

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPTACIÓN “TIPO  
COANDA” CON EL USO DE MATERIALES LOCALES.**

**Previa a la obtención de Grado Académico o Título de**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**CHRISTIAN DANIEL MIRANDA ORELLANA  
IVÁN SANTIAGO VACA CASTRO**

**SANGOLQUI, 28 de Noviembre de 2012**

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, CHRISTIAN DANIEL MIRANDA ORELLANA e  
IVÁN SANTIAGO VACA CASTRO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPTACIÓN TIPO COANDA CON EL USO DE MATERIALES LOCALES”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 28 de Noviembre de 2012

---

**CHRISTIAN D. MIRANDA O.**

---

**IVÁN S. VACA C.**

## **EXTRACTO**

Desde la antigüedad, el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo e incluso vía de transporte, estableciéndose en los valles de los ríos las primeras civilizaciones.

Sin embargo, el establecimiento en zonas áridas o semiáridas del planeta obligo al desarrollo de formas de captación de agua de lluvia, como alternativa para el riego de cultivos, consumo domestico y posteriormente como una fuente generadora de energía.

Actualmente las obras de captación tipo COANDA nos permite la filtración de las aguas superficiales a través del empleo de rejjas autolimpiantes, las mismas que están destinadas para la exclusión de cualquier materia solida y garantiza la vida de las especies acuáticas.

En el Ecuador este tipo de captaciones aplicando el efecto Coanda y las rejjas autolimpiantes no se encuentran investigadas debido al costo y uso tecnológico que esta representa.

La optimización de los recursos del mercado ecuatoriano ha hecho posible la construcción y eficacia de esta obra de captación, materializada inicialmente como un prototipo de uso educativo.

## **ABSTRACT**

Since ancient times, man uses surface water as a primary source of supply, consumption and even transport route, settling in the valleys of the rivers early civilizations.

However, the establishment in arid or semi-arid zones forced the development of ways to capture rainwater as an alternative for crop irrigation, domestic consumption and later as a source of energy.

Currently the headworks COANDA type allows filtration of surface water through the use of self-cleaning bars. They are designed to the exclusion of any solid material and ensure the life of aquatic species.

In Ecuador this type of deposits using the Coanda effect and self-cleaning bars are not investigated because of cost and use this technology represents.

The optimization of resources in the Ecuadorian market has made possible the construction and effectiveness of the work of recruitment, initially materialized as a prototype educational use.

## **CERTIFICADO**

Nosotros: DR. WASHINGTON SANDOVAL  
e ING. EUGENIO VILLACÍS

### **CERTIFICAN**

Que, el Proyecto de grado titulado “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPTACIÓN TIPO COANDA CON EL USO DE MATERIALES LOCALES”, realizado por los señores VACA CASTRO IVÁN SANTIAGO Y MIRANDA ORELLANA CHRISTIAN DANIEL, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. Jorge Zúñiga, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Civil. El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, 28 de Noviembre de 2012

---

DR. WASHINGTON SANDOVAL.  
DIRECTOR

---

ING. EUGENIO VILLACÍS.  
CODIRECTOR

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

CHRISTIAN DANIEL MIRANDA ORELLANA  
IVÁN SANTIAGO VACA CASTRO

### **Declaramos que:**

El proyecto de grado titulado “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPTACIÓN TIPO COANDA CON EL USO DE MATERIALES LOCALES”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. 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, 28 de Noviembre de 2012

---

**CHRISTIAN D. MIRANDA O.**

---

**IVÁN S. VACA C.**

## **DEDICATORIA**

A DIOS QUE ME DIO LA VIDA, A MIS PADRES QUE CON SUS CONSEJOS, ENSEÑANANZAS Y SABIDURIAS ME IMPULSARON DESDE PEQUEÑO PARA LLEGAR HA SER UN GRAN PROFESIONAL.

A MI AMADA ESPOSA QUIEN ES LA PERSONA QUE CON SU AMOR A SABIDO SER MI GUIA, MI EJEMPLO Y MI GRAN COMPAÑERA CON QUIEN HEMOS VENCIDO VARIOS RETOS CON NUESTRO APOYO MUTUO, A SABIDO LLENARME DE BUENOS CONSEJOS Y ME HA HECHO MUY FELIZ; A MIS FUTUROS HIJOS QUE AUNQUE NO LOS TENGO TADAVIA SON UNA FUERZA INTERNA QUE ME IMPULSA HA SEGUIR POR UN CAMINO DE BIEN.

A MIS HERMANOS Y A TODO MI FAMILIA QUE EN SU DEBIDO TIEMPO CON SUS PALABARAS DE ALIENTO ME DIJERON QUE SIGUIERA ADELANTE.

**CAPT. DE E. CHRISTIAN D. MIRANDA O.**

A MIS PADRES POR BRINDARME SU AMOR INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO.

A MI QUERIDA ESPOSA E HIJA POR QUE SON LA RAZÓN PARA ESFORZARME CADA DÍA MAS, POR DARME SU AMOR Y APOYO INCONDICIONAL.

**CAPT DE E. VACA C. IVÁN S.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la institución

A nuestros padres por su guía y soporte en nuestras vidas

Al Dr. Washington Sandoval y al Ing. Eugenio Villacís que nos apoyaron

con sus conocimientos al desarrollo de la presente tesis

A todos mis profesores en la ESPE que siempre estuvieron para

apoyarme anímica y profesionalmente.

**CAPT. CHRISTIAN MIRANDA  
CAPT. VACA IVÁN**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.	INTRODUCCIÓN AL PROYECTO .....	3
1.2.	OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.	OBJETIVO ESPECIFICO .....	4
1.4.	HIPÓTESIS.....	4
1.5.	JUSTIFICACIÓN.....	4
1.6.	METAS .....	5
2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	QUE ES EL EFECTO COANDA.....	6
2.2.	DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA OBRA DE TOMA TIPO COANDA.....	8
2.2.1.	Placa de aceleración.....	8
2.2.2.	Rejillas Autolimpiantes .....	10
2.3.	ANÁLISIS DE LAS CAPTACIONES TIPO COANDA.....	13
2.3.1.	Caudal de agua a través de la ingesta.....	19
2.3.2.	Funcionamiento de las rejas autolimpiantes. ....	20
2.4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OBRA DE CAPTACIÓN TIPO COANDA .....	22
2.4.1.	Ventajas de la obra de captación tipo Coanda.....	22
2.4.2.	Desventajas de la obra de captación tipo Coanda .....	23
3.	SEMEJANZA HIDRÁULICA.....	24
3.1.	TIPO DE SEMEJANZA.....	24
3.1.1.	Semejanza Geométrica.....	25
3.1.2.	Semejanza Cinemática .....	27
3.1.3.	Semejanza Dinámica .....	30

3.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	31
3.2.1.	Calculo del Perfil Creager .....	31
3.2.2.	Calculo de los Vertederos .....	36
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	38
4.1.	SELECCIÓN DE MATERIALES. ....	38
4.1.1.	Laminas de acrílico .....	38
4.1.2.	Perfiles metálicos .....	39
4.1.3.	Reja autolimpiante.....	39
4.2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO. ....	39
4.2.1.	Perfil Creager .....	39
4.2.2.	Rejas Autolimpiantes.....	41
4.2.3.	Mesa del prototipo.....	42
4.2.4.	Estructura de acrílico.....	43
4.2.5.	Despiece de la estructura de acrílico .....	45
4.2.6.	Estructura metálica de perfiles “L” .....	54
4.2.7.	Reservorio de Agua.....	55
4.2.9.	Bomba Centrífuga .....	57
4.2.10.	Sistema eléctrico.....	58
4.3.	VISTAS DEL PROTOTIPO EN AUTOCAD 3D .....	58
4.4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO. ....	63
4.5.	EQUIPO DE MEDICIÓN .....	64
4.6.	VERTEDERO DE PARED DELGADA .....	64
5.	INVESTIGACIÓN.....	68
5.1.	TOMA DE DATOS EN EL PROTOTIPO.....	68
5.1.1.	Procedimientos.....	68
5.1.2.	Obtención de Datos.....	68

5.2.	INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA COANDA SCREEN.....	79
5.3.	RESULTADOS OBTENIDOS COMO BASE DE DISEÑO PROGRAMA-COANDA SCREEN.....	84
5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	90
5.4.1.	Análisis Qr vs. H Vert.1 Qr vs. H Vert.2.....	90
5.4.2.	Análisis del caudal de la reja vs. $s/(s+b)$ .....	99
5.4.3.	Análisis y Determinación de la eficiencia en las rejillas.....	101
5.4.4.	Análisis y cálculo del Caudal al 5% de error .....	111
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
6.1.	CONCLUSIONES .....	118
6.2.	RECOMENDACIONES.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Ejemplo de lo que pasa al chocar dos formas solidas. ....	6
Figura 2.2:	Paso del líquido alrededor de la figura solida. ....	7
Figura 2.3:	Caída de la Placa de aceleración .....	8
Figura 2.4:	Obra de captación sin placa de aceleración .....	9
Figura 2.5:	Obra de captación sin placa de aceleración .....	10
Figura 2.6:	Flujo del orificio.....	10
Figura 2.7:	Rejas autofiltrante y separaciones.....	11
Figura 2.8:	Ingreso del agua y eliminación de residuos .....	11
Figura 2.9:	Captación de aguas superficiales. ....	12
Figura 2.10:	Captación y conducción de agua mediante las mallas autolimpiantes.....	16
Figura 2.11:	Modelo de obra de captación COANDA. ....	16
Figura 2.12:	Elementos de una obra de captación.....	17

Figura 2.13: Placa de aceleración.....	17
Figura 2.14: Ingreso del agua en la obra de captación.....	18
Figura 2.15: Vistan en proyección de las rejillas.....	18
Figura 2.16: Detalle del ingreso del agua mediante empleo de la malla..	19
Figura 2.17: Acumulación de escombros sobre la reja por mal uso.....	20
Figura 2.18: Ingreso de residuos menores a 2mm.....	20
Figura 2.19: Proceso de autolimpieza con ángulo de inclinación. ....	21
Figura 2.20: Desnivel entre los elementos de la reja autolimpiante.....	21
Figura 2.21: Captación de agua en ambas situaciones. ....	22
Figura 3.1: Semejanza geométrica en el ensayo con modelos.....	26
Figura 3.2: Figuras semejantes.....	27
Figura 3.3: Figuras diferentes. ....	27
Figura 3.4: Flujo sin fricción. ....	28
Figura 3.5: Los flujos no viscosos a bajas velocidades.....	29
Figura 3.6: Semejanza dinámica en el flujo debajo de una compuerta....	31
Figura 3.7: Visualización de los vertederos del prototipo COANDA.....	37
Figura 4.1: Vista lateral del dibujo del Perfil Creager.....	40
Figura 4.2: Dimensiones del Perfil Creager. ....	40
Figura 4.3: Reja autolimpiante dibujado en Autocad 3D.....	41
Figura 4.4: Soportes metálicos (tres varillas cuadradas). ....	42
Figura 4.5: Dimensiones del tablero de la mesa.....	42
Figura 4.6: Dimensiones de la estructura metálica de la mesa.....	43
Figura 4.7: Estructura de Acrílico.....	44
Figura 4.8: Vista interna de la estructura de acrílico.....	44
Figura 4.9: Despiece de estructura de acrílico.....	45
Figura 4.10: Dimensiones de la Pieza de acrílico No 1.....	46

Figura 4.11: Dimensiones del perfil.....	46
Figura 4.12: Disipador de energía.....	47
Figura 4.13: disipador de energía con sus respectivas medidas. ....	47
Figura 4.14: Dimensiones de la pieza No 4. ....	48
Figura 4.15: Dimensiones de la pieza No 5. ....	48
Figura 4.16: Dimensiones de la pieza No 6. ....	49
Figura 4.17: Dimensiones de la pieza No 7. ....	49
Figura 4.18: Dimensiones de la pieza No 8. ....	50
Figura 4.19: Dimensiones de la pieza No 9. ....	51
Figura 4.20: Dimensiones de la pieza No 10. ....	51
Figura 4.21: Dimensiones de la pieza No 11. ....	52
Figura 4.22: Dimensiones de la pieza No 12. ....	53
Figura 4.23: Dimensiones de la pieza No 13. ....	53
Figura 4.24: Dimensiones de la pieza No 14. ....	54
Figura 4.25: Estructura metálica. ....	54
Figura 4.26: Tanque reservorio de madera.....	55
Figura 4.27: Dimensiones del tanque reservorio.....	55
Figura 4.28: Tubería de PVC con llave de paso. ....	56
Figura 4.29: Tubería de PVC con llave de paso. ....	56
Figura 4.30: Vista Isométrico de sudoeste.....	58
Figura 4.31: Vista izquierda del prototipo.....	59
Figura 4.32: Vista frontal del prototipo. ....	59
Figura 4.33: Vista posterior del prototipo. ....	60
Figura 4.34: Vista derecha del prototipo. ....	60
Figura 4.35: Vista superior del prototipo. ....	61
Figura 4.36: Vista inferior del prototipo. ....	61

Figura 4.37: Vista isométrico de sudeste. ....	62
Figura 4.38: Vista isométrico de noreste.....	62
Figura 4.39: Vista isométrico de noroeste.....	63
Figura 4.40: Espesor para un vertedero de pared delgada.....	64
Figura 4.41: Espesor para un vertedero de pared gruesa.....	64
Figura 4.42: Vertedor triangular.....	65
Figura 5.1: Programa informático de efecto Coanda. ....	80
Figura 5.2: Pantallas de entrada adicionales .....	82
Figura 5.3: Ingreso de datos de la Estructura .....	84
Figura 5.4: Ingreso de datos en Placa de Aceleración.....	85
Figura 5.5: Ingreso de datos en Pantalla .....	86
Figura 5.6: Ingreso de datos en “Condiciones de Flujo” .....	86
Figura 5.7: Cálculo del Perfil único para una malla de 2.15 mm.....	87
Figura 5.8: Cálculo del Perfil único para una malla de 4.2 mm.....	88
Figura 5.9: Cálculo del Perfil único para una malla de 6.1 mm.....	89

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 2.1: Agua en contacto con una esfera .....	7
Foto 2.2: Placa de aceleración.....	8
Foto 2.3: Sección de reja autofiltrante .....	12
Foto 2.4: Diferentes tamaños de la reja autofiltrante. ....	13
Foto 2.5: Proceso de colocación de una malla autolimpiante.....	13
Foto 2.6: Parte inferior de la malla autolimpiante.....	14
Foto 2.7: Obra de captación que emplea el efecto Coanda.....	14
Foto 2.8: Obra de captación en pleno funcionamiento.....	15

Foto 4.1: Laminas de acrílico de 9 mm .....	38
Foto 4.2: Perfil Metálico de ½ pulgada.....	39
Foto 4.3: Ruedas de la mesa.....	43
Foto 4.4: Manguera transparente de 2 pulgadas. ....	57
Foto 4.5: Bomba Centrifuga.....	57
Foto 4.6: Botonera eléctrica.....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Perfil Creager con las coordenadas calculadas. ....	36
Gráfico 5.1: Caudal $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 6.1. Vertedero 1.....	91
Gráfico 5.2: Ec. lineal gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 6.1. Vertedero 1.....	91
Gráfico 5.3: Caudal $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 6.1. Vertedero 2.....	92
Gráfico 5.4: Ec. lineal gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 6.1. Vertedero 2.....	93
Gráfico 5.5: Gráfica $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 4.2. Vertedero 1.....	94
Gráfico 5.6: Ecuacion gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 4.2. Vertedero 1.....	94
Gráfico 5.7: Gráfica de $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 4.2. Vertedero 2.....	95
Gráfico 5.8: Ecuacion gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 4.2. Vertedero 2.....	95
Gráfico 5.9: Caudal $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 1.....	96
Gráfico 5.10: Ecuacion gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 1.....	97
Gráfico 5.11: Caudal $Q_r$ vs. altura $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 2.....	98
Gráfico 5.12: Ecuacion gráfica $Q_r$ vs. $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 2.....	98
Gráfico 5.13: Gráfica $Q_r$ vs. $s/(s+b)$ . Con diferentes rejillas. Vertedero 1.	99
Gráfico 5.14: Ecuación de la gráfica $Q_r$ vs. $s/(s+b)$ . Vertedero 1.....	100
Gráfico 5.15: Gráfica $Q_r$ vs. $s/(s+b)$ . Vertedero 2.....	100
Gráfico 5.16: Ecuación gráfica $Q_r$ vs. $s/(s+b)$ . Vertedero 2.....	101

Gráfico 5.17: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 6.1 mm. ....	102
Gráfico 5.18: Ecuación gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 6.1 mm. ....	102
Gráfico 5.19: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 4.2 mm. ....	103
Gráfico 5.20: Ecuación gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 4.2 mm. ....	104
Gráfico 5.21: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 2.15 mm. ....	105
Gráfico 5.22: Ecuación gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. H. Malla 2.15 mm. ....	105
Gráfico 5.23: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 5min .....	106
Gráfico 5.24: Ecuación gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros ....	106
Gráfico 5.25: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 10 min... ..	107
Gráfico 5.26: Ecuación $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 10 min.107	107
Gráfico 5.27: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 15 min. ..	108
Gráfico 5.28: Ecuación $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 15 min.108	108
Gráfico 5.29: Gráfica $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 20 min. ...	109
Gráfico 5.30: Ecuación $Q_r/(Q_r+Q_p)$ vs. diferentes diámetros en 20 min 109	109
Gráfico 5.31: Ecuación $D_m$ vs. el porcentaje de ineficiencia .....	110
Gráfico 5.32: Ecuación $s/(s+b)$ vs. el porcentaje de ineficiencia .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2: Datos escogidos para su posterior proceso matemático.....	34
Tabla 3.3: Coordenadas de un Vertedero de Perfil Práctico.....	35
Tabla 3.4: Muestra las coordenadas del Perfil Creager.....	35
Tabla 4.1: Dimensiones de las Rejas autolimpiantes.....	41
Tabla 5.1: Cálculo del Caudal sin rejilla. ....	69
Tabla 5.2: Resumen de resultados $Q_{r1}$ . sin rejilla. ....	70
Tabla 5.3: Cálculo del Caudal. Rejilla de 6.1 mm vertedero 1. ....	71



Tabla 5.4: Cálculo del Caudal. Rejilla de 6.1 mm vertedero 2. ....	72
Tabla 5.5: Resumen de resultados Qr1. y Qr2. Rejilla de 6.1 mm.....	72
Tabla 5.6: Cálculo del Caudal. Rejilla de 4.2 mm vertedero 1. ....	73
Tabla 5.7: Cálculo del Caudal. Rejilla de 4.2 mm vertedero 2. ....	74
Tabla 5.8: Resumen de resultados Qr1. y Qr2. Rejilla de 4.2 mm.....	74
Tabla 5.9: Cálculo del Caudal. Rejilla de 2.15 mm vertedero 1. ....	76
Tabla 5.10: Cálculo del Caudal. Rejilla de 2.15 mm vertedero 2. ....	76
Tabla 5.11: Resumen de resultados Qr1. y Qr2. Rejilla de 2.15 mm.....	77
Tabla 5.12: Cálculo del caudal aplicando la formula de Grava. ....	78
Tabla 5.13: Resultados de alturas en el vertedero 1, Malla de 6.1 mm. ..	91
Tabla 5.14: Resultados de alturas en el vertedero 2, Malla de 6.1 mm. ..	92
Tabla 5.15: Resultados de alturas en el vertedero 1. Malla de 4.2 mm. ..	93
Tabla 5.16: Resultados de alturas en el vertedero 2. Malla de 4.2 mm. ..	95
Tabla 5.17: Resultados de alturas en el vertedero 1. Malla de 2.15 mm. ..	96
Tabla 5.18: Resultados de alturas en el vertedero 2. Malla de 2.15 mm. ..	97
Tabla 5.19: Resultados de alturas en el vertedero 1. Sin malla.....	98
Tabla 5.20: Resultados Qr y $s/(s+b)$ en el vertedero 1 y 2.....	99
Tabla 5.21: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y H. Malla de 6.1 mm. ....	101
Tabla 5.22: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y H. Malla de 4.2 mm. ....	103
Tabla 5.23: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y H. Malla de 2.15 mm. ....	104
Tabla 5.24: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y diferentes diámetros en 5 min. ...	106
Tabla 5.25: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y diferentes diámetros en 10 min. .	107
Tabla 5.26: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y diferentes diámetros en 15 min. .	108
Tabla 5.27: Resultados $Qr/(Qr+Qp)$ y diferentes diámetros en 20 min. .	109
Tabla 5.28: Porcentaje de eficiencia y de ineficiencia del prototipo.....	110
Tabla 5.29: Error en el caudal para la malla de 6.1 mm. ....	112

Tabla 5.30: Error en el caudal para la malla de 4.2 mm. .... 112

Tabla 5.31: Error en el caudal para la malla de 2.15 mm. .... 113

## **ANEXOS**

ANEXO 1 ..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 2 ..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 3 ..... ¡Error! Marcador no definido.

## RESUMEN

Estudios avanzados han determinado que el uso de rejas basadas en el efecto COANDA, en el diseño de obras de toma, son muy eficientes y confiables, varias ventajas se destacan<sup>1</sup>:

- Reducción en los costos de construcción de obras de toma por disminución drástica de decantadores o desarenadores.
- Bajos costos de manutención. No hay partes móviles que reparar ni programar continuos trabajos de limpieza.
- Máxima disponibilidad de potencia de generación al no obstruirse la reja.
- Reduce drásticamente las partículas en suspensión mayores a 0,5 mm y en consecuencia reduce el desgaste de turbinas o bombas.
- En aguas de riego reduce sustancialmente la distribución de semillas no deseadas y malezas. (reducción en el uso de herbicidas y costos de desmalezado)
- Excluye prácticamente toda la vida acuática que puede continuar su curso normal sin ser afectada.
- Tecnología probada.

Aparte de los excelentes resultados que esta tecnología ha mostrado en aplicaciones de obras de toma para pequeñas centrales hidroeléctricas donde se pueden llegar a captar volúmenes de agua de hasta 25 m<sup>3</sup>/s, no se excluyen una infinidad de aplicaciones menores como <sup>2</sup>:

- Captación de agua para el riego tecnificado.
- Tomas en canales para riego simple.
- Captaciones de agua potable rural.
- Procesos de acuicultura.
- Tratamiento de efluentes industriales.
- Minería, piscinas y piletas publicas

---

<sup>1</sup> <http://www.aprchile.cl/index.php/articulos-de-aprchile/agua/996>

<sup>2</sup> <http://www.aprchile.cl/index.php/articulos-de-aprchile/agua/996>

El presente proyecto nos presenta el diseño de un prototipo de una obra de captación empleando el efecto COANDA, con el uso de materiales que están disponibles en el mercado ecuatoriano. Mediante el diseño de un perfil Creager y complementado con mallas de diferente diámetro (2.15mm, 4.20mm y 6.10mm), para captar el agua procedente de la bomba centrífuga de agua de 1 ½ HP.

Se realizo mediciones del caudal que ingresa y el caudal que pasa en las mallas de 2.15mm, 4.20mm y 6.1 mm. en forma práctica, empleando vasos de precipitación y jarras con medidas a fin obtener el caudal práctico mediante la relación entre el tiempo que demora en llenarse cierta cantidad de agua en los vasos de precipitación y en las jarras. Otro dato que se tomo es las alturas en cada uno de los vertederos, esta altura de la lamina de agua será empleada para calcular el caudal en forma teórica mediante la Formulas de Grava.

Con los datos obtenidos y mediante EXCEL, generamos gráficos y ecuaciones para una mejor comprensión de los experimentos realizados, estas ecuaciones nos permitirán realizar una conversión entre los resultados que se generan en el Programa COANDA de Tony Wahl y nuestro prototipo, al final de nuestra tesis se presenta un ejemplo de cálculo de lo anteriormente dicho.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO**

El efecto Coanda fue estudiado por el ingeniero rumano Henri-Marie Coanda en 1910 quien 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 vemos a diario, están relacionados con el efecto COANDA, se describe entre otros, el vuelo de un “platillo volador” por medio de esa teoría. Cuantiosa literatura se puede encontrar en Internet<sup>3</sup>.

La creciente demanda por manejo y uso racional de las aguas superficiales en la tierra, han obligado a buscar mejores soluciones para la filtración primaria que permita remover sólidos en suspensión y vida acuática, sin efectos ambientales adversos. Destacados esfuerzos se comienzan a hacer con el desarrollo de los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en el marco de las Energías Renovables no Convencionales (ERNC). Hasta ese momento las rejillas comunes no satisfacían los requerimientos técnicos ni ambientales; o eran muy finas y se obstruían rápidamente, o no cumplían con un filtrado mínimo.

Estudios avanzados han determinado que el uso de rejillas basadas en el efecto COANDA, en el diseño de obras de toma, son muy eficientes y confiables.

### **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Investigar las rejillas autofiltrantes de las captaciones “Tipo COANDA” mediante estructuras de barras circulares de construcción artesanal, para disminuir costos de fabricación.

---

<sup>3</sup> <http://www.coandascreen.cl/Doc%20HydroSieve%202011%20rev1.pdf>

### **1.3. OBJETIVO ESPECIFICO**

- Analizar el funcionamiento de las captaciones tipo COANDA.
- Seleccionar el material de sección circular (alambres u otros), como elementos constructivos de la rejilla de filtración.
- Diseñar un prototipo y método de construcción de las captaciones tipo COANDA con materiales disponibles en el mercado nacional.
- Establecer parámetros de diseño de las captaciones tipo COANDA como resultado de la investigación.

### **1.4. HIPÓTESIS**

El rendimiento de las tomas de agua mediante rejillas de sección circular es menor que el rendimiento mediante el uso de las rejillas COANDA.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

Estudios avanzados han determinado que el uso de rejas basadas en el efecto COANDA, en el diseño de obras de toma, son muy eficientes y confiables. Varias ventajas se destacan:

- Reducción en los costos de construcción de obras de toma por disminución drástica de decantadores o desarenadores.
- Bajos costos de mantenimiento. No hay partes móviles que reparar ni programar continuos trabajos de limpieza.
- Máxima disponibilidad de potencia de generación al no obstruirse la reja.
- Reduce drásticamente las partículas en suspensión mayores a 0,5 mm y en consecuencia reduce el desgaste de turbinas o bombas.
- En aguas de riego reduce sustancialmente la distribución de semillas no deseadas y malezas. (reducción en el uso de herbicidas y costos de desmalezado)

- Excluye prácticamente 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 emplearían materiales del sector, de esta manera se economizaría todo lo que compete al estudio e investigación del proyecto.

## **1.6. METAS**

- Análisis detallado del funcionamiento de las obras de captación tipo Coanda.
- Construir un prototipo de captación con rejilla de materiales disponibles en el mercado nacional.
- Optimizar la geometría de las rejillas a fin de reducir los costos de construcción de obras de toma.
- Determinar los parámetros de diseño de las rejillas seleccionadas para facilitar el cálculo y el diseño de las captaciones tipo COANDA.
- Presentar un ejemplo de cálculo con la metodología propuesta.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. QUE 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<sup>4</sup>.

Es el fenómeno físico 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:

Supongamos 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. Esto se puede ver en la figura 2.1.

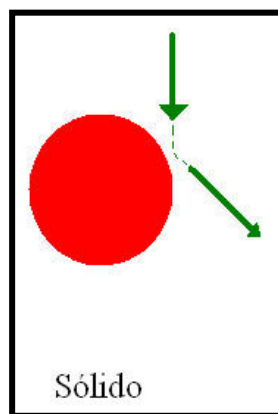


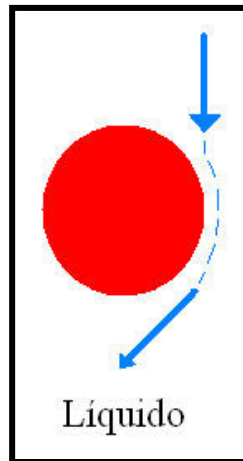
Figura 2.1: Ejemplo de lo que pasa al chocar dos formas solidas<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> <http://www.coandascreen.cl/Doc%20HydroSieve%202011%20rev1.pdf>

<sup>5</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Efecto\\_coanda.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Efecto_coanda.jpg)

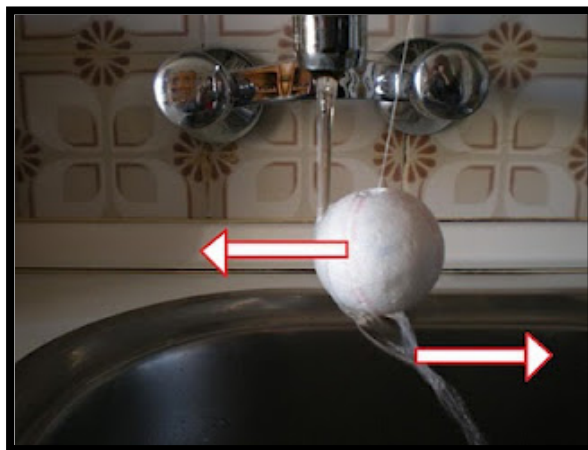


Si repetimos esta experiencia con un líquido, debido a su viscosidad, tenderá a "pegarse" a la superficie curva. El fluido saldrá en dirección opuesta. En este caso, el fluido será atraído hacia el cilindro. Como lo indica la figura 2.2.



**Figura 2.2: Paso del líquido alrededor de la figura sólida<sup>6</sup>.**

Si nos imagináramos el líquido que cae como miles de capas de agua, las capas que tocan al cilindro se pegarán. Las capas contiguas, por el rozamiento, se pegarán a esta y se desviarán un poco. Las siguientes capas, igualmente, se desviarán algo más (foto 2.1).



**Foto 2.1: Agua en contacto con una esfera, el agua se adhiere a la esfera<sup>7</sup>.**

<sup>6</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Efecto\\_coanda.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Efecto_coanda.jpg)

<sup>7</sup> <http://cienciaslacoma.blogspot.com/2010/08/aerodinamica.html>

## 2.2. DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA OBRA DE TOMA TIPO COANDA

### 2.2.1. 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 entrega el agua suave, acelerado a la pantalla en el ángulo correcto (foto 2.2).



Foto 2.2: Placa de aceleración<sup>8</sup>.

La caída de la placa de aceleración ( $h_a$ ) (figura 2.3) crea las velocidades mínimas de agua necesarias para la autolimpieza.

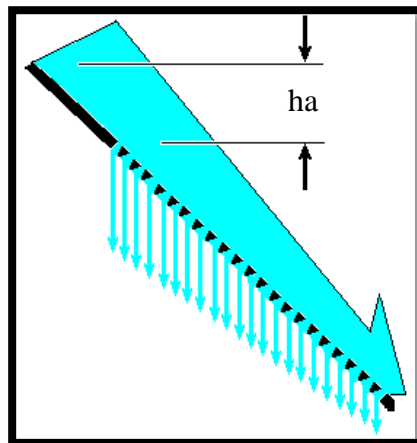


Figura 2.3: Caída de la Placa de aceleración<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> <http://www.coandawaterintakes.com/3.html>

<sup>9</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

Una placa de aceleración adecuadamente diseñada asegura que el agua fluya (a la velocidad adecuada) cumpla con la pantalla en el ángulo correcto y funcionan adecuadamente.

La figura 2.4 muestra un perfil de admisión con problemas de flujo, las rutas de entrada y salida de la pantalla son nítidas. El flujo de agua es inestable, turbulento y el agua se pierde en la sección superior de la pantalla.

Por lo tanto la pantalla reducirá su rendimiento como consecuencia de este diseño. El flujo de agua inestable también erosionará el lecho del río por debajo de la ingesta.

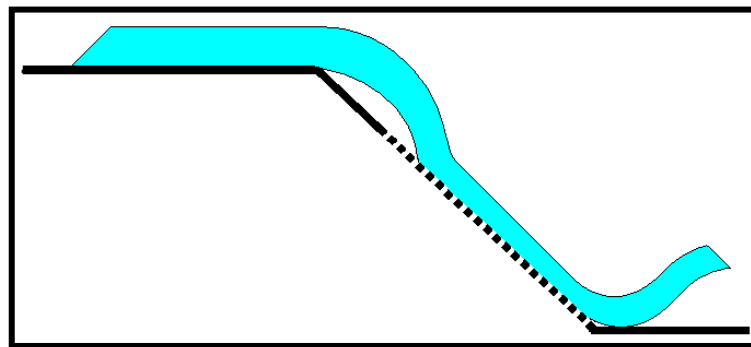


Figura 2.4: Obra de captación sin placa de aceleración<sup>10</sup>.

Un enfoque adecuado y la salida se muestran en la figura 2.5, La parte superior de la pared frontal (vertedero) y la forma de la placa de aceleración, un enfoque suave sobre una pantalla curvada. A medida que el agua fluye hacia abajo la placa de la aceleración se vuelve suave y rápida. La descarga de agua (frente a la parte inferior de la pantalla) está próxima al nivel.

La caída de la placa de aceleración y curvatura están diseñados para las condiciones del sitio de la ingesta.

<sup>10</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

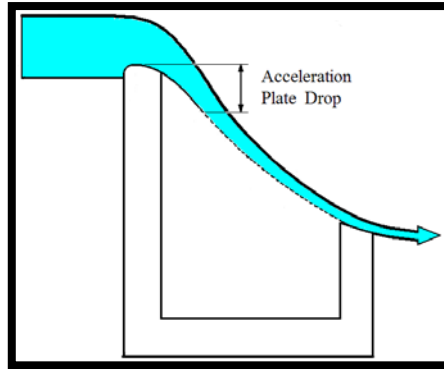


Figura 2.5: Obra de captación sin placa de aceleración<sup>11</sup>.

### 2.2.2. 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 la 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.

El peso (profundidad) de agua por encima de la pantalla empuja el agua a través de las aberturas de las ranuras (figura 2.6).

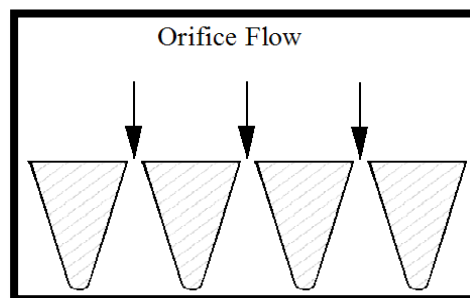
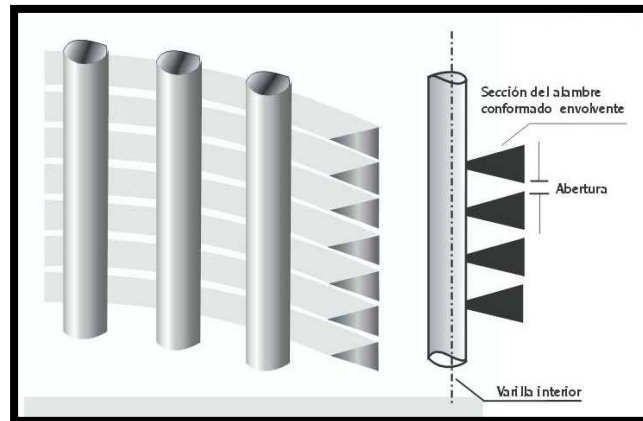


Figura 2.6: Flujo del orificio<sup>12</sup>.

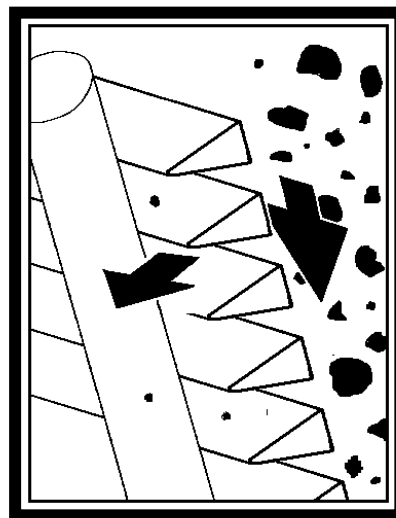
<sup>11</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>12</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

Las rejas autolimpiantes están destinadas a la filtración primaria de aguas corrientes superficiales de ríos y esteros en base al efecto COANDA y de corte, por lo que tienen la propiedad de autolimpiantes aun siendo muy finas (figura 2.7 y figura 2.8).



**Figura 2.7: Rejas autofiltrantes y separaciones.**

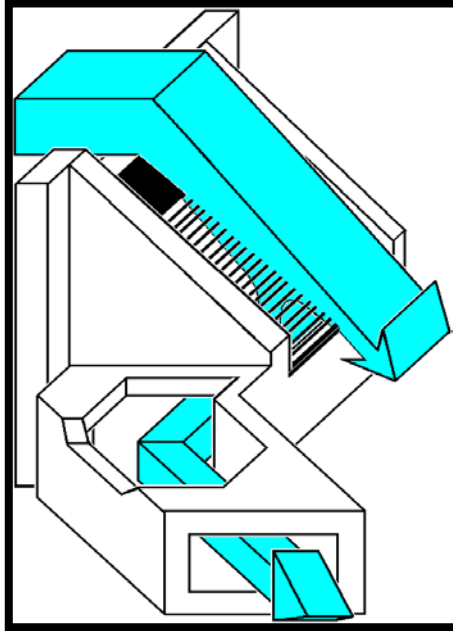


**Figura 2.8: Ingreso del agua y eliminación de residuos<sup>13</sup>.**

Tienen una gran capacidad de separación de sólidos y prácticamente no permiten el paso de ninguna especie de vida acuática. Su rango de aplicación va de algunos lts/seg a mas de 20 m<sup>3</sup>/seg para proyectos de

<sup>13</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

pequeñas y medianas centrales hidroeléctricos, agua potable, acuicultura y riego tecnificado (figura 2.9).



**Figura 2.9: Captación de aguas superficiales<sup>14</sup>.**

Su instalación es simple y pueden ser adaptadas en algunos casos a Obras de captación ya existentes. Por lo regular son fabricadas completamente en acero inoxidable (foto 2.3 y 2.4).



**Foto 2.3: Sección de rejilla autofiltrante.<sup>15</sup>**

<sup>14</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>15</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

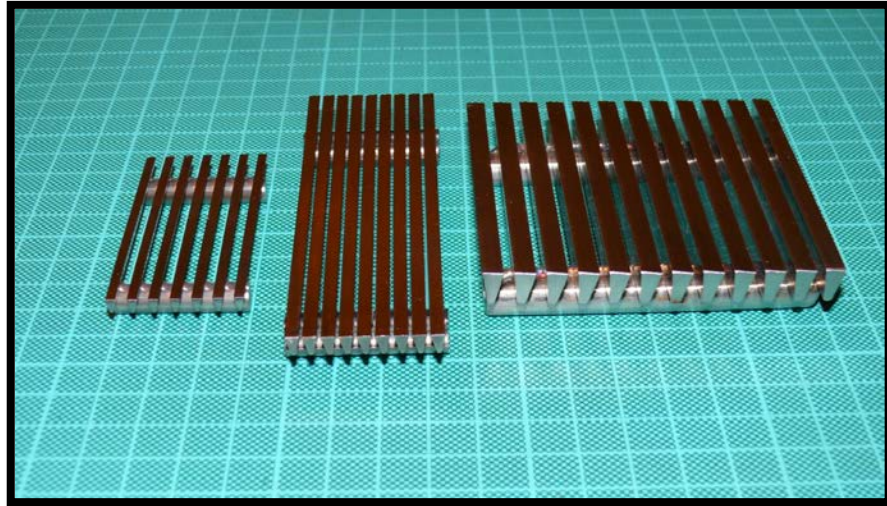


Foto 2.4: Diferentes tamaños de la reja autofiltrante<sup>16</sup>.

### 2.3. ANÁLISIS DE LAS CAPTACIONES TIPO COANDA.

Las fotos 2.5, 2.6, y 2.7 nos 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 construida con perfiles transversales de acero inoxidable.



Foto 2.5: Proceso de colación de una malla autolimpiante<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>17</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)



Foto 2.6: Parte inferior de la malla autolimpiante<sup>18</sup>.



Foto 2.7: Obra terminada de una obra de captación que emplea el efecto Coanda<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>19</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)



Como muestran la foto 2.8, figura 2.10 y figura 2.11, 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 seco, por lo que es necesario que un cierto caudal de agua que podría ser el caudal ecológico circule permanentemente sobre la pantalla.



**Foto 2.8: Obra de captación en pleno funcionamiento, captando agua<sup>20</sup>.**

Este caudal arrastrará también la broza que pueda haber quedado en el borde inferior de la pantalla, broza que pondría en peligro la supervivencia de los peces retenidos en la zona. La pérdida de salto producida por este tipo de pantalla es elevada entre 1,20 y 1,60 m - por lo que no se recomienda su utilización en saltos de baja altura. La pantalla puede tratar hasta 140 l/s por metro lineal.

---

<sup>20</sup> [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

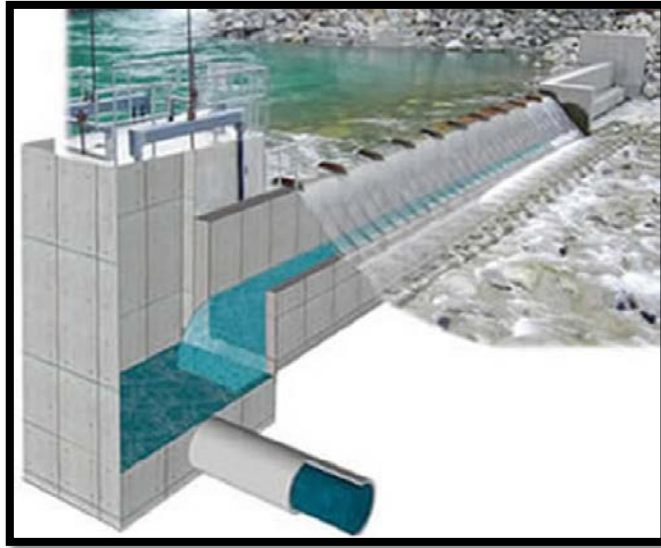


Figura 2.10: Captación y conducción de agua mediante las mallas autolimpiantes<sup>21</sup>.

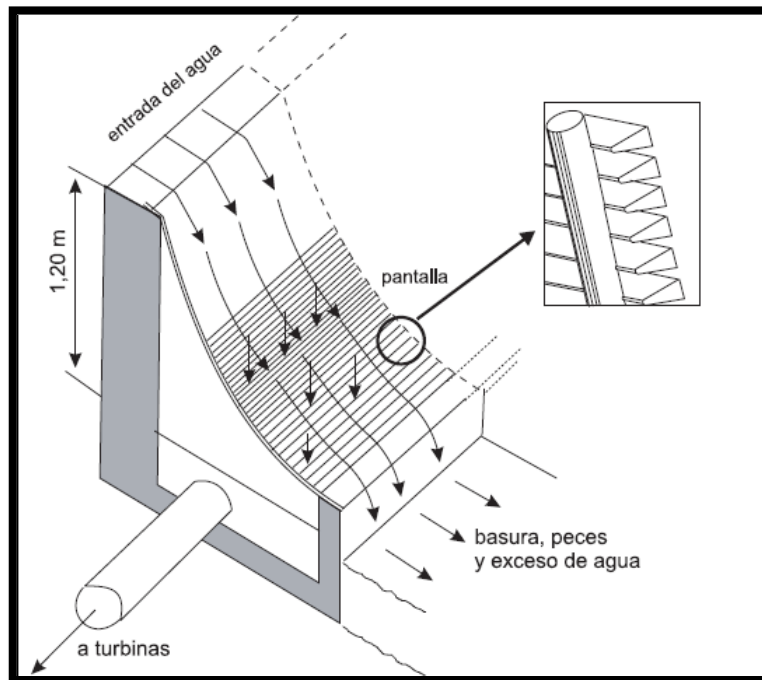


Figura 2.11: Modelo de obra de captación COANDA<sup>22</sup>.

En la figura 2.12 podemos observar los diferentes elementos que conforman una obra de captación tipo COANDA.

<sup>21</sup> Brochure coanda intake de coanda intakes

<sup>22</sup> Self-Cleaning Intake and Diversion Screen

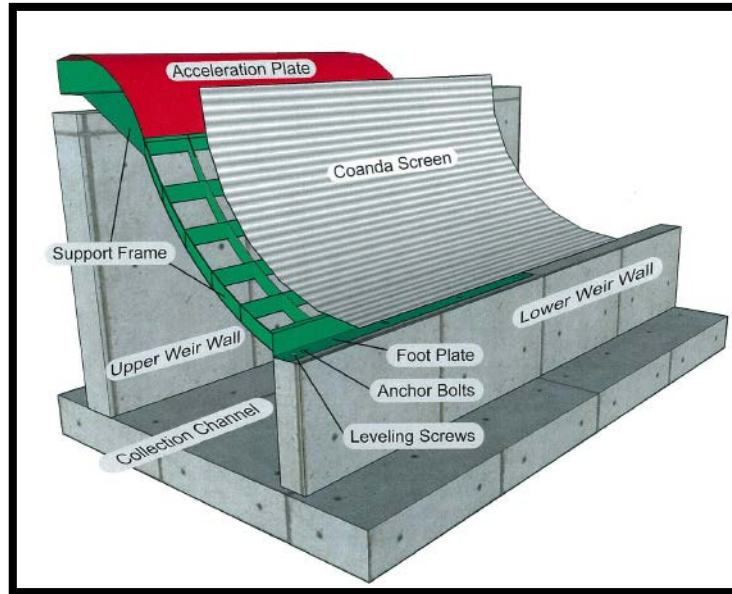


Figura 2.12: Elementos de una obra de captación que emplea el efecto COANDA<sup>23</sup>.

En un principio el agua ingresa a la captación a una velocidad adecuada que es dada por la inclinación de la placa de aceleración (figura 2.13).

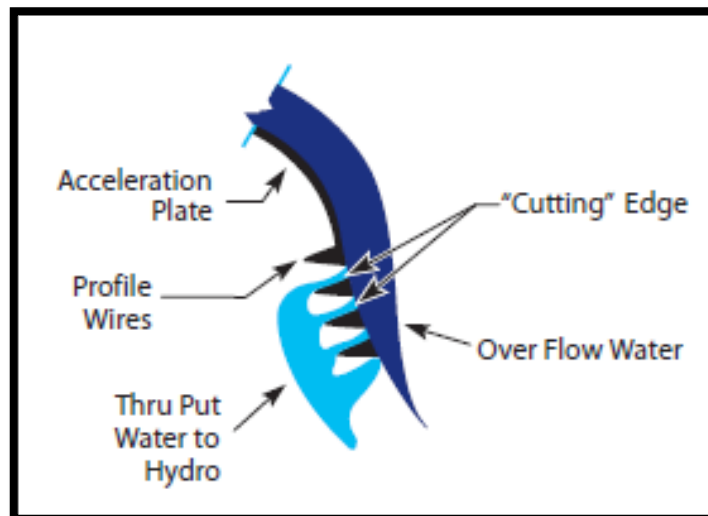


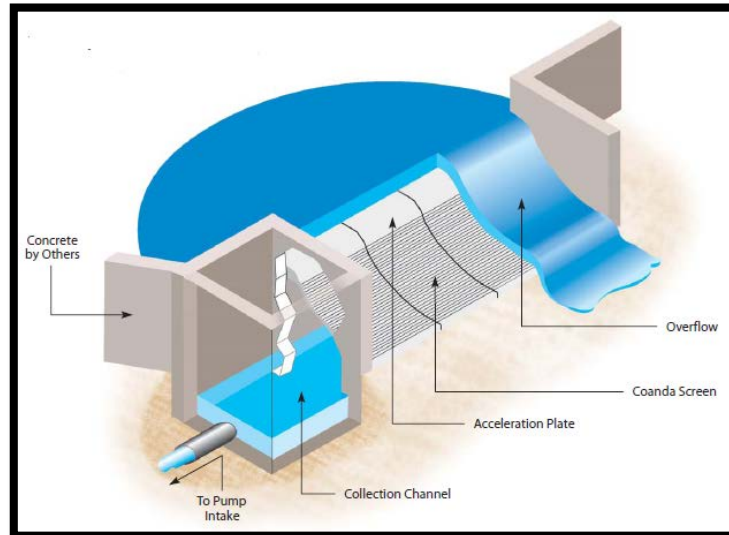
Figura 2.13: Placa de aceleración<sup>24</sup>.

El agua pasa a través de las rejillas autolimpiantes, esta rejilla tiene una inclinación adecuada que permite el ingreso del agua a la captación y

<sup>23</sup> Brochure coanda intake de Coanda Intakes

<sup>24</sup> Static Coanda Intake Screen of Norris Screen and Manufacturing

la eliminación de los residuos sólidos y preservación de la vida acuática (figura 2.14 y 2.15).



**Figura 2.14: Ingreso del agua en la obra de captación<sup>25</sup>.**



**Figura 2.15: Vistan en proyección de las rejillas<sup>26</sup>.**

En la figura 2.16 que se muestra a continuación se observa un resumen de todo detallado anteriormente.

<sup>25</sup> Static Coanda Intake Screen of Norris Screen and Manufacturing

<sup>26</sup> Brochure coanda intakes de coanda intakes

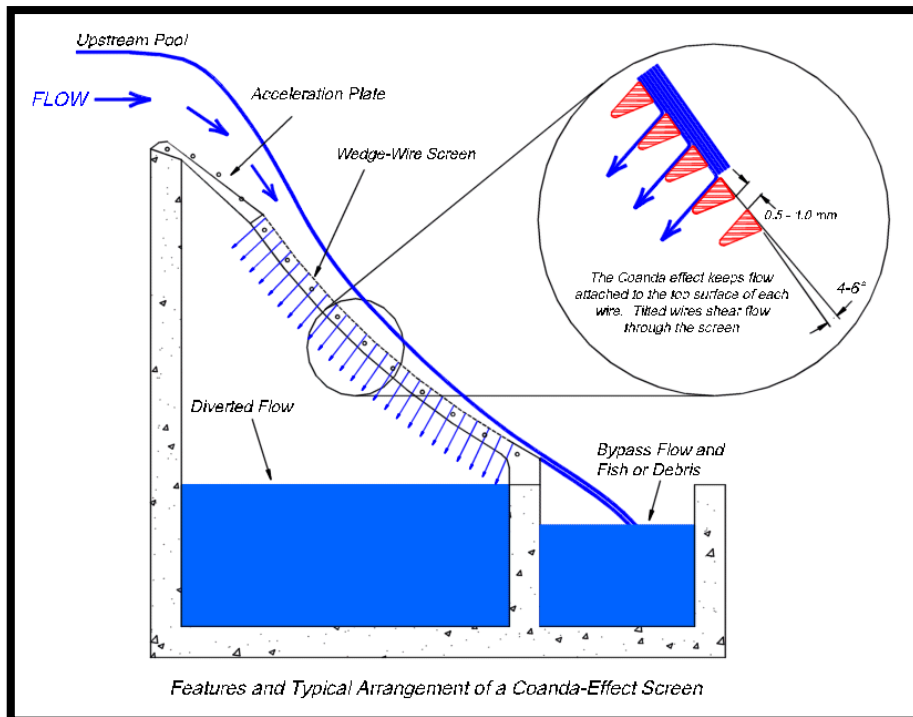


Figura 2.16: Detalle del ingreso del agua a la obra de captación mediante el empleo de la malla autofiltrante<sup>27</sup>.

### 2.3.1. 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 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.

Grandes cantidades de desechos se producen durante el deshielo de la primavera o después de las fuertes lluvias. En estos momentos también hay exceso de agua para barrer los escombros fuera de las pantallas y llevarla río abajo.

<sup>27</sup> 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management  
July 30 - August 2, 2000 — Minneapolis, Minnesota

### 2.3.2. Funcionamiento de las rejillas autolimpiantes.

Cuando las rejillas están orientadas en forma horizontal o no tienen la suficiente inclinación se acumulan los escombros sobre la rejilla (figura 2.17 y 2.18).

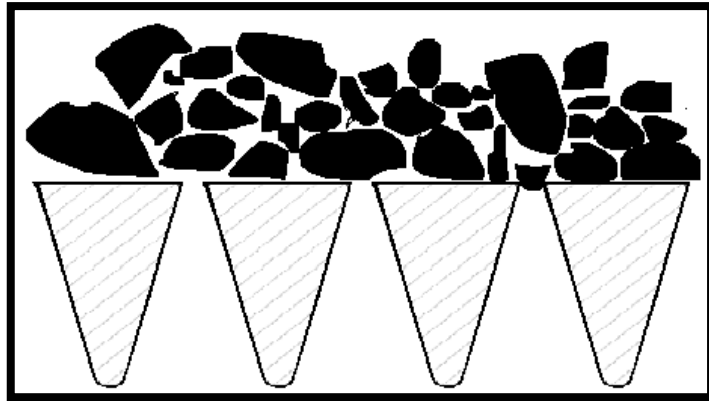


Figura 2.17: Acumulación de escombros sobre la rejilla por mal colocación de la misma<sup>28</sup>.

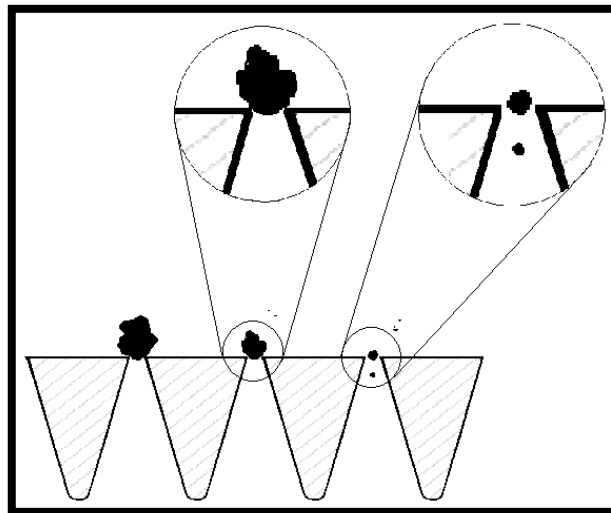
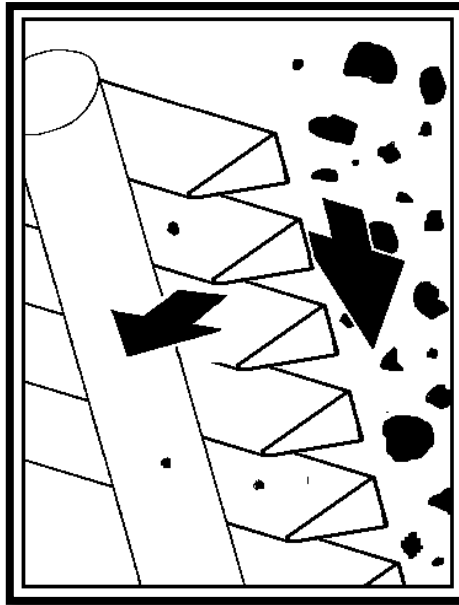


Figura 2.18: Ingreso de residuos menores a 2mm<sup>29</sup>.

Es por eso que es necesario calcular o determinar bien la inclinación de la rejilla autolimpiante a fin de eliminar los residuos sólidos y permitir que la obra de captación funcione de acuerdo a lo diseñado (figura 2.19).

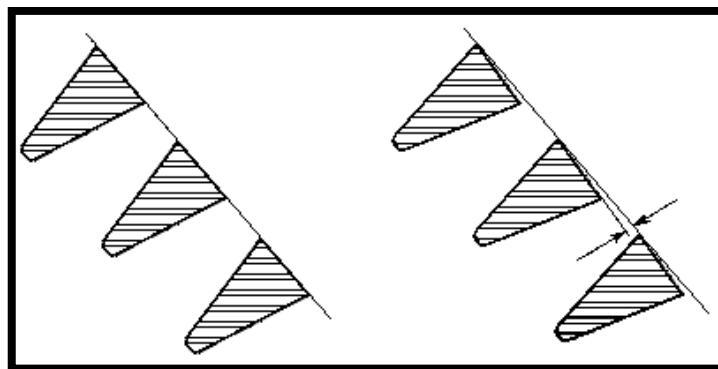
<sup>28</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>29</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)



**Figura 2.19: Proceso de autolimpieza en reja con correcto ángulo de inclinación<sup>30</sup>.**

Además de la inclinación de la reja es muy importante la ubicación de cada una de las varillas o alambres que la forman, a fin de aumentar el rendimiento de la reja. Es decir debe existir una diferencia de nivel entre cada varilla o alambre.



**Figura 2.20: Debe existir un ligero desnivel entre los elementos de la reja autolimpiante<sup>31</sup>.**

<sup>30</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

<sup>31</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)

Si todas las varillas o alambres estuvieran a una misma altura, el rendimiento de la reja no sería el esperado, captaría agua pero no lo esperado, en la figura 2.21, observamos dos situaciones, en la primera vemos que sucede con el agua, siendo la segunda por que aumenta el caudal captado.

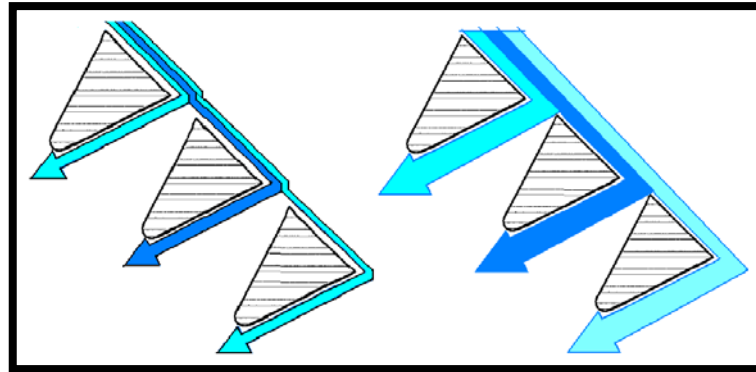


Figura 2.21: Captación de agua en ambas situaciones<sup>32</sup>.

## 2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OBRA DE CAPTACIÓN TIPO COANDA

### 2.4.1. Ventajas de la obra de captación tipo COANDA

- Reducción en los costos de construcción de obras de toma por disminución drástica de decantadores o desarenadores.
- Bajos costos de manutención. No hay partes móviles que reparar ni programar continuos trabajos de limpieza.
- Máxima disponibilidad de potencia de generación al no obstruirse la reja.
- Reduce drásticamente las partículas en suspensión mayores a 0,5 mm y en consecuencia reduce el desgaste de turbinas o bombas.
- En aguas de riego reduce sustancialmente la distribución de semillas no deseadas y malezas. (reducción en el uso de herbicidas y costos de desmalezado)

<sup>32</sup> Coanda water intake basics: [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)



- Excluye prácticamente toda la vida acuática que puede continuar su curso normal sin ser afectada.

#### **2.4.2. Desventajas de la obra de captación tipo COANDA**

Como cualquier otro tipo de obra de captación el impacto ambiental que la construcción podría acarrear, sería la única desventaja que se corregirían con la minimización de los mismos.

## CAPÍTULO 3

### SEMEJANZA HIDRÁULICA

#### 3.1. TIPO DE SEMEJANZA

Una vez que se han seleccionado las variables y realizado el análisis dimensional, el investigador debe buscar la semejanza entre el modelo ensayado y el prototipo a diseñar. Con suficientes ensayos, los datos obtenidos del modelo proporcionarían la función adimensional buscada<sup>33</sup>:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_k)$$

Con la Ecuación anterior disponible en tablas, gráficas o en forma analítica, estamos en posición de asegurar la semejanza completa entre modelo y prototipo. Una definición formal podría ser la siguiente:

Las condiciones del flujo para un modelo de ensayo son completamente semejantes a las del prototipo si coinciden los valores de todos los parámetros adimensionales correspondientes en el modelo y el prototipo.

Esto se obtiene matemáticamente de la Ecuación anterior. Si  $\Pi_{2m} = \Pi_{2p}$ ,  $\Pi_{3m} = \Pi_{3p}$ , etc., la Ecuación anterior garantiza que el valor buscado de  $\Pi_{1m}$  es igual a  $\Pi_{1p}$ . Pero esto es más fácil de decir que de hacer, como veremos ahora.

Por ser difícil de conseguir la semejanza completa, la literatura ingenieril habla de tipos particulares de semejanza, siendo las más comunes la geométrica, cinemática, dinámica. Consideremos cada una por separado.

---

<sup>33</sup> Similitud hidráulica y semejanza de la Universidad Nacional de Comahue.

### 3.1.1. Semejanza Geométrica

La semejanza geométrica se refiere a la dimensión longitud  $L$  y debe asegurarse que se cumple antes de proceder a los ensayos con cualquier modelo. Una definición formal es la siguiente<sup>34</sup>:

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

Obsérvese que todas las longitudes deben de estar referidas a la misma escala. Es como si se tomase una fotografía del prototipo y la redujésemos o agrandásemos hasta que tuviese el tamaño del modelo. Si el modelo está hecho a un decimo de tamaño del prototipo, su longitud, anchura y altura deben ser diez veces más pequeñas. No sólo eso, sino que cualquiera de sus dimensiones deben ser diez veces más pequeñas, y, técnicamente, hablaremos de puntos homólogos, que son los puntos que tienen la misma posición relativa. Por ejemplo, el borde de ataque del prototipo es homólogo al borde de ataque del modelo. El extremo izquierdo del prototipo de una ala es homólogo al extremo izquierdo del modelo. La semejanza geométrica requiere que todos los puntos homólogos estén relacionados por la misma relación de escala lineal. Esto se aplica tanto a la geometría del fluido como del modelo.

En la semejanza geométrica todos los ángulos se conservan. Todas las direcciones del flujo se conservan. La orientación del modelo y del prototipo con respecto a los objetos de los alrededores debe ser idéntica.

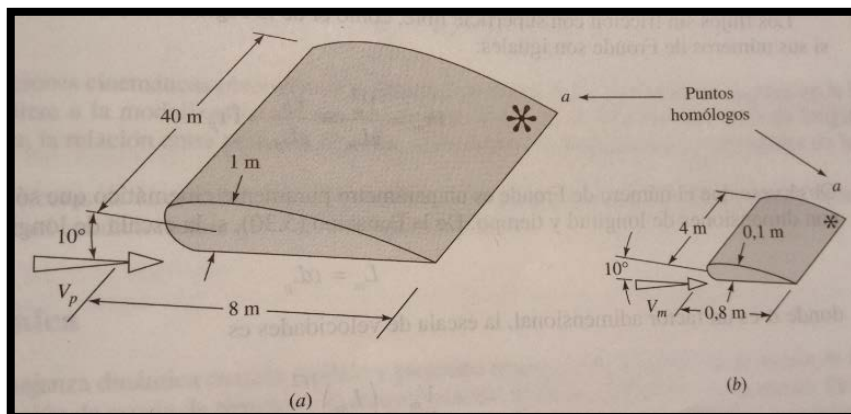
La figura 3.1 ilustra un prototipo de ala y su modelo a escala un décimo. Las longitudes del modelo son todas un décimo más pequeño, pero su ángulo de ataque con respecto a la corriente libre es el mismo:

---

<sup>34</sup> Similitud hidráulica y semejanza de la Universidad Nacional de Comahue.

10° no 1°. Todos los detalles geométricos del modelo deben estar a escala, y a veces se pasan por alto algunos de ellos por ser muy sutiles:

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 5mm, 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 en el ensayo con modelos:**  
**(a) prototipo; (b) modelo a escala un décimo.**

Y así sucesivamente. Habrá violación de la semejanza geométrica cuando el modelo no cumpla todas estas exigencias, si bien quizá sea posible mostrar mediante contraste experimental que el comportamiento del prototipo no va a estar afectado por la discrepancia.

El usuario de modelos se arriesga cuando utiliza modelos que parecen semejantes en su forma, pero que violan claramente la semejanza geométrica. Las esferas de la figura 3.2 son todas

geométricamente semejantes y puede esperarse que los ensayos den resultados si los números de Reynolds, Froude, etc., son los mismos. Sin embargo, los elipsoides de la figura 3.3, sólo parecen semejantes. En realidad sus dos ejes tienen relaciones de escala lineal diferentes y no pueden compararse de ninguna forma racional, aunque los números de Reynolds, Froude, etc., sean idénticos.

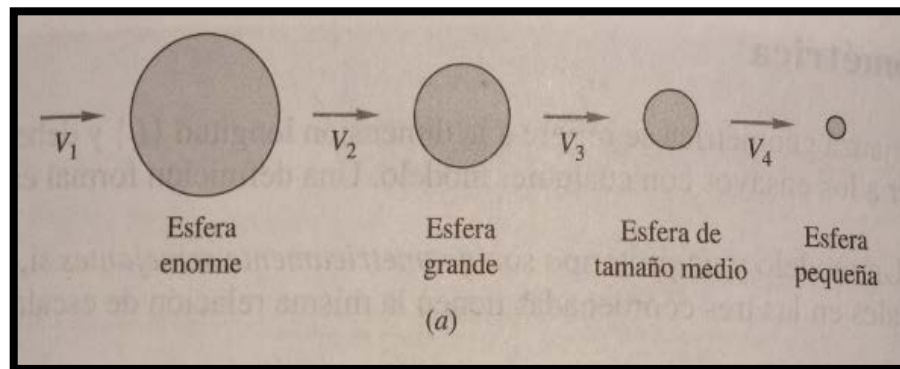


Figura 3.2: Figuras semejantes.

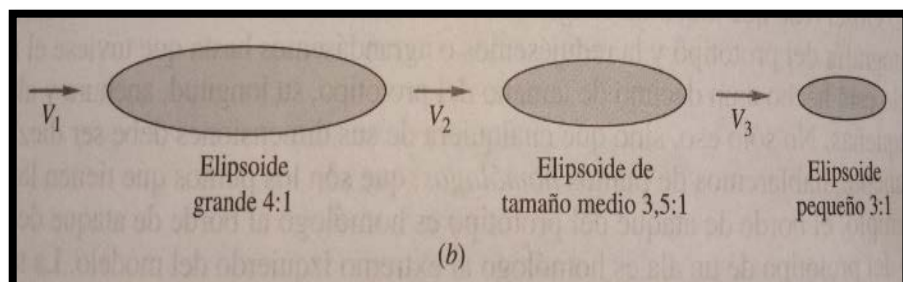


Figura 3.3: Figuras diferentes.

Los resultados no serán los mismos para estos elipsoides y cualquier intento de "compararlos" es una cuestión de juicio ingenieril grosero.

### 3.1.2. Semejanza Cinemática

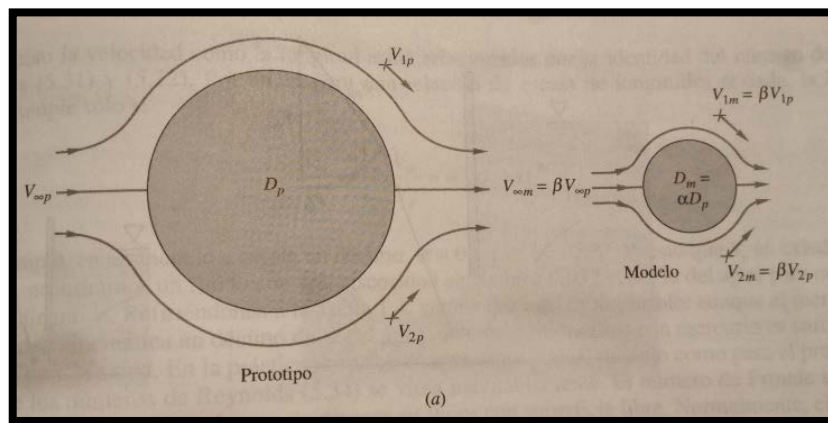
La semejanza cinemática exige que todas las relaciones entre longitudes homólogas del modelo y prototipo tengan el mismo valor, que se denomina relación de escala de longitudes, y también que todas las relaciones entre tiempos homólogos tengan un valor común, que se

denomina relación de escala de tiempos. Entonces habrá una única relación de escala de velocidades. Langhaar lo expresa<sup>35</sup>:

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

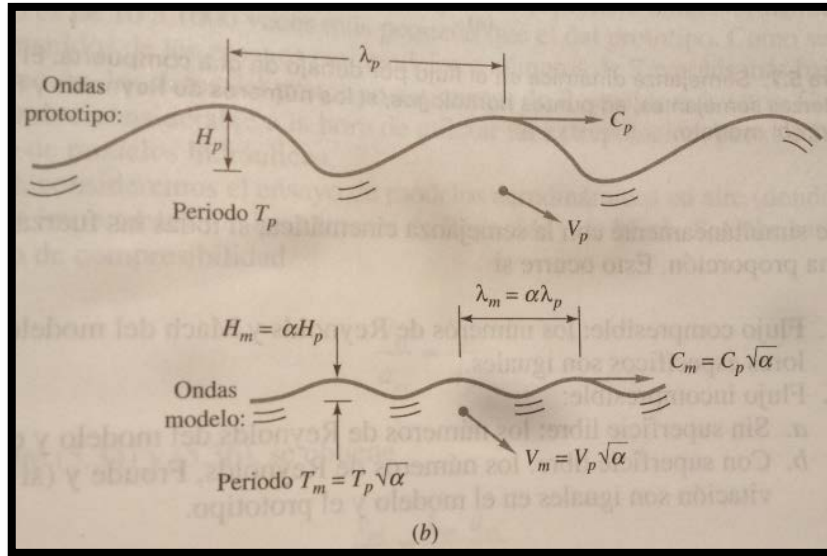
La equivalencia de las escalas de longitud implica simplemente semejanza geométrica, pero la equivalencia de las escalas de tiempo puede exigir consideraciones dinámicas adicionales tales como la igualdad de los números de Reynolds y de Mach.

Un caso especial es el flujo sin fricción y sin superficie libre de un fluido incomprensible, que se esquematiza en la Figura 3.4. Este tipo de flujos son cinemáticamente semejantes con escalas de longitud y tiempo independientes, y no son necesarios parámetros adicionales.



**Figura 3.4: Flujo sin fricción. Los flujos sin superficie libre son cinemáticamente semejantes con relaciones de escala de longitud y tiempo independientes.**

<sup>35</sup> Similitud hidráulica y semejanza de la Universidad Nacional de Comahue.



**Figura 3.5: Los flujos no viscosos a bajas velocidades son cinemáticamente semejantes: Los flujos con superficie libre son cinemáticamente semejantes con escalas de longitud y tiempo relacionadas entre sí por la conservación del número de Froude.**

Los flujos sin fricción con superficie libre, como el de la figura 3.5, son cinemáticamente semejantes si sus números de Froude son iguales:

$$Fr_m = V_m^2 / gL_m = V_p^2 / gL_m = Fr_p$$

Obsérvese que el número de Froude es un parámetro puramente cinemático que sólo relaciona magnitudes con dimensiones de longitud y tiempo. De la Ecuación anterior, si la escala de longitud es:

$$L_m = \alpha L_p$$

Donde  $\alpha$  es un factor adimensional, la escala de velocidades es:

$$V_m / V_p = (L_m / L_p)^{1/2} = \sqrt{\alpha}$$

Y la escala de tiempo es:

$$T_m / T_p = (L_m / V_m) / (L_p / V_p) = \sqrt{\alpha}$$

Estas relaciones cinemáticas obtenidas de la igualdad de los números de Froude se ilustra en la Figura 5.6b, que se refiere a la modelización del movimiento de ondas. Si la relación de escala de longitudes de las ondas es  $\alpha$ , la relación entre períodos de onda, velocidad de propagación y velocidades de las partículas es  $\sqrt{\alpha}$ .

Si los efectos de viscosidad, tensión superficial o de compresibilidad son importantes, la semejanza cinemática está condicionada a que haya semejanza dinámica.

### 3.1.3. Semejanza Dinámica

Existe semejanza dinámica cuando modelo y prototipo tienen la misma relación de escala de longitudes, la misma relación de escala de tiempos y la misma relación de escala de fuerza (o de masa). De nuevo, la semejanza geométrica es el primer requisito; en caso contrario, no se debe proseguir. La semejanza dinámica existe simultáneamente con la semejanza cinemática, si todas las fuerzas en modelo y prototipo guardan la misma proporción. Esto ocurre si<sup>36</sup>:

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 intervienen) los de Weber y de cavitación son iguales en el modelo y el prototipo.

Esto es en consecuencia de que la ley de Newton exige que para toda partícula fluida la suma de las fuerzas de presión, gravedad y fricción ha de ser igual al término de aceleración o fuerza de inercia,

---

<sup>36</sup> Similitud hidráulica y semejanza de la Universidad Nacional de Comahue.



$$F_p + F_g + F_f = F_i$$

Las leyes de semejanza dinámica citadas anteriormente aseguran que todas estas fuerzas están en la misma proporción y tienen direcciones equivalentes en el modelo y el prototipo.

La figura 3.6 muestra un ejemplo correspondiente al flujo bajo una compuerta. Los polígonos de fuerzas en puntos homólogos tienen exactamente la misma forma si los números de Reynolds y Froude son iguales (despreciando, por supuesto, la tensión superficial y la cavitación). La semejanza cinemática también está asegurada por las mismas leyes.

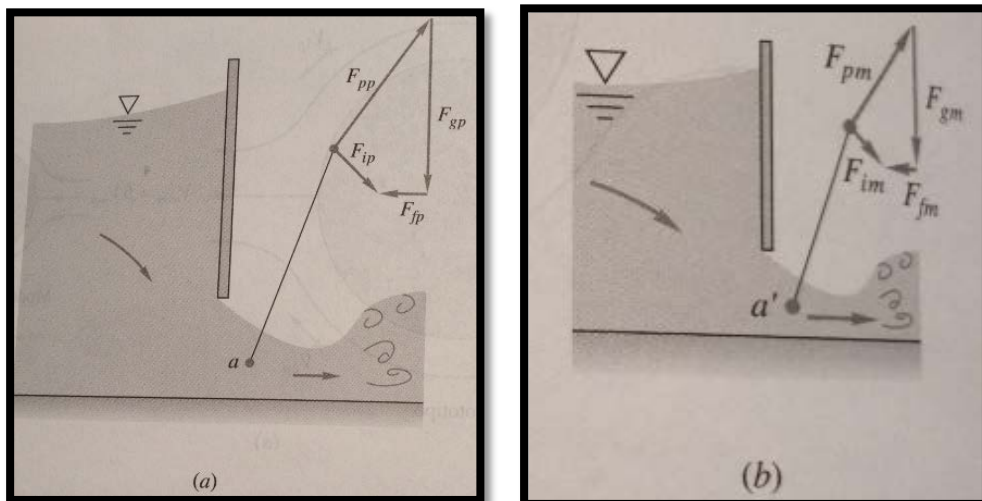


Figura 3.6: Semejanza dinámica en el flujo por debajo de una compuerta. El modelo y prototipo tienen polígonos de fuerza semejantes, en puntos homólogos, si los números de Reynolds y Froude son iguales en ambos: (a) prototipo; (b) modelo.

## 3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

### 3.2.1. Calculo del Perfil Creager

Antes de determinar las coordenadas del perfil, se calcula el caudal necesario, imponiéndose los siguientes datos:

$$b = 30\text{cm}$$

$$m = 0.49$$

$$g = 9.77 \text{ m}^2/\text{seg} \text{ (gravedad de acuerdo a la posición geográfica.)}$$

Empleando la siguiente ecuación para el cálculo del Q.:

$$Q = mb\sqrt{2g} Ho^{3/2}$$

A continuación se presentan los diferentes caudales y potencias obtenidas:

<b>b</b>	<b>Ho</b>	<b>m</b>	<b>g</b>	<b>Q</b>	<b>Ht</b>	<b>ro *g</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
<b>cm</b>	<b>m</b>		<b>m/seg2</b>	<b>m3/seg</b>	<b>m</b>		<b>kw</b>	<b>Hp</b>
0.30	0.01	0.49	9.80	0.001	1.50	9800	12.76	0.02
0.30	0.02	0.49	9.80	0.002	1.50	9800	36.08	0.05
0.30	0.03	0.49	9.80	0.003	1.50	9800	66.28	0.09
0.30	0.04	0.49	9.80	0.005	1.50	9800	102.04	0.14
0.30	0.05	0.49	9.80	0.007	1.50	9800	142.61	0.19
0.30	0.06	0.49	9.80	0.010	1.50	9800	187.47	0.25
0.30	0.07	0.49	9.80	0.012	1.50	9800	236.24	0.32
0.30	0.08	0.49	9.80	0.015	1.50	9800	288.63	0.39
0.30	0.09	0.49	9.80	0.018	1.50	9800	344.40	0.46
0.30	0.10	0.49	9.80	0.021	1.50	9800	403.37	0.54
0.30	0.11	0.49	9.80	0.024	1.50	9800	465.36	0.62
0.30	0.12	0.49	9.80	0.027	1.50	9800	530.24	0.71
0.30	0.13	0.49	9.80	0.031	1.50	9800	597.88	0.80
0.30	0.14	0.49	9.80	0.034	1.50	9800	668.18	0.90
0.30	0.15	0.49	9.80	0.038	1.50	9800	741.03	0.99
0.30	0.16	0.49	9.80	0.042	1.50	9800	816.36	1.09
0.30	0.17	0.49	9.80	0.046	1.50	9800	894.08	1.20
0.30	0.18	0.49	9.80	0.050	1.50	9800	974.11	1.31
0.30	0.19	0.49	9.80	0.054	1.50	9800	1056.41	1.42
0.30	0.20	0.49	9.80	0.058	1.50	9800	1140.90	1.53
0.30	0.21	0.49	9.80	0.063	1.50	9800	1227.53	1.65
0.30	0.22	0.49	9.80	0.067	1.50	9800	1316.24	1.76
0.30	0.23	0.49	9.80	0.072	1.50	9800	1407.00	1.89
0.30	0.24	0.49	9.80	0.077	1.50	9800	1499.75	2.01
0.30	0.25	0.49	9.80	0.081	1.50	9800	1594.45	2.14
0.30	0.26	0.49	9.80	0.086	1.50	9800	1691.07	2.27
0.30	0.27	0.49	9.80	0.091	1.50	9800	1789.56	2.40
0.30	0.28	0.49	9.80	0.096	1.50	9800	1889.90	2.53
0.30	0.29	0.49	9.80	0.102	1.50	9800	1992.04	2.67
0.30	0.30	0.49	9.80	0.107	1.50	9800	2095.96	2.81
0.30	0.31	0.49	9.80	0.112	1.50	9800	2201.63	2.95

0.30	0.32	0.49	9.80	0.118	1.50	9800	2309.01	3.10
0.30	0.33	0.49	9.80	0.123	1.50	9800	2418.09	3.24
0.30	0.34	0.49	9.80	0.129	1.50	9800	2528.83	3.39
0.30	0.35	0.49	9.80	0.135	1.50	9800	2641.21	3.54
0.30	0.36	0.49	9.80	0.141	1.50	9800	2755.21	3.69
0.30	0.37	0.49	9.80	0.146	1.50	9800	2870.81	3.85
0.30	0.38	0.49	9.80	0.152	1.50	9800	2987.97	4.01
0.30	0.39	0.49	9.80	0.159	1.50	9800	3106.69	4.16
0.30	0.40	0.49	9.80	0.165	1.50	9800	3226.94	4.33

**Tabla 3.1: Muestra los caudales y potencia de la bomba obtenida para diferentes Ho.**

De la tabla 3.1 escogemos una bomba de 1Hp.

<b>b</b>	<b>Ho</b>	<b>m</b>	<b>g</b>	<b>Q</b>	<b>Ht</b>	<b>ro *g</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
<b>cm</b>	<b>m</b>		<b>m/seg2</b>	<b>m3/seg</b>	<b>m</b>		<b>kw</b>	<b>Hp</b>
0.30	0.01	0.49	9.80	0.001	1.50	9800	12.76	0.02
0.30	0.02	0.49	9.80	0.002	1.50	9800	36.08	0.05
0.30	0.03	0.49	9.80	0.003	1.50	9800	66.28	0.09
0.30	0.04	0.49	9.80	0.005	1.50	9800	102.04	0.14
0.30	0.05	0.49	9.80	0.007	1.50	9800	142.61	0.19
0.30	0.06	0.49	9.80	0.010	1.50	9800	187.47	0.25
0.30	0.07	0.49	9.80	0.012	1.50	9800	236.24	0.32
0.30	0.08	0.49	9.80	0.015	1.50	9800	288.63	0.39
0.30	0.09	0.49	9.80	0.018	1.50	9800	344.40	0.46
0.30	0.10	0.49	9.80	0.021	1.50	9800	403.37	0.54
0.30	0.11	0.49	9.80	0.024	1.50	9800	465.36	0.62
0.30	0.12	0.49	9.80	0.027	1.50	9800	530.24	0.71
0.30	0.13	0.49	9.80	0.031	1.50	9800	597.88	0.80
0.30	0.14	0.49	9.80	0.034	1.50	9800	668.18	0.90
0.30	0.15	0.49	9.80	0.038	1.50	9800	741.03	0.99
0.30	0.16	0.49	9.80	0.042	1.50	9800	816.36	1.09
0.30	0.17	0.49	9.80	0.046	1.50	9800	894.08	1.20
0.30	0.18	0.49	9.80	0.050	1.50	9800	974.11	1.31
0.30	0.19	0.49	9.80	0.054	1.50	9800	1056.41	1.42

0.30	0.20	0.49	9.80	0.058	1.50	9800	1140.90	1.53
0.30	0.21	0.49	9.80	0.063	1.50	9800	1227.53	1.65
0.30	0.22	0.49	9.80	0.067	1.50	9800	1316.24	1.76
0.30	0.23	0.49	9.80	0.072	1.50	9800	1407.00	1.89
0.30	0.24	0.49	9.80	0.077	1.50	9800	1499.75	2.01
0.30	0.25	0.49	9.80	0.081	1.50	9800	1594.45	2.14
0.30	0.26	0.49	9.80	0.086	1.50	9800	1691.07	2.27
0.30	0.27	0.49	9.80	0.091	1.50	9800	1789.56	2.40
0.30	0.28	0.49	9.80	0.096	1.50	9800	1889.90	2.53
0.30	0.29	0.49	9.80	0.102	1.50	9800	1992.04	2.67
0.30	0.30	0.49	9.80	0.107	1.50	9800	2095.96	2.81
0.30	0.31	0.49	9.80	0.112	1.50	9800	2201.63	2.95
0.30	0.32	0.49	9.80	0.118	1.50	9800	2309.01	3.10
0.30	0.33	0.49	9.80	0.123	1.50	9800	2418.09	3.24
0.30	0.34	0.49	9.80	0.129	1.50	9800	2528.83	3.39
0.30	0.35	0.49	9.80	0.135	1.50	9800	2641.21	3.54
0.30	0.36	0.49	9.80	0.141	1.50	9800	2755.21	3.69
0.30	0.37	0.49	9.80	0.146	1.50	9800	2870.81	3.85
0.30	0.38	0.49	9.80	0.152	1.50	9800	2987.97	4.01
0.30	0.39	0.49	9.80	0.159	1.50	9800	3106.69	4.16
0.30	0.40	0.49	9.80	0.165	1.50	9800	3226.94	4.33

**Tabla 3.2: Muestra los datos escogidos para su posterior proceso matemático.**

De la tabla 3.2 escoge el  $H_o$  correspondiente a una bomba de 1 Hp, y con este valor se calculara las coordenadas del perfil Creager, mediante el empleo de las tablas existentes en Sandoval Washington, 2003, "Principios de Hidráulica", mencionadas tablas corresponden a las coordenadas de un Vertedero de Perfil Practico.

x/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
z/H	0,126	0,036	0,007	0,000	0,007	0,060	0,147	0,256

x/H	1,2	1,4	1,7	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
z/H	0,393	0,565	0,873	1,235	1,960	2,824	3,818	4,930

**Tabla 3.3: Coordenadas de un Vertedero de Perfil Práctico<sup>37</sup>.**

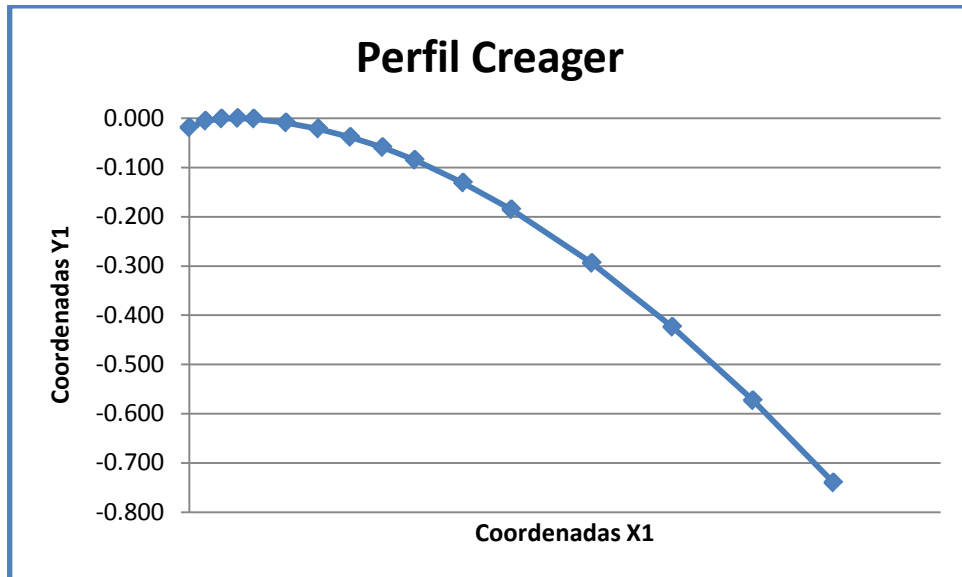
Multiplicamos los valores de la carga  $H_o$  por cada uno de los valores de la anterior tabla.

<b>Xo</b>	<b>Yo</b>	<b>Ho</b>	<b>X1</b>	<b>Y1</b>
m	m	m	m	m
0	0,126	0,15	0,000	-0,019
0,1	0,036	0,15	0,015	-0,005
0,2	0,007	0,15	0,03	-0,001
0,3	0	0,15	0,045	0,000
0,4	0,007	0,15	0,06	-0,001
0,6	0,06	0,15	0,09	-0,009
0,8	0,142	0,15	0,12	-0,021
1	0,256	0,15	0,15	-0,038
1,2	0,393	0,15	0,18	-0,059
1,4	0,565	0,15	0,21	-0,085
1,7	0,873	0,15	0,255	-0,131
2	1,235	0,15	0,3	-0,185
2,5	1,96	0,15	0,375	-0,294
3	2,824	0,15	0,45	-0,424
3,5	3,818	0,15	0,525	-0,573
4	4,93	0,15	0,6	-0,740

**Tabla 3.4: Muestra las coordenadas del Perfil Creager.**

Empleando Excel se obtiene el siguiente perfil:

<sup>37</sup> Principios de hidráulica de Sandoval Washington.



**Gráfico 3.1: Perfil Creager con las coordenadas calculadas.**

### 3.2.2. Calculo de los Vertederos

Por ser los vertederos triangulares los que mejor desempeño hidráulico brindan, fueron escogidos para el diseño del prototipo.

Para su diseño debemos conocer el caudal de agua que circulara por ellos, ante lo cual se diseñaron dos vertederos triangulares, tanto para el caudal que ingresa por las rejillas autolimpiantes cuanto para el caudal que no ingresa al sistema.

Para el cálculo de los vertederos triangulares es muy difundido la formula de King, siempre y cuando el ángulo de abertura sea igual a 90 grados.

El caudal lo obtuvimos de las tablas diseñadas anteriormente y este es de  $Q= 0.038 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Despejando de la formula de Grava obtenemos la altura del vertedero.

Datos:

Vertedero 1:  $\alpha_{V1} = 95^\circ$

Vertedero 2:  $\alpha_{V1} = 93^\circ$

$$H = \left( \frac{Q}{1,331(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^{0,996}} \right)^{\frac{1}{2.47}}$$

$$H1 = 0,228 \text{ metros} \quad H1 = 23 \text{ cm}$$

$$H2 = 0,232 \text{ metros} \quad H2 = 23 \text{ cm}$$

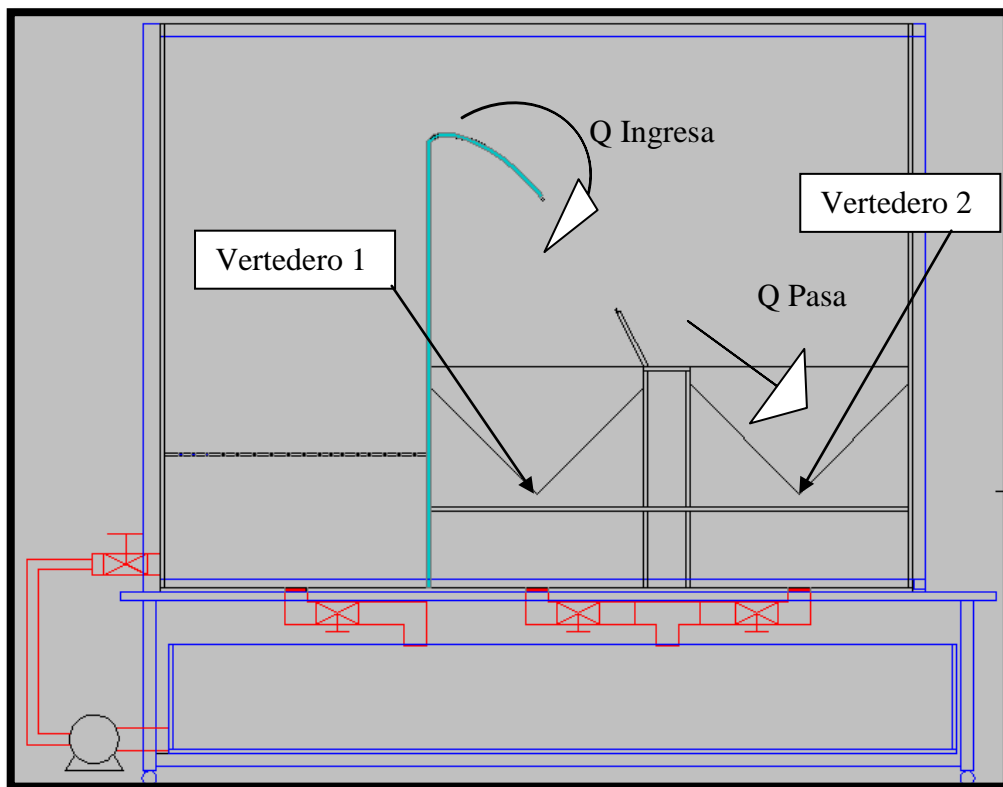


Figura 3.7: Visualización de los vertederos del prototipo COANDA.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

## **CAPÍTULO 4**

### **MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

#### **4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES.**

##### **4.1.1. Laminas de acrílico**

Por brindar mejores características físicas y de acuerdo a las características materiales que mejor se ajustaron al diseño se selecciono láminas de acrílico transparente de 9mm de espesor, a fin de permitir la observación de los alumnos.

El acrílico puede ser moldeado con calor sin que este pierda su resistencia.



**Foto 4.1: Laminas de acrílico de 9 mm.**

Se seleccionó este espesor a fin de evitar deformaciones por la presión que ejerza el agua al ir ingresado al prototipo.

Para la unión de las piezas de acrílico se utilizo un compuesto químico denominado bicarbonato sódico, este actúa soldando cada una de las partes al secarse.



#### 4.1.2. Perfiles metálicos

En lo que refiere al reforzamiento de la estructura se lo hizo con perfiles metálicos “L” de ½ Pulgada.

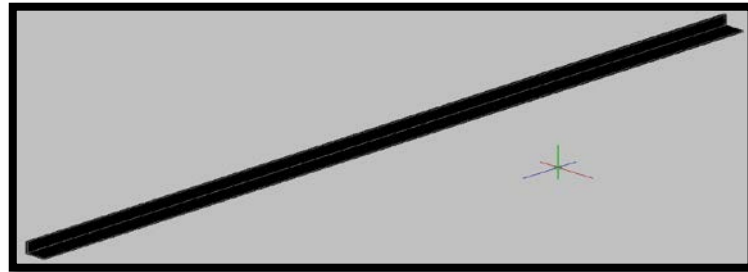


Foto 4.2: Perfil Metálico de ½ pulgada.<sup>39</sup>

#### 4.1.3. Reja autolimpiante.

Estudiando las diferentes opciones que se presentan en el Ecuador, se selecciono alambres y varillas de IDEAL ALAMBREC, para el diseño de las rejillas autolimpiantes, escogimos 1 tipos de alambres y 2 tipos de varillas, los mismos que presentan los diámetros de 2.15 mm, 4.20 mm y 6.10 mm respectivamente.

### 4.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Empleando el programa Autocad en modo 3D, se dibujo cada uno de los elementos del prototipo, empleando los resultados del diseño experimental arriba expuesto.

El primer diseño que se realizo fue el perfil Creager, ya que el perfil y las rejillas autolimpiantes son los elementos principales del prototipo y en base a ellos se diseño el resto del equipo, como lo fueron los tanques de almacenamiento, los vertederos triangulares, etc.

#### 4.2.1. Perfil Creager

El perfil se fabricó de acuerdo al cálculo de la tabla 3.1, las láminas de acrílico son de un espesor de 9mm. para mayor seguridad al momento de

---

<sup>39</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

iniciar las pruebas. El proceso de moldeado parte con la impresión en tamaño real del perfil, a fin de crear un molde que permita dar la forma a la lámina de acrílico.

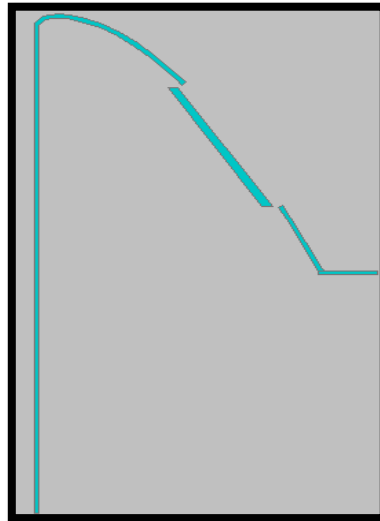


Figura 4.1: Vista lateral del dibujo del Perfil Creager.<sup>40</sup>

Teniendo en cuenta que  $b = 30$  cm, y con las coordenadas del perfil Creager, procedimos a dibujar en Autocad 3D, Figura 4.2.

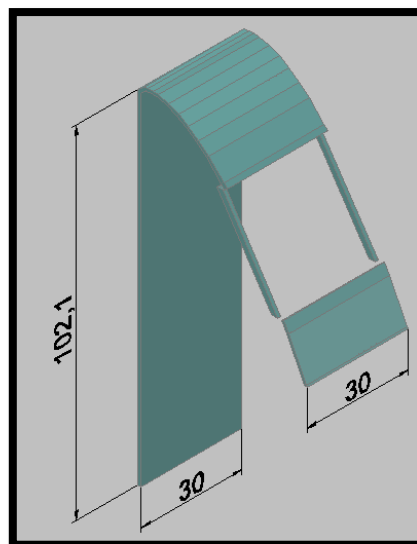


Figura 4.2: Dimensiones del Perfil Creager.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>41</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.2. Rejas Autolimpiantes

Se diseño tres rejas autolimpiantes, teniendo como base los alambres de 2.15 mm, y las varillas de 4,20 mm y 6.10 mm, que son diámetros comerciales de IDEAL ALAMBREC.

Los alambres van soldados sobre los soportes o varilla cuadrada de 1cm de lado, mencionados soportes nos ayudaran a evitar un pandeo de los alambres metálicos como se ve en la figura 4.3 y 4.4.

La separación entre cada alambre será de 1mm. en las tres rejas, ya que con esto se busca evitar que en el agua captada ingresen sólidos de más de 1mm de diámetro. De igual forma esta separación ayudara a evitar que la vida acuática no sea dañada al ingresar al vertedero que conduzca el caudal captado.

DIMENSIONES MALLA (cm) b x h	DIÁMETRO ALAMBRE (mm)	CANTIDAD DE ALAMBRES	SEPARACIÓN ENTRE ALAMBRES
6.2 x 30	2.15	20	1 mm
6.66 x 30	4.20	13	1 mm
6.29 x 30	6.10	9	1 mm

Tabla 4.1: Dimensiones de las Rejas autolimpiantes.

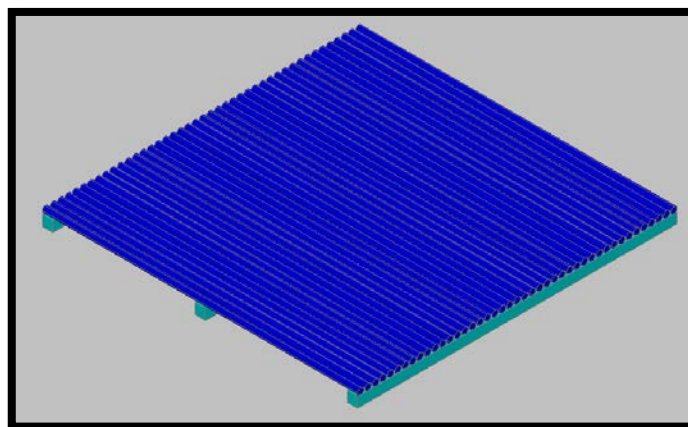


Figura 4.3: Reja autolimpiante dibujado en Autocad 3D.<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

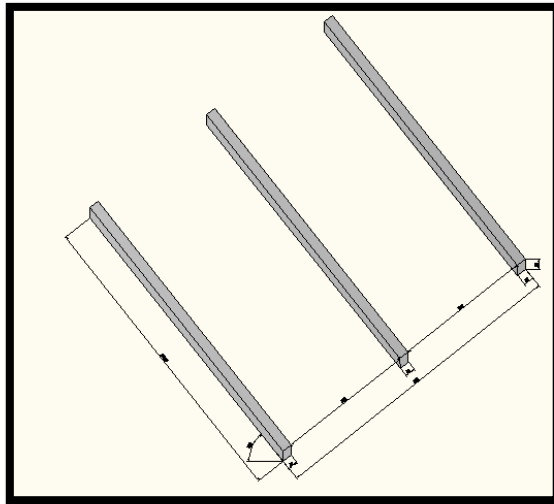


Figura 4.4: Soportes metálicos (tres varillas cuadradas de dimensión de 10mm).<sup>43</sup>

#### 4.2.3. Mesa del prototipo

La mesa fue diseñada para soportar el peso del prototipo en pleno funcionamiento, es decir al contener agua en todos sus elementos (tanque reservorio. perfil, vertederos, tanques receptores y en las tuberías).

El tablero es una tabla triplex de 1cm de espesor y de dimensiones 2 m x 1.1 m. (Figura 4.5) la tabla fue reforzada con una plancha de tol de 1mm de espesor.

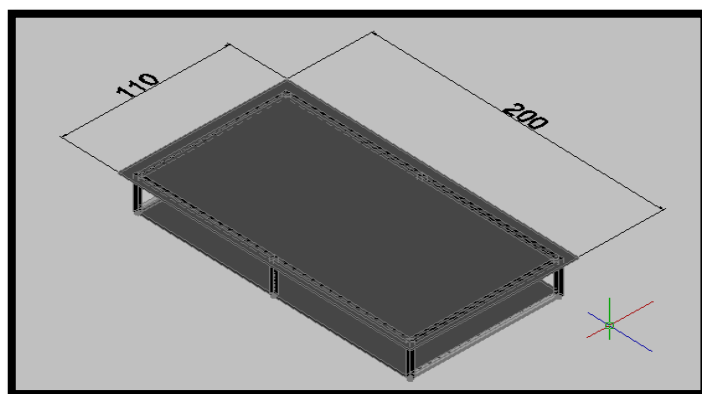
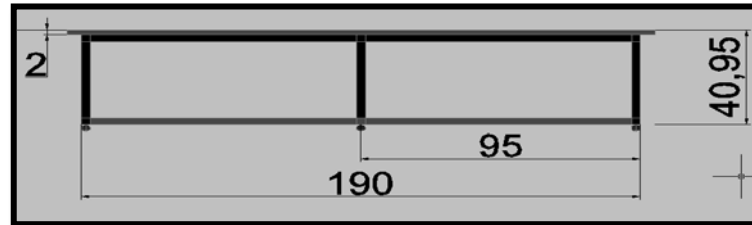


Figura 4.5: Dimensiones del tablero de la mesa.<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>44</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

La estructura que soporta el tablero de la mesa es de perfiles metálicos, en la figura 4.6 podemos observar las dimensiones del soporte.



**Figura 4.6: Dimensiones de la estructura metálica de la mesa.**<sup>45</sup>

A fin de permitir el desplazamiento del prototipo contara con ruedas, las mismas que tienen seguros para evitar el desplazamiento del prototipo al estar en funcionamiento.



**Foto 4.3: Ruedas de la mesa.**

#### **4.2.4. Estructura de acrílico.**

Como se mencionó anteriormente las láminas son de 9mm. de espesor en toda la estructura, en la figura 4.7 se observa la estructura dibujada en Autocad 3D. en la figura 4.8 se ha removido la pieza frontal a fin de que se pueda observar los elementos internos.

---

<sup>45</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

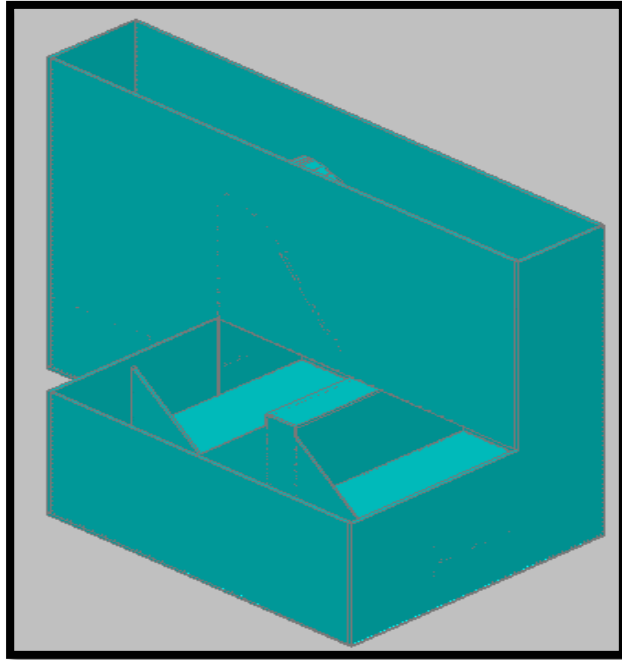


Figura 4.7: Estructura de Acrílico.<sup>46</sup>

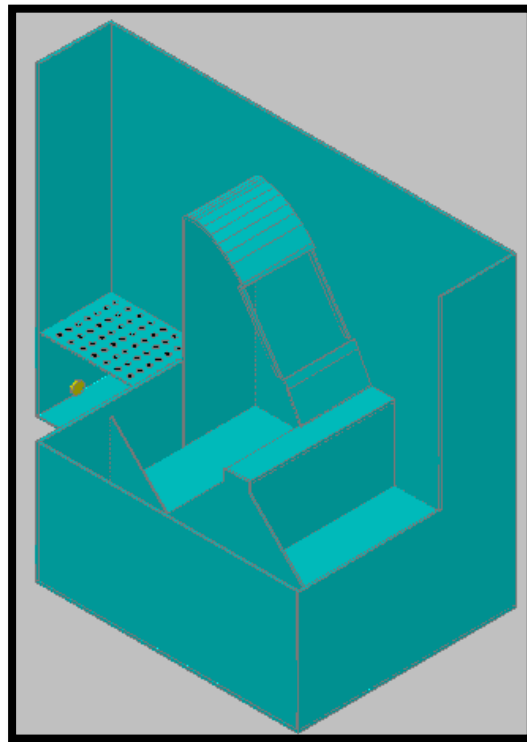


Figura 4.8: Vista interna de la estructura de acrílico.<sup>47</sup>

---

<sup>46</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>47</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5. Despiece de la estructura de acrílico

A fin de facilitar la comprensión del prototipo y su fabricación, hemos procedido a separar en cada uno de sus elementos, los mismos que constan en la figura 4.9.

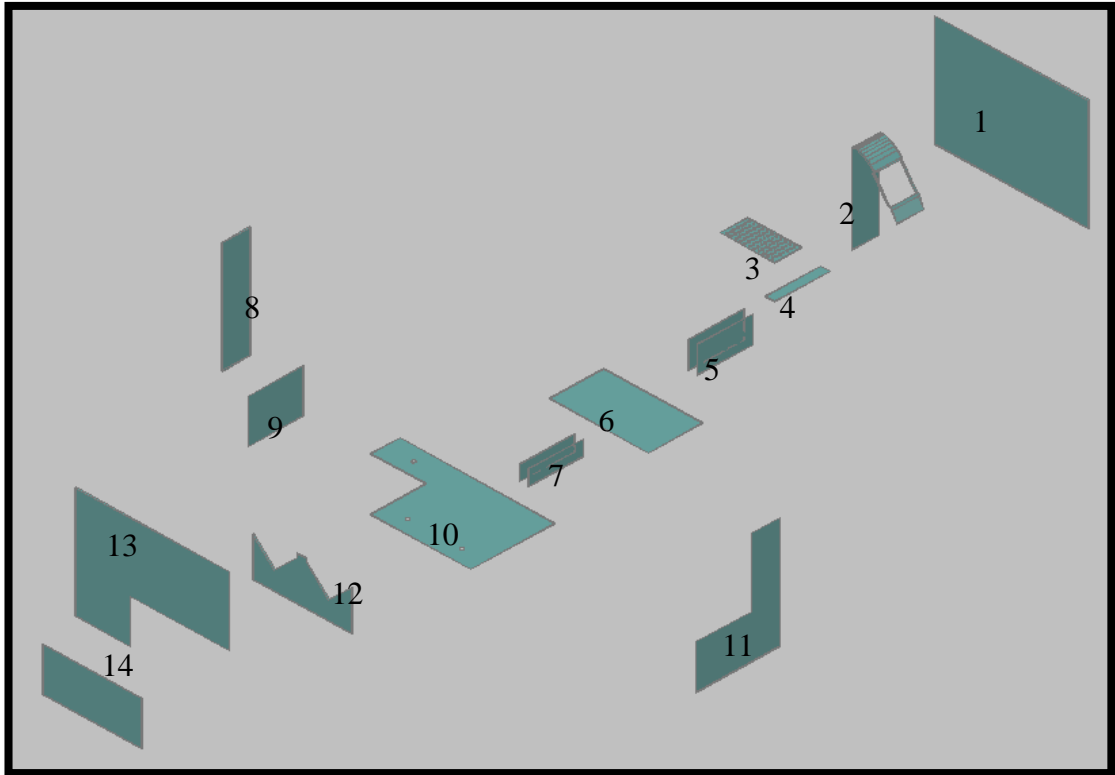


Figura 4.9: Despiece de la estructura de acrílico, con su respectiva identificación.<sup>48</sup>

##### 4.2.5.1. Pieza de acrílico No 1

Pieza posterior de la estructura de acrílico, con un espesor de 9 mm, en la figura 4.10 se observan sus dimensiones.

<sup>48</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

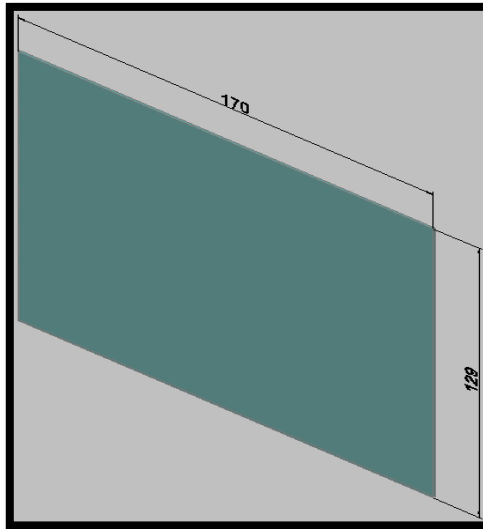


Figura 4.10: Dimensiones de la Pieza de acrílico No 1.<sup>49</sup>

#### 4.2.5.2. Pieza de acrílico No 2

Perfil Creager en lámina de acrílico de 9 mm, en la figura 4.11 se observan sus dimensiones.

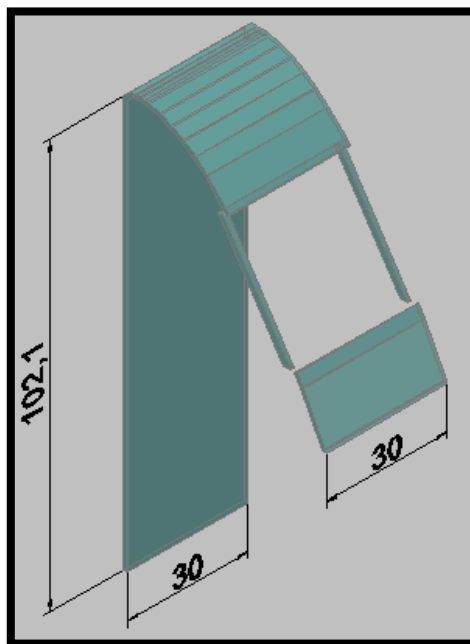


Figura 4.11: Dimensiones del perfil.<sup>50</sup>

<sup>49</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>50</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo



### 4.2.5.3. Pieza de acrílico No 3

Este elemento cumple la función de un disipador de energía del agua que ingresa desde la bomba. Los orificios de la lámina serán de 2 cm de diámetro. Las dimensiones las observamos en la figura 4.12.

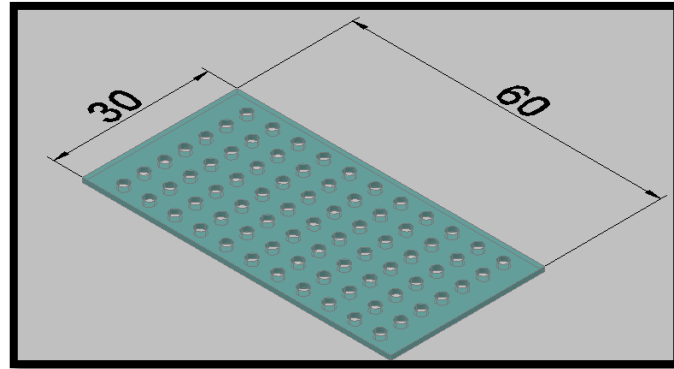


Figura 4.12: Disipador de energía.<sup>51</sup>

En la figura 4.13 se observa las separaciones entre cada orificio con las respectivas medidas.

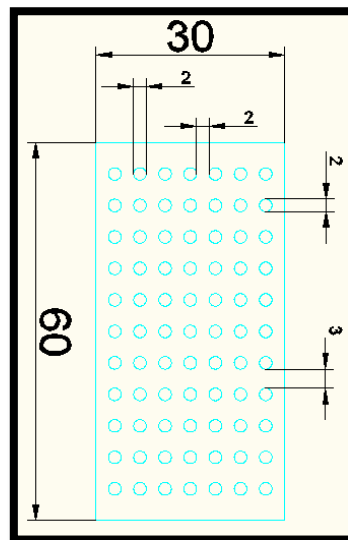


Figura 4.13: disipador de energía  
Con sus respectivas medidas.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>52</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5.4. Pieza de acrílico No 4

Pieza de acrílico espesor de 9 mm, en la figura 4.14 se observan sus dimensiones. Esta pieza constituye la unión entre las láminas que separan los vertederos.

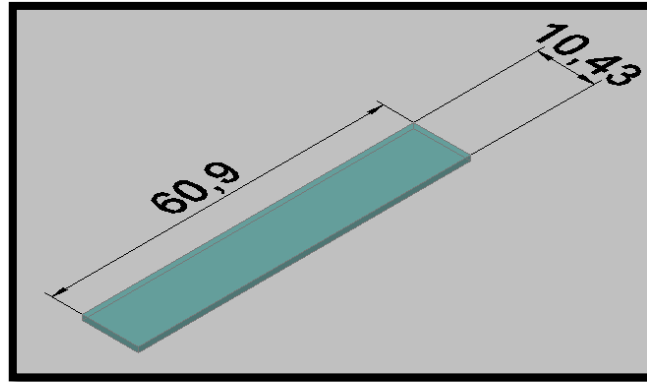


Figura 4.14: Dimensiones de la pieza No 4.<sup>53</sup>

#### 4.2.5.5. Pieza de acrílico No 5

Laminas de acrílico espesor de 9 mm de igual dimensión (Figura 4.15), sirven de separación entre los vertederos.

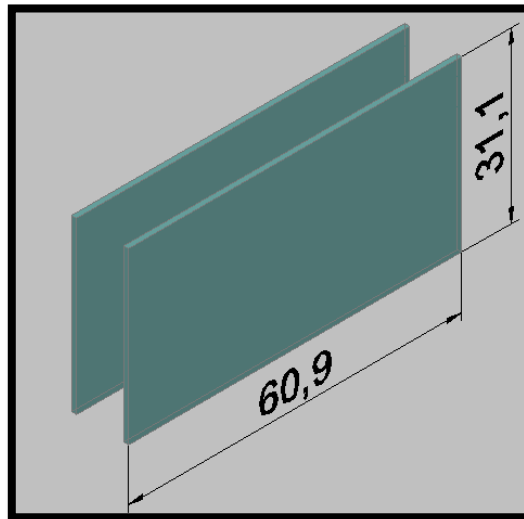


Figura 4.15: Dimensiones de la pieza No 5.<sup>54</sup>

<sup>53</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>54</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5.6. Pieza de acrílico No 6

Pieza que soporta los vertederos de 9mm de espesor, en la figura 4.16 se observan sus dimensiones.

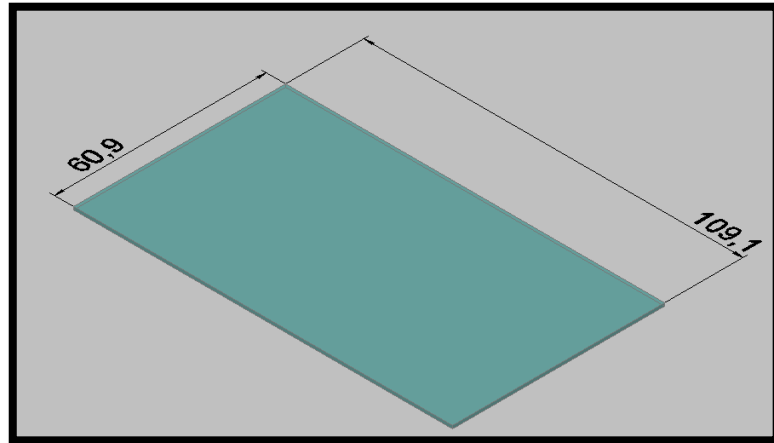


Figura 4.16: Dimensiones de la pieza No 6.<sup>55</sup>

#### 4.2.5.7. Pieza de acrílico No 7

Son 2 piezas No 7 igual dimensión, con un espesor de 9mm., en la figura 4.17 se observan sus dimensiones.

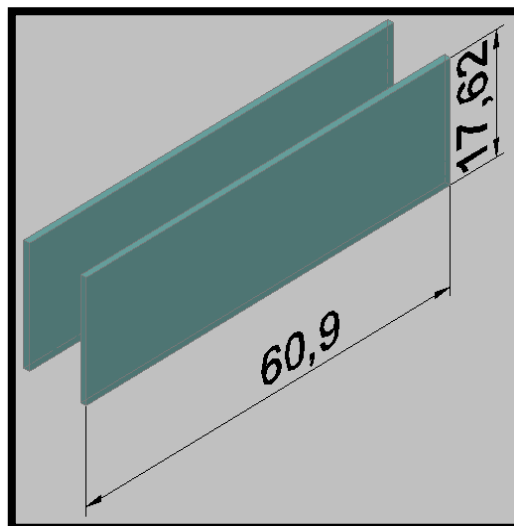


Figura 4.17: Dimensiones de la pieza No 7.<sup>56</sup>

<sup>55</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>56</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5.8. Pieza de acrílico No 8

Esta lámina de acrílico de 9mm, por la parte inferior de la misma se encuentra un orificio de 2 pulgadas de diámetro, por este orificio ingresará el agua de la bomba centrífuga. En la figura 4.18 se observan las dimensiones de la pieza.

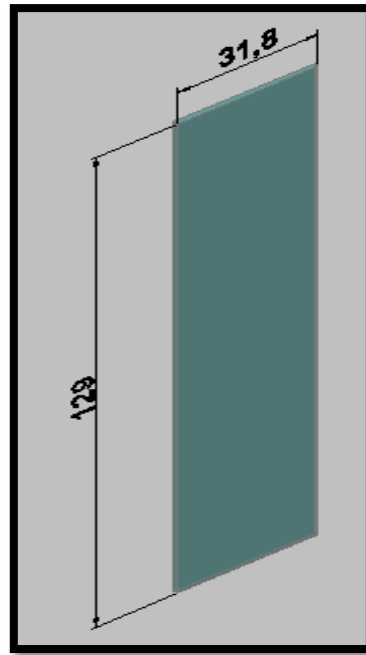


Figura 4.18: Dimensiones de la pieza No 8.<sup>57</sup>

#### 4.2.5.9. Pieza de acrílico No 9

Lamina de acrílico espesor de 9 mm, en la figura 4.19 podemos observar las dimensiones. Forma parte de los tanques que reciben el agua de los vertederos.

---

<sup>57</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

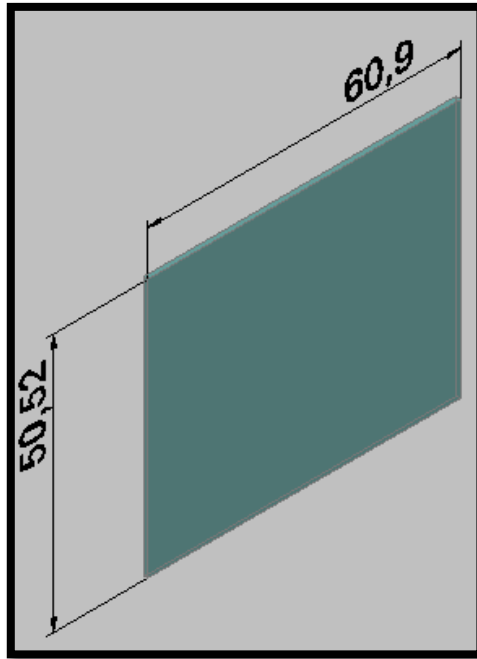


Figura 4.19: Dimensiones de la pieza No 9.<sup>58</sup>

#### 4.2.5.10. Pieza de acrílico No 10

Base de la estructura de acrílico de 6mm, esta lámina cuenta con tres orificios de 2 pulgadas de diámetro, estos orificios permitirán la salida del agua hacia el reservorio. En la figura 4.20 observamos sus dimensiones.

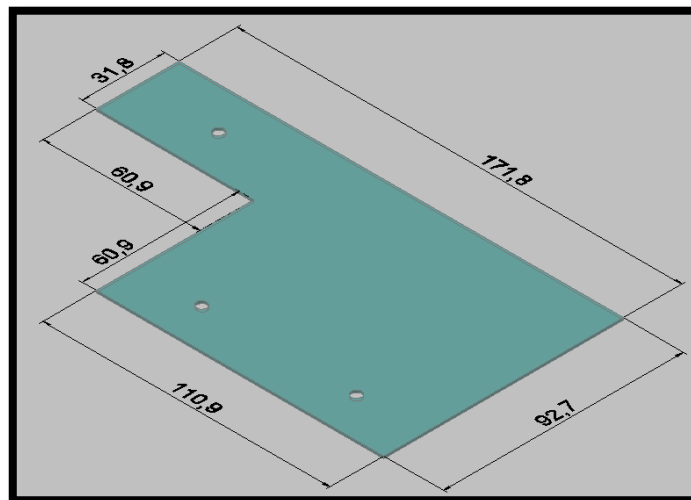


Figura 4.20: Dimensiones de la pieza No 10.<sup>59</sup>

<sup>58</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>59</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5.11. Pieza de acrílico No 11

Lámina de acrílico espesor de 9 mm, conforma la parte derecha del prototipo, en la figura 4.21 se observan sus dimensiones.

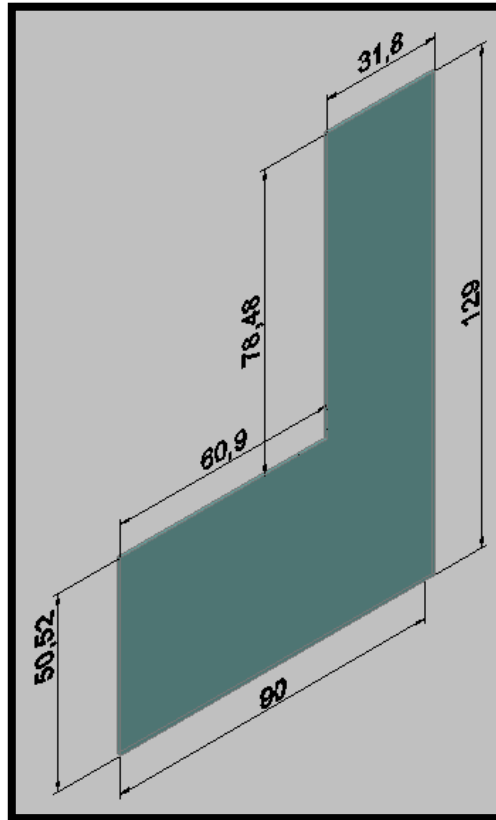


Figura 4.21: Dimensiones de la pieza No 11.<sup>60</sup>

#### 4.2.5.12. Pieza de acrílico No 12

Esta pieza de acrílico de 9 mm de espesor, constituye los vertederos triangulares que recogerá el caudal que ingresa por las rejillas y el caudal que pasa por la misma. Como recordarán la altura calculada de los vertederos fue de  $H=0.07\text{m}$ , con un ángulo de abertura de  $90^\circ$ , para evitar inconvenientes se fabricó dando una holgura de 2 cm de altura.

<sup>60</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

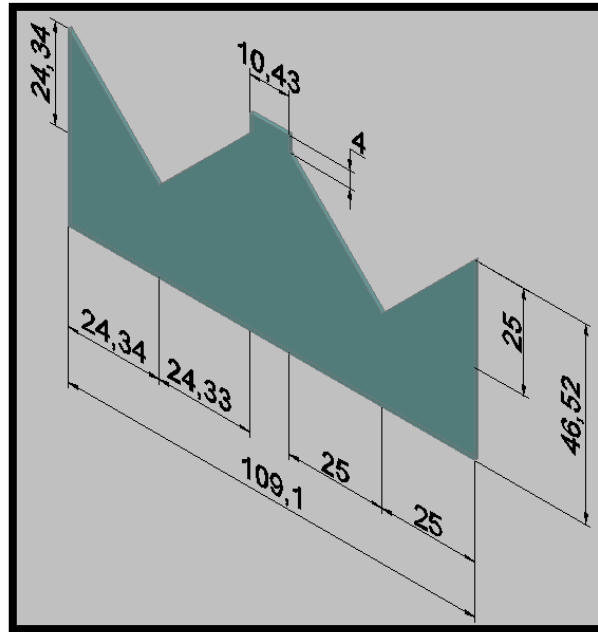


Figura 4.22: Dimensiones de la pieza No 12.<sup>61</sup>

#### 4.2.5.13. Pieza de acrílico No 13

Lámina de acrílico espesor de 9 mm, conforma la parte frontal del prototipo, en la Figura 4.23 se observan sus dimensiones.

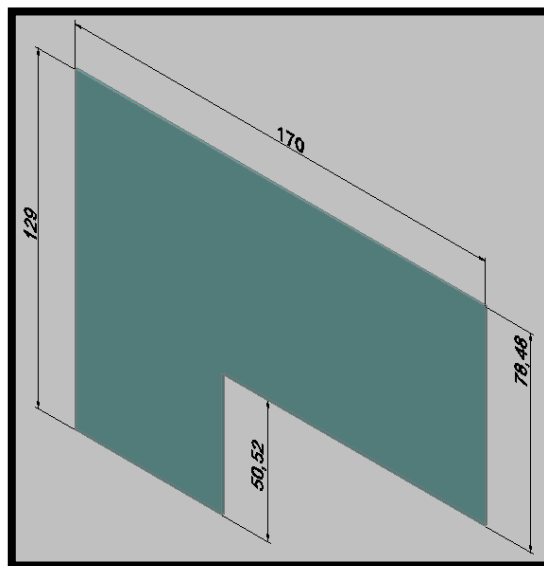


Figura 4.23: Dimensiones de la pieza No 13.<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>62</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.5.14. Pieza de acrílico No 14

Lámina de acrílico espesor de 9 mm, es parte del tanque que recibe el agua que descargan los vertederos, en la figura 4.24 se observan sus dimensiones.

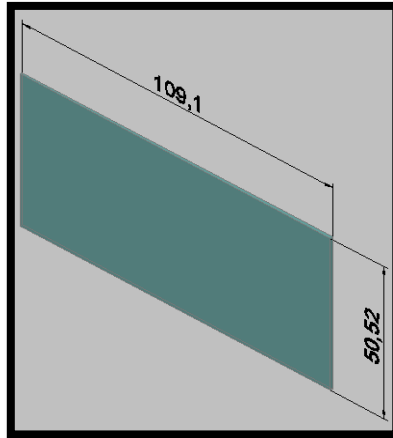


Figura 4.24: Dimensiones de la pieza No 14<sup>63</sup>

#### 4.2.6. Estructura metálica de perfiles “L”

Para reforzamiento de la estructura de acrílico utilizamos perfiles “L”, esta estructura cubrirá todos los ángulos y vértices de la estructura de acrílico. En la figura 4.25 podemos observar la estructura metálica.

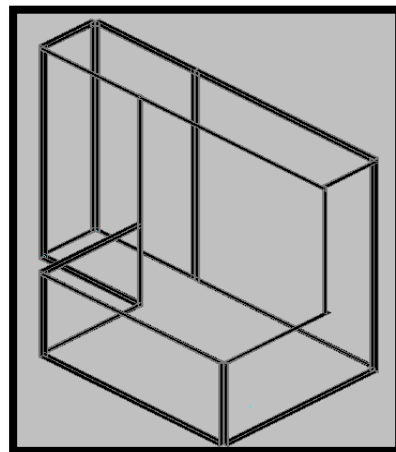


Figura 4.25: Estructura metálica.<sup>64</sup>

<sup>63</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>64</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo



#### 4.2.7. Reservorio de Agua

Para permitir que el sistema este en constante funcionamiento, se diseño un tanque reservorio (figura 4.26) que provea agua en todo momento a la bomba y recepte agua de los vertederos.

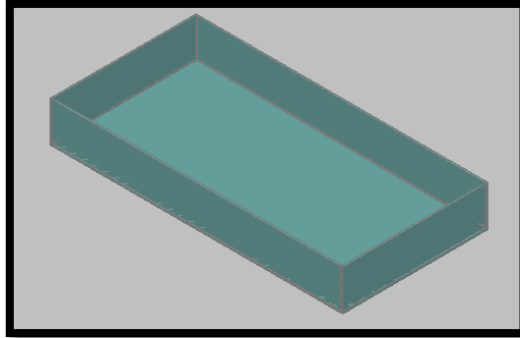


Figura 4.26: Tanque reservorio de Triplex.<sup>65</sup>

Las dimensiones son de 0.9 m x 1.8 m x 0.24 m, este tanque tendrá una capacidad de 0.388 m<sup>3</sup>. (Figura 4.27).

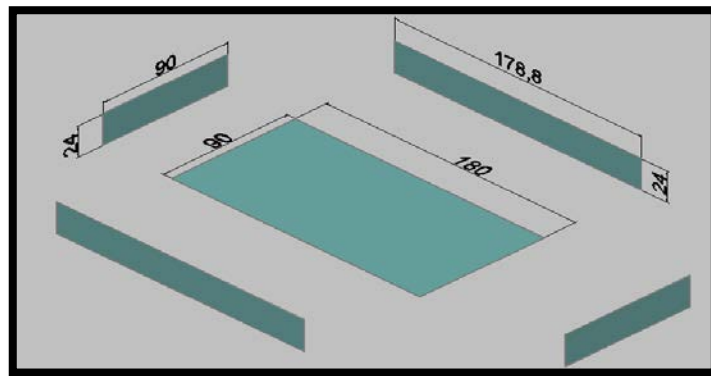


Figura 4.27: Dimensiones del tanque reservorio.<sup>66</sup>

El tanque que almacena el agua antes del perfil tiene una capacidad de 0.09m<sup>3</sup> (0.6m x 0.3m x 0.5m), los tanques y vertederos tendrán una capacidad de 0.16m<sup>3</sup> de agua, sumando estos dos valores nos da aproximadamente 0.25m<sup>3</sup>, por lo que el tanque reservorio es suficiente.

<sup>65</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>66</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

El tanque también contara con refuerzos metálicos de perfiles L en todos sus lados.

#### 4.2.8. Tubería de PVC

Las tuberías tienen un diámetro de 1 1/2 pulgadas, para permitir el rápido abastecimiento y evacuación del agua. Las tuberías que permiten la evacuación del agua hacia el reservorio será de dos pulgadas, las mismas que contarán con llaves de 2 tiempos. Como indica la figura 4.28 y figura 4.29.

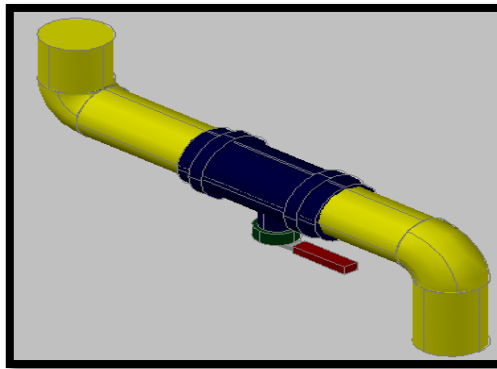


Figura 4.28: Tubería de PVC con llave de paso.<sup>67</sup>

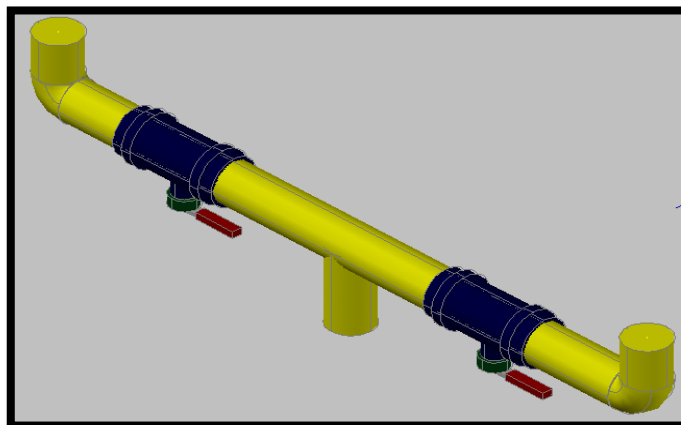


Figura 4.29: Tubería de PVC con llave de paso<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>68</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

La tubería que sale del tanque reservorio hacia la bomba de agua y de esta hacia la estructura de acrílico será manguera reforzada de 2 pulgadas. Se seleccionó este tipo de material a fin de evitar que se presenten fisuras al momento de trasladar el prototipo en vista de que la bomba de agua no estará en la mesa de pruebas, a fin de evitar que la vibración de la bomba altere la toma de datos del agua que pasa por las rejillas autofiltrantes.



Foto 4.4: Manguera transparente de 1 1/2 pulgadas.<sup>69</sup>

#### 4.2.9. Bomba Centrifuga

De acuerdo a la selección inicial se adquirió una bomba de agua con una potencia de 1Hp, la misma que permitirá más caudal que potencia. La bomba funcionará con 110 voltios.



Foto 4.5: Bomba Centrifuga modelo BOAP1 (Truper)<sup>70</sup>

---

<sup>69</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>70</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

#### 4.2.10. Sistema eléctrico

El prototipo estará compuesto por una botonera central que permita el encendido y apagado de la bomba de agua.



Foto 4.6: Botonera eléctrica.<sup>71</sup>

#### 4.3. VISTAS DEL PROTOTIPO EN AUTOCAD 3D

A continuación presentamos las vistas en 3d del prototipo.

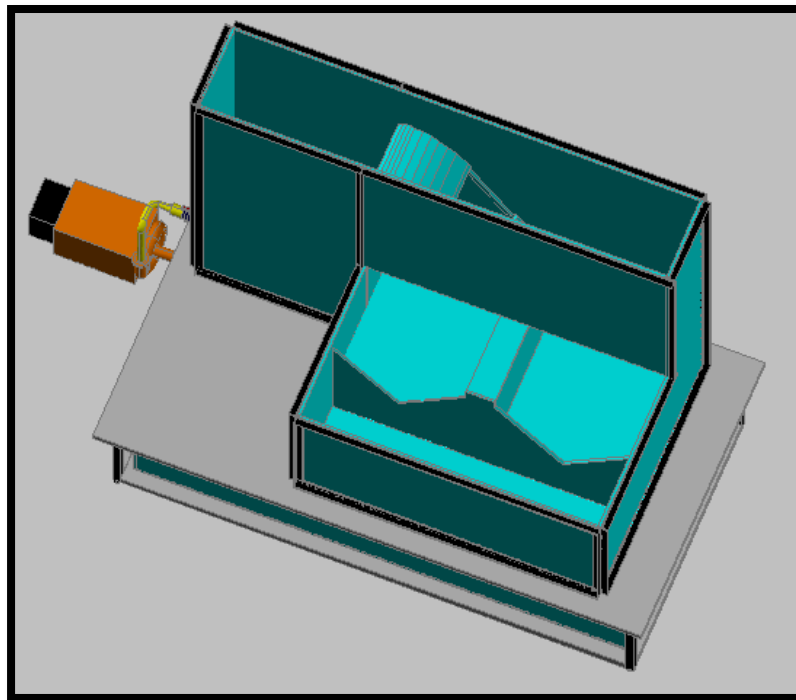


Figura 4.30: Vista Isométrico de sudoeste.<sup>72</sup>

---

<sup>71</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>72</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

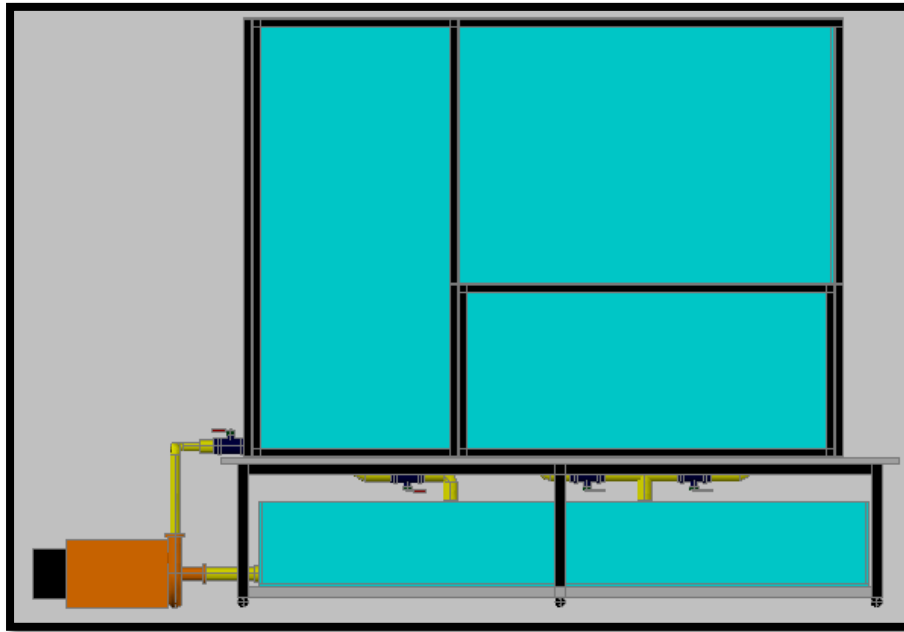


Figura 4.31: Vista izquierda del prototipo.<sup>73</sup>

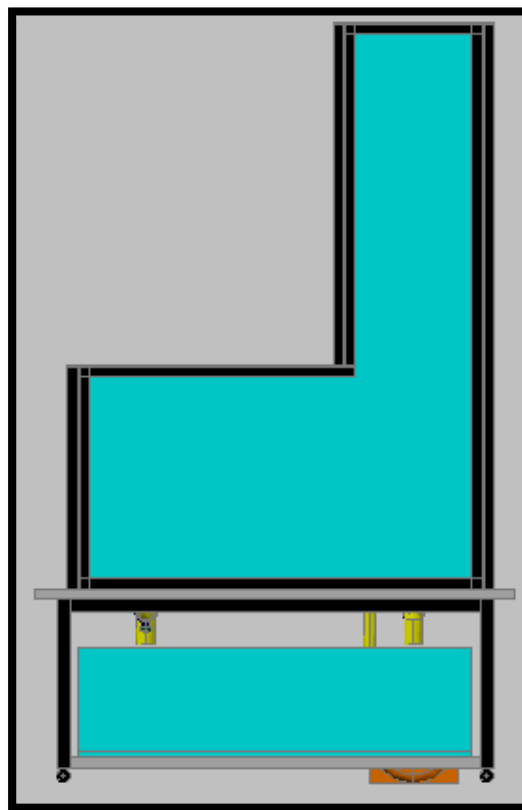


Figura 4.32: Vista frontal del prototipo.<sup>74</sup>

---

<sup>73</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>74</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

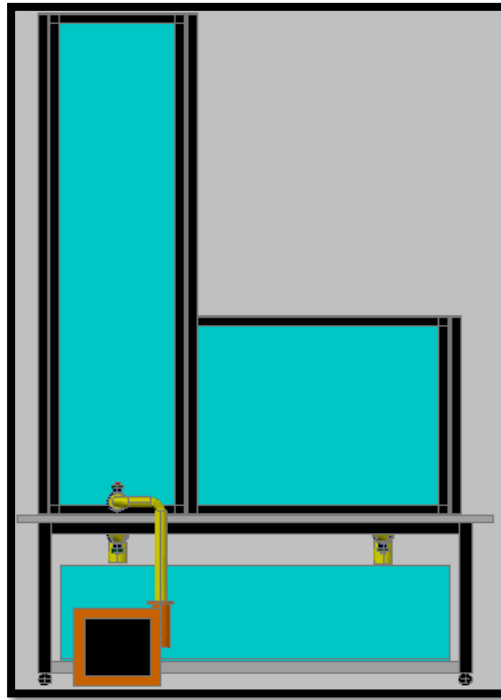


Figura 4.33: Vista posterior del prototipo.<sup>75</sup>

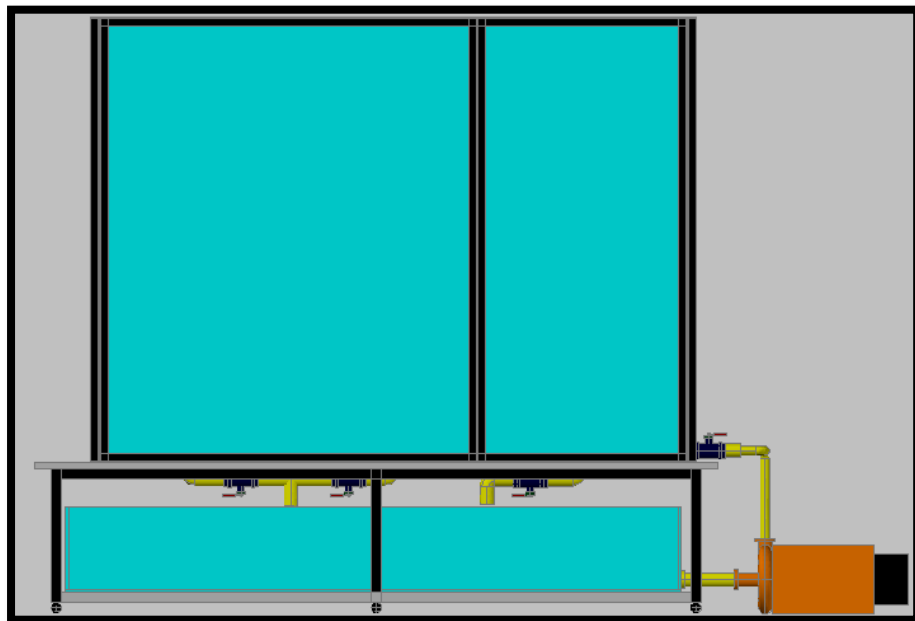


Figura 4.34: Vista derecha del prototipo.<sup>76</sup>

---

<sup>75</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>76</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

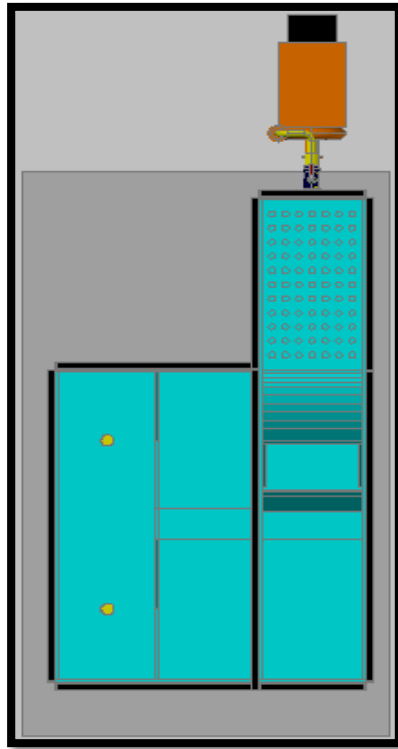


Figura 4.35: Vista superior del prototipo.<sup>77</sup>

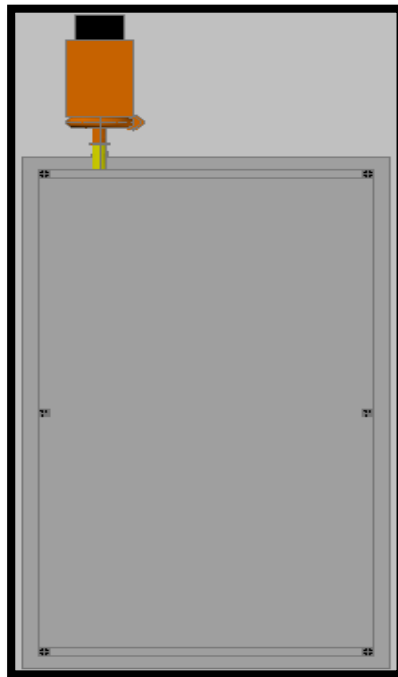


Figura 4.36: Vista inferior del prototipo.<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>78</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

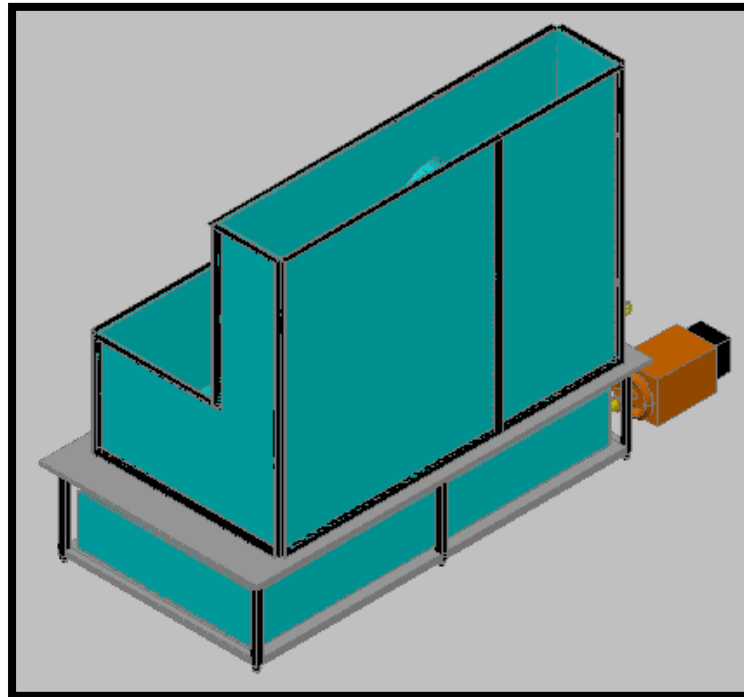


Figura 4.37: Vista isométrico de sudeste.<sup>79</sup>

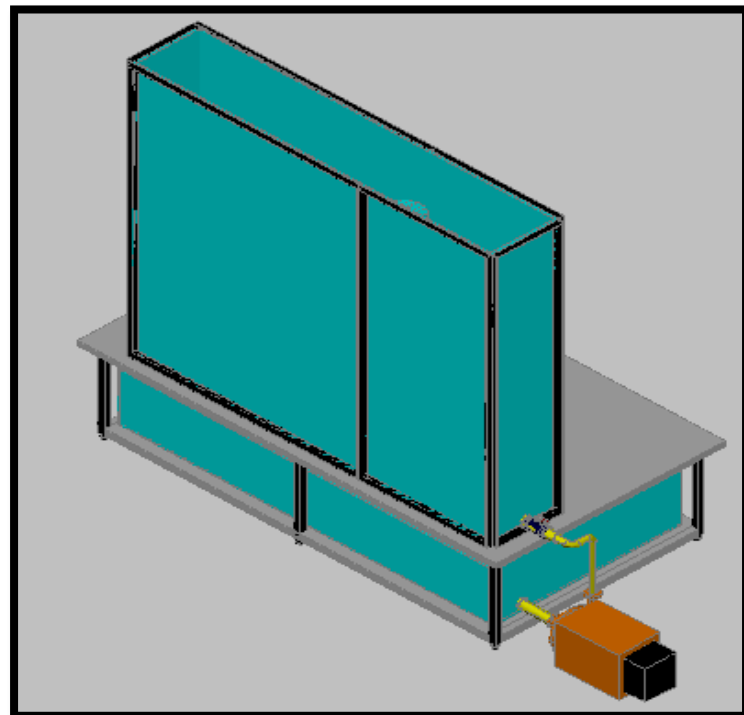


Figura 4.38: Vista isométrico de noreste.<sup>80</sup>

<sup>79</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

<sup>80</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo



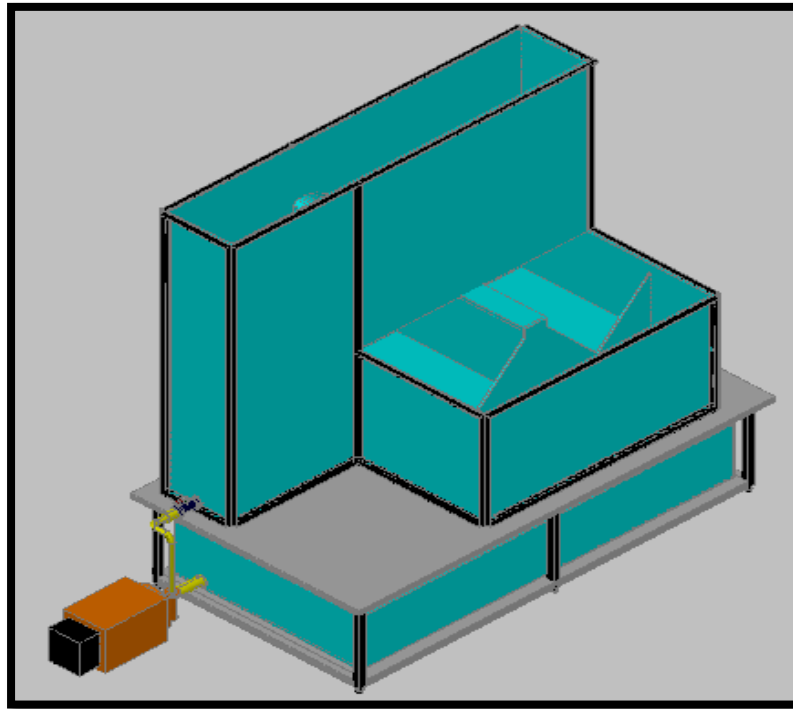


Figura 4.39: Vista isométrico de noroeste.<sup>81</sup>

#### 4.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Se realizaron dos pruebas de funcionamiento:

- Para descartar fugas de agua.
- Potencia de la Bomba

Para observar posibles fugas, se tinturo el agua con acuarela de color morado, esto permitió observar la existencia de pequeñas fugas que fueron solucionadas, secando el equipo y sellando con polvo de acrílico y secante rápido.

Para asegurar que la bomba trabaje de una manera eficaz se procedió a realizar su respectivo cebamiento. El flujo de salida de la bomba es de 130 lt/min es decir 2.16 lt/seg, siempre y cuando las perdidas por accesorios sea cero; debido a las presencia de las diferentes conexiones entre el tanque reservorio y el equipo se obtuvo un caudal en el vertedero No 1 de aproximadamente 1.96 lt/seg. Es decir tenemos una pérdida de 0.20 lt/seg.

---

<sup>81</sup> Fuente: Autores del presente Trabajo

## **4.5. EQUIPO DE MEDICIÓN**

### **4.5.1 Vaso de precipitación**

El vaso de precipitación facilita medir el caudal que pasa por los vertederos en forma práctica. Se empleó un vaso de precipitación de 1lt de capacidad



**Foto 4.7: Vaso de precipitación**

### **4.5.2 Jarra Plástica con medida de 4 litros de capacidad.**

La jarra nos facilita a realizar una mejor medición (lt.) versus el parámetro tiempo (seg.) y de esta forma precisar el caudal que pasa por los vertederos.

### **4.5.3 Reglas y Escalimetro**

Permiten medir las diferentes alturas que se presentan en el equipo (Carga de agua,  $H_o$  y alturas del fluido de agua en los vertederos).

### **4.5.4 Graduador**

Para la medición de los ángulos de los vertederos.

## **4.6. VERTEDERO DE PARED DELGADA**

### **4.6.1. Recomendación para el cálculo del espesor de la pared del vertedero y longitud del canal de abastecimiento**

Cuando la descarga de un líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre esta

descarga se llama Vertedor. Este puede presentar diferentes formas según las finalidades a que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie el vertedor es de pared gruesa.

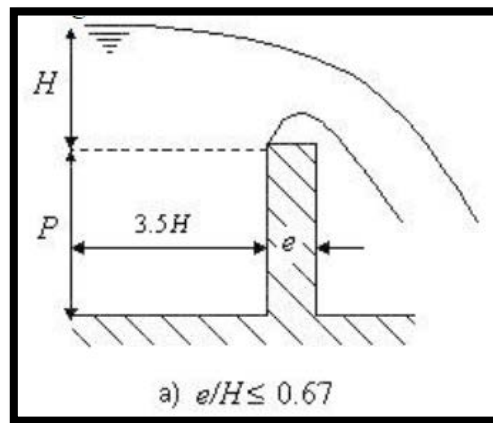


Figura 4.40: Espesor para un vertedor de pared delgada

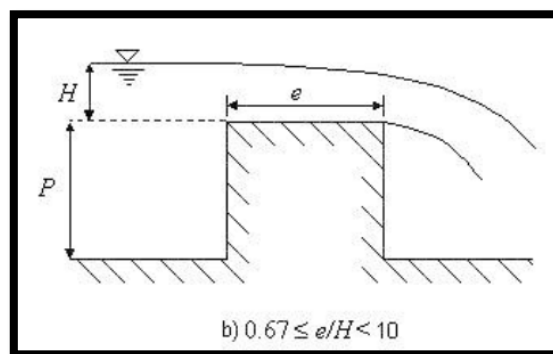


Figura 4.41: Espesor para un vertedor de pared gruesa

Poniendo énfasis al espesor de la pared del vertedero tenemos la siguiente fórmula:

**Para pared delgada:**

$e$  = espesor

$H$  = altura de la lámina

$$e < 0.67 \times H$$

**Para pared gruesa:**

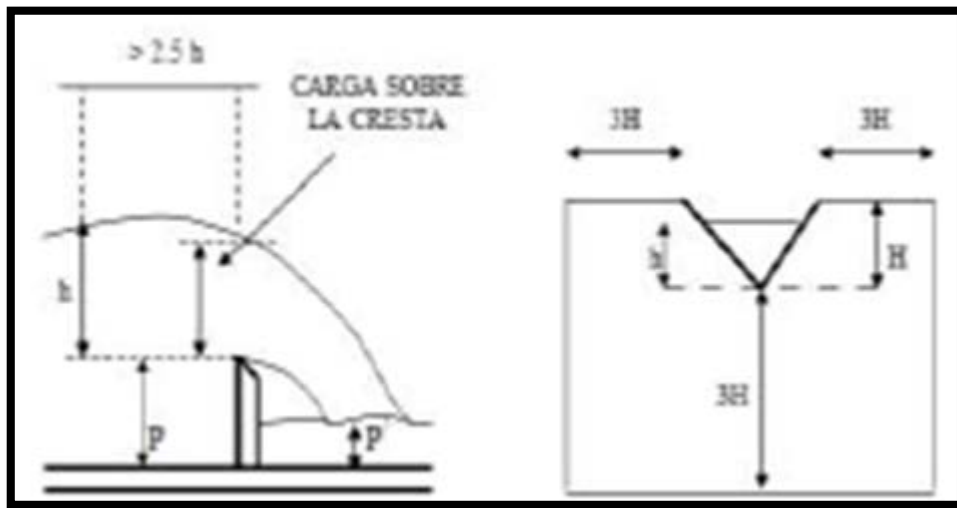
e = espesor

H = altura de la lámina

$$0.67 \leq e/H < 10$$

### **Vertedero triangular**

Hacen posible una mayor precisión en la medida de carga correspondiente a caudales reducidos. Estos vertederos generalmente son construidos en placas metálicas en la práctica, solamente son empleados los que tienen forma isósceles, siendo más usuales los de 90°.



**Figura 4.42: Vertedero triangular**

### **Requisitos generales de instalación de vertederos**

a. El vertedero deberá ubicarse en canales de sección uniforme y alineamiento recto aguas arriba, en una longitud mayor de  $20H$ .

L= longitud del canal

H = altura de la lámina

$$L > 20 \times H$$

b. El vertedero debe instalarse normalmente al flujo y la cresta debe estar perfectamente lisa y nivelada.

- c. La lectura de la carga  $H$  sobre la cresta se mide con una regla graduada o limnómetro ubicado por lo menos a una distancia 3.5 veces la carga máxima hacia aguas arriba.
- d. Para asegurar su funcionamiento con descarga libre, debe instalarse un dispositivo de ventilación que comunique la cara aguas abajo del vertedero con la atmósfera.
- e. Si la instalación del vertedero es permanente, debe dejarse un dispositivo de drenaje para evacuar los sedimentos depositados.
- f. Se recomienda que la cresta sea de material resistente a la corrosión como bronce, acero, plástico y con la arista viva.

## **CAPÍTULO 5**

### **INVESTIGACIÓN**

#### **5.1. TOMA DE DATOS EN EL PROTOTIPO**

##### **5.1.1. Procedimientos**

Verificado el correcto funcionamiento del prototipo, se procedió a realizar cinco experimentos para la toma de datos:

1. Caudal que ingresa al vertedero No 1 sin malla
2. Caudales que ingresan al Vertedero No 1 y Vertedero No 2 con la malla metálica de 6mm
3. Caudales que ingresan al Vertedero No 1 y Vertedero No 2 con la malla metálica de 4.2mm
4. Caudales que ingresan al Vertedero No 1 y Vertedero No 2 con la malla metálica de 2.15mm
5. Determinación de la altura de la lámina de agua en los tiempos de 5, 10, 15 y 20 minutos con las diferentes mallas y aplicando la formula de Grava.

Para la toma de datos se marco en la llave de paso cuatro posiciones, a fin de ir regulando el ingreso del agua procedente de la bomba de agua. Entre cada experimento se apago la bomba y se vació los vertederos a fin de que cada experimento parta de cero. Así mismo al encender la bomba de agua dejamos pasar diez minutos hasta que se nivele las láminas de agua de los vertederos.

##### **5.1.2. Obtención de Datos**

###### **a. Primer Experimento.**

###### **Paso No 1**

Apertura de la llave de paso en la posición No 1, luego secuencialmente hasta la posición No 4, recordando que se debe apagar la bomba y vaciar los vertederos entre cada cambio de posición, a fin de que los resultados sean validos y no presenten errores.

## Paso No 2

Encendido de la bomba de agua.

## Paso No 3

Esperar que transcurra diez minutos a fin de que se regule el funcionamiento del equipo.

## Paso No 4

Para determinar el caudal se empleo dos formas:

1. Mediante la altura de la lámina de agua del vertedero No 1.
2. Mediante la captación del chorro o manto de agua del vertedero No 1 en una jarra plástica; cronometrando el tiempo que se demora en llenar la jarra plástica hasta cierta capacidad. Luego dividiendo los litros con el tiempo obtenemos el caudal (lts/seg) que pasa por el vertedero. Los resultados se detallan en la Tabla 5.1 y un resumen de la misma en la Tabla 5.2

VERTEDERO N. 1 S/MALLA							
ABERTURA 4				ABERTURA 3			
N. Datos	Litros	Segundos	Q	N. Datos	Litros	Segundos	Q
1	2.3	1.06	2.17	1	2.39	1.10	2.17
2	1.95	1.01	1.93	2	1.9	0.98	1.94
3	2.08	0.99	2.10	3	1.9	0.99	1.92
4	1.92	0.97	1.98	4	1.8	0.94	1.91
5	1.88	0.94	2.00	5	1.9	1.00	1.90
<b>Total</b>	10.13	4.97	10.18	<b>Total</b>	9.89	5.01	9.85
<b>Promedio</b>	2.03	0.99	<b>2.04 l/s</b>	<b>Promedio</b>	1.98	1.00	<b>1.97 l/s</b>
ABERTURA 2				ABERTURA 1			
N. Datos	Litros	Segundos	Q	N. Datos	Litros	Segundos	Q
1	1.95	1.00	1.95	1	1.32	2.00	0.66
2	1.97	1.00	1.97	2	1.3	1.90	0.68
3	1.85	1.00	1.85	3	1.25	1.90	0.66
4	1.93	1.00	1.93	4	1.25	2.10	0.60
5	1.95	1.00	1.95	5	1.21	1.90	0.64
<b>Total</b>	9.65	5.00	9.65	<b>Total</b>	6.33	9.80	3.23
<b>Promedio</b>	1.93	1.000	<b>1.93 l/s</b>	<b>Promedio</b>	1.27	1.96	<b>0.65 l/s</b>

Tabla 5.1: Cálculo del Caudal sin rejilla.

RESUMEN s/malla		
ABERTURA	Qr1 (l/s)	TOTAL (l/s)
4	2.04	2.04
3	1.97	1.97
2	1.93	1.93
1	0.65	0.65

Tabla 5.2: Resumen de resultados Qr1. sin rejilla.

## b. Segundo Experimento.

### Paso No 1

Colocar la llave de paso en la posición No 1, luego secuencialmente hasta la posición No 4, recordando que se debe apagar la bomba y vaciar los vertederos entre cada cambio de posición, a fin de que los resultados sean validos y no presenten errores.

### Paso No 2

Apertura de la malla de 6,1mm, sellando los costados con plastilina.

### Paso No 3

Encendido de la bomba de agua.

### Paso No 4

Esperar que transcurra diez minutos a fin de que se regule el funcionamiento del equipo.

### Paso No 5

Para determinar el caudal se empleo dos formas:

1. Mediante la altura de la lámina de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2.
2. Mediante la captación de el chorro o manto de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2 en una jarra plástica; de esta forma medimos el tiempo que se demora en llenar cierta cantidad de agua en dicho recipiente y determinamos los litros por segundos obtenidos (lt/seg). Los resultados se



detallan en la Tabla 5.3 y Tabla 5.4 y un resumen de la misma en la Tabla 5.5

VERTEDERO N. 1 MALLA 6,1 mm							
<b>ABERTURA 4</b>				<b>ABERTURA 3</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.89	1.2	1.575	1	1.8	1.1	1.636
2	1.62	0.9	1.800	2	1.75	1.1	1.591
3	1.7	1.1	1.545	3	1.55	1	1.550
4	1.65	1	1.650	4	1.9	1.2	1.583
5	1.72	1.1	1.564	5	1.4	0.9	1.556
<b>Total</b>	<b>8.58</b>	<b>5.30</b>	<b>8.134</b>	<b>Total</b>	<b>8.40</b>	<b>5.30</b>	<b>7.916</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.716</b>	<b>1.060</b>	<b>1.627 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.680</b>	<b>1.060</b>	<b>1.583 l/s</b>
<b>ABERTURA 2</b>				<b>ABERTURA 1</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.6	1	1.600	1	2.55	5	0.510
2	1.6	1.1	1.455	2	2.4	4.9	0.490
3	1.89	1.2	1.575	3	2.38	4.9	0.486
4	1.58	1	1.580	4	2.3	4.8	0.479
5	1.7	1.1	1.545	5	2.5	5	0.500
<b>Total</b>	<b>8.37</b>	<b>5.40</b>	<b>7.755</b>	<b>Total</b>	<b>12.13</b>	<b>24.60</b>	<b>2.465</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.674</b>	<b>1.080</b>	<b>1.551 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>2.426</b>	<b>4.920</b>	<b>0.493 l/s</b>

Tabla 5.3: Cálculo del Caudal. Rejilla de 6.1 mm vertedero 1.

VERTEDERO N. 2 MALLA 6,1 mm							
<b>ABERTURA 4</b>				<b>ABERTURA 3</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.75	4.8	0.365	1	1.5	4.8	0.313
2	1.65	5	0.330	2	1.5	4.8	0.313
3	1.62	5	0.324	3	1.5	4.8	0.313
4	1.55	4.8	0.323	4	1.5	5	0.300
5	1.56	5.1	0.306	5	1.5	4.8	0.313
<b>Total</b>	<b>8.13</b>	<b>24.70</b>	<b>1.647</b>	<b>Total</b>	<b>7.50</b>	<b>24.20</b>	<b>1.550</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.626</b>	<b>4.940</b>	<b>0.329 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.500</b>	<b>4.840</b>	<b>0.310 l/s</b>

<b>ABERTURA 2</b>				<b>ABERTURA 1</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.3	4.7	0.277	1	0.5	10	0.050
2	1.55	5	0.310	2	0.5	9.9	0.051
3	1.5	4.9	0.306	3	0.5	9.9	0.051
4	1.5	4.9	0.306	4	0.5	10	0.050
5	1.4	4.8	0.292	5	0.47	9.9	0.047
<b>Total</b>	<b>7.25</b>	<b>24.30</b>	<b>1.491</b>	<b>Total</b>	<b>2.47</b>	<b>49.70</b>	<b>0.248</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.450</b>	<b>4.860</b>	<b>0.298 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.494</b>	<b>9.940</b>	<b>0.050 l/s</b>

Tabla 5.4: Cálculo del Caudal. Rejilla de 6.1 mm vertedero 2.

<b>RESUMEN Malla 6,1 mm</b>			
ABERTURA	Qr1 (l/s)	Qr2 (l/s)	TOTAL (l/s)
4	1.63	0.33	1.96
3	1.58	0.31	1.89
2	1.55	0.30	1.85
1	0.49	0.05	0.54

Tabla 5.5: Resumen de resultados Qr1. y Qr2. Rejilla de 6.1 mm.

### c. Tercer Experimento.

#### Paso No 1

Apertura de la llave de paso en la posición No 1, luego secuencialmente hasta la posición No 4, recordando que se debe apagar la bomba y vaciar los vertederos entre cada cambio de posición, a fin de que los resultados sean validos y no presenten errores.

#### Paso No 2

Colocación de la malla de 4.2mm, sellando los costados con plastilina.

#### Paso No 3

Encendido de la bomba de agua.

#### Paso No 4

Esperar que transcurra diez minutos a fin de que se regule el funcionamiento del equipo.

### Paso No 5

Para determinar el caudal se empleo dos formas:

1. Mediante la altura de la lámina de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2.
2. Mediante la captación de el chorro o manto de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2 en una jarra plástica; de esta forma medimos el tiempo que se demora en llenar cierta cantidad de agua en dicho recipiente y determinamos los litros por segundos obtenidos (lt/seg). Los resultados se detallan en la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 y un resumen de la misma en la Tabla 5.8

VERTEDERO N. 1 MALLA 4,2 mm									
<b>ABERTURA 4</b>				-	<b>ABERTURA 3</b>				
N. Datos	<b>Litros</b>	<b>Segundos</b>			N. Datos	<b>Litros</b>	<b>Segundos</b>		
1	2.60	1.98	1.31		1	2.58	2.07	1.25	
2	2.48	1.80	1.38		2	2.55	2.03	1.26	
3	2.54	1.94	1.31		3	2.49	2.04	1.22	
4	2.52	1.94	1.30		4	2.35	2.04	1.15	
5	2.50	1.80	1.39		5	2.42	1.98	1.22	
<b>Total</b>	<b>12.64</b>	<b>9.46</b>	<b>6.69</b>		<b>Total</b>	<b>12.39</b>	<b>10.16</b>	<b>6.10</b>	
<b>Promedio</b>	<b>2.53</b>	<b>1.89</b>	<b>1.34</b>	<b>l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>2.48</b>	<b>2.03</b>	<b>1.22</b>	<b>l/s</b>
<b>ABERTURA 2</b>					<b>ABERTURA 1</b>				
N. Datos	<b>Litros</b>	<b>Segundos</b>			N. Datos	<b>Litros</b>	<b>Segundos</b>		
1	2.10	2.11	1.00		1	2.35	5.00	0.47	
2	2.08	2.14	0.97		2	2.42	5.34	0.45	
3	2.14	2.20	0.97		3	2.30	5.02	0.46	
4	2.18	2.29	0.95		4	2.25	5.02	0.45	
5	2.12	2.16	0.98		5	2.25	4.98	0.45	
<b>Total</b>	<b>10.62</b>	<b>10.90</b>	<b>4.87</b>		<b>Total</b>	<b>11.57</b>	<b>25.36</b>	<b>2.28</b>	
<b>Promedio</b>	<b>2.12</b>	<b>2.18</b>	<b>0.97</b>	<b>l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>2.31</b>	<b>5.07</b>	<b>0.46</b>	<b>l/s</b>

Tabla 5.6: Cálculo del Caudal. Rejilla de 4.2 mm vertedero 1.

VERTEDERO N. 2 MALLA 4,2 mm							
<b>ABERTURA 4</b>				<b>ABERTURA 3</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	2.58	5.20	0.50	1	2.56	5.12	0.50
2	2.60	4.85	0.54	2	2.50	4.88	0.51
3	2.62	5.12	0.51	3	2.52	5.02	0.50
4	2.54	4.79	0.53	4	2.54	4.80	0.53
5	2.50	4.90	0.51	5	2.50	5.02	0.50
<b>Total</b>	<b>12.84</b>	<b>24.86</b>	<b>2.58</b>	<b>Total</b>	<b>12.62</b>	<b>24.84</b>	<b>2.54</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.57</b>	<b>4.97</b>	<b>0.52 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>2.52</b>	<b>4.97</b>	<b>0.51 l/s</b>
<b>ABERTURA 2</b>				<b>ABERTURA 1</b>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.50	2.12	0.71	1	1.24	9.92	0.13
2	1.52	2.26	0.67	2	1.22	9.81	0.12
3	1.50	2.12	0.71	3	1.25	9.83	0.13
4	1.48	2.20	0.67	4	1.25	9.86	0.13
5	1.40	2.11	0.66	5	1.22	10.12	0.12
<b>Total</b>	<b>7.40</b>	<b>10.81</b>	<b>3.42</b>	<b>Total</b>	<b>6.18</b>	<b>49.54</b>	<b>0.62</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.48</b>	<b>2.16</b>	<b>0.68 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.24</b>	<b>9.91</b>	<b>0.12 l/s</b>

Tabla 5.7: Cálculo del Caudal. Rejilla de 4.2 mm vertedero 2.

RESUMEN Malla 4,2 mm			
ABERTURA	Qr1 (l/s)	Qr2 (l/s)	TOTAL (l/s)
4	1.34	0.52	1.85
3	1.22	0.51	1.73
2	0.97	0.68	1.66
1	0.46	0.12	0.58

Tabla 5.8: Resumen de resultados Qr1. y Qr2. Rejilla de 4.2 mm.

#### d. Cuarto Experimento.

##### Paso No 1

Abriendo la llave de paso en la posición No 1, luego secuencialmente hasta la posición No 4, recordando que se debe apagar la bomba y vaciar los vertederos entre cada

cambio de posición, a fin de que los resultados sean validos y no presenten errores.

**Paso No 2**

Colocación de la malla de 2.15mm, sellando los costados con plastilina.

**Paso No 3**

Encendido de la bomba de agua.

**Paso No 4**

Esperar que transcurra diez minutos a fin de que se regule el funcionamiento del equipo.

**Paso No 5**

Para determinar el caudal se empleo dos formas:

1. Mediante la altura de la lamina de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2.
2. Mediante la captación de el chorro o manto de agua del vertedero No 1 y vertedero No 2 en una jarra plástica; de esta forma medimos el tiempo que se demora en llenar cierta cantidad de agua en dicho recipiente y determinamos los litros por segundos obtenidos (lt/seg). Los resultados se detallan en la Tabla 5.9 y Tabla 5.10 y un resumen de la misma en la Tabla 5.11.

VERTEDERO N. 1 MALLA 2,15 mm							
<u>ABERTURA 4</u>				<u>ABERTURA 3</u>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.98	1.93	1.03	1	1.94	2.12	0.92
2	2.00	1.93	1.04	2	1.92	1.98	0.97
3	2.12	2.04	1.04	3	1.95	1.99	0.98
4	1.90	1.96	0.97	4	1.90	1.99	0.95
5	1.75	1.87	0.94	5	1.96	2.04	0.96
<b>Total</b>	9.75	9.73	5.01	<b>Total</b>	9.67	10.12	4.78
<b>Promedio</b>	1.95	1.95	<b>1.00 l/s</b>	<b>Promedio</b>	1.93	2.02	<b>0.96 l/s</b>

<u>ABERTURA 2</u>				<u>ABERTURA 1</u>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.68	2.00	0.84	1	1.20	2.04	0.59
2	1.75	2.12	0.83	2	1.38	2.11	0.65
3	1.90	2.03	0.94	3	1.20	2.00	0.60
4	1.80	2.04	0.88	4	1.30	2.06	0.63
5	1.80	2.12	0.85	5	1.32	2.04	0.65
<b>Total</b>	<b>8.93</b>	<b>10.31</b>	<b>4.33</b>	<b>Total</b>	<b>6.40</b>	<b>10.25</b>	<b>3.12</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.79</b>	<b>2.06</b>	<b>0.87 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.28</b>	<b>2.05</b>	<b>0.62 l/s</b>

Tabla 5.9: Cálculo del Caudal. Rejilla de 2.15 mm vertedero 1.

<b>VERTEDERO N. 2 MALLA 2,15 mm</b>							
<u>ABERTURA 4</u>				<u>ABERTURA 3</u>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.55	1.99	0.78	1	1.50	1.95	0.77
2	1.68	2.12	0.79	2	1.60	1.95	0.82
3	1.60	2.05	0.78	3	1.58	2.01	0.79
4	1.65	1.91	0.86	4	1.58	2.03	0.78
5	1.70	2.12	0.80	5	1.60	2.11	0.76
<b>Total</b>	<b>8.18</b>	<b>10.19</b>	<b>4.02</b>	<b>Total</b>	<b>7.86</b>	<b>10.05</b>	<b>3.91</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.64</b>	<b>2.04</b>	<b>0.80 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.57</b>	<b>2.01</b>	<b>0.78 l/s</b>
<u>ABERTURA 2</u>				<u>ABERTURA 1</u>			
N. Datos	Litros	Segundos		N. Datos	Litros	Segundos	
1	1.65	1.98	0.83	1	0.95	9.86	0.10
2	1.70	2.11	0.81	2	0.92	9.92	0.09
3	1.68	2.04	0.82	3	0.90	9.94	0.09
4	1.86	2.12	0.88	4	0.94	9.88	0.10
5	1.65	1.98	0.83	5	0.95	9.82	0.10
<b>Total</b>	<b>8.54</b>	<b>10.23</b>	<b>4.17</b>	<b>Total</b>	<b>4.66</b>	<b>49.42</b>	<b>0.47</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.71</b>	<b>2.05</b>	<b>0.83 l/s</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.93</b>	<b>9.88</b>	<b>0.09 l/s</b>

Tabla 5.10: Cálculo del Caudal. Rejilla de 2.15 mm vertedero 2.

RESUMEN Malla 2,15 mm			
ABERTURA	Qr1 (l/s)	Qr2 (l/s)	TOTAL (l/s)
4	1.00	0.80	1.80
3	0.96	0.78	1.74
2	0.87	0.83	1.70
1	0.62	0.09	0.72

**Tabla 5.11: Resumen de resultados  
Qr1. y Qr2. Rejilla de 2.15 mm.**

#### **e. Quinto Experimento.**

##### **Paso No 1**

Abrimos la llave de paso en la posición No 4.

##### **Paso No 2**

Colocación de la malla de 6.1mm, luego la de 4.2mm y por último la de 2.15mm.

##### **Paso No 3**

Encendido de la bomba de agua.

##### **Paso No 4**

Dejamos que transcurra diez minutos a fin de que se regule el funcionamiento del equipo.

##### **Paso No 5**

Para determinar el caudal se empleo el siguiente proceso:

1. Empleando la fórmula de Grava (para vertederos con un ángulo entre 22 y 118 grados) una vez que hemos determinado la altura de la lámina de agua en los tiempos de 5, 10, 15 y 20 minutos en el vertedero No 1 (95°) y vertedero No 2 (93°) con las mallas de 6.1, 4.2 y 2.15 mm. Los resultados se detallan en la Tabla 5.12.

DIÁMETROS MALLA															
			9 Varillas				13 Varillas				20 Alambres				
			S/M	6,1mm	Q	6,1mm	Q	4,2mm	Q	4,2mm	Q	2,15mm	Q	2,15mm	Q
Tiempo	Ho	H	Hv1	Hv1	lt/seg	Hv2	lt/seg	Hv1	lt/seg	Hv2	lt/seg	Hv1	lt/seg	Hv2	lt/seg
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	F.	(cm)	F.	(cm)	F.	(cm)	F.	(cm)	F.	(cm)	F.
			Grava		Grava		Grava		Grava		Grava		Grava		
5	1,7	1,3	6,2	6,1	1,45	2,1	0,10	5,2	0,98	3,6	0,38	4,6	0,72	4	0,49
10	1,7	1,3	6,3	6	1,39	2	0,09	5	0,89	3,5	0,36	4,4	0,65	4,1	0,53
15	1,7	1,3	6,2	5,9	1,34	1,9	0,08	5	0,89	3,4	0,33	4,5	0,68	4,2	0,56
20	1,7	1,3	6,2	5,8	1,28	1,8	0,07	4,9	0,84	3,4	0,33	4,5	0,68	4,1	0,53

Tabla 5.12: Cálculo del caudal aplicando la formula de Grava y toma de alturas en los vertederos con diferentes tiempos.



## 5.2. INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA COANDA SCREEN

Empleando el programa Coanda Screen, el mismo que es una herramienta computacional, nos permite comparar los resultados obtenidos con los que arroja el programa. Este software nos permite el análisis de distintas variables que son necesarias para el diseño físico de nuestro modelo "Prototipo"; dicha herramienta es un software libre creado por el Departamento del Interior en Denver Colorado, USA.

Mencionado programa ayuda al estudiante o investigador a tener un patrón o base inicial de cálculos para desarrollar sus teorías.

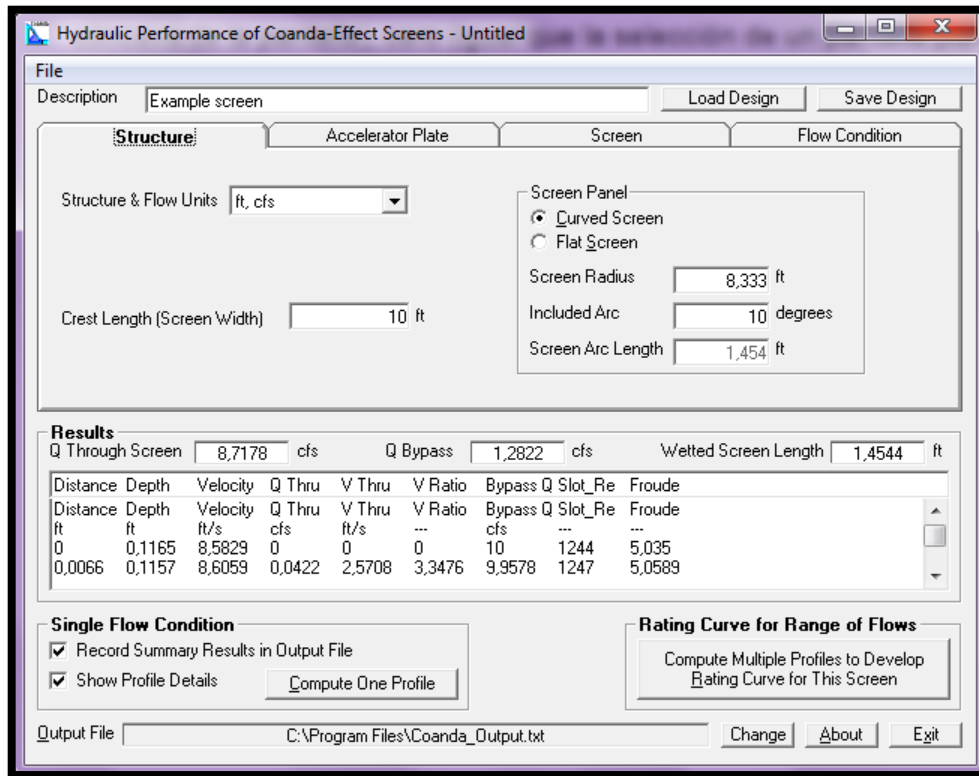
El modelo numérico utilizado para desarrollar las curvas de referencia de la pantalla de calificación y evaluar la influencia de los parámetros de diseño cambiantes está disponible al público como un ordenador, programa para ordenadores con Windows. El programa puede ser descargado desde [http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics\\_lab/t\\_Wahl/Coanda/](http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/t_Wahl/Coanda/).

El programa está escrito en Visual Basic 4.0 y compilado para su uso en todas las versiones de 32 bits de Microsoft Windows (95, 98, Me, NT 4.0, 2000, XP). Las Figuras 5.1 y 5.2 muestran la entrada del programa interfaz. Los datos son proporcionados en cuatro pestañas separadas:

- Estructura de la información
- Las propiedades de la placa del acelerador
- Propiedades de pantalla
- Flujo de condición para ser evaluada

En la pestaña estructura, el usuario puede seleccionar ya sea una pantalla curvada o una pantalla plana y especificar sus dimensiones básicas, la estructura de la información con lo referente a las dimensiones pueden ser proporcionados en unidades de pies o metros.

Para pantallas curvas, la pantalla radio puede ser positiva (la parte cóncava de la pantalla), cero (igual que la selección de un pantalla plana), o negativa (una pantalla convexa).



**Figura 5.1: Programa informático para la estimación de la capacidad hidráulica de las pantallas de efecto Coanda.**

La placa del acelerador puede ser de cresta conopial o un escudo genérico sin ninguna forma específica (por ejemplo, un arco circular). Para las formas conopiales de la cresta el coeficiente de descarga de la cresta será estimado por separado para cada tipo de flujo, utilizando la información de diseño de pequeñas represas, mientras que la cresta no-conopial; se supone que tienen un coeficiente constante de descarga proporcionado por el usuario. El usuario dispone de 3 piezas de información del diseño sobre la placa del acelerador: la caída vertical de la cresta del comienzo de la pantalla, el ángulo de inclinación descendente en el extremo de la placa del acelerador, y el diseño de descarga. El programa calcula la tercera cantidad dada de los otros dos. El programa

también puede generar un reporte detallado, cuando el usuario hace clic en el botón de la etiqueta "Put Ogee Crest Design Details on Clipboard".

Debe hacerse hincapié que en el "Diseño de descarga" que se muestra en la etiqueta "Accelerator Plate" es sólo la descarga de diseño para la propia cresta, no la pantalla.

El caudal real para ser usado en el cálculo del perfil del flujo hacia abajo y a través de la pantalla se presenta en el "Inflow", cuadro de texto en la etiqueta "Flow Condition".

El ancho de las ranuras del panel de la pantalla y los tamaños de alambre se pueden especificar en milímetros o en pulgadas. El programa calcula el número de ranuras y la altura de cizallamiento de desplazamiento para una determinada combinación de ancho de alambre, anchura de la ranura, y ángulo de inclinación del alambre. Finalmente, en la etiqueta de condición de flujo, el usuario proporciona el flujo de descarga sobre la cresta, y el programa calcula la correspondiente altura total de caída desde la piscina aguas arriba a la parte superior de la pantalla.

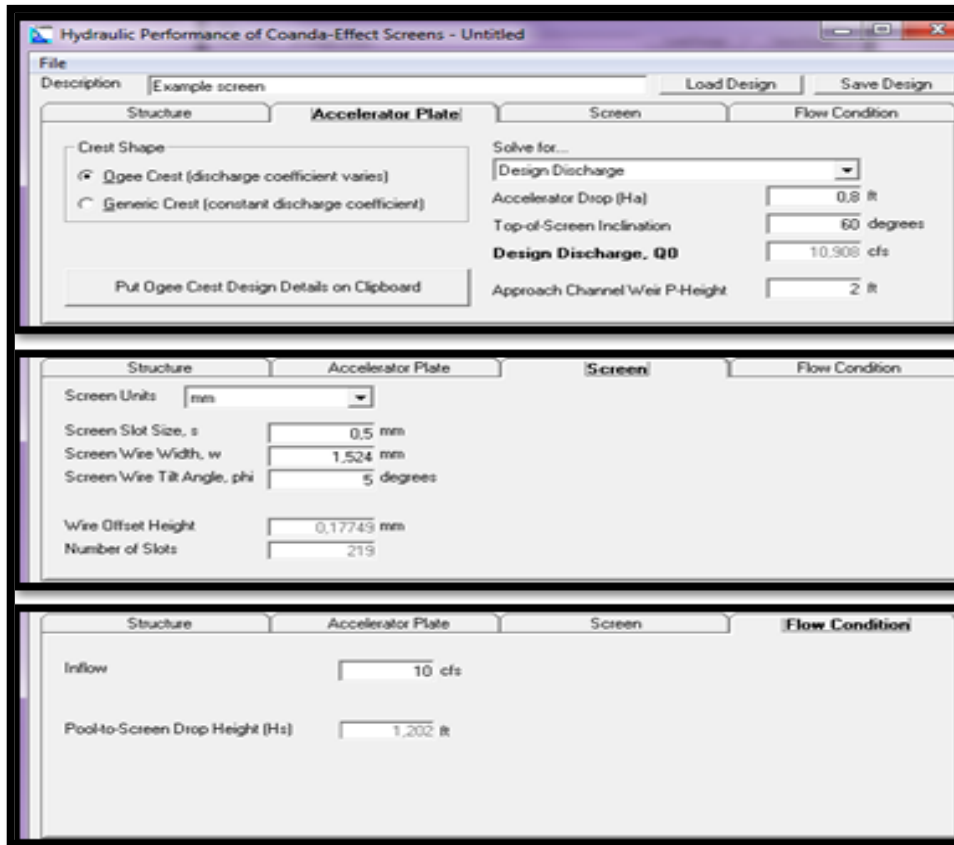


Figura 5.2: Pantallas de entrada adicionales utilizadas para definir la placa del acelerador y las propiedades de pantalla y la condición de flujo a analizar.

Este cálculo utiliza el coeficiente de descarga de la cresta conopial (o la proporcionada por el usuario para una cresta genérica) y la ecuación estándar del vertedero,  $Q = CLH^{1.5}$ , donde  $Q$  es la descarga de entrada,  $C$  es el coeficiente de descarga,  $L$  es la longitud cresta, y  $H$  es la cabeza por encima de la cresta de la presa.

Además de suministrar los datos de entrada, el usuario debe especificar un archivo de salida en el cuadro de la parte inferior de este. Al hacer clic en el cuadro o en el botón "Change" permitirá al usuario examinar para buscar un archivo existente, o entrar un nuevo nombre de archivo. La salida del programa será una tabla de formato de texto ASCII.

Una vez que los datos de entrada se han proporcionado, dos opciones están disponibles para la ejecución del análisis. Un perfil de flujo único para la descarga de entrada dada, se puede calcular mediante el

botón "Compute One Profile". Si el usuario también comprueba los datos del recuadro de texto "Show Profile Details", la profundidad, velocidad y el perfil de descarga a lo largo de la pantalla en forma detallada, se mostrará en el recuadro "Results".

Este perfil muestra, en el borde delantero de cada cable pantalla,

- La distancia recorrida por el flujo abajo de la pantalla (Distancia)
- La profundidad de flujo (profundidad),
- La velocidad del flujo (velocidad),
- La descarga acumulada que tiene que pasar a través de la pantalla (Q que ingresa)
- La descarga se mantiene por encima de la pantalla (Q que pasa)

Justo encima de la zona de resultados detallada, existe un recuadro que muestra el total de descarga a través de la pantalla, el flujo de derivación desde el pie de la pantalla, y la longitud de la pantalla humedecida. Si el usuario obtiene los resultados "Record Summary Results in Output File", estos datos serán registrado en el archivo de salida elegido.

El segundo método para realizar el análisis consiste en hacer clic en "Calcular múltiple Perfiles" en la "Curva de Valoración de Rango de flujos". Este hace que el programa calcule repetidamente perfiles que comienzan con una pequeña entrada de descarga y luego aumente la afluencia hasta una condición de derivación de flujo del 50%. Esto produce datos de salida similares al que se utiliza para crear curvas de gasto de la pantalla de referencia que figuran en el presente informe.

Después de que los datos de entrada para el diseño de una pantalla específica se han introducido, estos datos pueden ser guardados en un archivo .COA para su uso posterior. Estos son internamente documentados en formato-texto. Los diseños guardados se pueden recuperar para su posterior análisis o modificación. Los archivos de datos

también puede crearse y / o modificarse con un texto editor. Las variables de entrada se listan uno por línea, y el orden de las variables debe ser preservado.

### 5.3. RESULTADOS OBTENIDOS COMO BASE DE DISEÑO

#### PROGRAMA-COANDA SCREEN

Posteriormente de haber realizado los cálculos respectivos para el diseño de nuestro prototipo, Se ingreso los siguientes datos al programa computacional:

- Ancho de la pantalla 0,3 m.
- Longitud de la pantalla 0,06 m.
- Diseño de la descarga 0,002 m<sup>3</sup>/s.
- Inclinación de la pantalla 52°.

Cabe indicar que inicialmente se ingreso en la primera pestaña “Estructura” de la información donde escogemos las unidades en las que se va a trabajar, ancho de la pantalla y dentro del panel de la pantalla señalamos Pantalla Plana y la respectiva longitud de la misma.

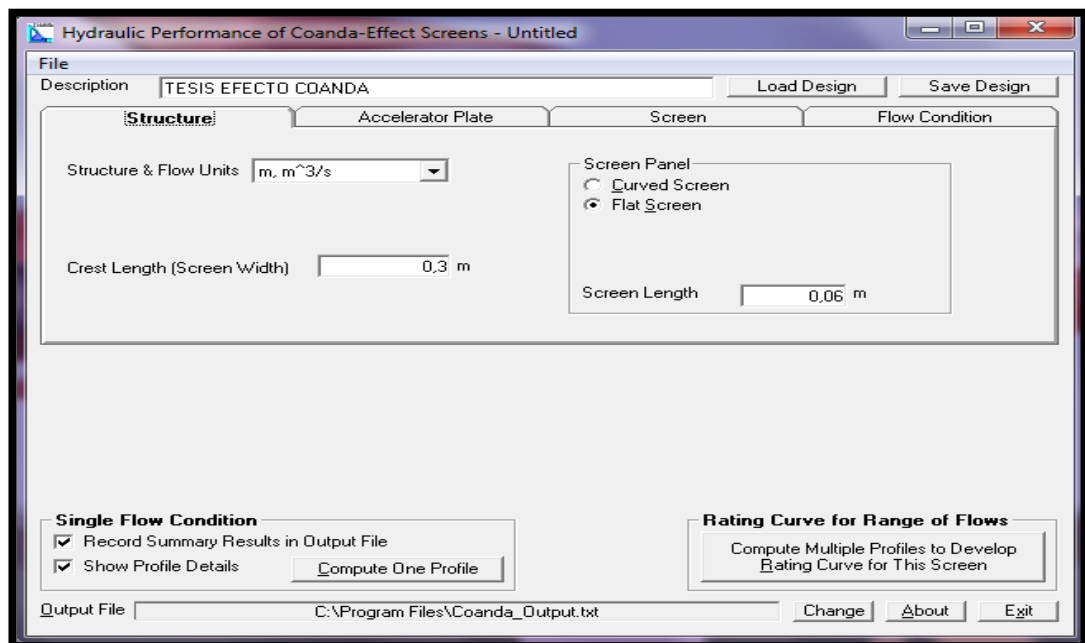
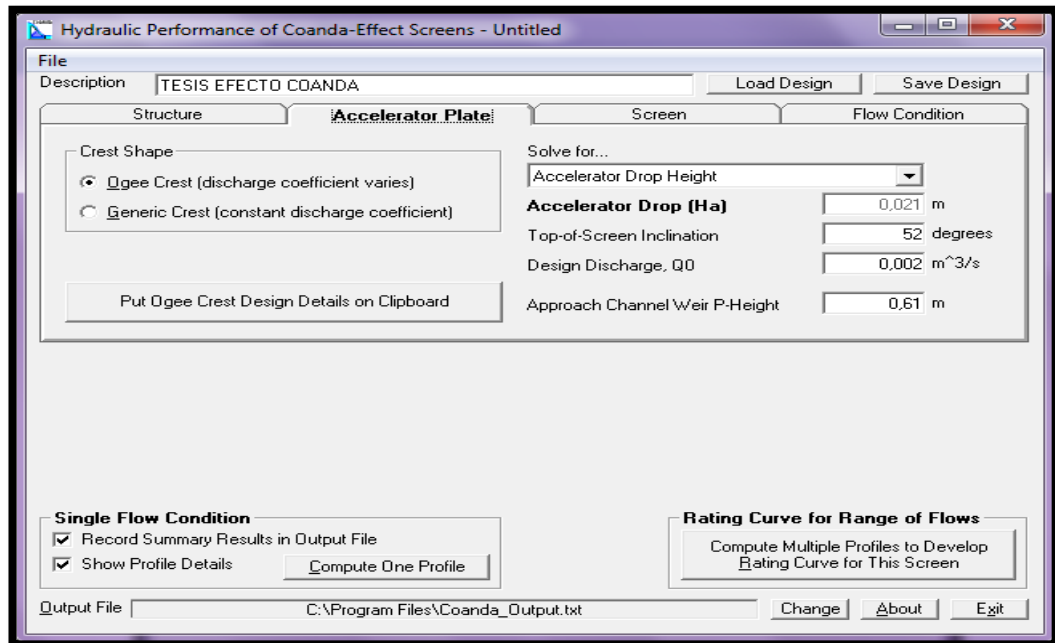


Figura 5.3: Ingreso de datos en la primera pestaña “Estructura”. Programa COANDA.

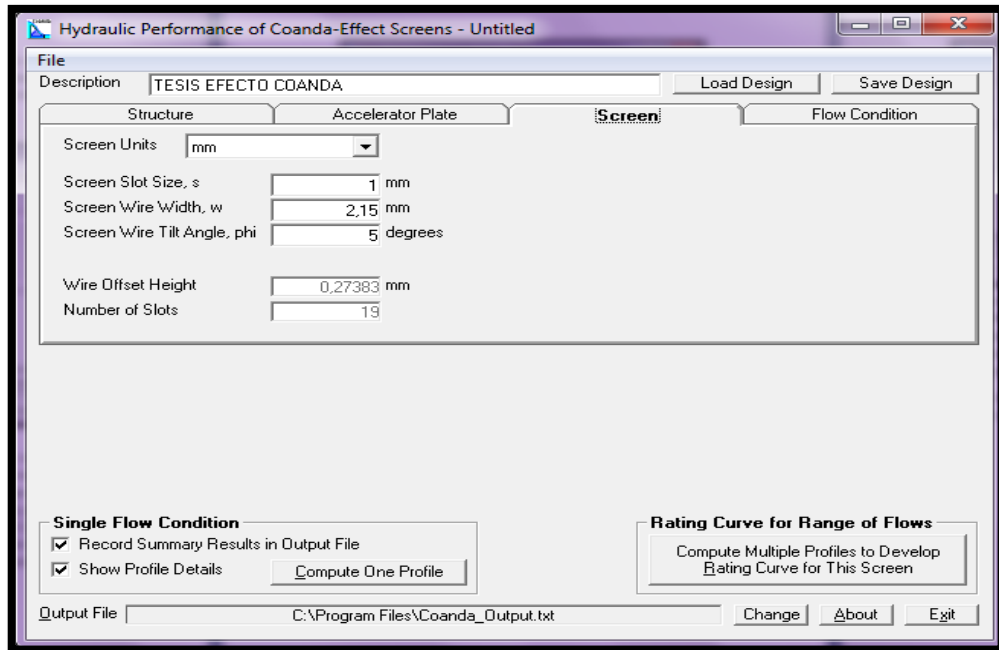
Posteriormente ubicándonos en la segunda pestaña “Placa de Aceleración”, y escogiendo Cresta Conopial, introducimos el caudal de diseño, la inclinación de la pantalla; después el programa calculara la Altura de aceleración de caída (Ha).



**Figura 5.4: Ingreso de datos en la segunda pestaña “Placa de Aceleración”. Programa COANDA.**

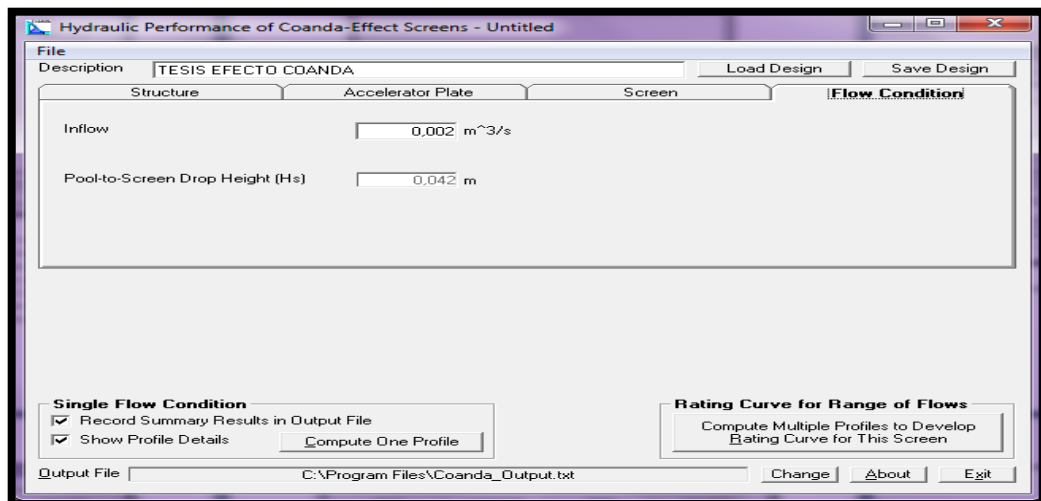
Para los datos de la “Pantalla” se ingresa los valores correspondientes al diámetro de los alambres con los que vamos a realizar el diseño del prototipo, es muy importante considerar que nuestros materiales deben ser obtenidos en el mercado ecuatoriano para cumplir con uno de los objetivos del proyecto.

Para nuestro primer caso el diámetro de alambre es de 2,15 mm (w), y la separación de cada uno de estos (s) es de 1 mm a 5° de desfase desde su centro; lo que nos da un resultado de 19 ranuras o espacios, 20 alambres a una distancia de desfase desde su centro de 0,27 mm.



**Figura 5.5: Ingreso de datos en la tercera pestaña “Pantalla” para una malla de 2.15 mm. Programa COANDA.**

En la última pestaña encontramos las “Condiciones de Flujo”, colocamos el flujo de descarga que es igual a  $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ ; dato que arroja como resultado de altura de caída desde la piscina aguas arriba de la pantalla (Hs) 0,042 m.



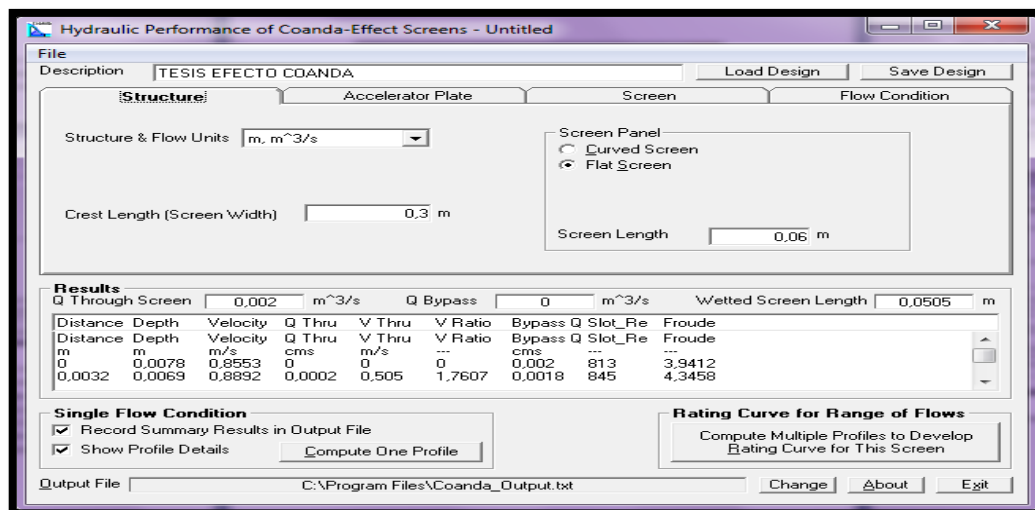
**Figura 5.6: Ingreso de datos en la cuarta pestaña “Condiciones de Flujo”. Programa COANDA.**



Para el cálculo del perfil único, hacemos clic en el botón “Compute One Profile” y obtendremos los siguientes resultados:

- Caudal a través de la Pantalla 0,002 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal que pasa 0,00 m<sup>3</sup>/s.
- Longitud de Pantalla mojada 0,0505 m.

Al analizar los resultados conseguidos se puede concluir que un 100% del fluido es absorbido por las mallas tipo Coanda y un 0% del fluido pasa a través de estas.



**Figura 5.7: Cálculo del Perfil único para una malla de 2.15 mm.**

Para un diámetro de alambre de 4,20 mm obtenemos los siguientes resultados:

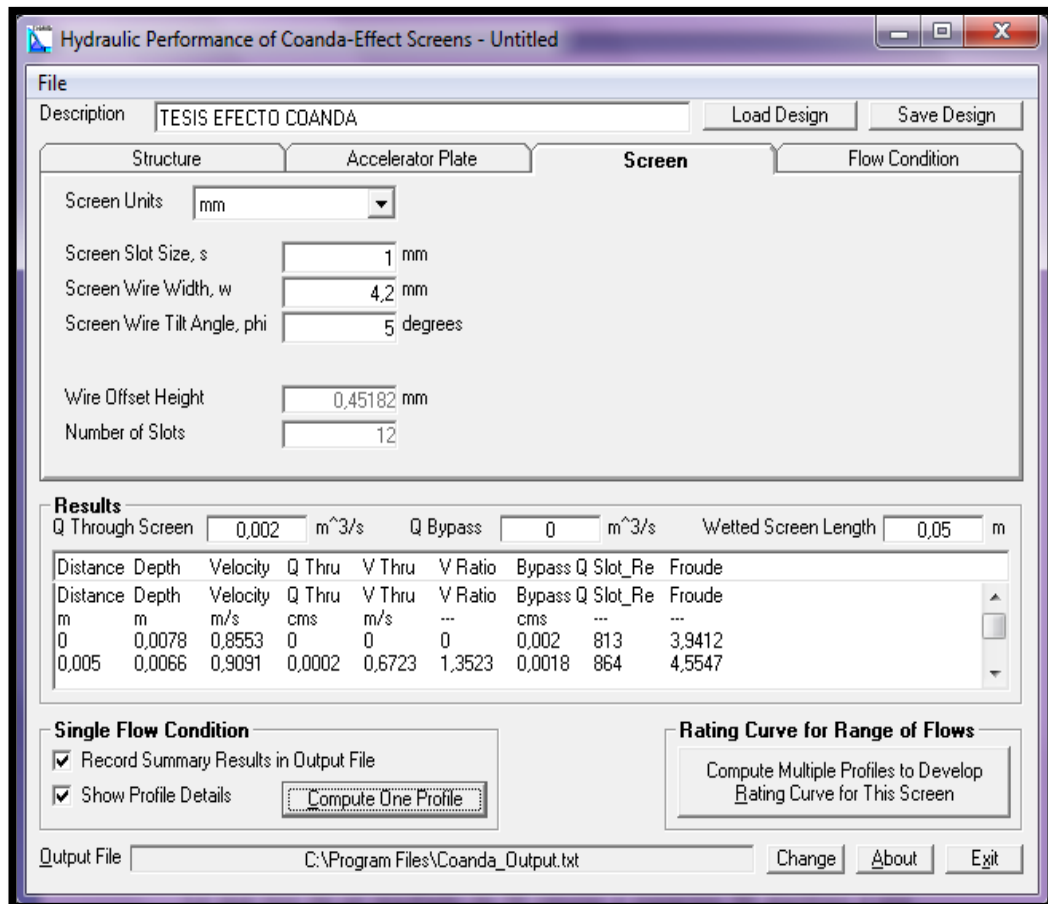


Figura 5.8: Cálculo del Perfil único para una malla de 4.2 mm. Programa COANDA.

Lo que nos da un resultado de 12 ranuras o espacios, 13 varillas a una distancia de desfase desde su centro de 0,45 mm.

Cálculo del perfil único; resultados:

- Caudal a través de la Pantalla 0,002 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal que pasa 0,00 m<sup>3</sup>/s.
- Longitud de Pantalla mojada 0,05 m.

Al analizar los resultados conseguidos se puede concluir que un 100% del fluido es absorbido por las mallas tipo Coanda y un 0% del fluido pasa a través de estas.

Para un diámetro de alambre de 6,10 mm obtenemos los siguientes resultados:

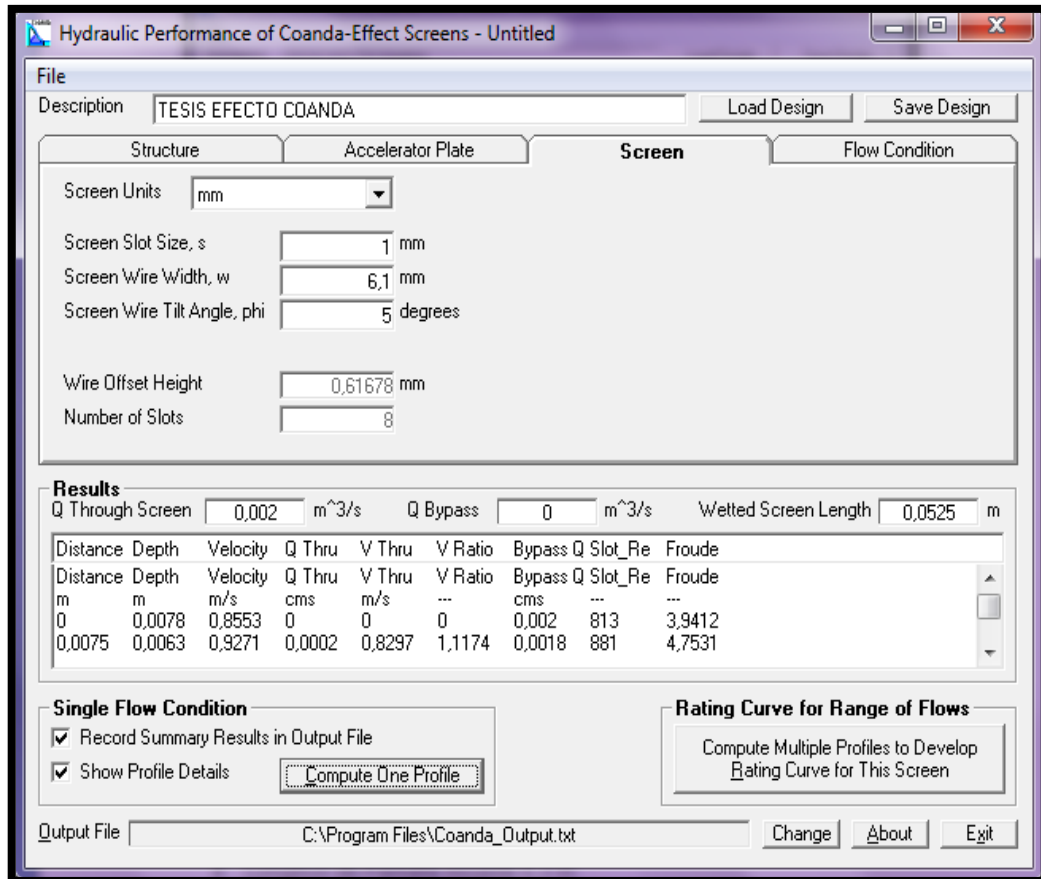


Figura 5.9: Cálculo del Perfil único para una malla de 6.1 mm. Programa COANDA.

Lo que nos da un resultado de 8 ranuras o espacios, 9 alambres a una distancia de desfase desde su centro de 0,62 mm.

Cálculo del perfil único; resultados:

- Caudal a través de la Pantalla 0,002 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal que pasa 0,00 m<sup>3</sup>/s.
- Longitud de Pantalla mojada 0,0525 m.

Al analizar los resultados conseguidos se puede concluir que un 100% del fluido es absorbido por las mallas tipo Coanda y un 0% del fluido pasa a través de estas.

En general; para que el proyecto pueda cumplir con su objetivo principal debemos probar que nuestro sistema basado en la utilización de

materiales del sector con lo que respecta al empleo de la malla tipo Coanda es más eficiente o mantiene la misma eficiencia a un precio más económico que el propuesto.

En general, para que el proyecto pueda cumplir con su objetivo principal debemos probar que nuestro sistema basado en la utilización de materiales del sector con lo que respecta al empleo de la malla tipo Coanda mantiene la misma eficiencia del expuesto o su eficiencia fluctúa con un valor aproximado; como una segunda parte no tenemos que olvidarnos la variable que involucra la parte económica en la cual se ve inmerso entre otros; costos de importe de material, traslado de personal especializado, trabajos en situ, etc.; en comparación con nuestro presupuesto local que abarataría los costos.

#### **5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para el análisis de los resultados nos ayudaremos del programa informático Excel para generar los gráficos, y las líneas de tendencia:

##### **5.4.1. Análisis del caudal de la reja vs. altura de la lámina de agua del Vertedero No 1 (Qr vs. H Vert.1) y caudal de la reja vs. altura de la lámina de agua del vertedero No 2 (Qr vs. H Vert.2).**

En la malla de 6.1mm existe un importante incremento del caudal y de la altura de la lámina en el vertedero No 1, en el cambio de la abertura de la llave de paso No 1 y la No 2, esto es debido a que en la abertura No 2 circula casi la totalidad del caudal que genera la bomba de agua.

La altura de la lámina de agua de las aberturas 3, 4 y 5 son similares, solo se presenta una ligera variación en el caudal de mencionadas aberturas.

MALLA DE 6,1 mm Vert.1		
Abertura	Qr1 (lt/s)	Hv1 (cm)
1	0.49	4
2	1.55	5.9
3	1.58	5.9
4	1.63	5.9

Tabla 5.13: Resultados de las alturas en el vertedero 1 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 6.1 mm.

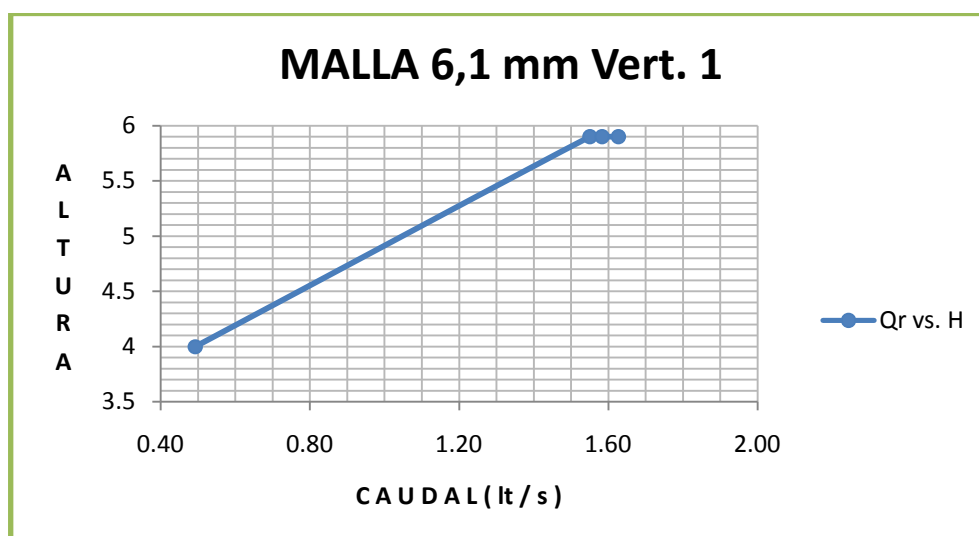


Gráfico 5.1: Gráfica del caudal Qr vs. altura H. Malla de 6.1. Vertedero 1.

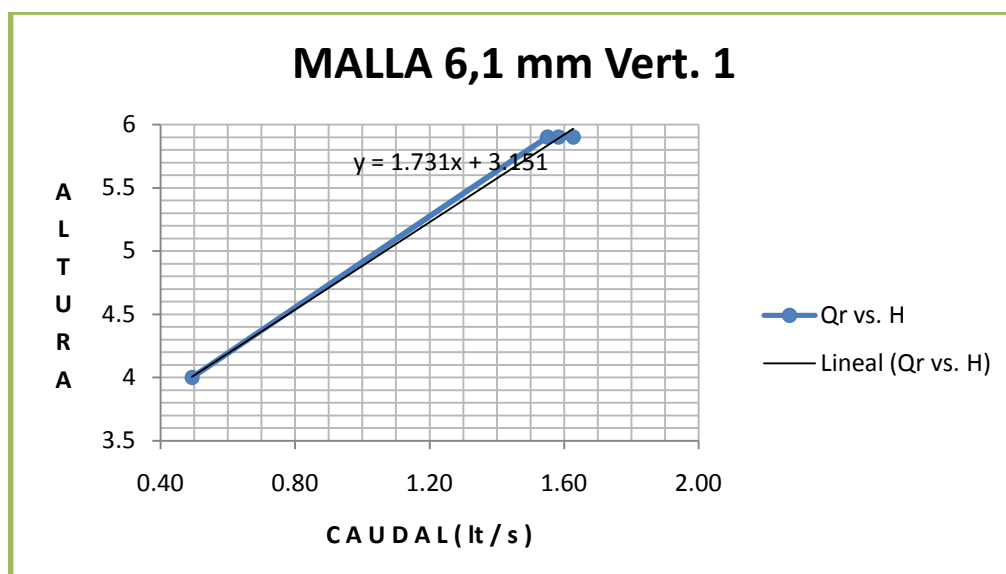


Gráfico 5.2: Ec. lineal generada por la gráfica Qr vs. H. Malla de 6.1. Vertedero 1.

Se presentaron similares condiciones en el vertedero No 2, siendo otra vez perceptible el cambio entre la abertura No 1 y la No 2.

MALLA DE 6,1 mm Vert.2		
Abertura	Qr2 (l/s)	Hv2 (cm)
1	0.05	1.8
2	0.30	2
3	0.31	2
4	0.33	2

Tabla 5.14: Resultados de las alturas en el vertedero 2 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 6.1 mm.

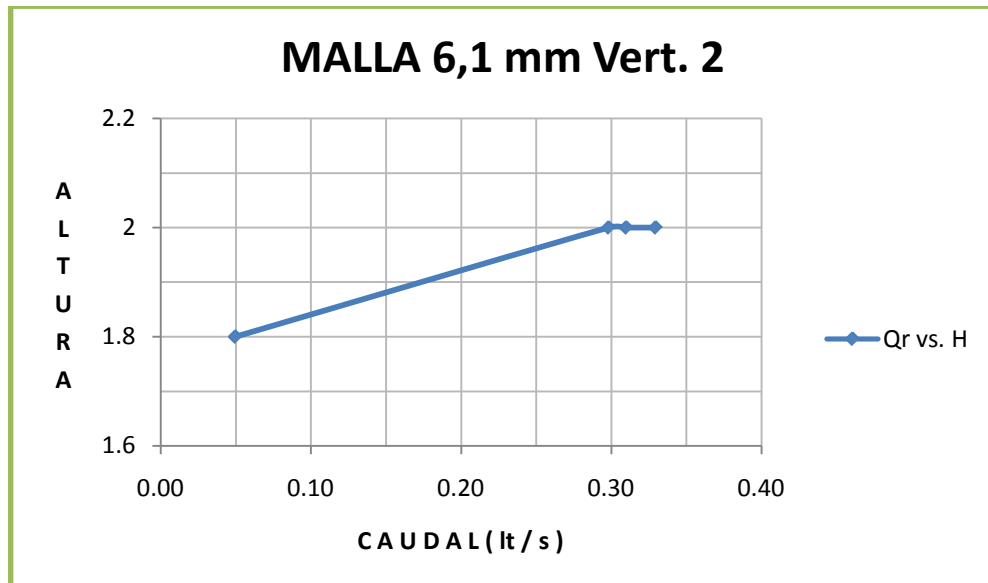
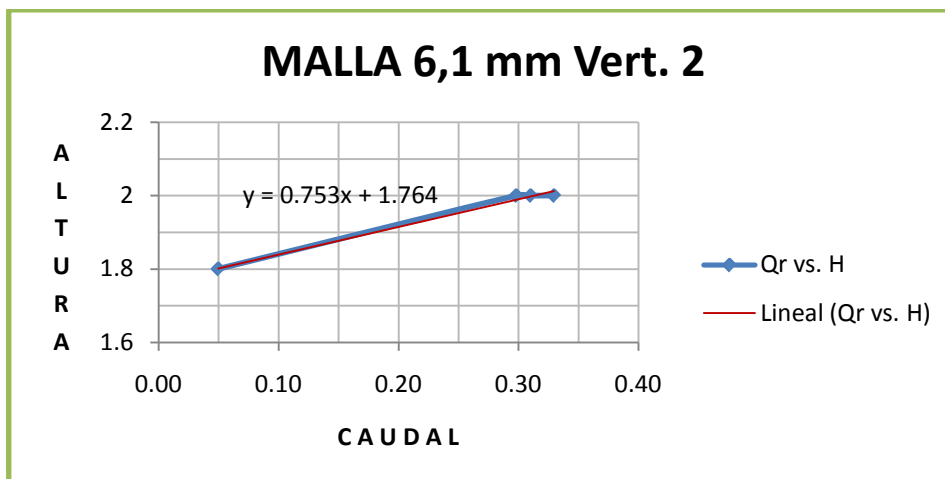


Gráfico 5.3: Gráfica del caudal Qr vs. altura H. Malla de 6.1. Vertedero 2.

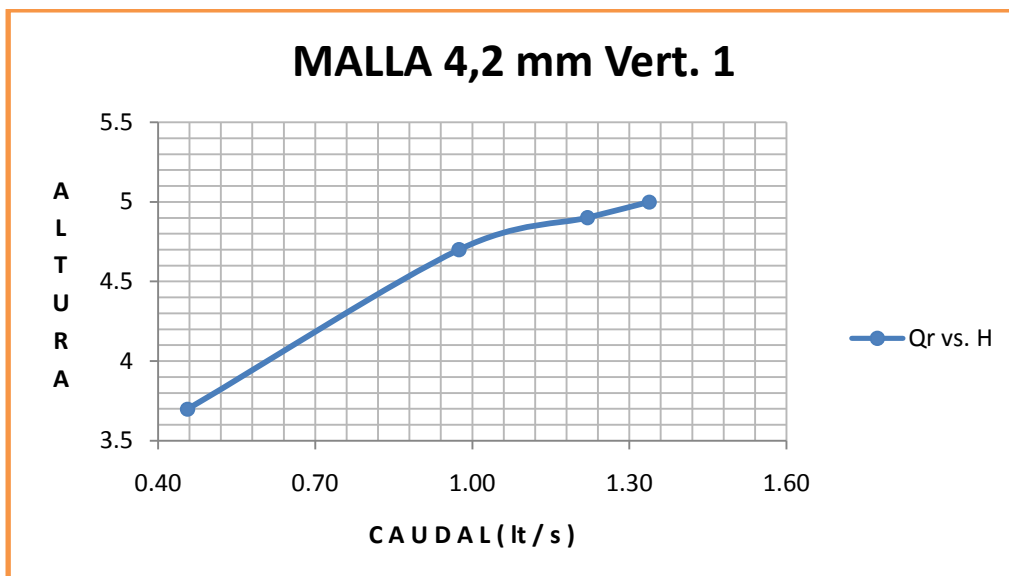


**Gráfico 5.4: Ec. lineal generada por la gráfica Qr vs. H. Malla de 6.1. Vertedero 2.**

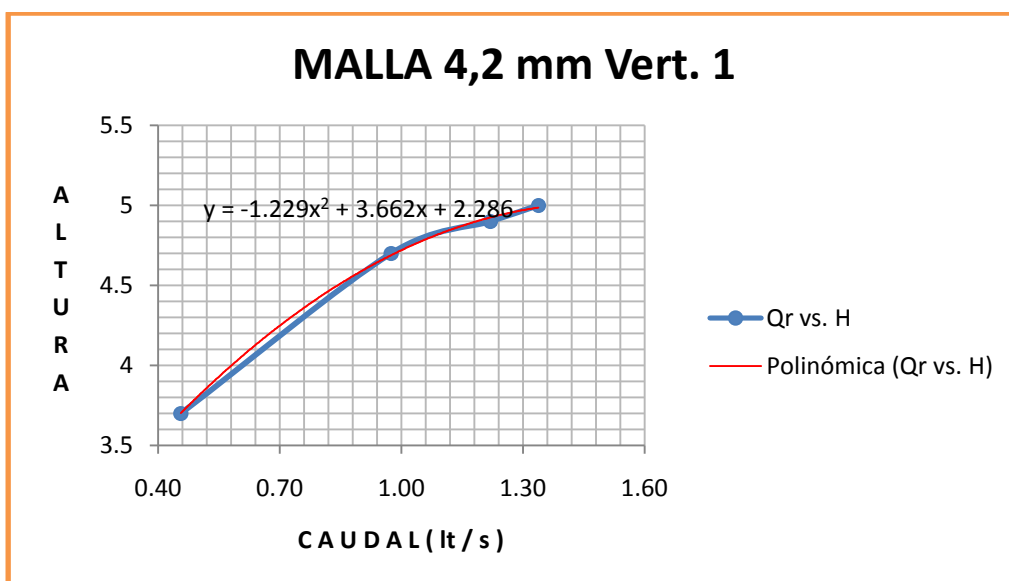
En la malla de 4.2mm existe un incremento del caudal y de la altura de la lámina en el vertedero No 1, en el cambio de la abertura de la llave de paso No 1 y la No 2, en casi 0.51 lt/seg, pero como podemos observar en el paso de la abertura No 2 a la No 3 (0.25 lt/seg), y de la No 3 a la No 4 (0.12 lt/seg) el incremento no es constante, llegando a estabilizarse en una altura de 5cm.

MALLA DE 4,2 mm Vert.1		
Abertura	Qr1 (l/s)	Hv1 (cm)
1	0.46	3.7
2	0.97	4.7
3	1.22	4.9
4	1.34	5

**Tabla 5.15: Resultados de las alturas en el vertedero 1 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 4.2 mm.**



**Gráfico 5.5: Gráfica del caudal Qr vs. altura H. Malla de 4.2. Vertedero 1.**



**Gráfico 5.6: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr vs. H. Malla de 4.2. Vertedero 1.**

A diferencia de los valores que se presentaron en el vertedero No 1, en el vertedero No 2 el mayor caudal se presenta en la abertura No 2 (0.68 lt/seg), a partir de esta abertura empieza a decrecer hasta reducirse a 0,52 lt/seg, esto debido a que el caudal que ingresa a través de la reja es mayor que el caudal que pasa por esta.



MALLA DE 4,2 mm Vert.2		
Abertura	Qr2 (l/s)	Hv2 (cm)
1	0.12	2
2	0.68	4.2
3	0.51	3.9
4	0.52	3.4

Tabla 5.16: Resultados de las alturas en el vertedero 2 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 4.2 mm.

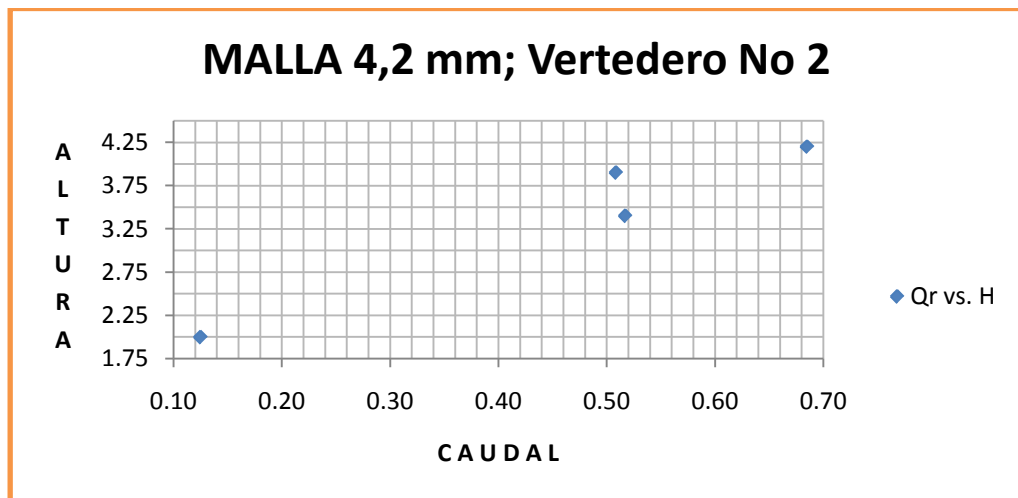


Gráfico 5.7: Gráfica del caudal Qr vs. altura H. Malla de 4.2. Vertedero 2.

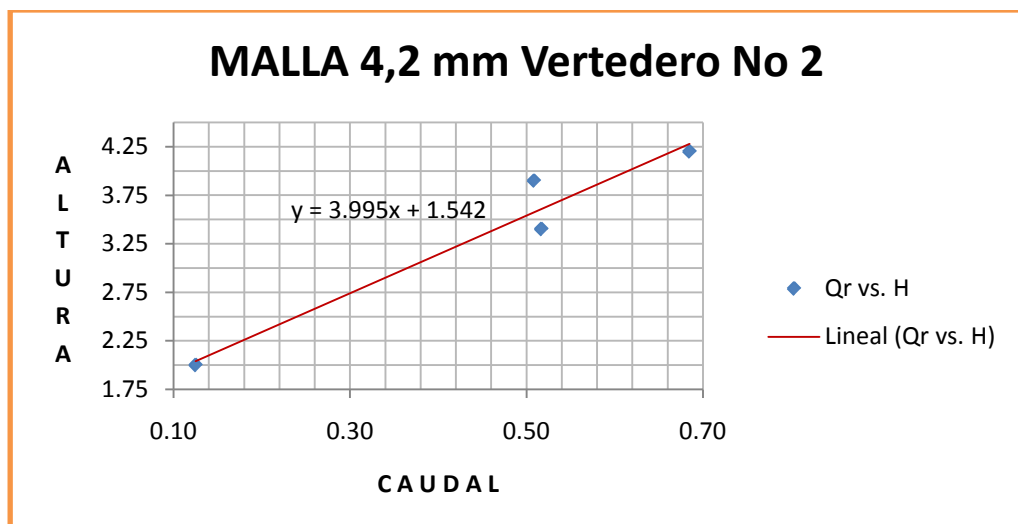


Gráfico 5.8: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr vs. H. Malla de 4.2. Vertedero 2.

En la malla de 2.15mm existe un incremento del caudal y de la altura de la lámina en el vertedero No 1, en el cambio de la abertura de la llave de paso No 1 y la No 2, (0.87 lt/seg), pero como podemos observar en las siguientes aberturas las alturas son constantes, con cambios casi imperceptibles para los aparatos de medición, solo podemos observar una variación en sus caudales.

MALLA DE 2,15 mm Vert.1		
Abertura	Qr1 (l/s)	Hv1 (cm)
1	0.62	3.9
2	0.87	4.5
3	0.96	4.5
4	1.00	4.5

Tabla 5.17: Resultados de las alturas en el vertedero 1 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 2.15 mm.

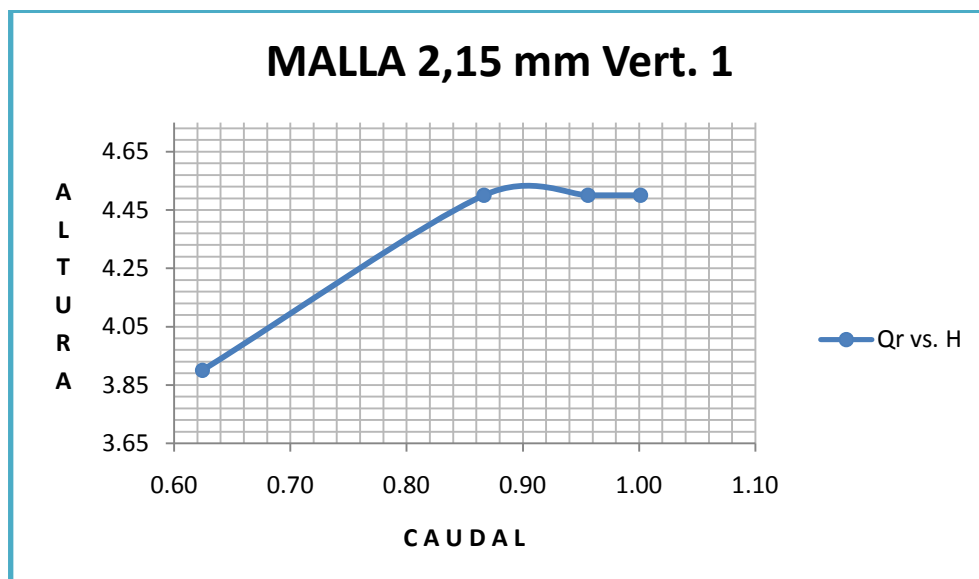
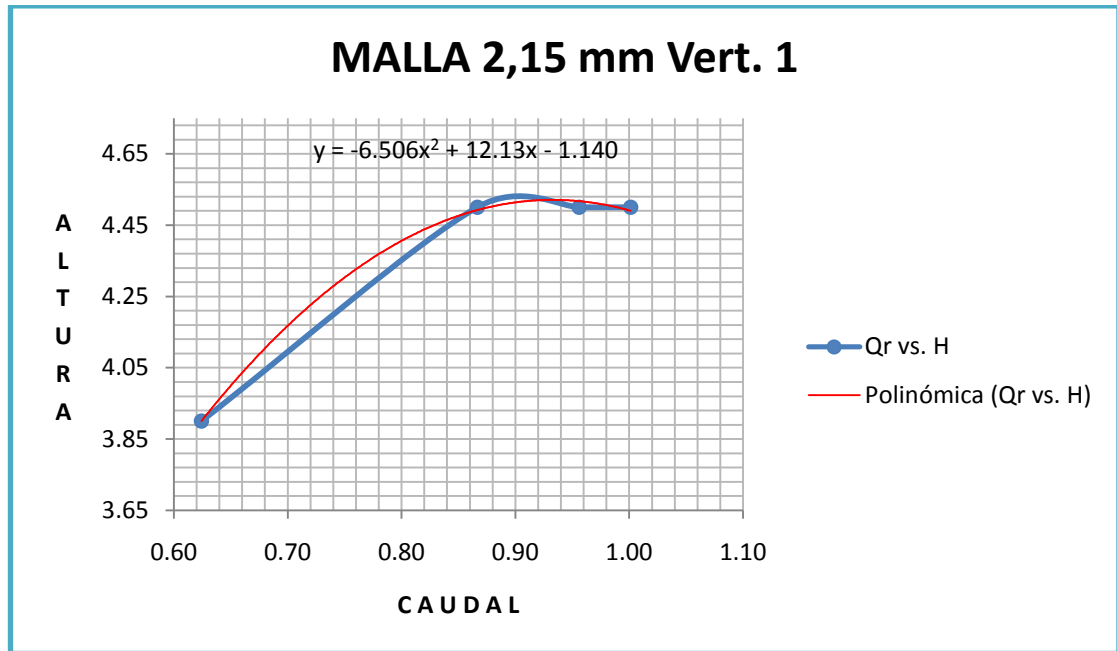


Gráfico 5.9: Gráfica del caudal Qr vs. altura H. Malla de 2.15. Vertedero 1.



**Gráfico 5.10: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr vs. H.  
Malla de 2.15. Vertedero 1.**

En el vertedero No 2, el aumento del caudal es importante en la abertura No 2, reduciendo el caudal al pasar a las aberturas No 3 y No 4.

MALLA DE 2,15 mm Vert.2		
Abertura	Qr2 (l/s)	Hv2 (cm)
1	0.09	1.9
2	0.83	4.4
3	0.78	4.2
4	0.80	4.1

**Tabla 5.18: Resultados de las alturas en el vertedero 2 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Malla de 2.15 mm.**

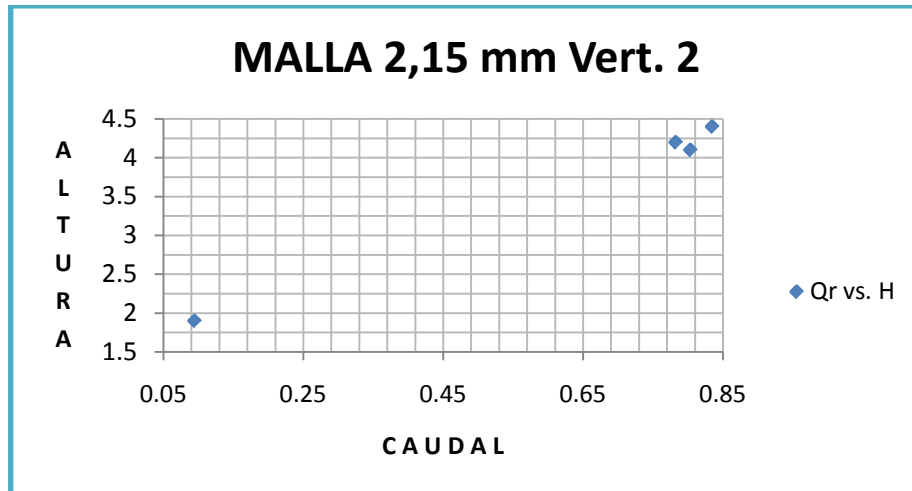


Gráfico 5.11: Gráfica del caudal  $Q_r$  vs. altura  $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 2.

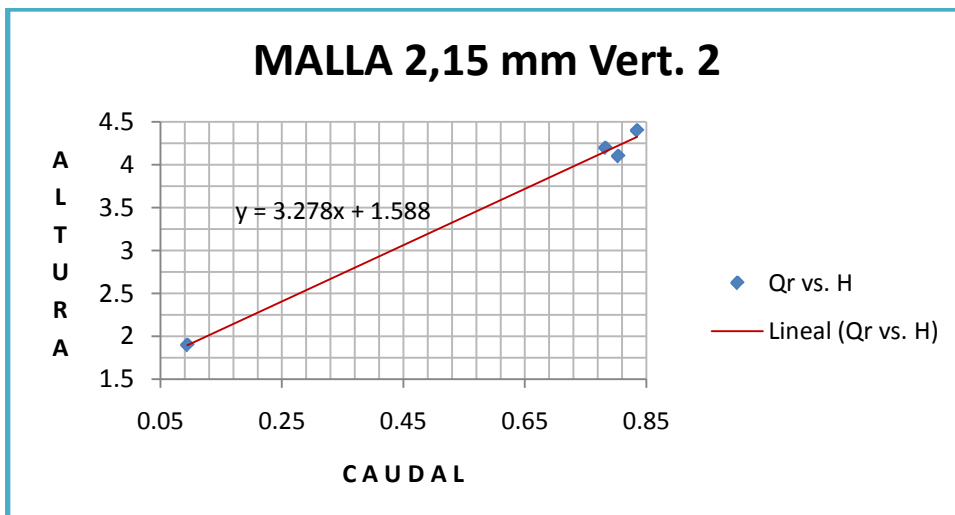


Gráfico 5.12: Ecuación Polinómica generada por la gráfica  $Q_r$  vs.  $H$ . Malla de 2.15. Vertedero 2.

S / MALLA Vert.1		
Abertura	$Q_{r1}$ (l/s)	$H_{v1}$ (cm)
1	0.65	4.2
2	1.93	6.2
3	1.97	6.3
4	2.04	6.3

Tabla 5.19: Resultados de las alturas en el vertedero 1 con su respectivo caudal en las diferentes aberturas. Sin malla.

### 5.4.2. Análisis del caudal de la reja vs. $s/(s+b)$ en el vertedero 1 y 2 con las diferentes rejillas en su máxima abertura.

A continuación vamos a realizar un análisis entre las rejillas y el caudal que generan cada una de ellas. Para lo cual calcularemos la expresión  $s/(s+b)$ , en donde  $s$  es el espaciamiento entre las varillas y  $b$  es el diámetro de las varillas de la rejilla, para este análisis solo tomaremos en cuenta los datos obtenidos con la abertura 4, es decir abierta en su totalidad la llave de paso.

En donde claramente se puede observar que mientras más alto sea el diámetro de las rejillas, mayor será el caudal captado para el vertedero No 1; mientras tanto para el vertedero No 2 es completamente inversamente proporcional.

	ABERTURA	Vert. 1		Vert. 2	
		$s/(s+b)$	Qr1 (l/s)	$s/(s+b)$	Qr2 (l/s)
Malla 6,1 mm	4	0.14	1.63	0.14	0.33
Malla 4,2 mm	4	0.19	1.34	0.19	0.52
Malla 2,15 mm	4	0.32	1.00	0.32	0.80

Tabla 5.20: Resultados obtenidos entre Qr y  $s/(s+b)$  en el vertedero 1 y 2 con las diferentes rejillas en su máxima abertura.

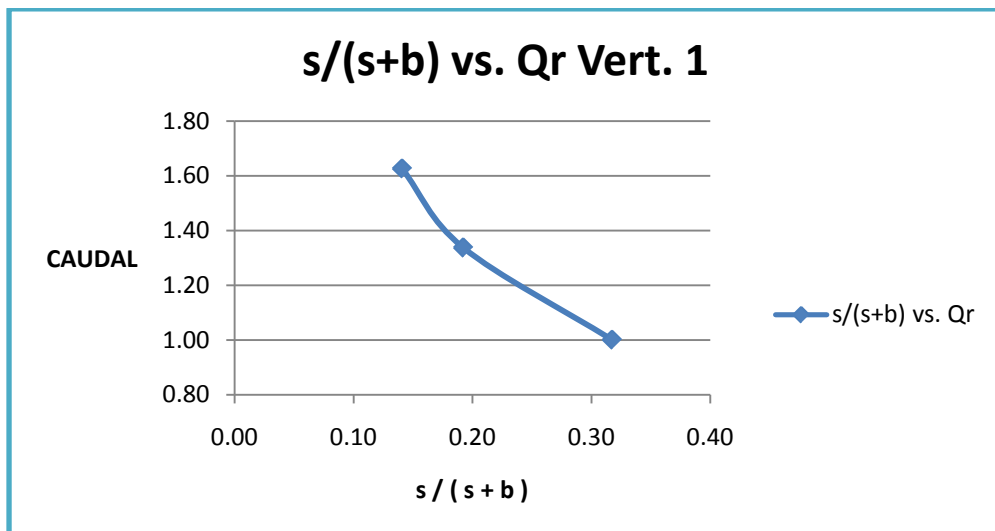


Gráfico 5.13: Gráfica del Caudal Qr vs.  $s/(s+b)$ . Con diferentes rejillas. Vertedero 1.

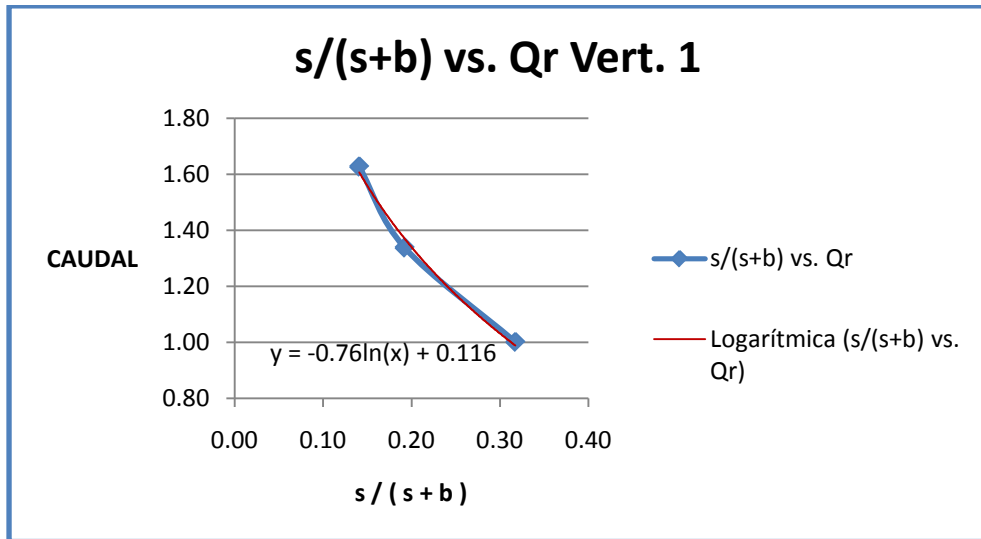


Gráfico 5.14: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr vs.  $s/(s+b)$ . Con diferentes rejillas. Vertedero 1.

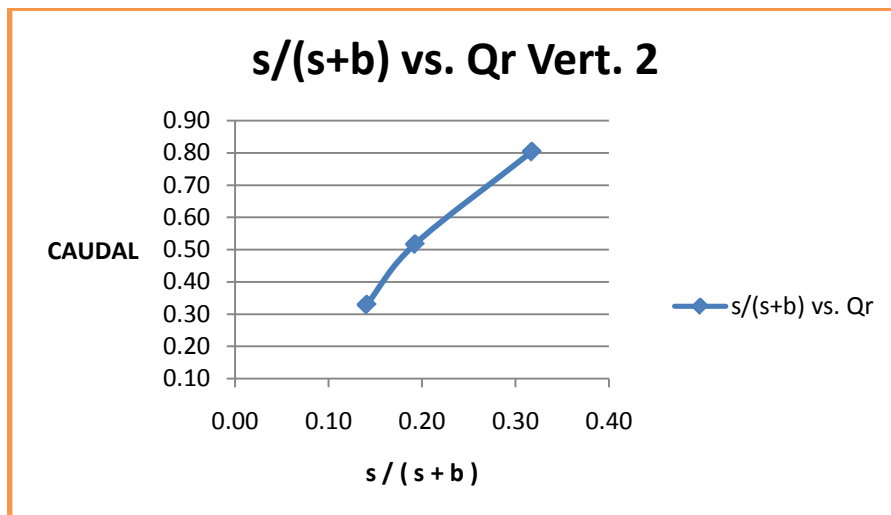
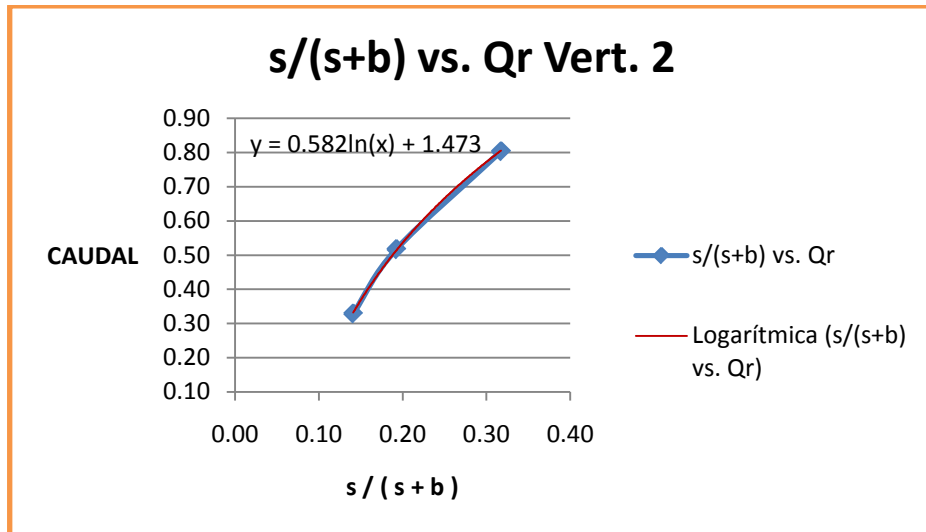


Gráfico 5.15: Gráfica del Caudal Qr vs.  $s/(s+b)$ . Con diferentes rejillas. Vertedero 2.



**Gráfico 5.16: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr vs. s/(s+b). Con diferentes rejillas. Vertedero 2.**

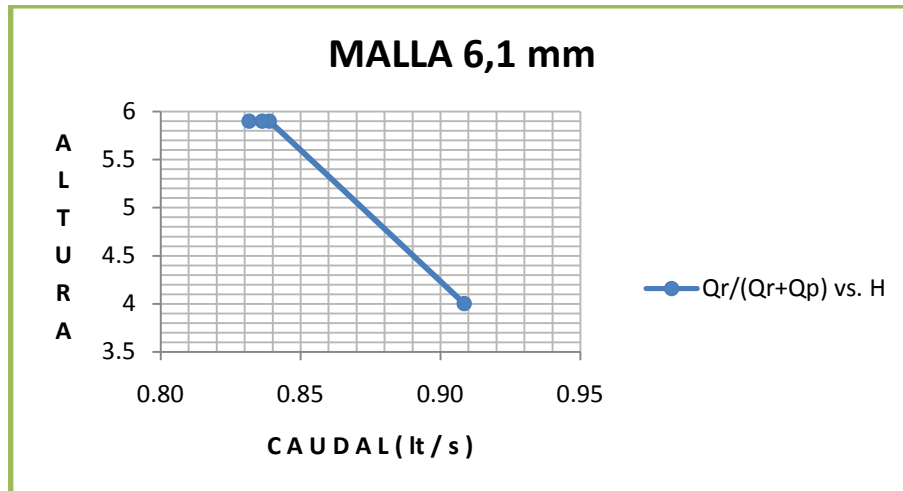
#### 5.4.3. Análisis y Determinación de la eficiencia en las rejillas.

Es importante conocer qué porcentaje de agua es captado con cada rejilla, mediante el grafico **Qr/QT vs. H**, volviendo a concluir que a mayor diámetro de las varillas, mayor es la eficiencia.

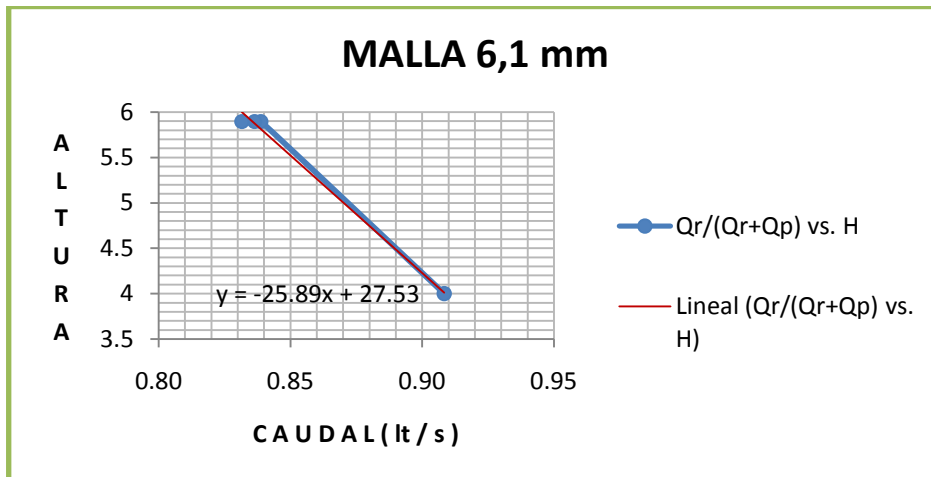
En la malla de 6.1mm la mayor eficiencia se obtiene en la abertura No 1, empezando a reducir la eficiencia debido al incremento de la velocidad y del caudal de agua que pasa por encima de la rejilla.

MALLA DE 6,1 mm		
Litros		
Abertura	Qr/(Qr+Qp)	Hv1 (cm)
1	0.91	4
2	0.84	5.9
3	0.84	5.9
4	0.83	5.9

**Tabla 5.21: Resultados obtenidos entre Qr/(Qr+Qp) y H con las diferentes abertura. Malla de 6.1 mm.**



**Gráfico 5.17: Gráfica del Caudal  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 6.1 mm.**



**Gráfico 5.18: Ecuación Lineal generada por la gráfica  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 6.1 mm.**

En la malla de 4.2mm la mayor eficiencia se obtiene en la abertura No 1, reduciendo drásticamente en la abertura No2, y comenzando nuevamente a incrementarse la eficiencia. En la abertura No 1 el caudal que ingresa es el mínimo, llegando a una velocidad tal que ingresa más agua al vertedero No 1 que al vertedero No 2, pero al pasar a la abertura No 2 el cambio de la velocidad y del caudal es drástico que el agua que pasa sobre la rejilla es mayor que la que ingresa por medio de esta.



Al pasar a la abertura 3 y 4 la velocidad disminuye y el caudal se mantiene casi constante, aumentando su eficiencia.

MALLA DE 4,2 mm		
Litros		
Abertura	$Q_r/(Q_r+Q_p)$	Hv1 (cm)
1	0.79	3.7
2	0.59	4.7
3	0.71	4.9
4	0.72	5

Tabla 5.22: Resultados obtenidos entre  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  y H con las diferentes aberturas. Malla de 4.2 mm.

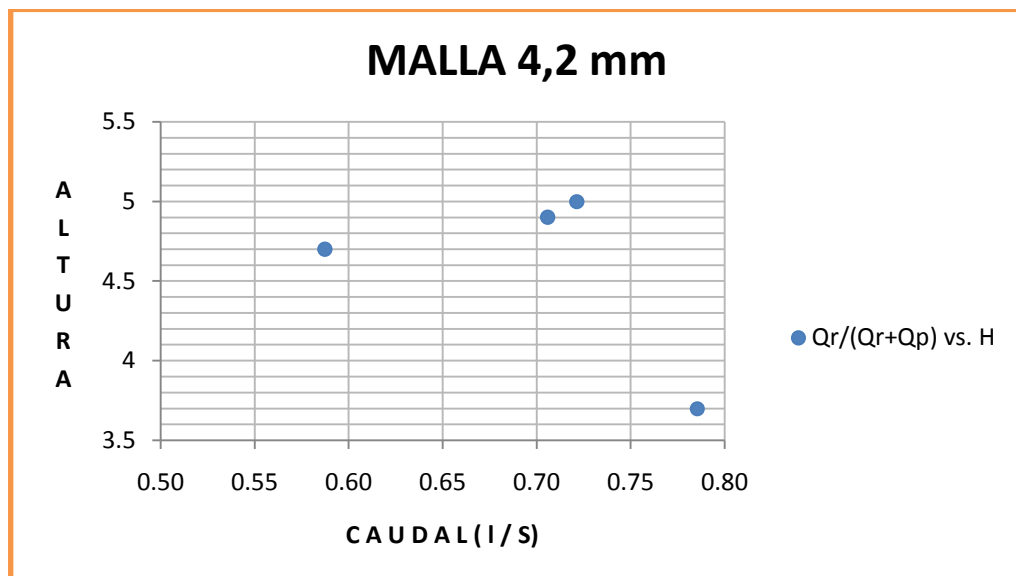
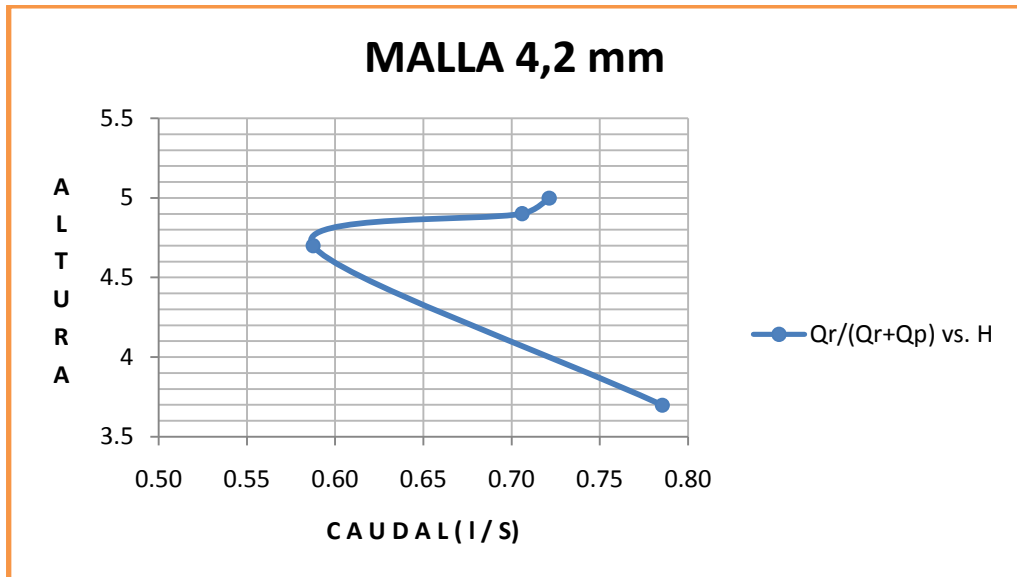


Gráfico 5.19: Gráfica del Caudal  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 4.2 mm.

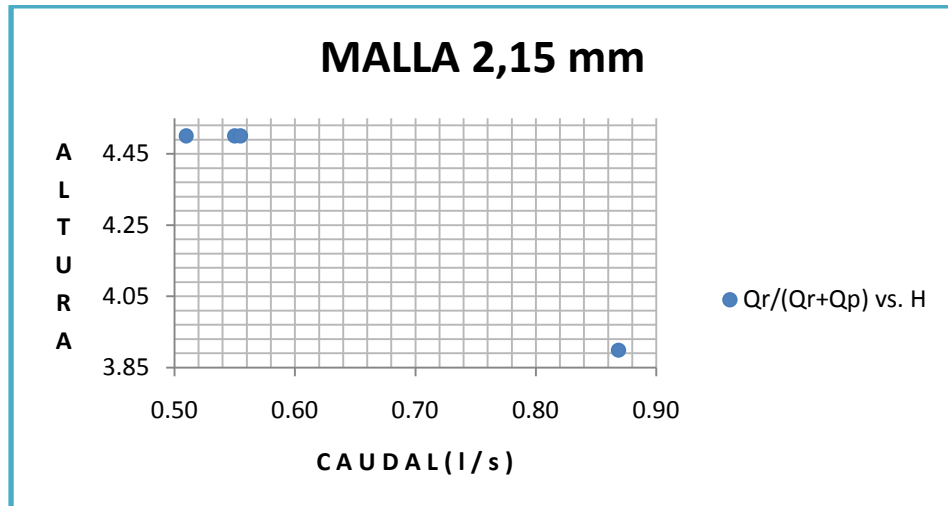


**Gráfico 5.20: Ecuación Lineal generada por la gráfica  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 4.2 mm**

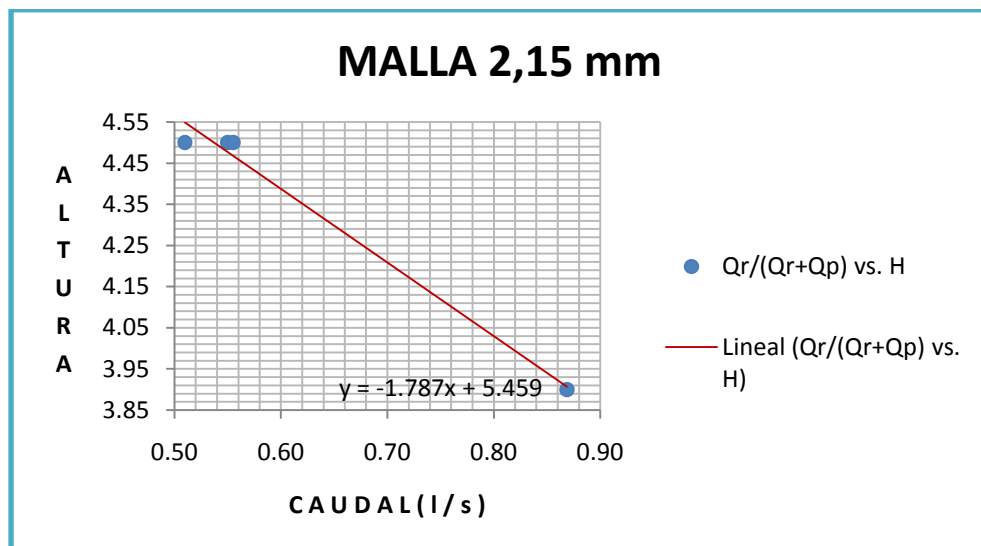
En la malla de 2.15mm la principal variación es entre la abertura No 1 y No 2, siendo casi constante su eficiencia en la abertura No 2, No 3 y No 4.

MALLA DE 2,15 mm		
Litros		
Abertura	$Q_r/(Q_r+Q_p)$	Hv1 (cm)
1	0.87	3.9
2	0.51	4.5
3	0.55	4.5
4	0.55	4.5

**Tabla 5.23: Resultados obtenidos entre  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  y H con las diferentes abertura. Malla de 2.15 mm.**



**Gráfico 5.21: Gráfica del Caudal  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 2.15 mm.**



**Gráfico 5.22: Ecuación Lineal generada por la gráfica  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. H. Con diferentes Aberturas. Malla 2.15 mm.**

Posteriormente realizaremos el análisis por tiempos iguales en la toma de datos entre el caudal obtenido y los diferentes diámetros de las rejillas ( $Q_r/Q_T$  vs.  $D_m$ ). Inicialmente en un tiempo de 5 minutos podemos observar que la malla de 6,1 mm tiene una mayor eficiencia que las otras dos rejillas; manteniéndose de igual manera en los tiempos de 10, 15 y 20 minutos con resultados estrechamente parecidos en todos los casos.

Malla vs. Caudal		
Litros		
Tiempo (min)	Qr/(Qr+Qp)	Malla
5	0.94	6.1
5	0.72	4.2
5	0.59	2.15

Tabla 5.24: Resultados obtenidos entre Qr/(Qr+Qp) y los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 5 minutos.

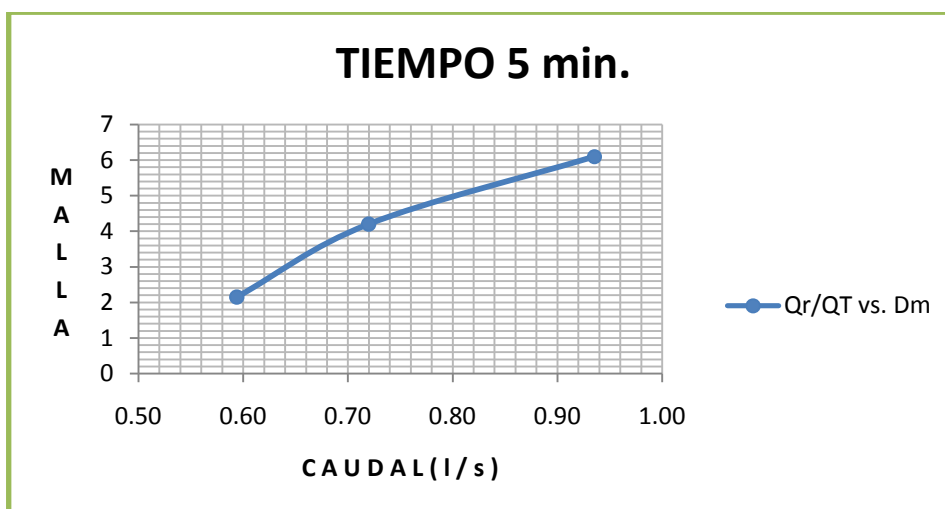


Gráfico 5.23: Gráfica del Caudal Qr/(Qr+Qp) vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 5 minutos.

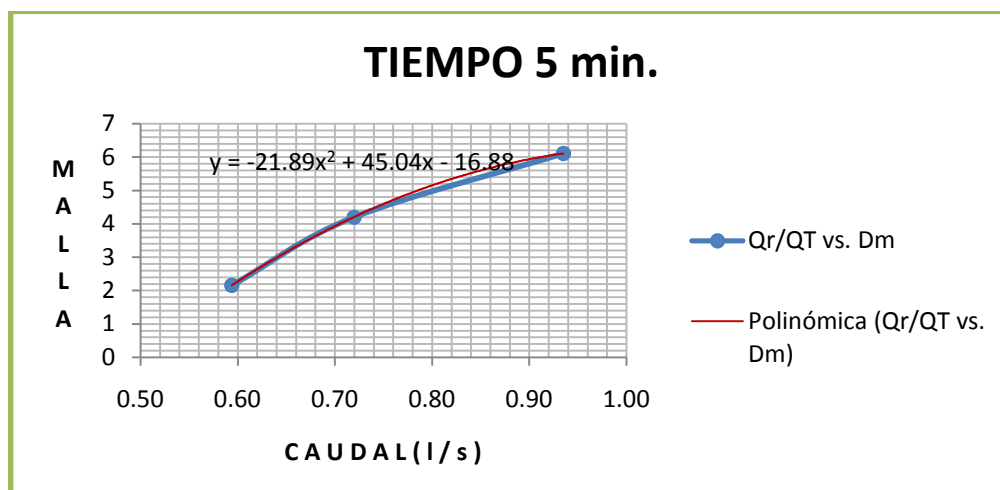


Gráfico 5.24: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr/(Qr+Qp) vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 5 minutos.

Malla vs. Caudal		
Litros		
Tiempo (min)	Qr/(Qr+Qp)	Malla
10	0.94	6.1
10	0.71	4.2
10	0.55	2.15

Tabla 5.25: Resultados obtenidos entre  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  y los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 10 minutos.

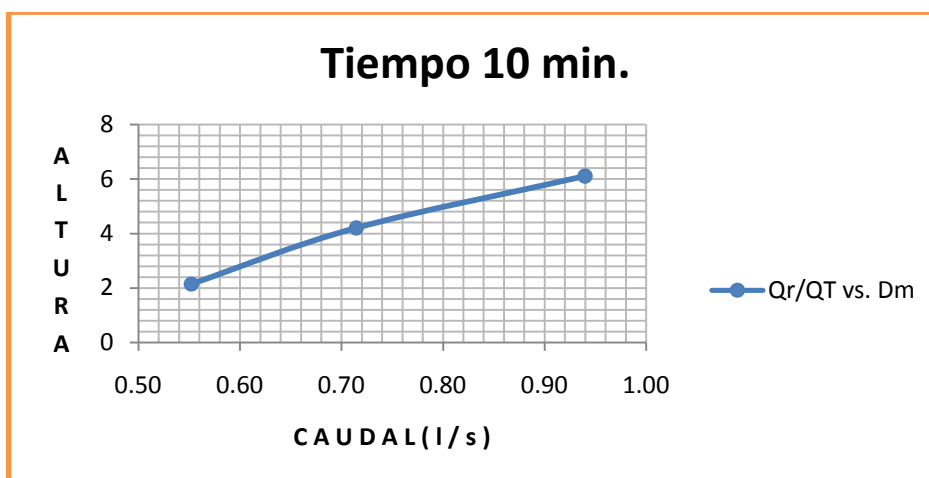


Gráfico 5.25: Gráfica del Caudal  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 10 minutos.

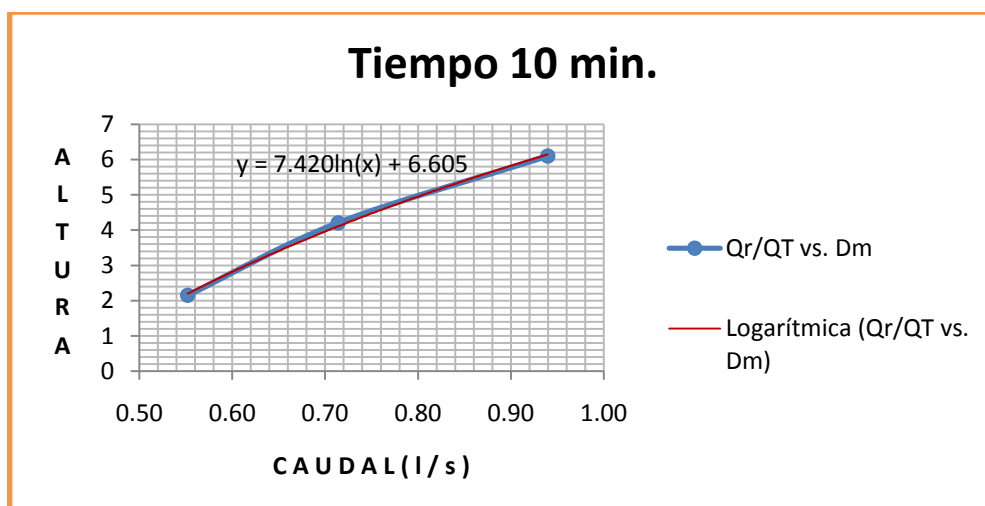


Gráfico 5.26: Ecuación Logarítmica generada por la gráfica  $Q_r/(Q_r+Q_p)$  vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 10 minutos.

Malla vs. Caudal		
Litros		
Tiempo (min)	Qr/(Qr+Qp)	Malla
15	0.94	6.1
15	0.73	4.2
15	0.55	2.15

Tabla 5.26: Resultados obtenidos entre  $Qr/(Qr+Qp)$  y los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 15 minutos.

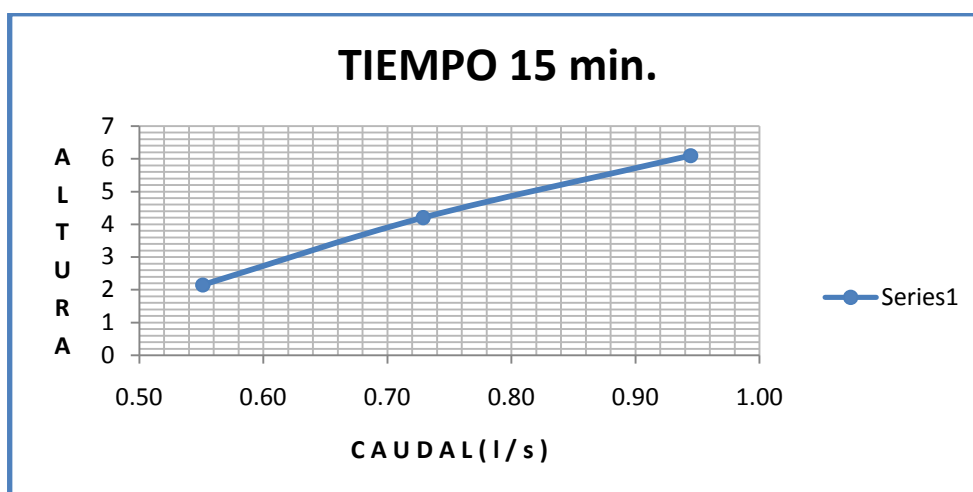


Gráfico 5.27: Gráfica del Caudal  $Qr/(Qr+Qp)$  vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 15 minutos.

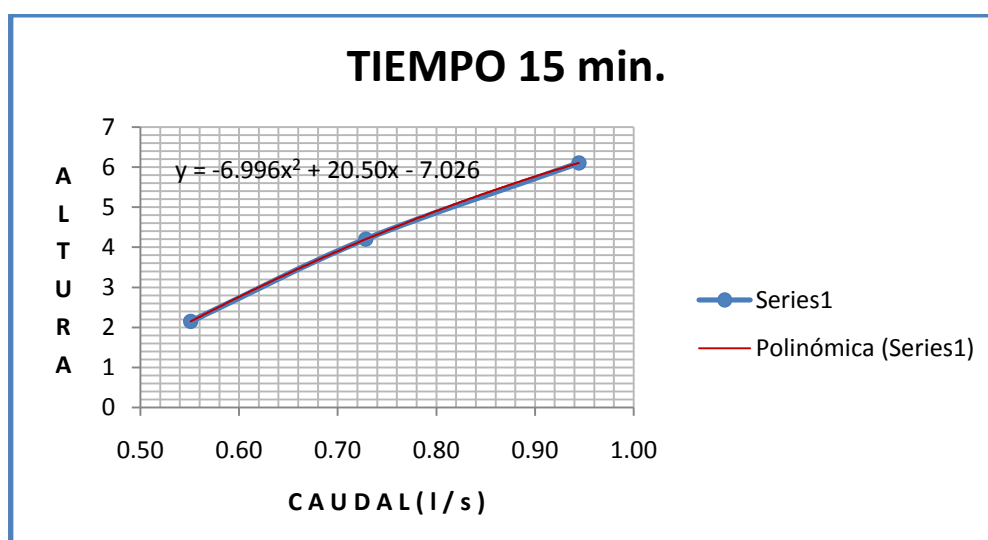


Gráfico 5.28: Ecuación Logarítmica generada por la gráfica  $Qr/(Qr+Qp)$  vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 15 minutos.

Malla vs. Caudal		
Litros		
Tiempo (min)	Qr/(Qr+Qp)	Malla
20	0.95	6.1
20	0.72	4.2
20	0.57	2.15

Tabla 5.27: Resultados obtenidos entre Qr/(Qr+Qp) y los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 20 minutos.

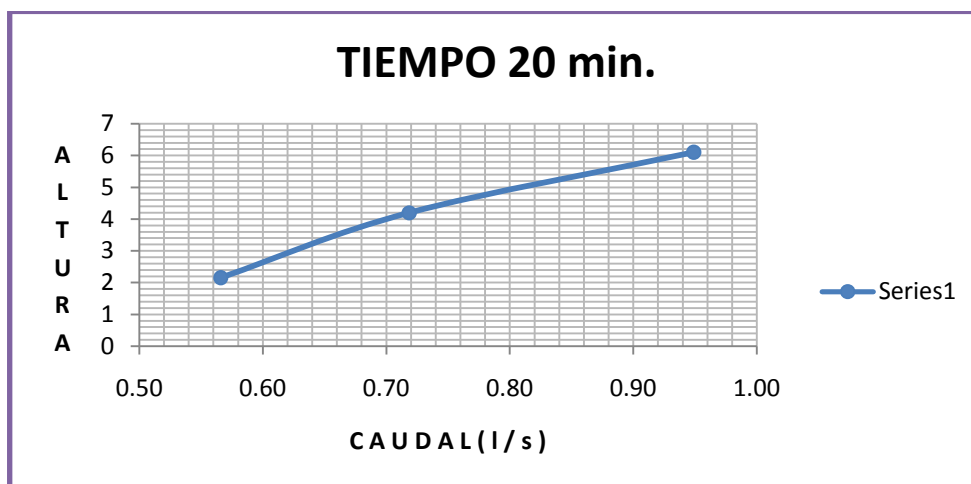


Gráfico 5.29: Gráfica del Caudal Qr/(Qr+Qp) vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 20 minutos.

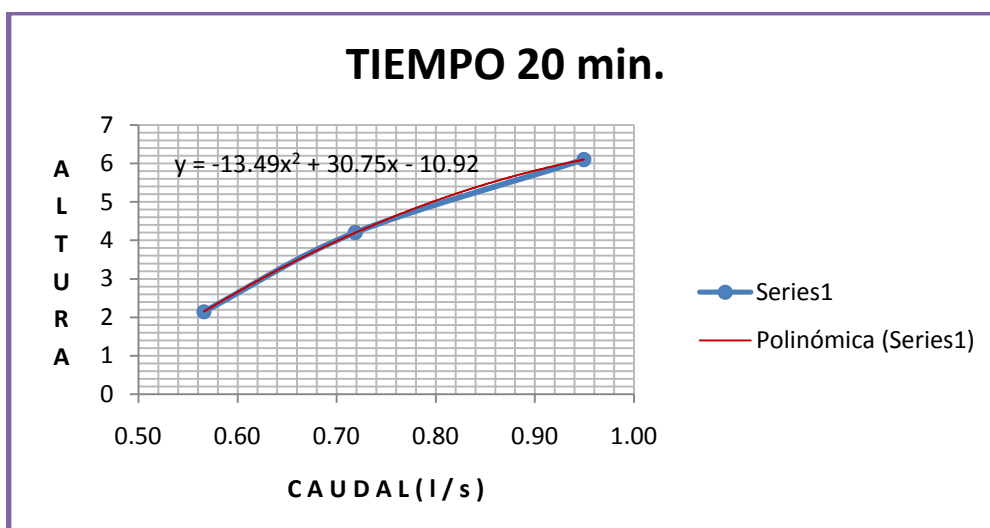


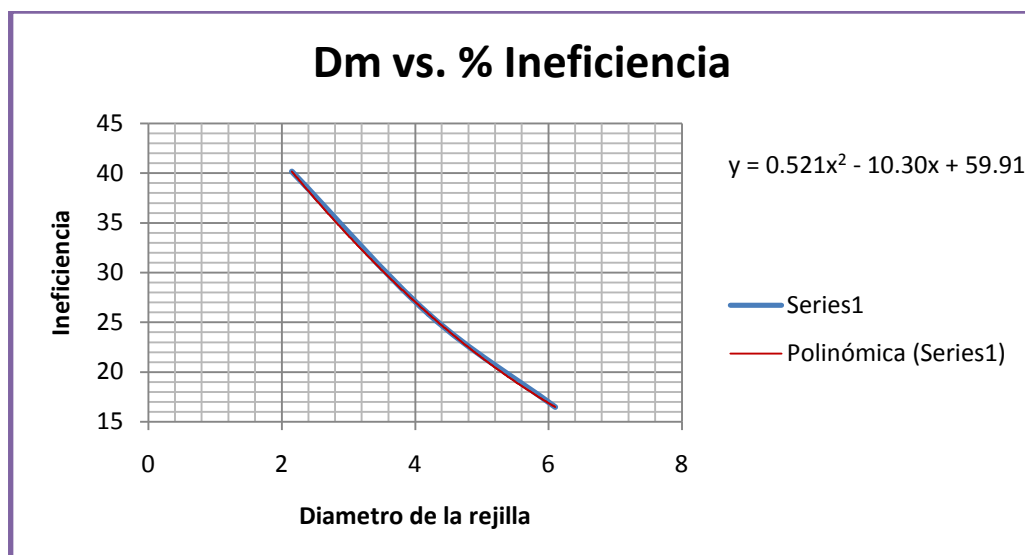
Gráfico 5.30: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Qr/(Qr+Qp) vs. los diferentes diámetros de las mallas en un tiempo de 20 minutos.

Para poder emplear el programa computacional Coanda, es necesario establecer una relación con los datos obtenidos. Para lo cual se presenta la Tabla 5.28, mediante esta tabla obtendremos dos graficas importantes, la primera que es el valor de la eficiencia que nos falta para llegar al cien por ciento vs. el diámetro de cada malla. El segundo grafico es  $s/(s+b)$  vs Ineficiencia. Cabe recordar que en el programa Coanda, al tener las mismas condiciones que en el equipo es decir con un caudal de ingreso de 2 lt/seg, el diseño americano capta el 100% del caudal que ingresa.

De acuerdo a los datos anteriormente presentados, se obtiene el porcentaje de eficiencia de cada malla.

Malla	% de Eficiencia				Malla
	Prot.- Eficiencia	COANDA	Prot. Inef.	s/(s+b)	
	%	%	%	mm	mm
6,1	83.53	100	16.47	0.14	6.1
4,2 mm	74.16	100	25.84	0.19	4.2
2,15 mm	59.82	100	40.18	0.32	2.15

**Tabla 5.28: Porcentaje de eficiencia y de ineficiencia del prototipo frente al programa COANDA.**



**Gráfico 5.31: Ecuación Polinómica generada por la gráfica Dm vs. el porcentaje de ineficiencia del prototipo COANDA.**



En el grafico anterior, podemos concluir que si queremos reducir la ineficiencia debemos aumentar el diámetro de la malla.

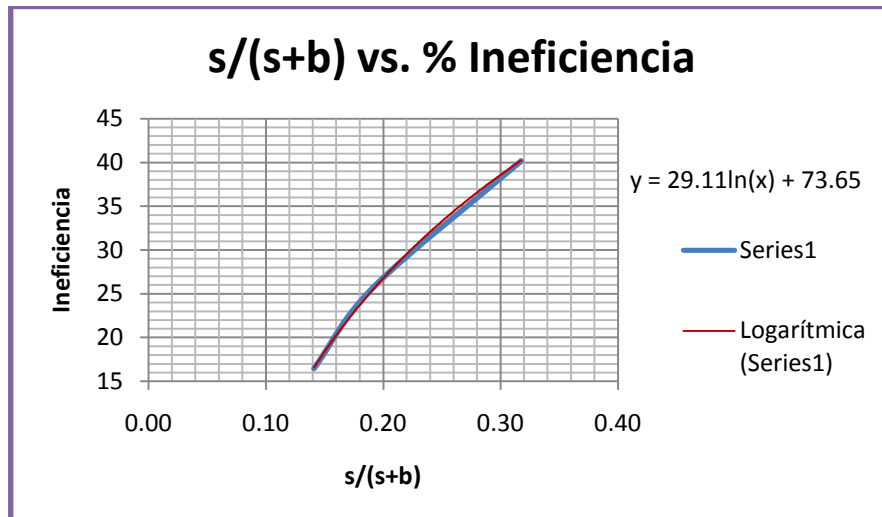


Gráfico 5.32: Ecuación Logarítmica generada por la gráfica  $s/(s+b)$  vs. el porcentaje de ineficiencia del prototipo COANDA.

En el grafico anterior, podemos concluir que mientras la relación entre el espaciamiento con su correspondiente suma entre espaciamiento y diámetro sea menor la ineficiencia disminuirá también; de esta forma se lograra un sistema con un mayor grado de eficiencia.

#### 5.4.4. Determinación del error del Caudal

Para tener una confiabilidad o certeza del 95% en nuestro sistema debemos trabajar con cálculos estadísticos como son la media y la desviación estándar; de esta forma podemos observar en los siguientes cuadros nuestros diferentes rangos de Q5% dependiendo el diámetro de la rejilla y el vertedero al cual pertenece:

MALLA DE 6.1 mm EN ABERTURA No 4								
Datos	C1	T1	Q1	S1	Qm1	2S1	ERROR VERT 1	
	lt	seg	Lt/seg		lt/seg		Qm+2S1	Qm-2S1
							lt/seg	lt/seg
1	1,89	1,2	1,58	0,10	1,63	0,21	1,84	1,42
2	1,62	0,9	1,80					
3	1,7	1,1	1,55					
4	1,65	1	1,65					
5	1,72	1,1	1,56					

C1 Capacidad vertedero 1  
 T1 Tiempo vertedero 1  
 Q1 Caudales en vertedero 1  
 S1 Desviación estándar de vertedero 1  
 Qm1 Caudal medio vertedero 1

**Tabla 5.29: Error en el caudal para la malla 6.1 mm**

Se puede apreciar en la tabla 5.29, que el error al 5% para la reja de 6,1 mm es de  $\pm 0.21$  para el vertedero N. 1.

MALLA DE 4.2 mm EN ABERTURA No 4								
Datos	C1	T1	Q1	S1	Qm1	2S1	ERROR VERT 1	
	lt	seg	Lt/seg		lt/seg		Qm+2S1	Qm-2S1
							lt/seg	lt/seg
1	2,60	1,98	1,31	0,04	1,34	0,08	1,42	1,25
2	2,48	1,80	1,38					
3	2,54	1,94	1,31					
4	2,52	1,94	1,30					
5	2,50	1,80	1,39					

C1 Capacidad vertedero 1  
 T1 Tiempo vertedero 1  
 Q1 Caudales en vertedero 1  
 S1 Desviación estándar de vertedero 1  
 Qm1 Caudal medio vertedero 1

**Tabla 5.30: Error en el caudal para la malla de 4.2 mm.**

Se puede apreciar en la tabla 5.30, que el error al 5% para la reja de 6,1 mm es de  $\pm 0.08$  para el vertedero N. 1.

MALLA DE 2.15 mm EN ABERTURA No 4								
Datos	C1	T1	Q1	S1	Qm1	2S1	ERROR VERT 1	
	lt	seg	Lt/seg		lt/seg		Qm+2S1	Qm-2S1
							lt/seg	lt/seg
1	1,98	1,93	1,03	0,05	1,00	0,09	1,09	0,91
2	2,00	1,93	1,04					
3	2,12	2,04	1,04					
4	1,90	1,96	0,97					
5	1,75	1,87	0,94					

C1 Capacidad vertedero 1  
 T1 Tiempo vertedero 1  
 Q1 Caudales en vertedero 1  
 S1 Desviación estándar de vertedero 1  
 Qm1 Caudal medio vertedero 1

**Tabla 5.31: Error en el caudal para la malla de 2.15 mm.**

Se puede apreciar en la tabla 5.31, que el error al 5% para la reja de 2,15 mm es de  $\pm 0.09$  para el vertedero N. 1.

#### 5.4.5. Ejemplo de cálculo de la rejilla.

Se presenta a continuación un ejemplo de cálculo, empleando el programa Coanda y la ecuación obtenida en la gráfica 5.32.

#### DATOS:

$$Q = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ancho de la pantalla} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Longitud pantalla} = 1 \text{ m}$$

$$s = 1 \text{ mm}$$

$$\varnothing = b = 6.1 \text{ mm}$$

**Ingreso de datos en el programa Coanda.**

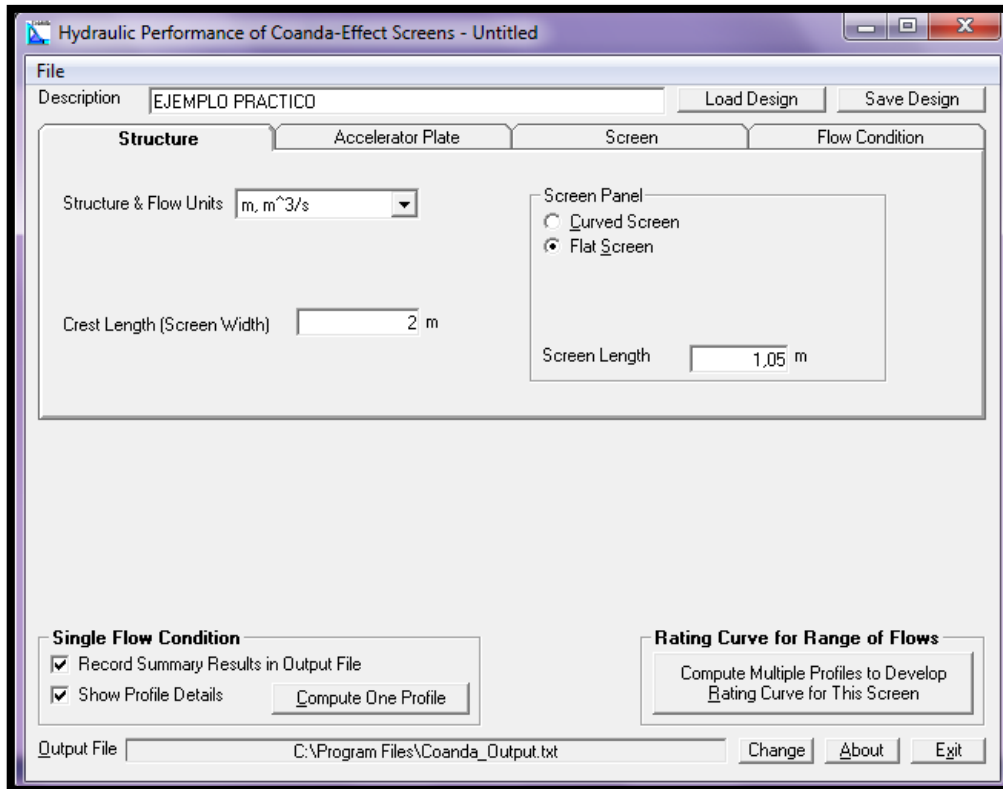


Figura 5.10: Ingreso de la longitud de la cresta y largo de la malla

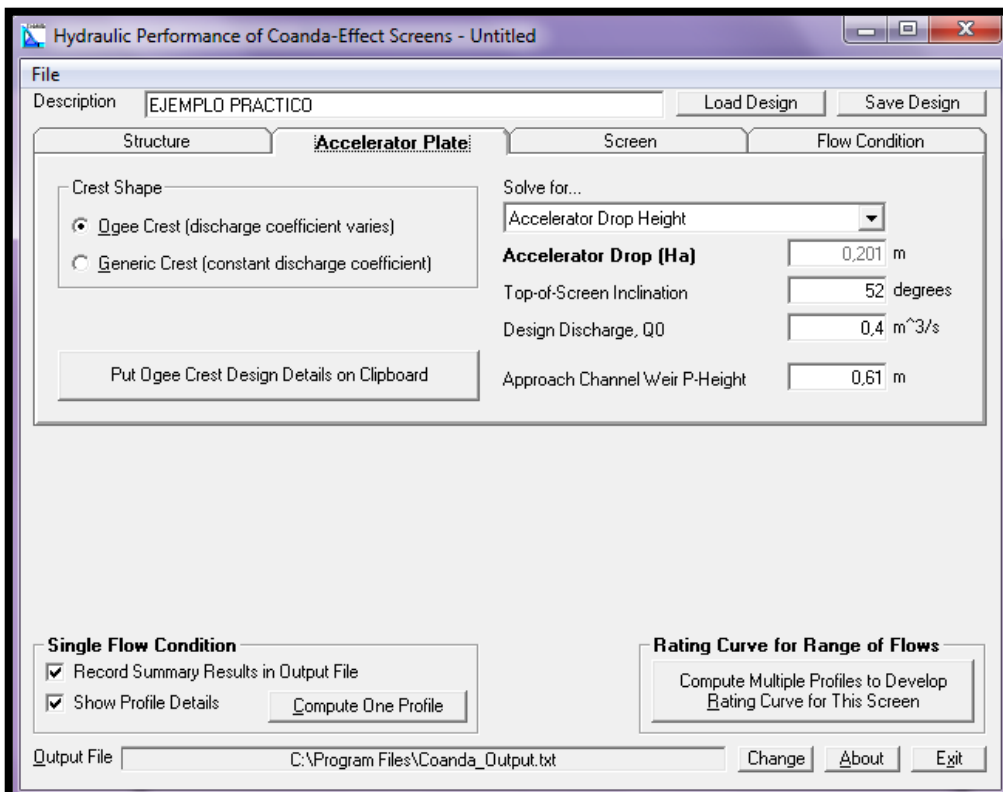


Figura 5.11: Ingreso del caudal de diseño

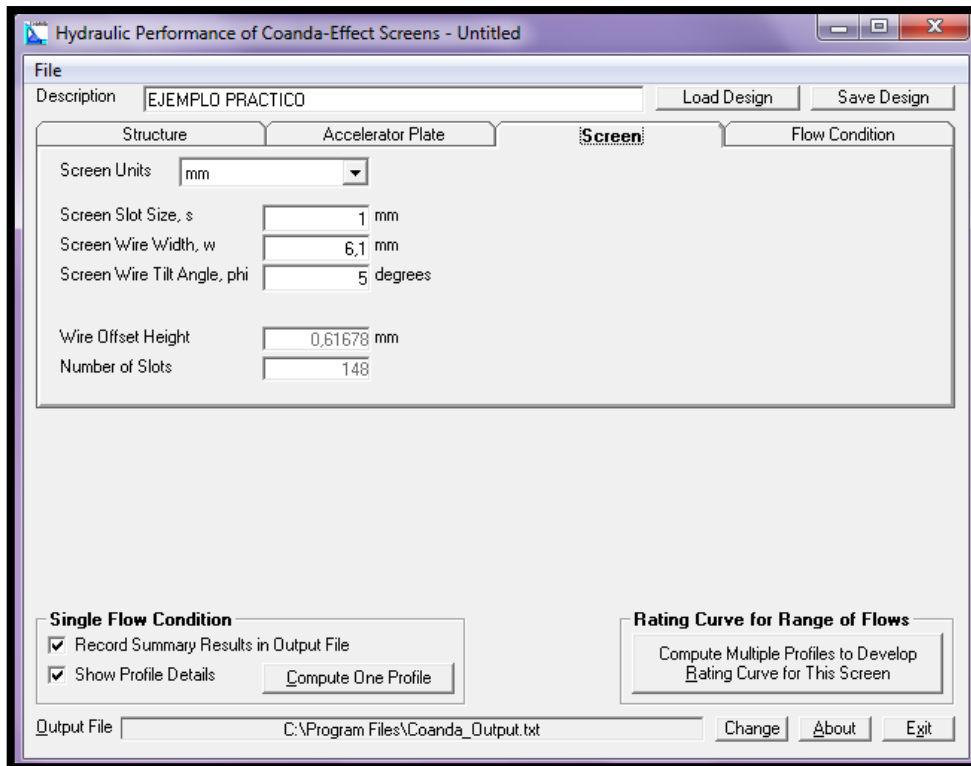


Figura 5.12: Ingreso de los datos de la malla

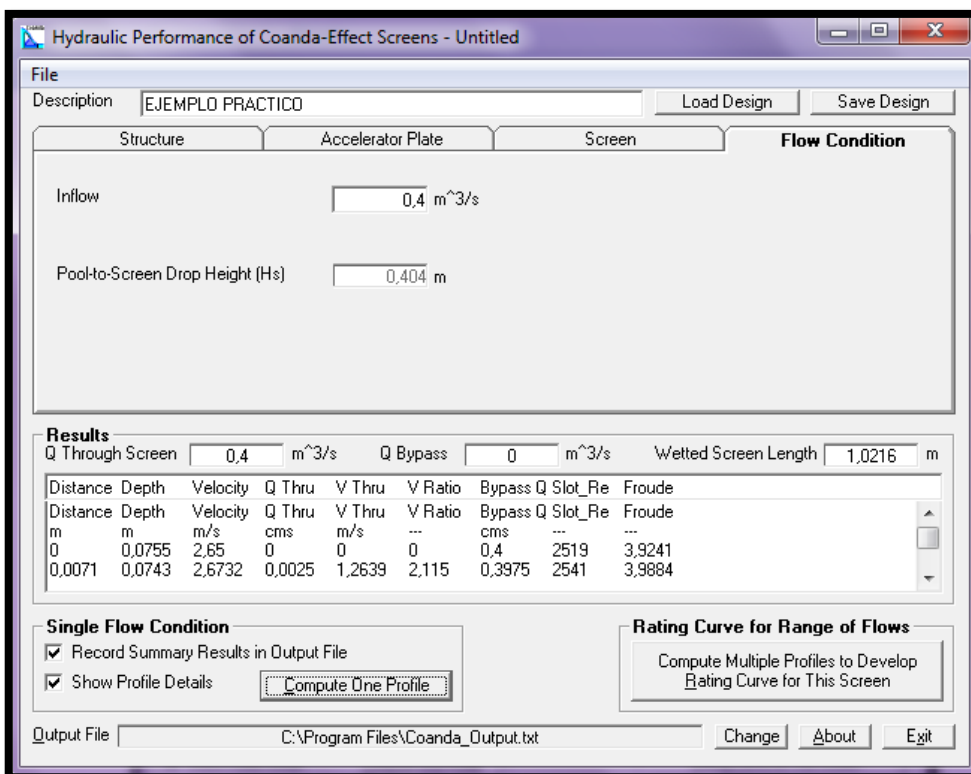


Figura 5.13: Ingreso del caudal de diseño.

Aplicación de la formula correspondiente al % de ineficiencia del sistema y emparejamiento con los datos COANDA:

$$K = 1 + 0.29111 * \ln(x) + 0.7365$$

$$x = \frac{s}{s + b}$$

$$x = \frac{1}{1 + 6.1}$$

$$x = 0.14$$

**Reemplazo:**

$$K = 1 + 0.29111 * \ln(0.14) + 0.7365$$

$$K = 1.17$$

Si observamos la figura 5.13 obtenemos los caudales que ingresan y que salen:

$$Q_r = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_{\text{coanda}} = 1.05 \text{ m}$$

Para poder captar un caudal de  $Q_r = 0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$  es necesario realizar los siguientes cálculos:

$$L_{\text{min}} = K * \text{porcentaje de seguridad} * L_{\text{coanda}}$$

El porcentaje de seguridad que se ha tomado en cuenta es del 5%, entonces:

$$L_{\text{min}} = 1.17 * 1.05 * 1.05$$

$$L_{min} = 1.29 \text{ m}$$

Es decir que para captar los 0.4 m<sup>3</sup>/seg necesitamos de una reja de mínimo 1.29 m de largo. En función de este procedimiento podremos deducir varias mallas en función del espaciamiento y del diámetro de la varilla.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. CONCLUSIONES**

- El prototipo hidráulico diseñado y materializado a través de su construcción cumple con las expectativas inicialmente planteadas: longitudes, capacidad, potencia.
- El material constructivo empleado en su totalidad cumple con las exigencias planteadas en un ciento por ciento.
- La eficiencia del sistema con la malla de 2,15mm es del 60%, con la malla de 4,2mm es del 74% y con la malla de 6,1mm es del 84%.
- Se comprobó que los cálculos obtenidos a través del prototipo COANDA y las formulas expuestas tienen semejanza en los resultados obtenidos.
- La eficiencia del prototipo de toma de fondo con rejillas circulares es menor frente al programa computacional COANDA, esto se puede minimizar al aumentar el diámetro de las rejillas y manteniendo constante su espaciamiento.
- La materialización de un modelo real con el uso de materiales locales frente al importe de una nueva tecnología tiene una gran incidencia en la disminución de costos y el aporte a la comunidad.
- La construcción de una captación con rejillas circulares con el diseño COANDA ayudara a preservar cualquier tipo de vida acuática, además de no prescindir de la construcción de los desarenadores y un menor costo en su mantenimiento al ser auto limpiante.
- El prototipo hidráulico construido para esta investigación ayudara a suplir varias inquietudes de los estudiantes facilitando el proceso de aprendizaje enseñanza.



## 6.2. RECOMENDACIONES

- Continuar con la investigación del Efecto COANDA en el empleo de obras de captación hasta llegar a un modelo más eficiente, esto ayudaría mucho a disminuir los costos en proyecto de riego, hidroeléctricas entre otras.
- Implementar este tipo de obra de captación en la captación de agua para el IASA 1, mejorando la captación para el agua de riego.
- Iniciar un nuevo modelo hidráulico empleando rejillas con un diámetro mayor a 6,1 mm para conocer la eficiencia del sistema.
- Optimizar el funcionamiento de las rejillas circulares en lo relacionado al flujo de agua que el prototipo recepta, se recomienda variar la longitud del número de varillas a emplear.
- Emplear el programa computacional COANDA para comparar los resultados obtenidos a fin de tener una base de cálculo.
- Promover el mejoramiento del laboratorio de hidráulica mediante la compra de mejores equipos y materiales de medición que se ajuste a una mejor investigación.
- Estimular la investigación en los estudiantes de la carrera, temas científicos con lo que respecta a la hidráulica.
- Realizar un constante mantenimiento de todos los prototipos hidráulicos que se encuentran en el laboratorio a fin aumentar su vida útil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SANDOVAL WASHINGTON (1993). Principios de la Hidráulica.
- FRANK WHITE (1998), Mecánica de fluidos, Quinta Edición. Capitulo 5
- STATIC COANDA INTAKE SCREEN (2010), Norris Screen Manufacturing INC.
- INTRODUCING THE HYDROSCREEN FAMILY OF SOLUTIONS FOR STORM WATER TREATMENT (2009) Hydroscreen CO. LLC
- SELF CLEAN HYDRO SCREENS (1999), Pete Geddes.
- WAHL TONY L. (2001) Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens. Journal of Hydraulic Engineering Vol. 127, pag. 480-488
- WAHL TONY L (2003) Design Guidance for Coanda-Effect Screens, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- OBRAS DE EXCEDENCIAS, SAGARPA (2010)
- NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE OBRAS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS”. (2007). MÉXICO D.F.
- WAHL TONY L (1995), Hydraulic Testing of Static Self-Cleaning Inclined Screens.
- WAHL TONY L (2000), Laboratory Testing and Numerical Modeling of Coanda–Effect Screens.
- WAHL TONY L (2000) Hydraulic Performance of Coanda–Effect Screens.
- [http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/\\_asignaturas/hidraulica/2\\_DINAMICA\\_INTRODUCCION\\_05\\_EPSGS.pdf](http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/_asignaturas/hidraulica/2_DINAMICA_INTRODUCCION_05_EPSGS.pdf)
- [www.hydroscreen.com](http://www.hydroscreen.com)
- [www.coanda.ca](http://www.coanda.ca)
- [www.coandaintakes.com](http://www.coandaintakes.com)
- [http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics\\_lab/twahl/coanda/index.html](http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/twahl/coanda/index.html)
- [www.coussa.mx](http://www.coussa.mx)

- <http://es.scribd.com/doc/76672785/Informe-de-Diseno-Hidraulico-23-Ene-2011>
- <http://es.scribd.com/doc/74855262/1-Calculo-y-diseno-de-una-obra-de-captacion>
- [http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2\\_vertederos.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf).
- <http://www.slideshare.net/meliaviladavila/vertederos-triangular-y-rectangular>.
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/vertederos/vertederos.html>