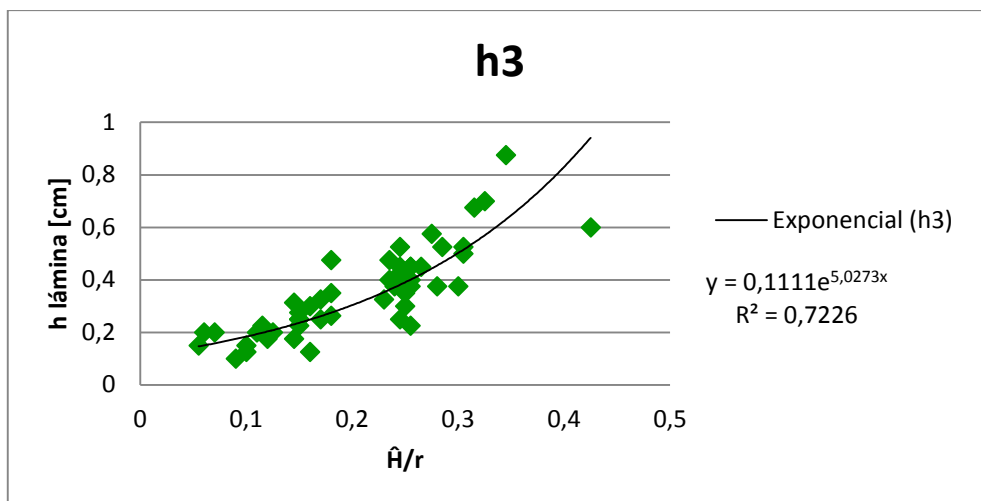


Figura 5.11: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina } 90^\circ}$

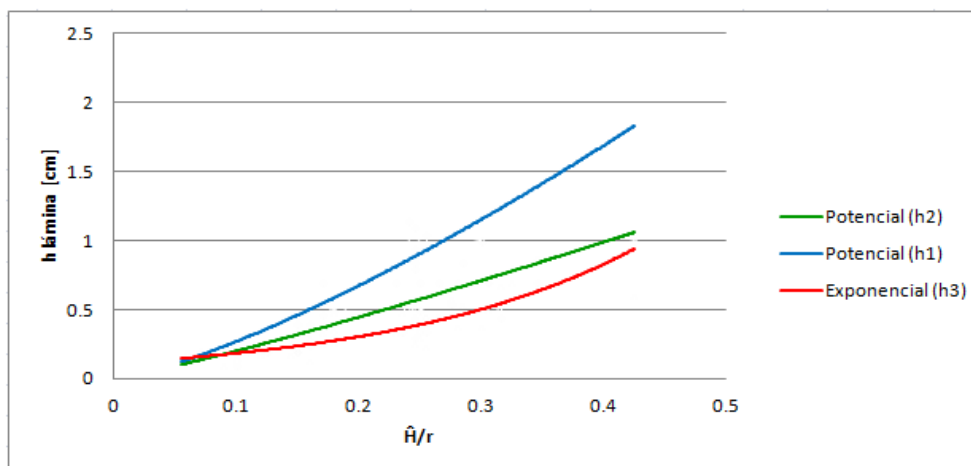


Figura 5.12: Gráfica de \hat{H}/r vs h_1 , h_2 y h_3

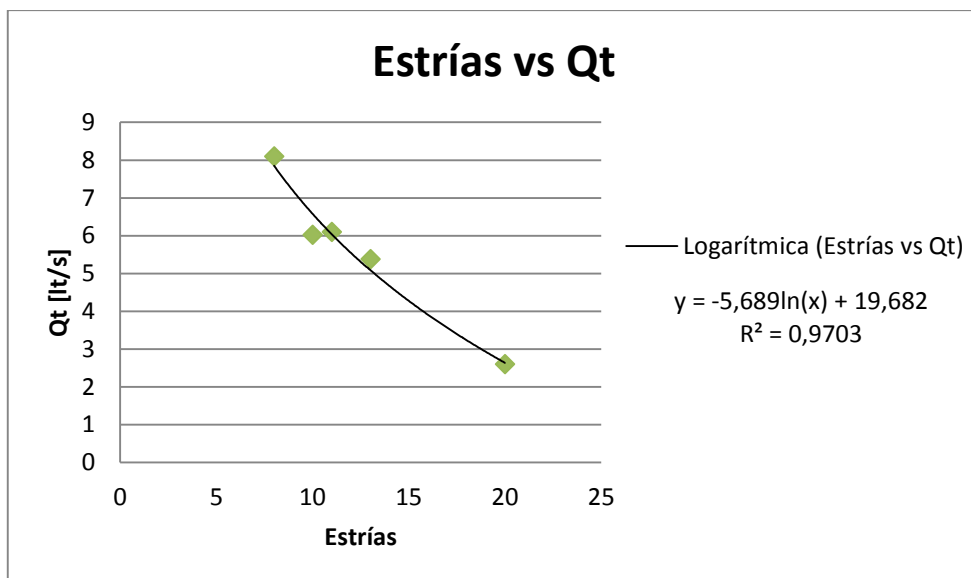


Figura 5.13: Gráfica de Estrías vs Qt



11 Estrías para un Qt = 6.1 [lt/s]

20 Estrías para un Qt = 2.6 [lt/s]

Fotografía 5.1: Estrías formadas.

5.2.2 TUBO CORRUGADO

Se muestra la relación entre el caudal obtenido en el canal de descarga y el cociente entre la altura de la carga de agua sobre el vertedero para el radio del vertedero de perfil circular.

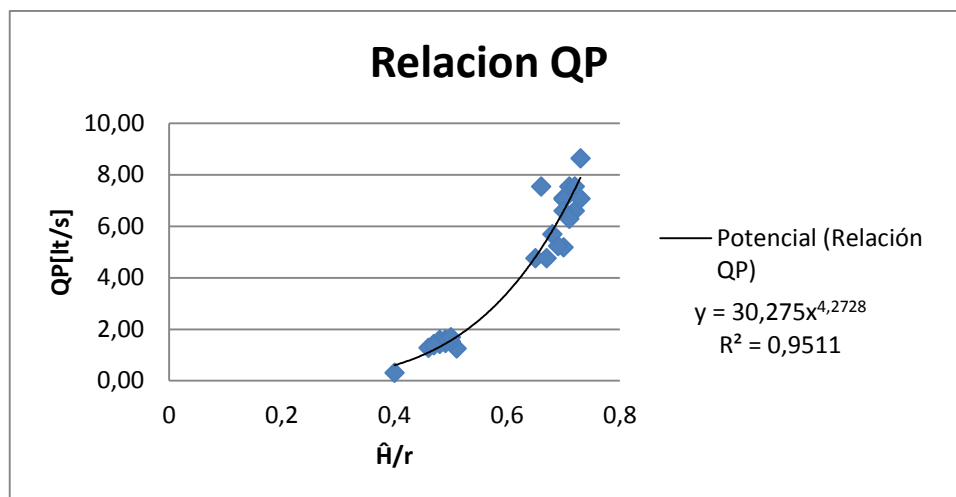


Figura 5.14: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QP

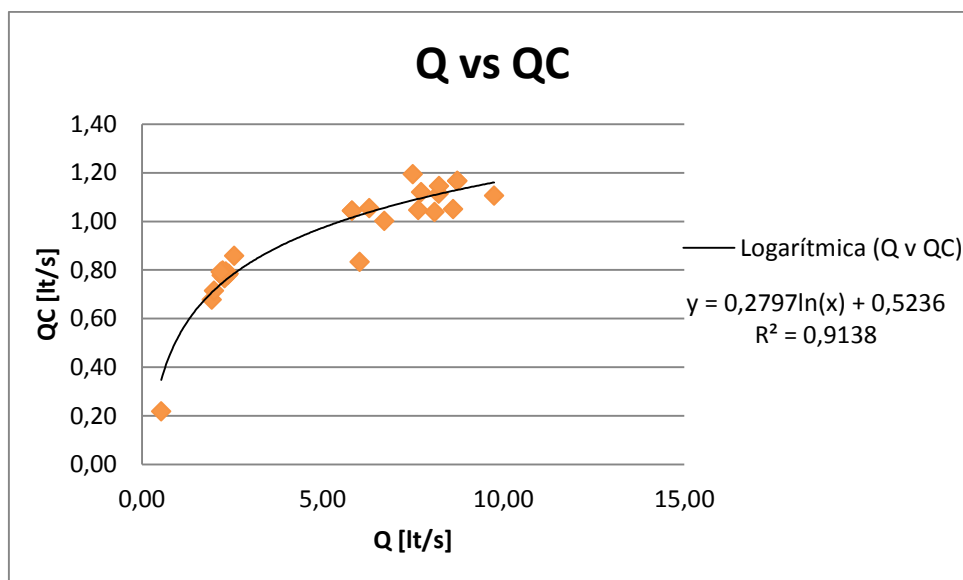


Figura 5.15: Gráfica del Caudal Q vs QC

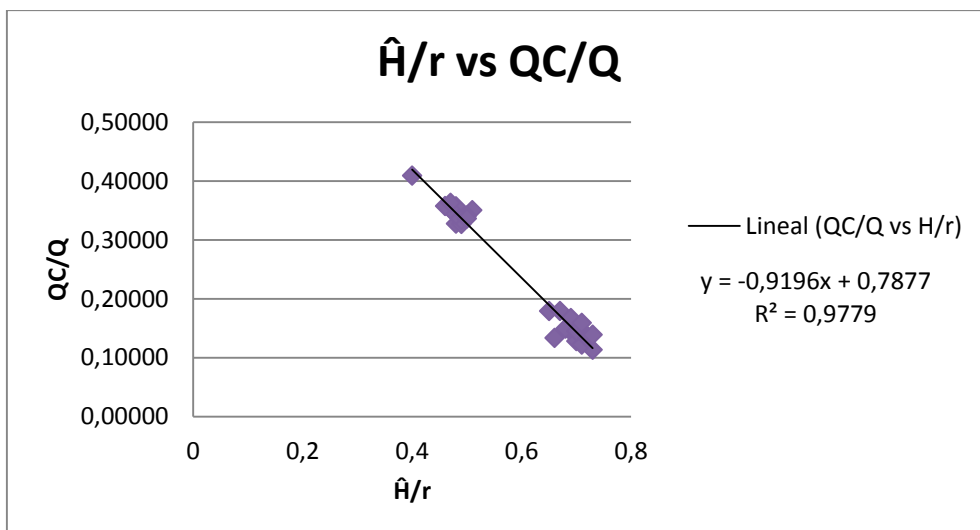


Figura 5.16: Gráfica \hat{H}/r vs QC/Q

Se presenta la relación entre el caudal obtenido en el canal de recolección y el cociente entre la altura de la carga de agua sobre el vertedero para el radio del vertedero de perfil circular.

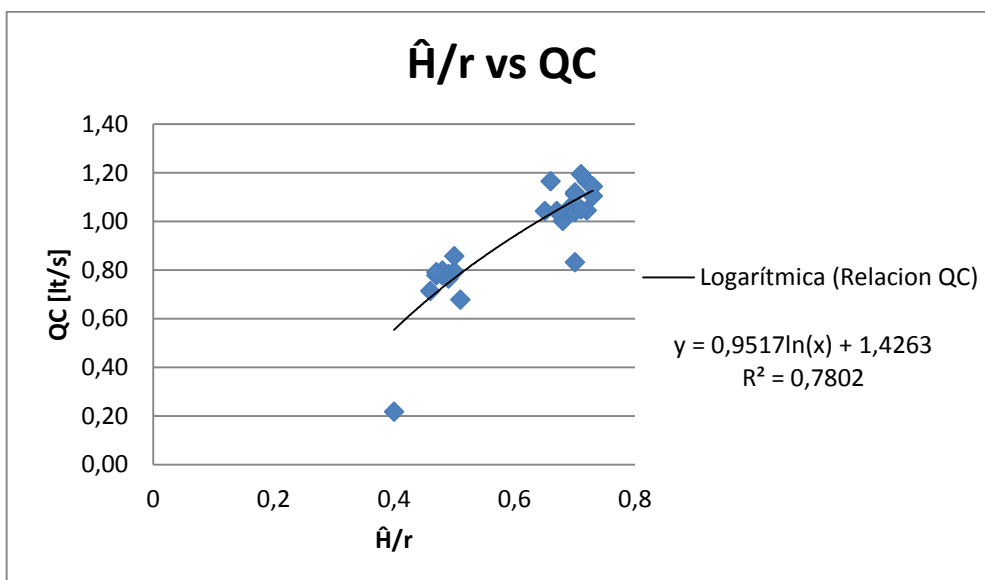


Figura 5.17: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs QC

Ahora relacionamos el caudal total obtenido entre el canal de descarga más el canal recolector y la altura promedio de la carga de agua sobre el vertedero.

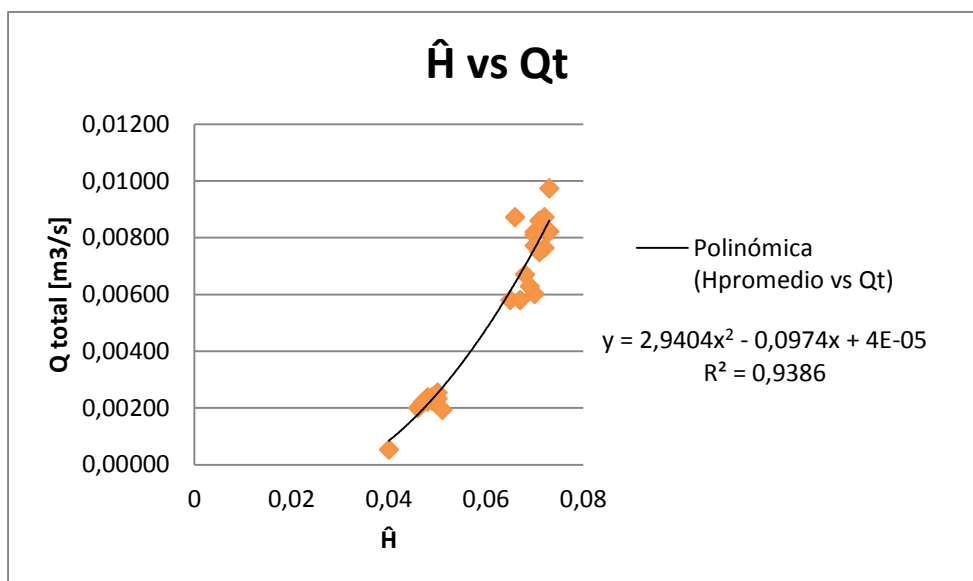


Figura 5.18: Gráfica del Caudal \hat{H} vs Q_{total}

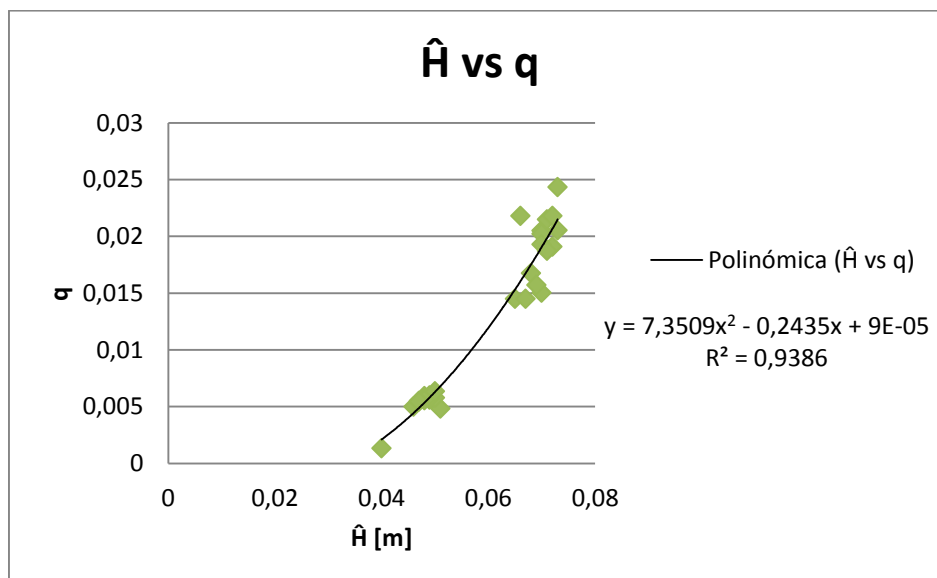


Figura 5.19: Gráfica del Caudal \hat{H} vs q

De la fórmula de $Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}}$, se despeja el coeficiente 'm' y

obtenemos: $m = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}}}$ Y se grafica \hat{H}/r y 'm'.

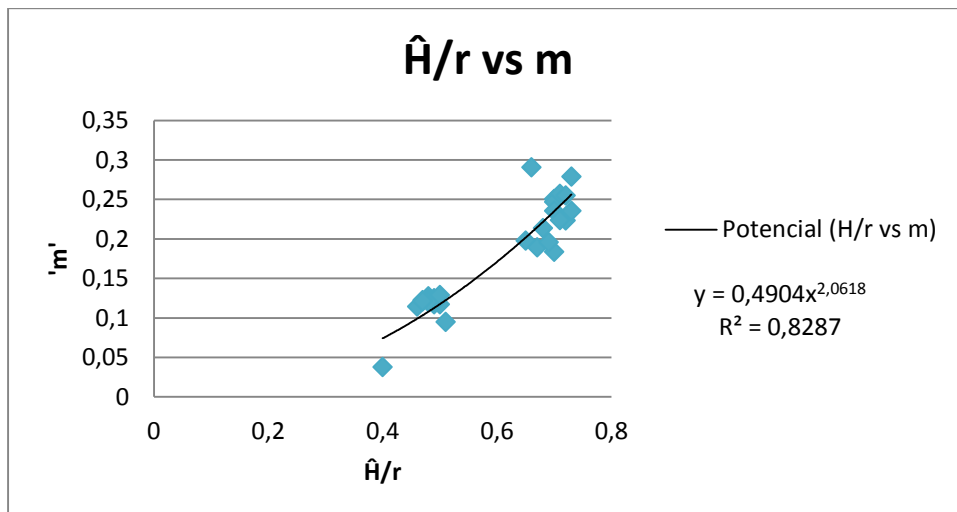


Figura 5.20: Gráfica del Caudal \hat{H}/r vs m

Se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en cero grados (0°).

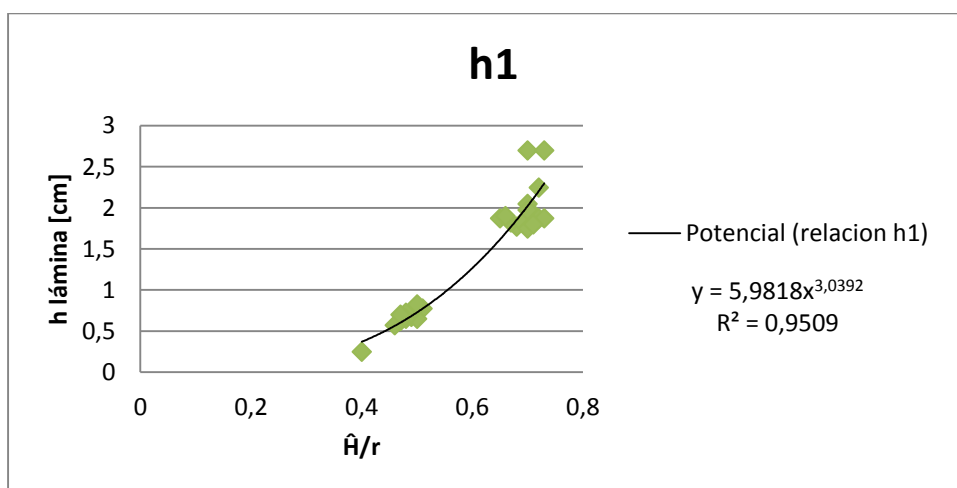


Figura 5.21: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina } 0^\circ}$

También se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en 45° .

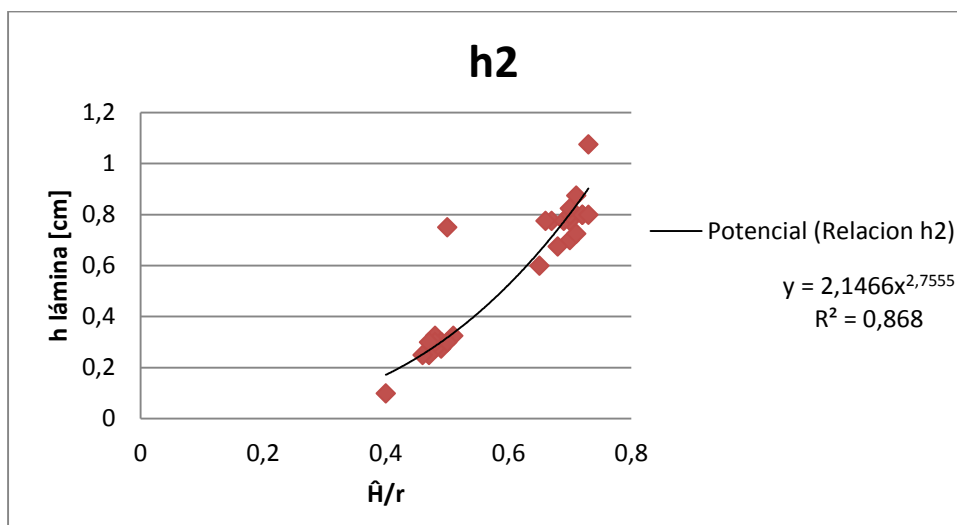


Figura 5.22: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina } 45^\circ}$

También se realiza la toma de datos de la altura de la lámina en el tubo liso, el cual previamente se marcó en 90° .

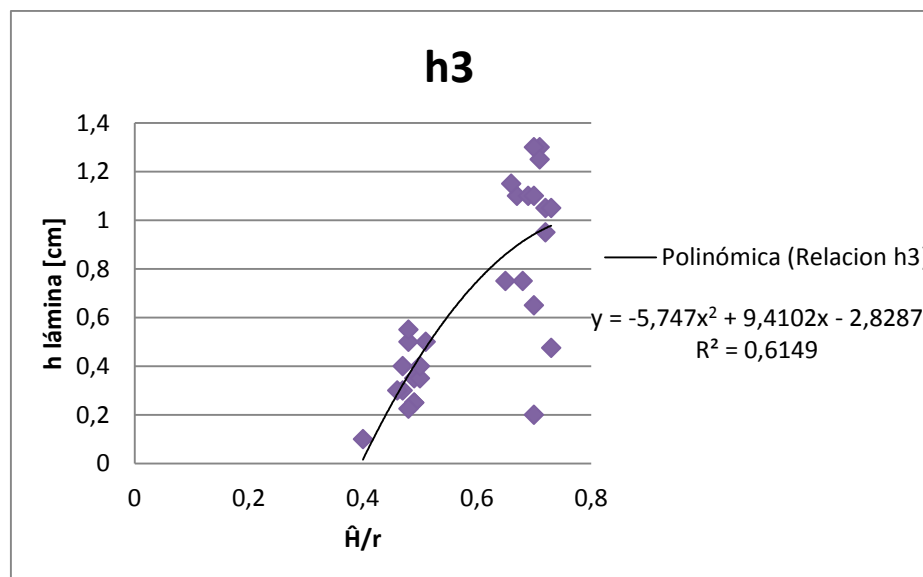


Figura 5.23: Gráfica de \hat{H}/r vs $h_{\text{lámina } 90^\circ}$

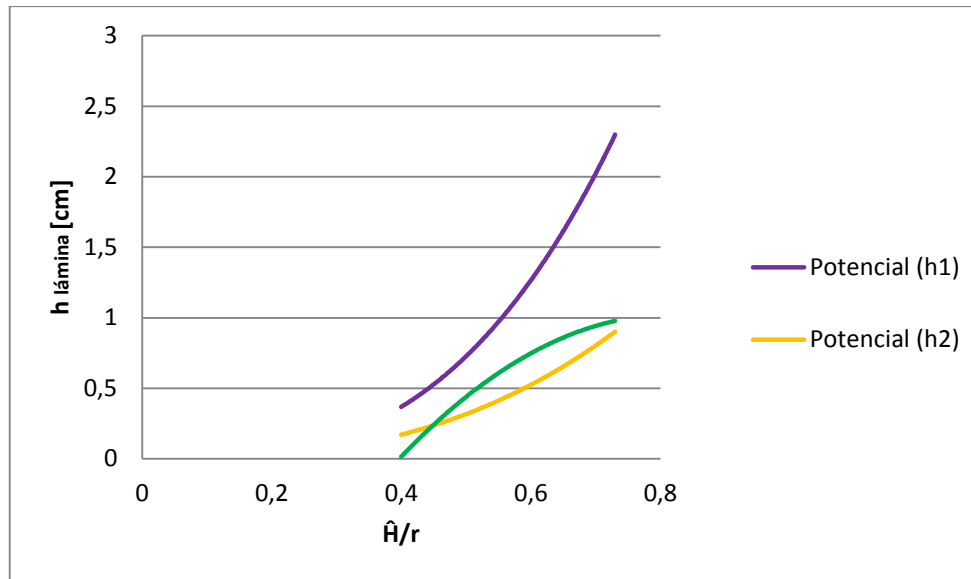


Figura 5.24: Gráfica de \hat{H}/r vs h_1, h_2 y h_3

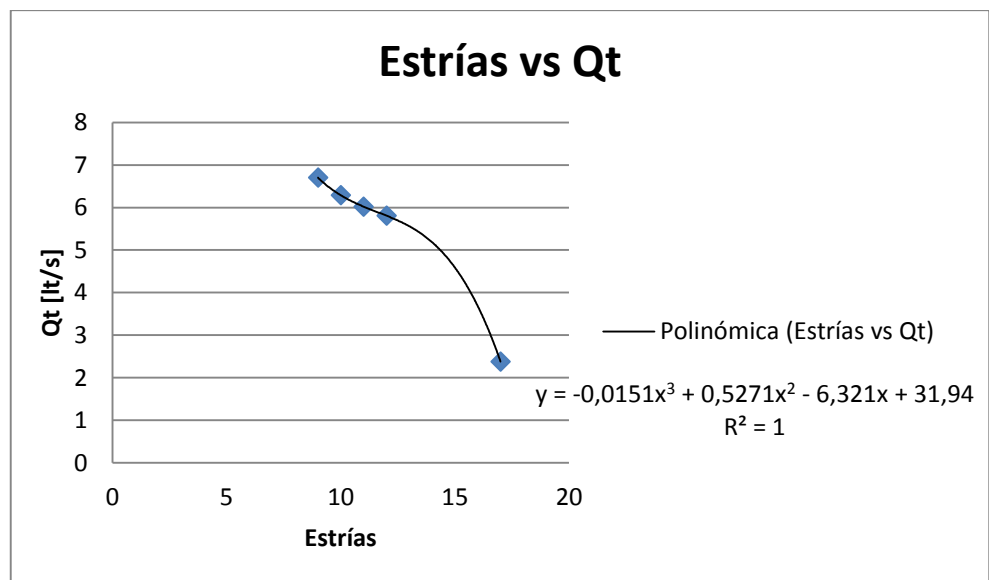


Figura 5.25: Gráfica Estrías vs Q_t



17 Estrías para un $Q_t = 2.38$ [lt/s]

10 Estrías para un $Q_t = 6.3$ [lt/s]

Fotografía 5.2: Estrías formadas.

5.2.3 SEDIMENTACIÓN

Para la determinación del porcentaje de sólidos que arrastra se tomó una muestra de cada caudal QP y QC en tubo liso y QP y QC tubo corrugado, caudales de descarga y recolectados, respectivamente. En una botella de 5.0 [lt] y se realizó el ensayo de hidrometría en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Los datos que se obtuvieron se presentan a continuación.

a) QC tubo liso, Caudal Captado.

Consideraciones y datos adicionales:

- R_{cp} = Lectura corregida del hidrómetro para el cálculo del porcentaje que pasa.
- R_{cl} = Lectura corregida para la determinación de la longitud efectiva.
- R = Lectura del hidrómetro.
- L = Longitud efectiva.
- Corrección por menisco $F_m = 1$

- Corrección anti-floculante = 3
- Gravedad específica de los sólidos $G_s = 2.5$
- Corrección por la gravedad específica $a = 1.04$
- Peso suelo seco $W_s = 11.94$ g.
- Volumen = 5 [lt]
- Concentración = $\frac{12}{5000} = \frac{2.4}{1000}$

Gravedad Específica G_s	Constante α
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1
2.55	1.02
2.45	1.05
2.35	1.08

Figura 5.26: Gravedad específica y constante a

Fuente: (INVE-124-07)

Tabla 5.5

Ensayo de hidrometría en el QC, tubo liso, Caudal captado

Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Corrección Temp.	Lec. R	Rcp	% que pasa	Rcl	L [cm]	Actividad	D [mm]	% que pasa	
0.5	20.6	0.3	11	8.3	72.29	12	14	0.014	0.07	12.048	100
1	20.6	0.3	10	7.3	63.58	11	14	0.014	0.05	0	87.952
2	20.6	0.3	10	7.3	63.58	11	14	0.014	0.04	0	87.952
4	20.6	0.3	10	7.3	63.58	11	14	0.014	0.03	12.048	87.952
8	20.6	0.3	9	6.3	54.87	10	15	0.014	0.02	6.0241	75.904
15	20.6	0.3	8.5	5.8	50.52	10	15	0.014	0.01	5.4217	69.88
30	20.8	0.35	8	5.35	46.6	9	15	0.014	0.01	11.446	64.458
60	21	0.4	7	4.4	38.32	8	15	0.014	0.01	3.9157	53.012
120	21.7	0.575	6.5	4.08	35.49	8	15	0.014	0	1.506	49.096
240	21.2	0.45	6.5	3.95	34.41	8	15	0.014	0	0.6024	47.59
480	21	0.4	6.5	3.9	33.97	8	15	0.014	0	4.5181	46.988
1440	21.5	0.525	6	3.53	30.7	7	15	0.014	0	30.704	42.47
T	20.9										

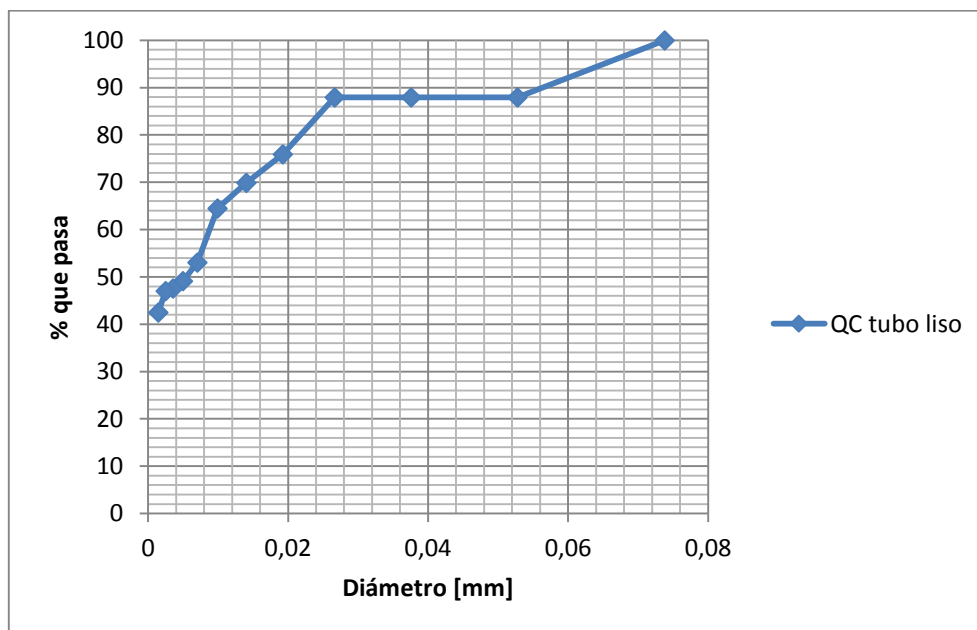


Figura 5.27: Curva Granulométrica de QC, Caudal captado, tubo liso.

b) QP tubo liso, caudal de paso.

Consideraciones y datos adicionales:

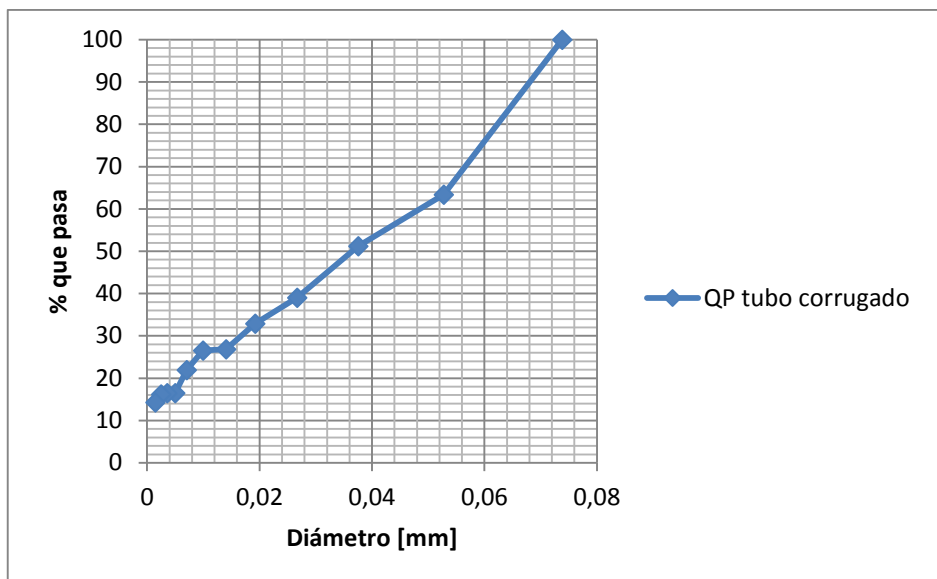


Figura 5.28: Curva Granulométrica de QP, caudal que pasa, tubo liso.

c) QP tubo corrugado, Caudal de paso.

Consideraciones y datos adicionales:

- R_{cp} = Lectura corregida del hidrómetro para el cálculo del porcentaje que pasa.
- R_{cl} = Lectura corregida para la determinación de la longitud efectiva.
- R = Lectura del hidrómetro.
- L = Longitud efectiva.
- Corrección por menisco $F_m = 1$
- Corrección anti-floculante = 5
- Gravedad específica de los sólidos $G_s = 2.5$
- Corrección por la gravedad específica $a = 1.04$
- Peso suelo seco $W_s = 22.67$ g.
- Volumen = 5 [lt]

- $Concentración = \frac{23}{5000} = \frac{4.6}{1000}$

Tabla 5.9

Ensayo de hidrometría en el QP, tubo corrugado, Caudal de paso.

Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Corrección Temp.	Lectura R	Rcp	% que pasa	Rcl	L [cm]	Actividad	D [mm]	% que pasa	
0.5	20.2	0.2	13	8.2	37.618	14	13.7	0.0141	0.074	36.585	100
1	20.2	0.2	10	5.2	23.855	11	14	0.0141	0.053	12.195	63.415
2	20.2	0.2	9	4.2	19.268	10	14.2	0.0141	0.038	12.195	51.22
4	20.2	0.2	8	3.2	14.68	9	14.3	0.0141	0.027	6.0976	39.024
8	20.2	0.2	7.5	2.7	12.386	8.5	14.9	0.0141	0.019	6.0976	32.927
15	20.2	0.2	7	2.2	10.093	8	14.9	0.0141	0.014	0.3049	26.829
30	20.1	0.175	7	2.18	9.9779	8	14.9	0.0141	0.01	4.5732	26.524
60	20.6	0.3	6.5	1.8	8.2576	7.5	15	0.0141	0.007	5.4878	21.951
120	20.8	0.35	6	1.35	6.1932	7	15	0.0141	0.005	0	16.463
240	20.8	0.35	6	1.35	6.1932	7	15.2	0.0141	0.004	0.3049	16.463
480	20.7	0.325	6	1.33	6.0785	7	15.2	0.0141	0.003	1.8293	16.159
1440	20.1	0.175	6	1.18	5.3904	7	15.2	0.0141	0.001	5.3904	14.329
T	20.3583										

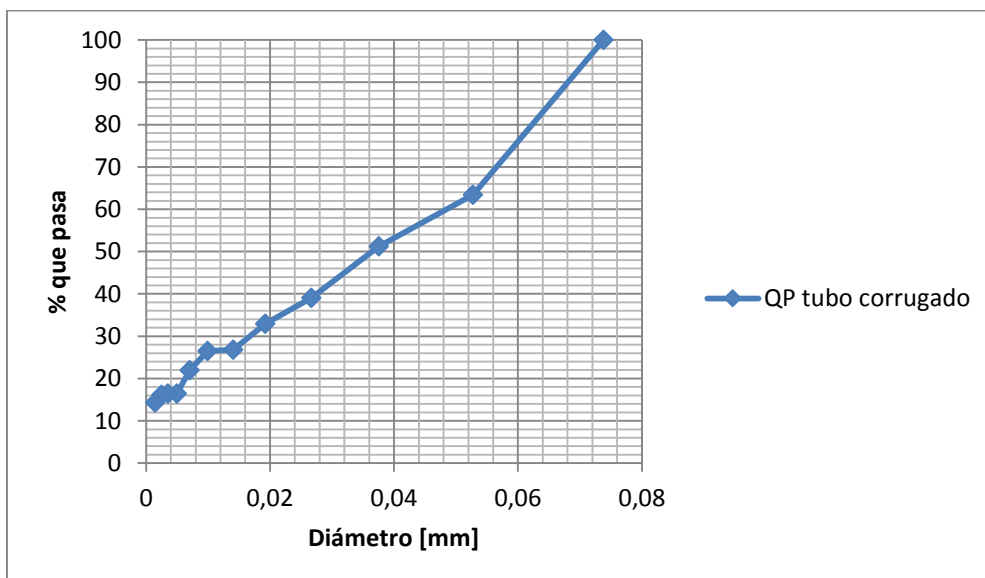


Figura 5.29: Curva Granulométrica de QP, Caudal de paso, tubo corrugado.

d) QC tubo corrugado, Caudal captado.

Consideraciones y datos adicionales:

- Rcp = Lectura corregida del hidrómetro para el cálculo del porcentaje que pasa.
- Rcl = Lectura corregida para la determinación de la longitud efectiva.
- R = Lectura del hidrómetro.
- L = Longitud efectiva.
- Corrección por menisco $F_m = 1$
- Corrección anti-floculante = 5
- Gravedad específica de los sólidos $G_s = 2.5$
- Corrección por la gravedad específica $a = 1.04$
- Peso suelo seco $W_s = 20.08$ g.
- Volumen = 5 [lt]
- Concentración = $\frac{20.08}{5000} = \frac{4}{1000}$

Tabla 5.10

Ensayo de hidrometría en el QC, tubo corrugado, Caudal captado.

Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Corrección Temp.	Lectura R	Rcp	% que pasa	Rcl	L [cm]	Actividad	D [mm]	% que pasa	
0.5	20.2	0.2	8	3.2	16.57	9	13.7	0.014	0.074	15.625	100
1	20.2	0.2	7.5	2.7	13.98	8.5	14	0.014	0.053	0	84.375
2	20.2	0.2	7.5	2.7	13.98	8.5	14.2	0.014	0.038	15.625	84.375
4	20.2	0.2	7	2.2	11.39	8	14.3	0.014	0.027	0	68.75
8	20.2	0.2	7	2.2	11.39	8	14.9	0.014	0.019	0	68.75
15	20.2	0.2	7	2.2	11.39	8	14.9	0.014	0.014	1.5625	68.75
30	20	0.15	7	2.15	11.14	8	14.9	0.014	0.01	10.938	67.188
60	20.6	0.3	6.5	1.8	9.323	7.5	15	0.014	0.007	14.063	56.25
120	20.8	0.35	6	1.35	6.992	7	15	0.014	0.005	14.063	42.188
240	21	0.4	5.5	0.9	4.661	6.5	15.2	0.014	0.004	15.625	28.125
480	21	0.4	5	0.4	2.072	6	15.2	0.014	0.003	7.0312	12.5
1440	20.1	0.175	5	0.18	0.906	6	15.2	0.014	0.001	0.9064	5.4688
τ	20.391 67										

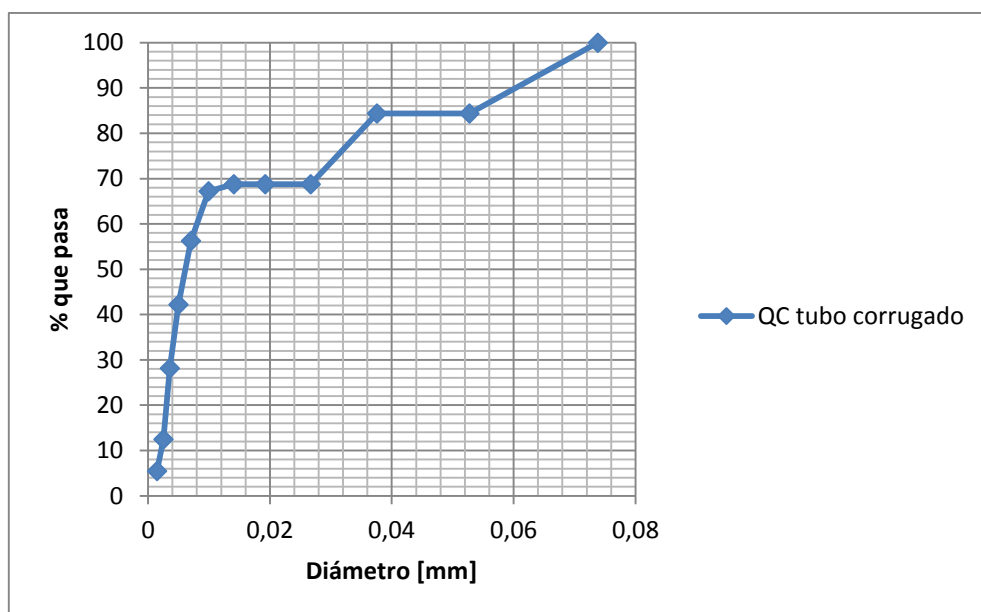


Figura 5.30: Curva Granulométrica de QC, Caudal captado, tubo corrugado.

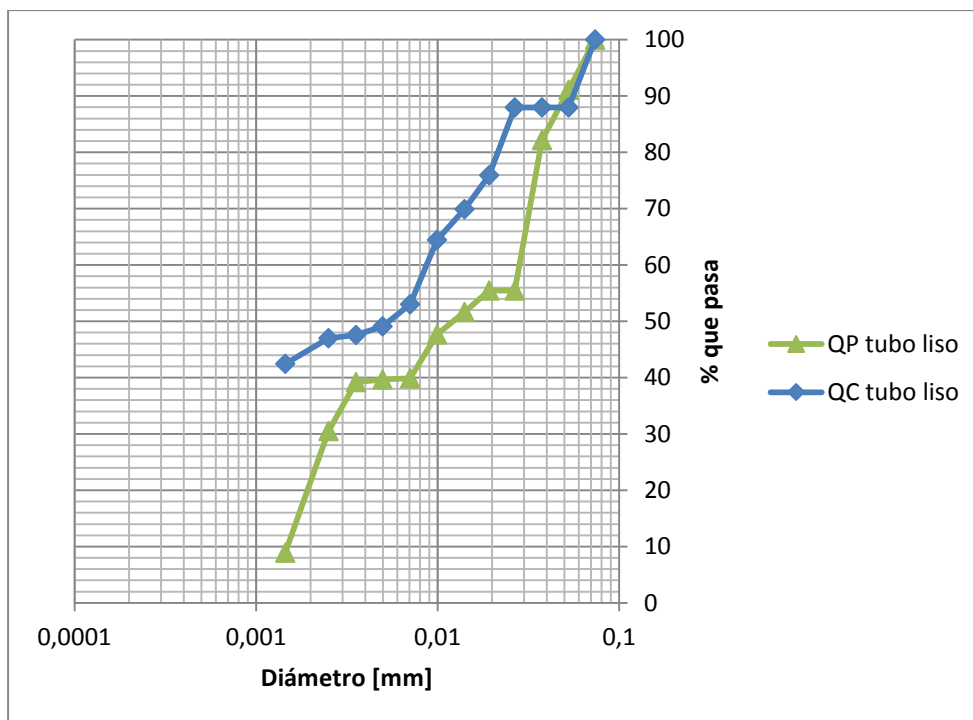


Figura 5.31: Curva Granulométrica de QP y QC, tubo liso.

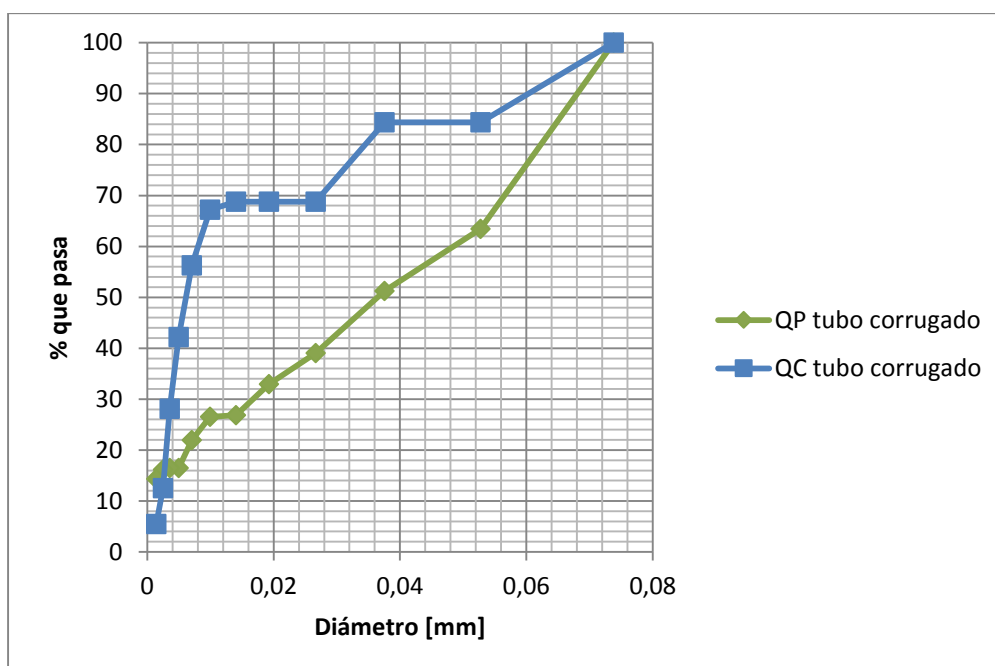


Figura 5.32: Curva Granulométrica de QP y QC, tubo corrugado.

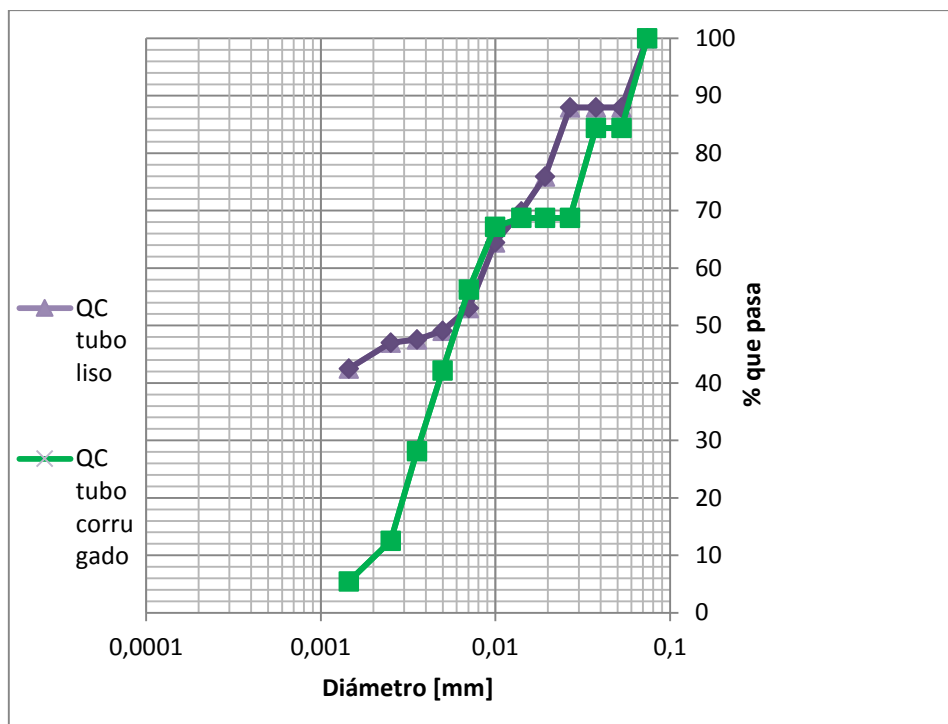


Figura 5.33: Curva Granulométrica Caudales captados, QC.

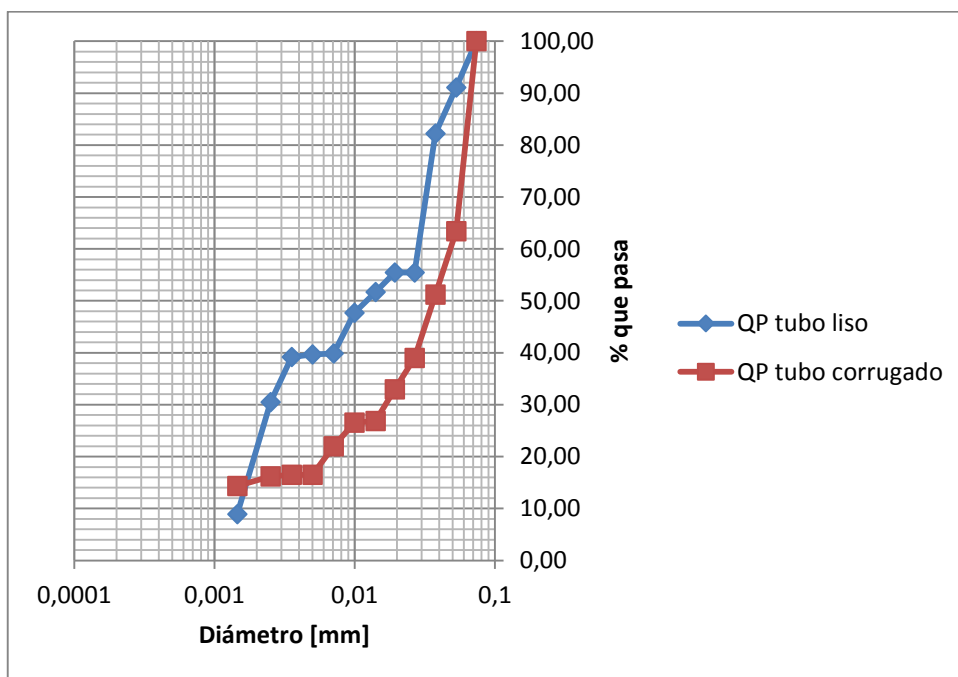


Figura 5.34: Curva Granulométrica Caudales de paso, QP.

5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OBRA DE TOMA DE AGUA SUMERGIDA CON EFECTO COANDA

5.3.1 VENTAJAS DE LA OBRA DE TOMA CON EFECTO COANDA

- Facilidad en la construcción de la obra de toma con efecto COANDA.
- Materiales accesibles para la construcción de la obra de toma.
- Condiciones técnicas poco exigentes (estructura simple).
- Mínimo impacto ambiental al realizar la construcción.
- No requiere una gran diferencia de niveles en la obra de toma.
- Tiempo de construcción menor en comparación con otras obras de toma.
- El Caudal captado se mantiene constante, en su mayoría.
- El mantenimiento de la obra de toma es mínimo y sencillo.
- Para la tubería lisa, menor arrastre de sedimentos en comparación a tubería corrugada.
- Para tubería corrugada se da mayor captación de caudal.
- No se requiere grandes cantidades de lámina para captar flujo.
- No capta material orgánico flotante.
- No capta material como arenas gruesas.
- Reducción en los costos de construcción de obras de toma con efecto COANDA.
- Se recolecta un caudal constante.

5.3.2 DESVENTAJAS DE LA OBRA DE TOMA CON EFECTO COANDA

- Para el tubo corrugado mayor cantidad de arrastre.
- Para grandes caudales se necesita mayor longitud de captación. Suplida mediante la construcción de obras de toma en serie.
- Sin aumentar la longitud de la obra de toma, no es posible aumentar el caudal.

CAPÍTULO 6

CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La teoría del efecto COANDA hasta la presente fecha tiene muy poca aplicación en el área hidráulica, pero sí en otras áreas, por ejemplo la aerodinámica.
- Existen varios tipos de obras de toma, pero las mismas requieren de una gran inversión económica para su diseño, funcionamiento y mantenimiento.
- Para próximas obras de toma con efecto COANDA se deben ajustar los datos con la teoría de semejanza hidráulica.
- La obra de toma de agua sumergida con efecto COANDA que se ha investigado, posee la particularidad de fácil disponibilidad de materiales para su construcción.
- La obra de toma es de fácil construcción debido a su simplicidad técnica.
- Se realizaron pruebas de la obra de toma con efecto COANDA con un vertedero de tubo corrugado, en el que se mejora la captación del caudal, en un 15% en relación con un tubo liso.
- La obra de toma con efecto COANDA que usa el tubo corrugado capta más sedimentos 20.08 g, mientras que la construida con tubo liso 11.94 g. Lo cual corresponde a un 60 % más.
- Las dos obras de toma con efecto COANDA captan sedimentos muy finos que corresponden a menores a 0.07 mm de diámetro.

- La obra de toma investigada no recolecta material orgánico como las hojas de los árboles, ni sólidos en suspensión gruesos.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar más prototipos de obras de toma con efecto COANDA, y seguir acumulando información que sea provechosa para una optimización de la obra propuesta.
- A través de las pruebas realizadas, se aconseja brindar especial cuidado en las infiltraciones que se puedan dar, ya que afectarían de manera significativa a los resultados esperados.
- Es necesario recomendar que las futuras investigaciones sean realizadas con equipo de mayor tecnología que ayude a obtener resultados cada vez más exactos. En laboratorios se podría usar plexiglass y equipos limnimétricos de precisión.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreaga, A. (2014). *ESTUDIO DE UN PERFIL CIRCULAR MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA*. Sangolquí.
- Espinoza, P. A., & Vintimilla, G. E. (2013). *CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICA DE UN TRAMO DEL RÍO CALABÍ EN EL SECTOR DE TOMA UTILIZANDO UN MODELO MATEMÁTICO*. Cuenca.
- Figuroa, A., & Robles, M. (2009). *CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN PRESAS*. Puerto La Cruz.
- Herrera, D. I. (2013). *MEJORAMIENTO HIDRÁULICO AL DESARENADOR Y REJILLA DE LA TOMA CAUCASIANA DEL MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO DEL RÍO ARTURO IMPLEMENTADO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA*. Quito.
- INVE-124-07, N. (s.f.). *ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO*.
- Irwin, S. (2002). *fluidos.eia.edu.co*. Obtenido de [fluidos.eia.edu.co: http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm)
- León, A. E. (2014). *DISEÑO DE UNA PRESA, DE MATERIALES SUELTOS, EN EL RÍO GRANDE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO CHONE*. Sangolquí.
- Miranda, C., & Vaca, I. (2012). *ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPTACIÓN "TIPO COANDA" CON EL USO DE MATERIALES LOCALES*. Sangolquí.

Mosquera, C. (4 de Abril de 2013). *CUENTAVUELTAS.COM*. Obtenido de CUENTAVUELTAS.COM: <http://cuentavueeltas.com/2013/04/04/el-efecto-coanda-en-la-formula-1/>

Novillo, M. (1985). *MANUAL DE DISEÑO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS*. Bucaramanga: Alade.

Rojas, Ó. (2006). *MANUAL BÁSICO PARA MEDIR CAUDALES*.

ANEXOS

Anexo “A”

Datos y resultados de las pruebas con tubo PVC liso.

#	Hi [cm]	Hd [cm]	Ĥ [cm]	Ĥ [m]	Ĥ/r	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	vol. [lt]	QP [lt/s]	QC [lt/s]	Qt [lt/s]	Q [m3/s]	QC/Q	ĥ1 [cm]	ĥ2 [cm]	ĥ3 [cm]	m	Q comp.	Área [m2]	Vel. [m/s]	Ho	m	q
1	3.5	3.4	3.45	0.0345	0.345	4.36	30.68	23.5	5.39	0.77	6.16	0.00616	0.12443	2.05	0.7	0.875	0.542467	0.0061559	0.0538	0.11442	0.035168	0.527085	0.0154
2	4.2	4.3	4.25	0.0425	0.425	4.19	26.12	23.5	5.61	0.90	6.51	0.00651	0.13824	1.55	1	0.6	0.419464	0.0065083	0.057	0.11418	0.043165	0.409806	0.0163
3	3.5	3	3.25	0.0325	0.325	3.79	28.77	23.5	6.20	0.82	7.02	0.00702	0.11640	1.6	0.8	0.7	0.676332	0.0070174	0.053	0.1324	0.033394	0.649343	0.0175
4	3.1	3.2	3.15	0.0315	0.315	4.53	28.2	23.5	5.19	0.83	6.02	0.00602	0.13841	1.5	0.45	0.675	0.608153	0.006021	0.0526	0.11447	0.032169	0.589294	0.0151
5	3	3.1	3.05	0.0305	0.305	5.19	27.51	23.5	4.53	0.85	5.38	0.00538	0.15872	1.1	0.7	0.525	0.570584	0.0053822	0.0522	0.10311	0.031042	0.555695	0.0135
6	3	3.1	3.05	0.0305	0.305	6.08	29.04	23.5	3.87	0.81	4.67	0.00467	0.17312	1.4	0.7	0.5	0.495546	0.0046744	0.0522	0.08955	0.030909	0.48574	0.0117
7	2.9	2.8	2.85	0.0285	0.285	5.64	28.47	23.5	4.17	0.83	4.99	0.00499	0.16535	1.15	0.85	0.525	0.585906	0.0049921	0.0514	0.09712	0.028981	0.571372	0.0125
8	2.8	2.8	2.8	0.028	0.28	5.74	28.16	23.5	4.09	0.83	4.93	0.00493	0.16932	1.15	0.7	0.375	0.594016	0.0049286	0.0512	0.09626	0.028473	0.579282	0.0123
9	3	3	3	0.03	0.3	6.38	28.83	23.5	3.68	0.82	4.50	0.00450	0.18120	0.95	1	0.375	0.488876	0.0044985	0.052	0.08651	0.030382	0.479689	0.0112
10	2.5	2.4	2.45	0.0245	0.245	6.33	28.21	23.5	3.71	0.83	4.55	0.00455	0.18327	1	1.1	0.25	0.669339	0.0045455	0.0498	0.09128	0.024925	0.65229	0.0114
11	2.5	2.3	2.4	0.024	0.24	6.37	27.12	23.5	3.69	0.87	4.56	0.00456	0.19021	0.85	1.15	0.375	0.691909	0.0045557	0.0496	0.09185	0.02443	0.673705	0.0114
12	2.4	2.5	2.45	0.0245	0.245	7.05	26.08	23.5	3.33	0.90	4.23	0.00423	0.21280	0.8	0.3	0.375	0.623527	0.0042344	0.0498	0.08503	0.024869	0.609706	0.0106
13	2.4	2.2	2.3	0.023	0.23	7.08	25.57	23.5	3.32	0.92	4.24	0.00424	0.21685	0.8	0.7	0.325	0.686131	0.0042383	0.0492	0.08614	0.023379	0.669532	0.0106
14	2.5	2.6	2.55	0.0255	0.255	6.87	25.8	23.5	3.42	0.91	4.33	0.00433	0.21028	0.7	0.4	0.4	0.600679	0.0043315	0.0502	0.08629	0.02588	0.587503	0.0108
15	2.5	2.4	2.45	0.0245	0.245	7.19	26.17	23.5	3.27	0.90	4.17	0.00417	0.21553	0.95	0.8	0.45	0.613514	0.0041664	0.0498	0.08366	0.024857	0.60034	0.0104
16	2.6	2.5	2.55	0.0255	0.255	7.19	27.13	23.5	3.27	0.87	4.13	0.00413	0.20950	0.85	0.35	0.375	0.573374	0.0041346	0.0502	0.08236	0.025846	0.561896	0.0103
17	2.5	2.5	2.5	0.025	0.25	6.88	28.13	23.5	3.42	0.84	4.25	0.00425	0.19652	0.95	0.35	0.4	0.607301	0.0042511	0.05	0.08502	0.025369	0.594105	0.0106

18	2.3	2.4	2.35	0.0235	0.235	7.17	26.46	23.5	3.28	0.89	4.17	0.00417	0.21320	0.95	0.35	0.4	0.652974	0.0041657	0.0494	0.08433	0.023863	0.63814	0.0104
19	2.5	2.4	2.45	0.0245	0.245	6.63	26.11	23.5	3.54	0.90	4.44	0.00444	0.20250	0.9	0.95	0.425	0.654469	0.0044445	0.0498	0.08925	0.024906	0.638516	0.0111
20	2.4	2.5	2.45	0.0245	0.245	7.24	27.19	23.5	3.25	0.86	4.11	0.00411	0.21028	0.9	0.85	0.525	0.605229	0.0041101	0.0498	0.08253	0.024848	0.592576	0.0103
21	2.5	2.5	2.5	0.025	0.25	7.46	26.53	23.5	3.15	0.89	4.04	0.00404	0.21948	0.95	0.7	0.35	0.576561	0.0040359	0.05	0.08072	0.025332	0.565249	0.0101
22	2.5	2.5	2.5	0.025	0.25	7.88	28.69	23.5	2.98	0.82	3.80	0.00380	0.21548	0.95	0.5	0.3	0.543048	0.0038013	0.05	0.07603	0.025295	0.533579	0.0095
23	2.5	2.6	2.55	0.0255	0.255	7.76	27.4	23.5	3.03	0.86	3.89	0.00389	0.22071	0.9	0.4	0.225	0.538897	0.003886	0.0502	0.07741	0.025806	0.529349	0.0097
24	2.3	2.4	2.35	0.0235	0.235	7.78	27.27	23.5	3.02	0.86	3.88	0.00388	0.22197	0.8	0.55	0.475	0.608557	0.0038823	0.0494	0.07859	0.023815	0.596519	0.0097
25	2.7	2.8	2.75	0.0275	0.275	6.23	26.1	23.5	3.77	0.90	4.67	0.00467	0.19270	1.15	0.55	0.575	0.578573	0.0046725	0.051	0.09162	0.027928	0.565316	0.0117
26	2.6	2.5	2.55	0.0255	0.255	5.77	30.58	23.5	4.07	0.77	4.84	0.00484	0.15873	1	0.95	0.45	0.671368	0.0048413	0.0502	0.09644	0.025975	0.653055	0.0121
27	2.6	2.7	2.65	0.0265	0.265	6.09	28.89	23.5	3.86	0.81	4.67	0.00467	0.17410	1	0.7	0.45	0.611598	0.0046722	0.0506	0.09234	0.026935	0.596842	0.0117
28	2.5	2.6	2.55	0.0255	0.255	6.83	31.07	23.5	3.44	0.76	4.20	0.00420	0.18021	1.05	1.05	0.45	0.582032	0.0041971	0.0502	0.08361	0.025857	0.570032	0.0105
29	1.6	1.6	1.6	0.016	0.16	26.2	27.83	23.5	0.90	0.84	1.74	0.00174	0.48492	0.4	0.25	0.125	0.48587	0.0017414	0.0464	0.03753	0.016072	0.482615	0.0044
30	1.4	1.5	1.45	0.0145	0.145	18.2	31.43	23.5	1.29	0.75	2.04	0.00204	0.36671	0.45	0.3	0.3125	0.659411	0.0020389	0.0458	0.04452	0.014601	0.652573	0.0051
31	1.4	1.6	1.5	0.015	0.15	18.18	32.22	23.5	1.29	0.73	2.02	0.00202	0.36071	0.45	0.2	0.275	0.621519	0.002022	0.046	0.04396	0.015099	0.615442	0.0051
32	1.4	1.6	1.5	0.015	0.15	14.15	39.42	23.5	1.66	0.60	2.26	0.00226	0.26414	0.45	0.2	0.25	0.693732	0.0022569	0.046	0.04906	0.015123	0.685298	0.0056
33	1.2	1.3	1.25	0.0125	0.125	25.96	43.03	23.5	0.91	0.55	1.45	0.00145	0.37629	0.35	0.2	0.2	0.586442	0.0014514	0.045	0.03225	0.012553	0.582727	0.0036
34	1.2	1.2	1.2	0.012	0.12	24.74	35.19	23.5	0.95	0.67	1.62	0.00162	0.41281	0.4	0.2	0.2	0.694918	0.0016177	0.0448	0.03611	0.012067	0.689179	0.004
35	1.1	1.2	1.15	0.0115	0.115	26.83	31.41	23.5	0.88	0.75	1.62	0.00162	0.46068	0.3	0.25	0.225	0.743645	0.0016241	0.0446	0.03641	0.011568	0.737131	0.0041
36	1.1	1.1	1.1	0.011	0.11	26.87	34.18	23.5	0.87	0.69	1.56	0.00156	0.44013	0.3	0.2	0.2	0.764604	0.0015621	0.0444	0.03518	0.011063	0.758066	0.0039
37	1.8	1.8	1.8	0.018	0.18	11	41.11	23.5	2.14	0.57	2.71	0.00271	0.21109	0.6	0.3	0.475	0.633216	0.002708	0.0472	0.05737	0.018168	0.624456	0.0068
38	1.8	1.8	1.8	0.018	0.18	11.21	41.7	23.5	2.10	0.56	2.66	0.00266	0.21187	0.65	0.4	0.35	0.621967	0.0026599	0.0472	0.05635	0.018162	0.613662	0.0066
39	1.7	1.7	1.7	0.017	0.17	11.29	43.83	23.5	2.08	0.54	2.62	0.00262	0.20483	0.6	0.7	0.325	0.666884	0.0026177	0.0468	0.05593	0.01716	0.657601	0.0065
40	1.8	1.8	1.8	0.018	0.18	11.86	41.36	23.5	1.98	0.57	2.55	0.00255	0.22285	0.5	0.5	0.2625	0.596185	0.0025496	0.0472	0.05402	0.018149	0.588864	0.0064
41	1.7	1.7	1.7	0.017	0.17	12.89	36.24	23.5	1.82	0.65	2.47	0.00247	0.26237	0.55	0.475	0.25	0.629669	0.0024716	0.0468	0.05281	0.017142	0.621845	0.0062

42	1.6	1.6	1.6	0.016	0.16	13.45	36.41	23.5	1.75	0.65	2.39	0.00239	0.26976	0.45	0.4	0.3	0.667589	0.0023926	0.0464	0.05157	0.016136	0.659187	0.006
43	1.5	1.5	1.5	0.015	0.15	15.09	33.81	23.5	1.56	0.70	2.25	0.00225	0.30859	0.4	0.4	0.25	0.692337	0.0022524	0.046	0.04896	0.015122	0.683953	0.0056
44	1.5	1.5	1.5	0.015	0.15	18.02	33.66	23.5	1.30	0.70	2.00	0.00200	0.34868	0.35	0.2	0.225	0.615455	0.0020023	0.046	0.04353	0.015097	0.609554	0.005
45	1.5	1.4	1.45	0.0145	0.145	19.04	32.99	23.5	1.23	0.71	1.95	0.00195	0.36594	0.3	0.25	0.175	0.629553	0.0019466	0.0458	0.0425	0.014592	0.623598	0.0049
46	1.2	1.2	1.2	0.012	0.12	33.01	30.47	23.5	0.71	0.77	1.48	0.00148	0.52001	0.2	0.2	0.175	0.637128	0.0014832	0.0448	0.03311	0.012056	0.632701	0.0037
47	1	1	1	0.01	0.1	39.21	29.59	23.5	0.60	0.79	1.39	0.00139	0.56991	0.25	0.1	0.125	0.786913	0.0013935	0.044	0.03167	0.010051	0.78091	0.0035
48	1	1	1	0.01	0.1	41.05	29.59	23.5	0.57	0.79	1.37	0.00137	0.58112	0.2	0.15	0.15	0.771742	0.0013667	0.044	0.03106	0.010049	0.766079	0.0034
49	0.9	0.9	0.9	0.009	0.09	41.51	42.16	23.5	0.57	0.56	1.12	0.00112	0.49612	0.2	0.2	0.1	0.743075	0.0011235	0.0436	0.02577	0.009034	0.738899	0.0028
50	4	4	4	0.04	0.4	8.25	31.09	23.5	2.85	0.76	3.60	0.00360	0.20971				0.254419	0.0036044	0.056	0.06436	0.040211	0.252416	0.009
51	2.2	2.2	2.2	0.022	0.22	60.14	24.27	23.5	0.39	0.97	1.36	0.00136	0.71247				0.235183	0.001359	0.0488	0.02785	0.02204	0.23455	0.0034
52	5	5.1	5.05	0.0505	0.505	4.29	23.23	23.5	5.48	1.01	6.49	0.00649	0.15589				0.322912	0.0064895	0.0602	0.1078	0.051093	0.317308	0.0162
53	5.5	5.4	5.45	0.0545	0.545	3.29	23.96	23.5	7.14	0.98	8.12	0.00812	0.12073				0.360553	0.0081237	0.0618	0.13145	0.055382	0.351978	0.0203
54	6.1	6	6.05	0.0605	0.605	2.63	35.74	23.5	8.94	0.66	9.59	0.00959	0.06854				0.364023	0.0095929	0.0642	0.14942	0.061639	0.353978	0.024
55	6.1	6	6.05	0.0605	0.605	2.1	24	23.5	11.19	0.98	12.17	0.01217	0.08046				0.461803	0.0121696	0.0642	0.18956	0.062333	0.44158	0.0304
56	6.1	6	6.05	0.0605	0.605	2.09	24	23.5	11.24	0.98	12.22	0.01222	0.08011				0.463835	0.0122232	0.0642	0.19039	0.062349	0.443351	0.0306

ANEXO “B”

Datos y resultados de las pruebas con tubo PVC corrugado.

#	Hi [cm]	Hd [cm]	Ĥ [cm]	Ĥ [m]	Ĥ/r	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	vol. [lt]	QP [lt/s]	QC [lt/s]	Qt [lt/s]	Qt [m ³ /s]	QC/Q	ĥ1 [cm]	ĥ2 [cm]	ĥ3 [cm]	m	Q comp.	Área [m ²]	Vel. [m/s]	Ho	m	q
1	7	7	7	0.07	0.7	3.31	21.11	23.5	7.10	1.11	8.21	0.00821	0.13554	2.7	0.7	0.2	0.250416	0.00821	0.0680	0.12078	0.0707	0.24647	0.02053
2	7.3	7.3	7.3	0.073	0.73	2.72	21.26	23.5	8.64	1.11	9.75	0.00975	0.11343	2.7	1.08	0.475	0.279005	0.00975	0.0692	0.14082	0.074	0.2733	0.02436
3	7.2	7.2	7.2	0.072	0.72	3.56	22.46	23.5	6.60	1.05	7.65	0.00765	0.13682	2.25	0.8	0.95	0.223526	0.00765	0.0688	0.11115	0.0726	0.22062	0.01912
4	7	7	7	0.07	0.7	4.53	28.2	23.5	5.19	0.83	6.02	0.00602	0.13841	2.05	0.78	0.65	0.183583	0.00602	0.068	0.08854	0.0704	0.18202	0.01505
5	6.8	6.8	6.8	0.068	0.68	4.12	23.44	23.5	5.70	1.00	6.71	0.00671	0.14949	1.775	0.68	0.75	0.21357	0.00671	0.0672	0.0998	0.0685	0.2112	0.01677
6	6.5	6.5	6.5	0.065	0.65	4.93	22.52	23.5	4.77	1.04	5.81	0.00581	0.17960	1.875	0.6	0.75	0.197987	0.00581	0.066	0.08803	0.0654	0.19619	0.01453
7	6.7	6.7	6.7	0.067	0.67	4.93	22.52	23.5	4.77	1.04	5.81	0.00581	0.17960	1.825	0.78	1.1	0.189188	0.00581	0.0668	0.08698	0.0674	0.18757	0.01453
8	6.9	6.9	6.9	0.069	0.69	4.49	22.29	23.5	5.23	1.05	6.29	0.00629	0.16766	1.825	0.78	1.1	0.195912	0.00629	0.0676	0.09302	0.0694	0.19405	0.01572
9	7	7	7	0.07	0.7	3.33	22.61	23.5	7.06	1.04	8.10	0.00810	0.12837	1.75	0.8	1.1	0.246864	0.00810	0.068	0.11907	0.0707	0.24309	0.02024
10	7.1	7.1	7.1	0.071	0.71	3.11	22.38	23.5	7.56	1.05	8.61	0.00861	0.12201	1.925	0.88	1.3	0.256887	0.00861	0.0684	0.12582	0.0718	0.25256	0.02152

11	6.6	6.6	6.6	0.066	0.66	3.11	20.15	23.5	7.56	1.17	8.72	0.00872	0.13371	1.9	0.78	1.15	0.290495	0.00872	0.0664	0.13136	0.0669	0.28478	0.02181
12	7	7	7	0.07	0.7	3.56	20.98	23.5	6.60	1.12	7.72	0.00772	0.14507	1.975	0.83	1.3	0.235425	0.00772	0.068	0.11355	0.0707	0.23214	0.0193
13	7.2	7.2	7.2	0.072	0.72	3.11	20.15	23.5	7.56	1.17	8.72	0.00872	0.13371	1.875	0.8	1.05	0.25495	0.00872	0.0688	0.12678	0.0728	0.25066	0.02181
14	7.3	7.3	7.3	0.073	0.73	3.32	20.52	23.5	7.08	1.15	8.22	0.00822	0.13926	1.875	0.8	1.05	0.235443	0.00822	0.0692	0.11884	0.0737	0.232	0.02056
15	7.1	7.1	7.1	0.071	0.71	3.73	19.67	23.5	6.30	1.19	7.49	0.00749	0.15940	1.8	0.73	1.25	0.223715	0.00749	0.0684	0.10958	0.0716	0.22085	0.01874
16	5.1	5.1	5.1	0.051	0.51	18.71	34.62	23.5	1.26	0.68	1.93	0.00193	0.35083	0.775	0.33	0.5	0.094863	0.00193	0.0604	0.03203	0.0511	0.09472	0.00484
17	4.9	4.9	4.9	0.049	0.49	15.92	30.27	23.5	1.48	0.78	2.25	0.00225	0.34466	0.675	0.28	0.25	0.117268	0.00225	0.0596	0.03779	0.0491	0.11701	0.00563
18	4.8	4.8	4.8	0.048	0.48	14.72	30.16	23.5	1.60	0.78	2.38	0.00238	0.32799	0.7	0.33	0.5	0.127565	0.00238	0.0592	0.04013	0.0481	0.12724	0.00594
19	4.9	4.9	4.9	0.049	0.49	14.56	29.94	23.5	1.61	0.78	2.40	0.00240	0.32719	0.7	0.3	0.35	0.124891	0.00240	0.0596	0.04025	0.0491	0.12458	0.006
20	5	5	5	0.05	0.5	15.35	29.58	23.5	1.53	0.79	2.33	0.00233	0.34164	0.65	0.75	0.35	0.11745	0.00233	0.06	0.03876	0.0501	0.11718	0.00581
21	4.9	4.9	4.9	0.049	0.49	15.42	30.67	23.5	1.52	0.77	2.29	0.00229	0.33456	0.725	0.3	0.25	0.119232	0.00229	0.0596	0.03843	0.0491	0.11896	0.00573
22	4.8	4.8	4.8	0.048	0.48	15.57	29.79	23.5	1.51	0.79	2.30	0.00230	0.34325	0.725	0.28	0.55	0.123405	0.00230	0.0592	0.03882	0.0481	0.12311	0.00575
23	4.8	4.8	4.8	0.048	0.48	16.36	29.44	23.5	1.44	0.80	2.23	0.00223	0.35721	0.65	0.3	0.225	0.119995	0.00223	0.0592	0.03775	0.0481	0.11972	0.00559

24	4.7	4.7	4.7	0.047	0.47	16.43	30.18	23.5	1.43	0.78	2.21	0.00221	0.35250	0.625	0.25	0.3	0.122421	0.00221	0.0588	0.03757	0.0471	0.12214	0.00552
25	4.6	4.6	4.6	0.046	0.46	18.29	32.86	23.5	1.28	0.72	2.00	0.00200	0.35758	0.575	0.25	0.3	0.114474	0.00200	0.0584	0.03425	0.0461	0.11425	0.005
26	4.7	4.7	4.7	0.047	0.47	16.92	29.64	23.5	1.39	0.79	2.18	0.00218	0.36340	0.7	0.3	0.4	0.120911	0.00218	0.0588	0.0371	0.0471	0.12064	0.00545
27	5	5	5	0.05	0.5	13.89	27.38	23.5	1.69	0.86	2.55	0.00255	0.33656	0.825	0.3	0.4	0.128802	0.00255	0.06	0.0425	0.0501	0.12845	0.00638
28	4	4	4	0.04	0.4	74.37	107.37	23.5	0.32	0.22	0.53	0.00053	0.40921	0.25	0.1	0.1	0.037754	0.00053	0.056	0.00955	0.04	0.03775	0.00134