

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



"CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ESTUDIO DEL RESALTO
HIDRÁULICO EN EL NUEVO LABORATORIO DE HIDRÁULICA DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DEL NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE. PUERTO LA CRUZ."

Realizado por:

Br. Almeida A., María G.

Br. Cesin G., Elisama V.

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Barcelona, Abril del 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



"CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ESTUDIO DEL RESALTO
HIDRÁULICO EN EL NUEVO LABORATORIO DE HIDRÁULICA DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DEL NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE. PUERTO LA CRUZ."

Realizado por:

Br. Almeida A., María G.

Br. Cesin G., Elisama V.

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Barcelona, Abril del 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



"CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ESTUDIO DEL RESALTO
HIDRÁULICO EN EL NUEVO LABORATORIO DE HIDRÁULICA DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DEL NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE. PUERTO LA CRUZ."

Asesor:

Profesor Mounir Bou Ghannam

Barcelona, Abril del 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



"CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ESTUDIO DEL RESALTO
HIDRÁULICO EN EL NUEVO LABORATORIO DE HIDRÁULICA DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DEL NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE. PUERTO LA CRUZ."

JURADO:

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Mounir Bou Ghannam
Asesor Académico

Prof. Luis González
Jurado Principal

Marielys Gómez
Jurado Principal

Barcelona, Abril del 2010

RESOLUCIÓN

Artículo 41: " Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo el cual lo participará al Consejo Universitario".

DEDICATORIA

Primeramente quiero dedicarle este logro a Dios por haber estado siempre conmigo y haberme ayudado en momentos difíciles, me ha dado la paciencia y fortaleza para afrontar situaciones inesperadas pero siempre me guía a seguir adelante y luchar por lo que quiero.

A ti Mercedes, por ser la madre más maravillosa del mundo, me has ayudado desde que me tuviste en el vientre y esto es para ti!!! Gracias por todo lo que me has dado, por tus palabras de apoyo, tu comprensión y sobre todo tu amor, eres lo que yo más quiero en el mundo y sobre todo eres la persona que sueño con ser algún día. Te quiero mucho.

A mi Papá, porque aunque ya no estés físicamente siempre estarás en nuestros corazones, especialmente en el mío, y esto va por ti también "papito", se que desde el cielo estarás contento porque siempre este fue tu sueño, te lo debía y aquí esta!!!.

A ti "Nenita" por preocuparte cuando me desvelaba estudiando hasta tarde, ya viste, aquí está el fruto, gracias por tenerme paciencia cuando me estresaba y mil gracias por ser mi hermana querida, la que siempre ha estado a mi lado.

Gracias por formar parte de mi vida!

"Gaby".

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, a ti Francisca mi madre, compañera y fuente de apoyo en este largo camino al que se le ve el triunfo que se esperaba. Te doy las gracias por tu gran aporte.

A Edgar Cesin quien fue el otro pie principal para recorrer todo este sendero, de verdad gracias; sin tu ayuda el camino no hubiera tenido el mismo rumbo.

A Ramón Martínez por su gran colaboración en cada uno de los pasos realizados para llevar a cabo esta tarea, desde la construcción del equipo, acondicionamiento y funcionamiento.

La experiencia fue dura, ya tiene sus frutos y nuevamente muchísimas gracias a todos ustedes.

Elisama Cesin

AGRADECIMIENTOS

En especial quiero agradecer primeramente a nuestro asesor el profesor Mounir Bou Ghannam por brindarnos todo su apoyo en la realización de nuestro proyecto, por incentivarnos para seguir adelante a pesar de las dificultades, que en verdad fueron bastantes, mil gracias profe!!!.

También queremos agradecer al Ingeniero Raymond Martínez por apoyarnos y estar con nosotros en el transcurso de este trabajo, fuiste una ayuda indispensable y jamás ninguna de las dos te podrá agradecer lo mucho que nos has ayudado.

A Julián Gonzales por el apoyo prestado para la construcción del equipo.

A mis amigos que siempre me han apoyado, se han preocupado por mi y han estado siempre ahí al pendiente de este proyecto, a Nomar, Yasmín, Angel, Tito, Victor, José Antonio, y a Rubén junto con Annel por ayudarme cuando más lo necesitaba, gracias a todos nunca los voy a olvidar!!!.

María G. Almeida

INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
INDICE GENERAL	ix
INDICE DE TABLAS	xvi
INDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xx
INTRODUCCIÓN	xxi
CAPITULO I.....	22
EL PROBLEMA	22
1.1.- Planteamiento del problema.....	22
1.2.- Justificación	22
1.3.- Objetivos.....	23
1.3.1.- Objetivo General.....	23
1.3.2.- Objetivos Específicos	23
CAPITULO II	24
MARCO TEORICO.....	24
2.1.- Antecedentes.....	24
2.2.- Mecánica de los fluidos y la hidráulica	25
2.3.- Fundamentos del flujo de fluidos.....	25
2.3.1.- Caudal (Q)	25
2.3.2.- Flujo de Fluidos	26
2.3.3.- Flujo Permanente	27
2.3.4.- Flujo Uniforme	27
2.3.5.- Ecuación de Continuidad.....	27
2.3.6.- Ecuación de la Energía	28

2.4.- Flujo de fluidos en tuberías.....	29
2.4.1.- Flujo Laminar	29
2.4.2.- Velocidad Crítica.....	29
2.4.3.- Número de Reynolds	30
2.5.- Pérdidas de cargas en tuberías	31
2.5.1.- Pérdidas Locales (h_e)	31
2.5.2.- Fórmula de Hazen-Williams.....	31
2.5.3.- Método de las Longitudes Equivalentes.....	32
2.6.- Flujo en canales abiertos.....	33
2.6.1.- Tipos de Flujo	34
2.6.1.1.- Flujo Permanente y Flujo no Permanente.....	34
2.6.1.2.- Flujo Uniforme	35
2.6.1.3.- Flujo Uniforme Permanente.....	35
2.6.1.4.- Flujo Variado	35
2.6.1.5.- Flujo Subcrítico o Tranquilo.....	36
2.6.1.6.- Flujo Supercrítico o Rápido.....	36
2.6.2.- Estado de Flujo	36
2.6.2.1.- Efecto de Viscosidad	36
2.6.2.2.- Efecto de la Gravedad.....	37
2.7.- Propiedades de los canales abiertos	37
2.7.1.- Distribución de Velocidades en una Sección de Canal	38
2.7.2.- Medición de la Velocidad.....	39
2.8.- Curvas de remanso y tipos de perfiles	39
2.9.- Secciones de control	42
2.10.- Bombas	45
2.10.1.- Definición	45
2.10.2.- Tipos de Bombas	45
2.10.2.1.- Bombas de Desplazamiento Positivo.....	45
2.10.2.2.- Bombas Rotodinámicas	46

2.10.3.- Potencia de la bomba	48
2.11.- resalto hidráulico.....	48
2.11.1.- Resalto en Canales Rectangulares Horizontales.....	50
2.11.2.- Resalto en Canales Inclinados	51
2.11.3.- Tipos de Resalto Hidráulico	52
2.11.4.- Características Básicas del Resalto Hidráulico.....	55
2.11.4.1.- Eficiencia	55
2.11.4.2.- Pérdida de energía.....	55
2.11.4.3.- Altura del Resalto	56
2.11.5.- Longitud del Resalto.....	57
2.11.6.- Perfil Superficial.....	59
2.11.7.- Localización del Resalto.....	60
2.11.8.- El Resalto Hidráulico Como Disipador de Energía.....	63
2.11.9. Control Del Resalto Mediante Obstáculos.....	70
2.11.9.1.- Control Mediante un Vertedero de Cresta Delgada.....	71
2.11.9.2.- Control Mediante un Vertedero de Cresta Ancha.....	73
2.11.9.3.- Control Mediante una Elevación Abrupta	75
2.11.9.4.- Control del Resalto Mediante una Caída Abrupta	77
2.11.9.5.- Cuenco Disipador de Diseño Generalizado	80
2.11.9.6.- Vertedero de Caída Recta	82
CAPITULO III.....	86
MARCO METODOLÓGICO	86
3.1.- Nivel de investigación	86
3.2.- Tipo de investigación.....	86
3.3.- Población y muestra.....	87
3.4.- Tipo de muestreo	87
3.5.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos	87
3.5.1.- Recopilación y Análisis de Datos	87
3.5.3.- Análisis de Datos	88

3.6.- Etapas de la investigación.....	88
3.6.1.- Etapa I: Revisión bibliográfica	88
3.6.2.- Etapa II: Visualización de las Características Físicas y Técnicas del Equipo y su Lugar de Ubicación en el Nuevo Laboratorio.....	88
3.6.3.- Etapa III: Estudio de los Posibles Materiales para la Construcción del Equipo	88
3.6.4.- Etapa IV: Alternativas de Construcción del equipo y su Diseño.....	89
3.6.5.- Etapa V: Elaboración del Presupuesto y de los Cálculos Métricos.....	89
3.6.6.- Etapa VI: Construcción del Equipo Hidráulico	89
3.6.7.- Etapa VII: Calibración del Equipo	89
3.7.- Recursos necesarios	90
3.7.1.- Equipos	90
3.7.2.- Materiales	90
3.7.3.- Herramientas.....	90
CAPITULO IV.....	91
MATERIALES Y EQUIPOS.....	91
4.1.- Tanque de descarga y tanque de alimentación.....	91
4.1.1.- Fibra de vidrio.....	91
4.1.2.- Láminas de Acrílico.....	92
4.1.3.- Láminas de Hierro.	93
4.2.- tuberías.....	94
4.2.1.- Tuberías Plásticas PVC (Policloruro de Vinilo Rígido).....	94
4.2.2.- Tuberías de Hierro Galvanizado.....	96
4.2.3.- Tuberías de Cobre.....	96
4.2.4.- Tuberías en Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (CPVC).....	97
4.2.5.- Mangueras Plásticas.....	97
4.2.5.1.- Mangueras Cristal:.....	98
4.2.5.2.- Mangueras de Alta Presión:.....	98
4.2.5.3.- Mangueras RIFLEX:.....	98

4.3.- Soporte	99
4.3.1.- Tubo Pulido	99
4.4.- Bomba.....	99
4.5.- Pintura.....	100
4.6.- Electrodos	101
4.7.- Válvulas	101
4.8.- Cinta métrica.....	102
CAPITULO V.....	103
DISEÑO DEL SISTEMA	103
5.1.- Selección del sistema.....	103
5.2.- Selección de las partes.....	124
5.2.1.- Tanque de alimentación:.....	124
5.2.2.- Tanque de descarga:	125
5.2.3.- Bomba del equipo:.....	125
5.2.4.- Válvulas:	125
5.2.4.1.- Válvula de Compuerta de Diámetro 1" y 1¼":.....	126
5.2.4.2.- Válvula de Globo de Diámetro 1":	127
5.3.- Diseño del sistema	128
5.3.1.- Detalles del Equipo.....	129
5.3.1.1.- Esquema Hidráulico.....	129
5.3.1.2.- Vista de Planta del Equipo.....	131
5.3.1.3.- Tanque de Alimentación.....	132
5.3.1.4.- Tanque de Descarga.....	133
5.3.1.5.- Soporte del equipo	134
5.3.2.- Caudal del Diseño del Sistema:	134
5.3.2.1.- Ecuación de la Bomba:	134
5.3.2.2.- Pérdidas en la Tubería:	137
5.3.3.- Altura Dinámica total del Sistema (Hmax):.....	143
5.3.3.1.- Altura del recorrido más crítico:.....	143

5.3.3.2.- Pérdidas menores localizadas en el Sistema:	144
5.3.4.- Potencia de la Bomba:	145
5.3.5.- Potencia del Motor:.....	146
5.3.6.- Resalto Hidráulico:	146
5.3.7.- Cálculo del Número de Froude (F1):.....	148
5.3.8.- Detalles de Pintura.....	149
5.3.9.- Descarga del equipo.....	149
5.4.0.- Medidores de Profundidad.....	149
CAPITULO VI.....	150
CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN	150
6.1.- Construcción.....	150
6.1.1.- Tanque de Alimentación.....	150
6.1.2.- Tanque de Descarga.....	151
6.1.3.- Soporte del Equipo	151
6.1.4.- Tuberías	152
6.1.5.- Instalaciones Eléctricas de la Bomba	153
6.2.- Calibración del sistema.....	153
CAPITULO VII	156
RESULTADOS.....	156
7.1.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 1 (0,225m)	156
7.2.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 2 (0,375m)	158
7.3.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 3 (0,525m)	159
7.4.- Otros ensayos.....	161
7.5.- graficas correspondiente a los resultados.....	167
7.5.1.- Para la Primera Altura de Agua 1 (0,225m) y variando la abertura de compuerta (0,005m, 0,01m, 0,02m). Fijando una inclinación de la Compuerta de 10°	168

7.5.2.- Para la Segunda Altura de Agua 2 (0,375m) y variando la abertura de compuerta (0,005m, 0.01m, 0,02m). Fijando una Inclinación de la Compuerta de 20°	169
7.5.3.- Fijando la abertura de la compuerta y variando la altura de agua (0,225m, 0,375m, 0,525m). Para una abertura de 0,005m y 20°	170
7.5.4.- Fijando la abertura de la compuerta y variando la altura de agua (0,225m, 0,375m, 0,525m). Para una abertura de 0,01m y 20°	171
CAPITULO VIII	172
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	172
8.1.- Conclusiones.....	172
8.2.- Recomendaciones	173
BIBLIOGRAFÍA	175
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	177

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ensayo 1.....	156
Tabla N° 2: Ensayo 2.....	157
Tabla N° 3: Ensayo 3.....	157
Tabla N° 4: Ensayo 4.....	158
Tabla N° 5: Ensayo 5.....	158
Tabla N° 6: Ensayo 6.....	159
Tabla N° 7: Ensayo 7.....	159
Tabla N° 8: Ensayo 8.....	160
Tabla N° 9: Ensayo 9.....	160
Tabla N° 10: Ensayo 10.....	161
Tabla N° 11: Ensayo 11.....	161
Tabla N° 12: Ensayo 12.....	162
Tabla N° 13: Ensayo 13.....	162
Tabla N° 14: Ensayo 14.....	162
Tabla N° 15: Ensayo 15.....	163
Tabla N° 16: Ensayo 16.....	163
Tabla N° 17: Ensayo 17.....	163
Tabla N° 18: Ensayo 18.....	164
Tabla N° 19: Ensayo 19.....	164
Tabla N° 20: Ensayo 20.....	164
Tabla N° 21: Ensayo 21.....	165
Tabla N° 22: Ensayo 22.....	165
Tabla N° 23: Ensayo 23.....	165
Tabla N° 24: Ensayo 24.....	166
Tabla N° 25: Ensayo 25.....	166
Tabla N° 26: Ensayo 26.....	166

Tabla N° 27: Ensayo 27..... 167

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- Clasificación de los perfiles de flujo gradualmente variado.	41
Figura 2. Condiciones de Flujo en un Canal Prismático Largo. Fuente ^[2]	43
Figura 3- Relación entre F_1 y y_2/y_1 para un resalto hidráulico en un canal rectangular horizontal. Fuente ^[2]	51
Figura 4 - Tipos de Resalto Hidráulicos. Fuente ^[2]	54
Figura 5 - Curvas Características de Resalto Hidráulicos en Canales Rectangulares Horizontales. Fuente ^[2]	57
Figura 6 - Longitud en Términos de la Profundidad Secuente y_2 de Resalto en Canales Horizontales. Fuente ^[2]	58
Figura 7 – Perfiles Superficiales Adimensionales de Resaltos Hidráulicos en Canales Horizontales. Fuente ^[2]	60
Figura 8 – Localización de un Resalto Hidráulico. Fuente ^[2]	62
Figura 9 – Efecto de la Profundidad de Salida en Formación de un Resalto Hidráulico Aguas Debajo de un Vertedero o por Debajo de una Compuerta Deslizante. Fuente ^[2]	65
Figura 10 – Clasificación de las Condiciones de Profundidad de Salida para el Diseño de Obras de Protección contra la socavación. Fuente ^[2]	68
Figura 11 – Relaciones Experimentales entre F_1 , h/y_1 y X/y_2 para un Vertedero de Cresta Delgada (Según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]	73
Figura 12 – Relaciones Analíticas entre F_1 y h/y_1 para un Vertedero de Cresta Ancha (según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]	75
Figura 13 – Relaciones Experimentales entre F_1 , y_3/y_1 y h/y_1 para una Elevación Abrupta (según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]	76
Figura 14 – Relaciones Experimentales y Analíticas entre F_1 , y_3/y_1 y h/y_1 , para una Caída Abrupta (según E. Y. Hsu). Fuente ^[2]	79
Figura 15 – Geometría del Flujo en un Vertedero de Caída Recta. Fuente ^[2]	83

Fig. 16. Esquema de la Opción N°1	105
Fig. 17 Esquema del Soporte de la Opción N° 2.....	112
Fig. 18 Esquema de la Opción N° 2	113
Fig. 19 Esquema de la Opción N° 3	119
Figura 20. Válvula de compuerta.....	127
Figura 21. Válvula de Globo.....	128
Figura 22. Esquema Hidráulico.....	129
Figura 23. Vista de Planta del Equipo	131
Figura 24. Tanque de Alimentación.....	132
Figura 25. Tanque de Descarga.....	133
Figura 26. Soporte del Equipo.	134
Figura 27. Suministrado por el fabricante.....	137
Figura 28. Gráfica de Caudal vs Altura.....	143

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, construcción y calibración del nuevo equipo de resalto hidráulico que será utilizado en el nuevo laboratorio de ingeniería hidráulica de la Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Puerto la Cruz.

Para cumplir con el objetivo propuesto se realizó un amplio estudio sobre el fenómeno del resalto hidráulico, se investigaron sus tipos, características y localización, entre otros.

Después de haber investigado y estudiado el fenómeno, se realizó un sondeo en el mercado de los diferentes materiales existentes con los que se podía contar para la construcción del equipo.

Se procedió a realizar el diseño del sistema tomando varias alternativas de diseño, escogiéndose así la mejor, se seleccionaron las partes cuidadosamente y se procedió al cálculo de las pérdidas tanto de los accesorios como de las tuberías.

Luego se comenzó la construcción del equipo, se construyó de acuerdo a las medidas el tanque de alimentación, el de descarga y el soporte del equipo. Luego se ensambló el equipo para proceder a realizar las pruebas en él y calibrarlo.

Después de varias prácticas se realizaron las conclusiones y recomendaciones para utilizar adecuadamente el equipo.

INTRODUCCIÓN

Unos de los aspectos que merecen especial atención por parte de los ingenieros civiles en el diseño de obras hidráulicas es el estudio del resalto hidráulico, fenómeno que se produce cuando el agua asciende bruscamente en un canal abierto.

Actualmente en la Universidad de Oriente núcleo de Anzoátegui. Puerto la Cruz, el Departamento de Ingeniería Civil cuenta con un nuevo laboratorio para la asignatura: Laboratorio de Ingeniería Hidráulica.

El principal objetivo del presente trabajo de investigación contempla la construcción de un equipo para el estudio del resalto hidráulico para el nuevo laboratorio de dicha asignatura.

Para llevar a cabo este proyecto se requirió hacer un estudio bibliográfico del fenómeno del resalto hidráulico, se estudiaron los diferentes tipos de resaltos que se producen, se hizo un sondeo en el mercado de los diferentes materiales existentes en la zona para su construcción, se realizaron tres alternativas de diseño con sus respectivas dimensiones, se seleccionó la mejor opción tomando en cuenta los materiales, el costo del equipo y su facilidad para su construcción, se calculó el sistema teniendo en cuenta las pérdidas por accesorios y tuberías, se seleccionaron las piezas con las cuales el equipo contará, se procedió luego a construirlo y por último se realizaron las prácticas para calibrar el equipo y obtener así resultados, conclusiones y recomendaciones satisfactorias.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del problema

Actualmente el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui cuenta con un laboratorio para la asignatura de Ingeniería Hidráulica donde reciben clases aproximadamente cien (100) estudiantes semestralmente. Por tener tantos años de servicio, los equipos del laboratorio de Ingeniería Hidráulica se encuentran en malas condiciones, esto trae como consecuencia que a la hora de realizar las prácticas exigidas por el contenido de la asignatura, los resultados sean erróneos o sencillamente no se puedan realizar algunas prácticas porque los equipos se encuentran en mal estado.

Entre las prácticas contempladas en el programa académico se encuentran: El número de Reynolds, Pérdidas en Tuberías, Medición de Caudales, Pérdidas por Accesorios, Compuerta, Descarga por Orificio, entre otras.

El principal objetivo de este proyecto contempla el diseño y construcción de un equipo para el estudio del resalto hidráulico para el nuevo laboratorio de Ingeniería Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Puerto La Cruz.

1.2.- Justificación

Actualmente en el laboratorio de Ingeniería Hidráulica se encuentran unos equipos con los cuales los estudiantes de Ingeniería Civil realizan las prácticas

correspondientes de dicha asignatura. Algunos de estos equipos se encuentran dañados o en mal estado, esto trae como consecuencia que los estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil no puedan realizar las prácticas correspondientes con dichos equipos y por lo tanto no cumplen con el programa académico establecido. Esta investigación sirvió para llevar a cabo el proyecto de construcción de un equipo para el estudio del resalto hidráulico que será utilizado en el nuevo laboratorio de esta asignatura.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Construir un equipo para el estudio del resalto hidráulico en el nuevo laboratorio de hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

1.3.2.- Objetivos Específicos

1. Determinar las características técnicas y físicas y del lugar de ubicación del equipo.
2. Diseñar el equipo hidráulico basado en los diferentes materiales existentes en la zona, teniendo en cuenta distintas alternativas para la construcción del equipo.
3. Elaborar los cálculos métricos y el presupuesto base del equipo.
4. Construir el equipo.
5. Calibrar el equipo.
6. Elaborar la guía correspondiente a la práctica de resalto hidráulico.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.- Antecedentes

En el Departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente se han presentado las siguientes tesis relacionadas con la construcción de equipos hidráulicos a ser utilizados en el laboratorio de la asignatura: Laboratorio de Ingeniería Hidráulica, a continuación se hará breve mención sobre ellas:

1. Los bachilleres Díaz Mery y Pérez Omar para el año 1993 cumpliendo como requisito para optar por el título de ingeniero civil presentaron como trabajo de grado el diseño y construcción de un sistema de tuberías.
2. Posteriormente en el año 1999 los bachilleres Núñez Miguel y Rondón Yesenia presentaron como trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil la evaluación de opciones de diseño para la construcción de un equipo hidráulico a presión para el estudio de pérdidas por accesorios.
3. Más recientemente en el departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente, los bachilleres Helga Duttweiler y Ronny Echeverría Gutierrez para el año 2001 presentaron como trabajo de grado el diseño de un equipo para el estudio del resalto hidráulico a ser utilizado en el laboratorio de hidráulica del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente para optar por el título de Ingeniero Civil.^[4]

2.2.- Mecánica de los fluidos y la hidráulica

La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos; ya sea en reposo o en movimiento, constituye la Mecánica de los Fluidos y la Hidráulica.^[6]

Entre las características fundamentales que definen a los fluidos se encuentra su incapacidad para resistir los esfuerzos cortantes (lo que conlleva a que carezca de forma definida). La mecánica de los fluidos también estudia las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita.

La hidráulica es una rama de la física y de la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. La hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas.

2.3.- Fundamentos del flujo de fluidos

2.3.1.- Caudal (Q)

Se entiende por caudal la cantidad o el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida.

El caudal se puede calcular por la siguiente expresión:

$$Q = V / t \quad (2.1)$$

Donde:

V = volumen [m³]

t = tiempo [s]

Los caudales en ingeniería se expresan generalmente en m^3/sg . Pero no son las únicas unidades para medirlo, para el estudio de tuberías se utiliza mucho lts/sg . Mientras que los perforadores de pozos y fabricantes de bombas generalmente utilizan lts/hr .

Realizar una buena medición del caudal en ingeniería es fundamental ya que de estas mediciones depende muchas veces el buen funcionamiento del sistema hidráulico en general y en muchos casos es imprescindible para garantizar la seguridad de la estructura.

2.3.2.- Flujo de Fluidos

El flujo de fluidos no puede ser estudiado de la misma manera que los sólidos ya que las partículas de un fluido en movimiento pueden tener diferentes velocidades y estar sujetas a distintas aceleraciones. Los tres principios fundamentales que se aplican al flujo de fluidos son:

1.- El principio de conservación de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de la continuidad.

2.- El principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicadas al flujo.

3.- El principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento.

El flujo de los fluidos puede ser permanente o no permanente, uniforme o no uniforme, laminar o turbulento, unidimensional, bidimensional o tridimensional y rotacional o irrotacional.

2.3.3.- Flujo Permanente

Un flujo permanente tiene lugar cuando, en un punto cualquiera, la velocidad de las sucesivas partículas que ocupan ese punto en los sucesivos instantes es la misma. Por tanto, la velocidad es constante respecto al tiempo o bien $\delta V / \delta t = 0$, pero puede variar de un punto a otro, es decir, ser variable respecto a las coordenadas espaciales. [5]

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

2.3.4.- Flujo Uniforme

Este flujo tiene lugar cuando el modulo, la dirección y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido, es decir, $\delta V / \delta s = 0$. Este supuesto implica que las otras magnitudes específicas del fluido no varían con las coordenadas espaciales. El flujo de líquido bajo presión a través de tuberías de diámetro constante y de gran longitud es uniforme tanto si el régimen es permanente como si no es permanente. Un flujo no es uniforme cuando la velocidad, la profundidad, la presión, etc., varían de un punto a otro en la región del fluido. [5]

2.3.5.- Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa, para un flujo permanente, la masa de un fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Esta se puede calcularse como:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante} \quad (2.2)$$

Donde:

A_l = Área de la sección [m^2]

V_l = Velocidad media de la corriente [m/s]

2.3.6.- Ecuación de la Energía

La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debido a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo el principio de la energía se traduce en la siguiente ecuación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Energía} & \text{en la} & + & \text{Energía} & - & \text{Energía} & - & \text{Energía} & = & \text{Energía} & \text{en la} & & (2.3) \\ \text{Sección 1} & & & \text{añadida} & & \text{Perdida} & & \text{Extraída} & & \text{Sección 2} & & & \end{array}$$

Esta ecuación, en los fluidos permanentes de fluidos incompresibles, con variaciones en su energía interna despreciables, se reduce a:

$$\frac{V_A^2}{2g} + \frac{\rho_A}{\gamma} + Z_A = \frac{V_B^2}{2g} + \frac{\rho_B}{\gamma} + Z_B + h_{AB} \quad (2.4)$$

Donde:

V = Velocidad en los puntos A y B (m/s)

g = Aceleración de gravedad [m/s^2]

ρ = Presión en los puntos A y B [Kpa]

γ = Peso específico del fluido [Kgf/m^3]

Z_A = Altura en el punto A [m]

Z_B = Altura en el punto B [m]

h_{AB} = Perdida de altura total en los puntos A y B. Tomando como eje de referencia el punto B (m)

La ecuación anterior se conoce con el nombre de *teorema de Bernoulli*. La unidad utilizada en cada término es el metro. Prácticamente, todos los problemas que encierran flujos de líquidos se resuelven básicamente con esta ecuación. ^[6]

2.4.- Flujo de fluidos en tuberías

2.4.1.- Flujo Laminar

Se llama flujo laminar o corriente laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse si la corriente tiene lugar entre dos planos paralelos, es decir, se mueve bajo trayectorias paralelas formando el conjunto de capas o láminas. Los módulos de las velocidades de capas adyacentes no tienen el mismo valor. El flujo laminar está gobernado por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular, es decir, la tensión cortante es igual al producto de la viscosidad del fluido por el gradiente de las velocidades. La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia. ^[4]

2.4.2.- Velocidad Crítica

Se define como aquella velocidad por debajo de la cual toda turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad del fluido. La experiencia demuestra que un límite superior para un régimen laminar, en tuberías, viene fijado por un valor del número de Reynolds alrededor de 2.000, en la mayoría de los casos prácticos. ^[6]

2.4.3.- Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.5)$$

Donde:

V = velocidad media en m/sg

D = diámetro de la tubería en m.

ν = viscosidad cinemática del fluido en m^2/s

Si el número de Reynolds es menor o igual a 2000 denomina al flujo laminar, este se produce a bajas velocidades o altas viscosidades, el fluido fluye en forma de suaves capas o láminas, con la velocidad más alta en el centro de la tubería y velocidades bajas cerca de la pared de la tubería donde las fuerzas viscosas lo retienen, una característica significativa del flujo laminar es la forma parabólica de su perfil de velocidad.

Cuando el número de Reynolds se encuentra entre 2000 y 4000 el fluido se encuentra en una zona de transición, donde puede ser tanto laminar como turbulento.

Si el número de Reynolds es mayor de 4000 el flujo es turbulento caracterizándose por presentar altas velocidades o bajas viscosidades, este tipo de flujo se descompone en turbulentos remolinos con la misma velocidad promedio en toda la tubería, el fluido se mueve de forma desordenada en todas las direcciones; el perfil de este tipo de flujo tiene una forma mucho más uniforme.

2.5.- Pérdidas de cargas en tuberías

En estructuras grandes o largas el estudio de las pérdidas es muy importante ya que es necesario tomar en cuenta las pérdidas de energía por la fricción que se produce entre las paredes de las tuberías o de los diferentes accesorios que conforman un determinado equipo, ya que esto conlleva a costos adicionales.

2.5.1.- Pérdidas Locales (h_e)

Además de las pérdidas por fricción hay otras pérdidas "menores" asociadas con los problemas en tuberías, se considera que dichas pérdidas ocurren localmente en el disturbio de flujo, bien sea por cualquier elemento o dispositivo que venga a establecer o elevar la turbulencia, cambiar la dirección o alterar la velocidad, estas pérdidas se denominan locales por el hecho de resultar específicamente de puntos o partes bien determinadas de la tubería.

$$h_e = \frac{k \cdot v^2}{2g} \quad (2.6)$$

Donde:

h_e = Pérdidas locales [m]

k = Coeficiente de pérdida [adimensional]

v = Velocidad del fluido [m/sg]

g = Aceleración de gravedad [m/s^2]

2.5.2.- Fórmula de Hazen-Williams

La ecuación de Hazen-Williams es una fórmula empírica que relaciona el flujo de agua en una cañería con las propiedades físicas de la tubería y la caída de presión causada por la fricción. Se utiliza en el diseño de tuberías, tales como las redes de

abastecimiento de agua y de riego. Presenta la ventaja de que el coeficiente C no es función del número de Reynolds.

Esta expresión resulto de un estudio estadístico cuidadoso, en el cual fueron considerados los datos experimentales disponibles obtenidos anteriormente por un gran número de investigadores y con datos de observación de los propios autores. El coeficiente C es, en cuanto sea posible y practicable, una función casi exclusiva de la naturaleza de las paredes.

La gran aceptación que tuvo la fórmula permitió que fuesen obtenidos valores bien determinados del coeficiente C. En estas condiciones se puede estimar el "envejecimiento" de los tubos.

$$S_f = 10.646 * L * Q^{1.85} * C^{-1.85} * D^{-4.87} \quad (2.7)$$

Donde:

S_f = Pérdida de carga unitaria [m/m]

Q = Caudal [m^3/s]

C = Coeficiente que depende de la naturaleza (material y estado) de las paredes de los tubos

D = Diámetro de la tubería [m]

L = Longitud de la Tubería [m]

2.5.3.- Método de las Longitudes Equivalentes

Un método relativamente reciente, para tomar en cuenta las pérdidas locales es el de las longitudes equivalentes en tuberías. Una tubería comprende diversas piezas especiales y otras características, bajo el punto de vista de pérdidas de carga, equivalen a una tubería rectilínea de mayor extensión.

Consiste en sumar la extensión del tubo, para simple efecto de cálculo, extensiones tales que correspondan a la misma pérdida de carga que causarían las piezas especiales existentes en la tubería.

La pérdida de carga a lo largo de una tubería se determina por la fórmula Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L.v^2}{2g.D} \quad (2)$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga [m]

f = Factor de fricción [adimensional]

L = Longitud de la tubería [m]

v = Velocidad [m/s]

g = Aceleración debido a la gravedad [m/s^2]

D = Diámetro de la tubería [m]

2.6.- Flujo en canales abiertos

El flujo de agua en un conducto puede ser flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujo son similares en muchos aspectos pero se diferencian en otros. El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, mientras que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto. Una superficie libre está sometida a la presión atmosférica. ^[1]

En la mayoría de los casos las condiciones de los flujos en canales abiertos se complican debido a que la composición de la superficie libre puede cambiar con el paso de los años y con el espacio.

La sección transversal de un canal abierto puede ser de cualquier forma desde circular hasta las formas más irregulares en ríos, mientras que en la de una tubería por lo general es de forma circular.

Los coeficientes de fricción implican una mayor incertidumbre a la hora de elegirse en canales abiertos que para en tuberías; ya que la rugosidad varía con la posición de una superficie libre.

2.6.1.- Tipos de Flujo

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos, la siguiente clasificación se hace en base con la variación de la profundidad de flujo con respecto al tiempo y al espacio.

Tomando como criterio el tiempo el flujo se clasifica en: Flujo permanente y flujo no permanente. Mientras que en base al espacio éste se clasifica en: Flujo uniforme y flujo no uniforme.

2.6.1.1.- Flujo Permanente y Flujo no Permanente

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente cuando la profundidad del flujo no varía o se supone constante durante el intervalo de tiempo a considerar. Para cualquier flujo, el caudal (Q) en una sección del canal se expresa de la siguiente manera, $Q = V * A$, donde A es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de este y V es la velocidad media del fluido.

Se considera un flujo no permanente cuando la profundidad de este cambia con respecto del tiempo, este nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el tiempo se vuelve de gran importancia para el diseño de

estructuras de control. Generalmente en problemas de canales abiertos es fundamental el estudio del comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes.

2.6.1.2.- Flujo Uniforme

Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente y no permanente, según cambie o no la profundidad respecto al tiempo.

2.6.1.3.- Flujo Uniforme Permanente

Este tipo de flujo suele ocurrir en canales inclinados muy largos de sección transversal constante, la profundidad del flujo permanece constante y se conoce como profundidad normal, el caudal también permanece constante a lo largo del canal. Es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente precisa que la superficie del agua fluctuará de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.

2.6.1.4.- Flujo Variado

Se considera un flujo variado cuando la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. Este tipo de flujo puede ser: Permanente o no permanente.

El flujo variado también puede clasificarse como rápidamente variado o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias relativamente cortas. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local; un ejemplo de ello son el resalto hidráulico y la caída hidráulica.

2.6.1.5.- Flujo Subcrítico o Tranquilo

Se considera un flujo de este tipo cuando el número de Froude es menor que uno (1), en este caso la velocidad del líquido es pequeña y una perturbación puede propagarse aguas arriba.

2.6.1.6.- Flujo Supercrítico o Rápido

Se considera un flujo de este tipo si el número de Froude es mayor que uno (1), en este caso una perturbación no puede propagarse aguas arriba. Si el número de Froude es igual a uno (1) el flujo se denomina crítico.

2.6.2.- Estado de Flujo

El estado o comportamiento de flujo en canales abiertos está regido fundamentalmente por los efectos de viscosidad y gravedad relativas a las fuerzas de inercia del flujo. Bajo ciertas circunstancias la tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo, pero no es un papel relevante en la mayor parte de los casos de canales abiertos que se presentan en ingeniería. El número de Froude se usa cuando el estado de flujo se desea clasificar en función de la acción que sobre él ejerce la gravedad.

2.6.2.1.- Efecto de Viscosidad

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser: laminar, turbulento o de transición.

Cuando las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, el flujo se denomina laminar, la viscosidad juega un papel fundamental para

determinar el comportamiento del flujo. Este tipo de flujo se caracteriza porque las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, ó líneas de corrientes.

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En este tipo de flujo las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, que no son suaves ni fijas, pero en su conjunto todavía representa el movimiento hacia adelante de la corriente total. Hay un estado mixto o de transición que se presenta entre los estados de laminar y turbulento.

2.6.2.2.- Efecto de la Gravedad

El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercias y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el número de Froude.

2.7.- Propiedades de los canales abiertos

Un canal abierto es un conjunto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo a su origen un canal puede ser natural o artificial.

Los canales naturales comprenden todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño, desde pequeños arroyos, quebradas, hasta grandes ríos, entre otros. Son muy irregulares las propiedades hidráulicas de un canal natural. Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano, ejemplos de ellos: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, cunetas de drenaje, vertederos, etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un cierto nivel

deseado o pueden ser diseñadas para cumplir ciertos requisitos. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño.

2.7.1.- Distribución de Velocidades en una Sección de Canal

Debido a la existencia de la superficie libre y a la fricción que se produce a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están del todo distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales con frecuencia ocurre a una distancia de 0.05m. a 0.25m. de la profundidad, por debajo de la superficie libre.

Otros factores también influyen para la distribución de velocidades, entre ellos se mencionan: una forma inusual de la sección, la rugosidad del canal, y la presencia de curvas. En una corriente ancha, rápida y poco profunda o en un canal muy liso la máxima velocidad por lo general se localiza en la superficie.

En una curva la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo. En cambio, el viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades.

Diversas observaciones han mostrado que en los canales muy anchos la distribución de velocidades en la distribución central es la misma que existiría en un canal rectangular de ancho infinito.

2.7.2.- Medición de la Velocidad

La sección vertical del canal se divide en franjas verticales por medio de un número de verticales sucesivas, y las velocidades medias en las verticales se determinan midiendo las velocidades a 0.6m. de la profundidad en cada vertical, o tomando el promedio de las velocidades a 0.2m y 0.8m. de la profundidad cuando se requieren resultados más confiables. El promedio de las velocidades medias en cualquiera dos verticales adyacentes multiplicado por el área entre las verticales da el caudal a través de todas las franjas es el caudal total.^[4]

2.8.- Curvas de remanso y tipos de perfiles

En un canal pueden existir secciones donde la profundidad del agua esta forzada a tener un valor distinto al tirante normal. El perfil longitudinal de la superficie del canal donde esta se eleva o disminuye con respecto a su nivel normal como consecuencia de una obstrucción natural o artificial es lo que se denomina curva de remanso, correspondiente a un flujo gradualmente variado, se presenta aguas arribas de un obstáculo importante en su cauce.

De acuerdo a las relaciones entre y_n y y_c la variación de y con respecto a x sólo puede ocurrir de acuerdo a ciertas formas o perfiles de flujo en relación a los siguientes tipos de pendiente: Pronunciada (S), suaves (M), críticas (C), adversas (A) y horizontal (H). (figura1).^[12]

Cualquier proceso de cálculo de flujo gradualmente variado requiere conocer previamente las profundidades normales (y_n o y_0) y crítica (y_c).

Pendiente Pronunciada (S): Entre sus características se encuentra que las líneas de fondo, altura normal y altura crítica definen tres zonas donde pueden formarse las

curvas de remanso, que se denominan según sea la pendiente (S) y con subíndice según la zona donde se desarrollen dependiendo de la altura real del flujo. Este tipo de pendiente corresponde al caso en que la altura normal es menor que la altura crítica, o sea que si el nivel fuera uniforme el régimen sería supercrítico.

Pendiente Suave (M): Corresponde en flujo uniforme a un régimen subcrítico o lento, debido a que la línea de profundidad normal se encuentra por encima de la línea crítica. Habrá tres zonas donde se podrán desarrollarse los perfiles de flujo.

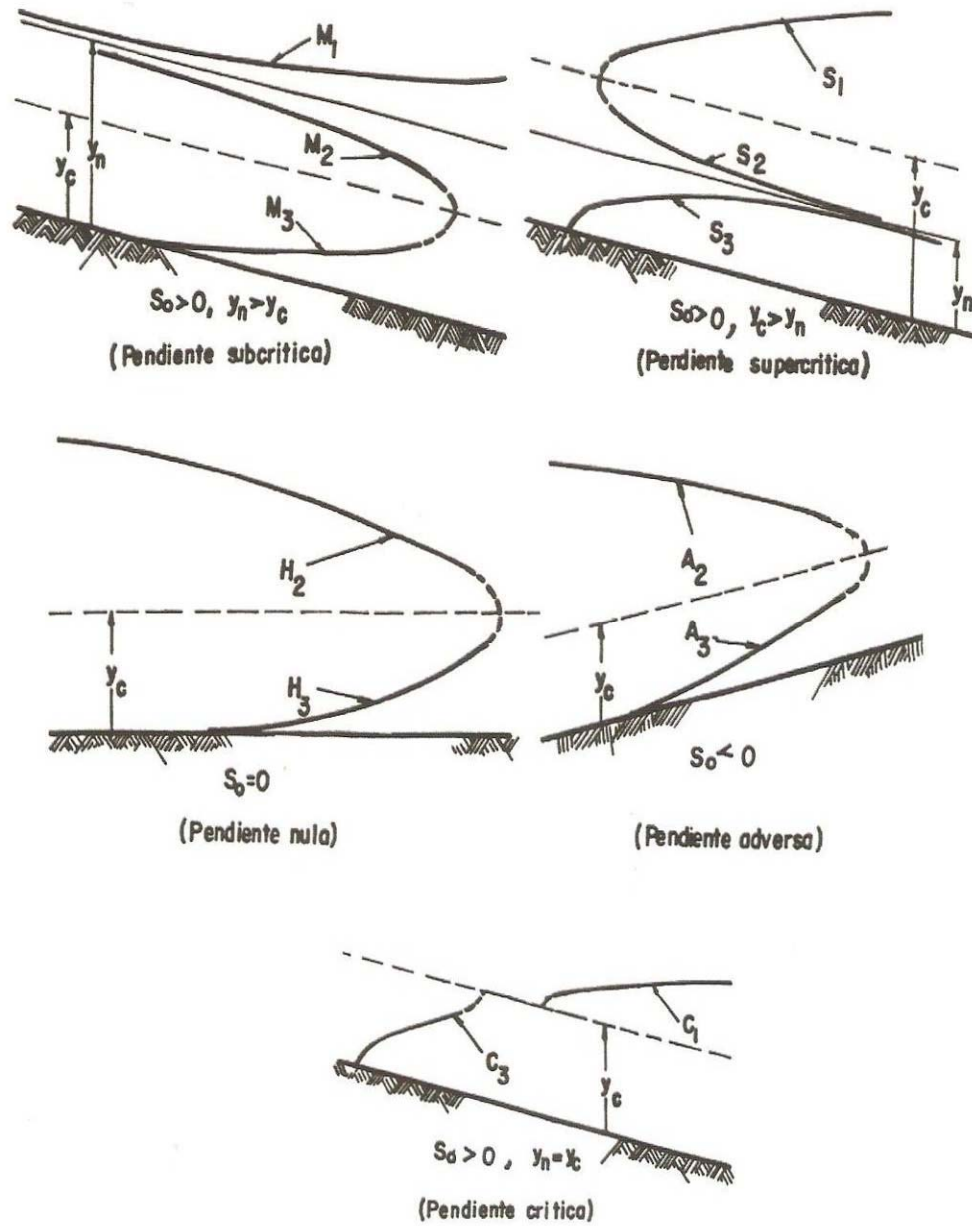


Figura 1- Clasificación de los perfiles de flujo gradualmente variado.

Fuente ^[4]

2.9.- Secciones de control

El control de flujo en un canal abierto significa el establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal o, más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal de flujo. Cuando el control de flujo se alcanza en una cierta sección del canal, esta sección es una sección de control

Como la sección de control mantiene una relación nivel-caudal definitiva, siempre es un lugar adecuado para una estación de aforo y para el desarrollo de una curva de calibración de caudales, la cual es una curva que representa la relación profundidad-caudal en la estación de aforo.

La localización de la sección de control en un canal prismático por lo general está gobernada por el estado de flujo, el cual a su vez se determina mediante la pendiente del canal. Tomando como ejemplo un canal prismático recto largo en el cual se crea un embalse mediante una presa a través del canal y el agua fluye por encima de la presa a través de un vertedero de rebose (Figura 2). Se muestran tres condiciones de flujo en el canal, que representan los flujos subcrítico, crítico y supercrítico respectivamente. Las pendiente del canal en los tres casos son, suave o subcrítica, crítica y empinada o supercrítica, de manera equivalente.

Si el canal tiene una pendiente crítica (esquema intermedio de la figura 2), entonces en principio el flujo es uniforme y crítico a través del canal. Sin embargo, debido a la presencia de la presa, el flujo a través del embalse será subcrítico y la superficie del embalse será casi horizontal. En el extremo de aguas abajo se desarrollará una curva de caída, que se extiende aguas arriba desde una sección cercana a la cresta del vertedero y se vuelve asintótica al nivel del embalse.

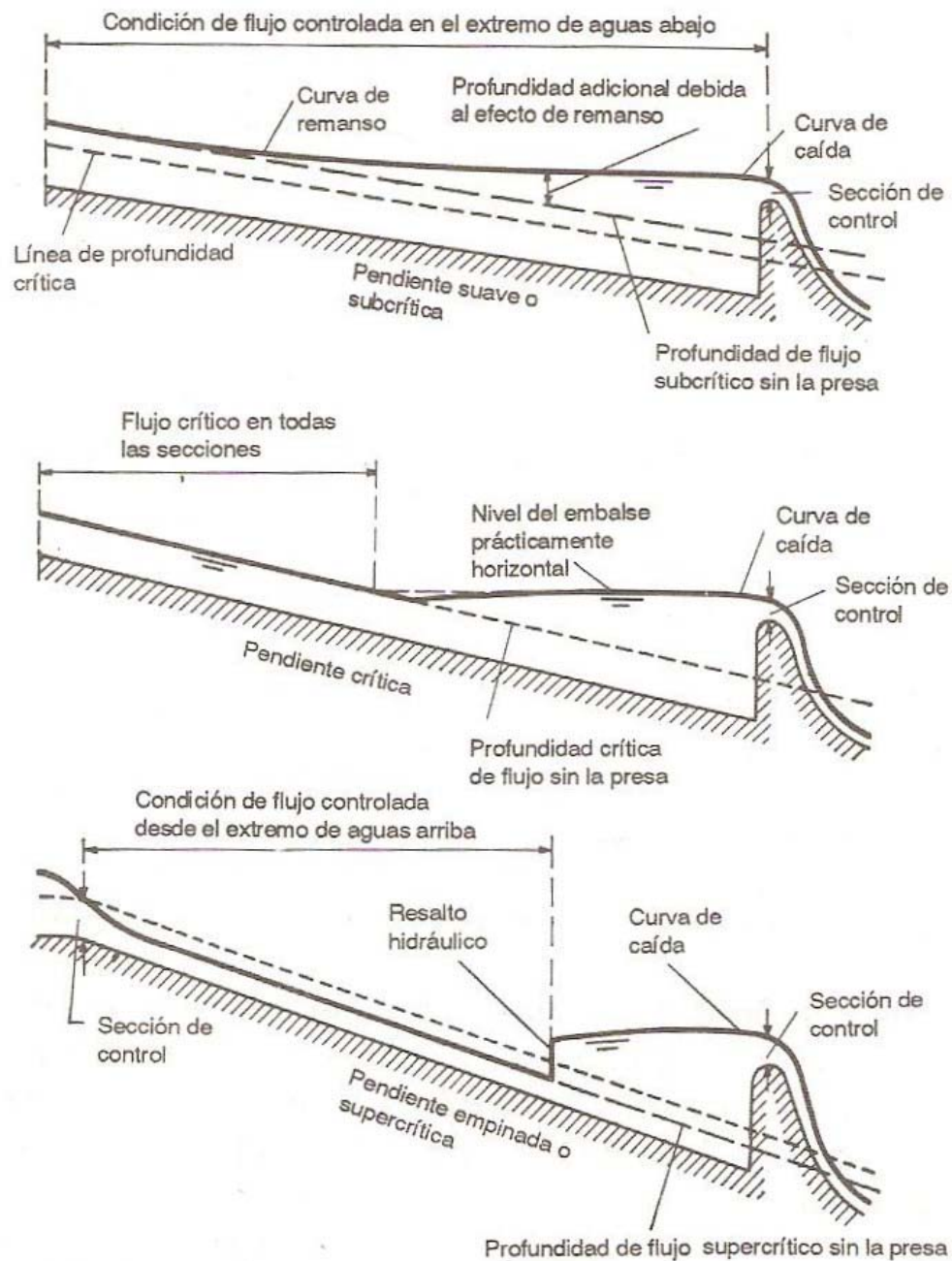


Figura 2. Condiciones de Flujo en un Canal Prismático Largo. Fuente ^[2]

Si el canal tiene una pendiente subcrítica (Esquema superior de la figura 2), en principio el fluido es subcrítico. Debido a la presencia de la presa, el nivel del

embalse se extenderá aguas arriba a lo largo de una gran distancia formando una curva conocida como curva de remanso. La profundidad de agua adicional se requiere para obtener la altura suficiente con el fin de alcanzar el incremento de velocidad necesario para pasar el agua por encima del vertedero. Este efecto de represar el agua por detrás de la presa se conoce como efecto de remanso. En el extremo de aguas abajo la curva de remanso se conecta con una curva de caída suave, que lleva el agua por encima del vertedero.

Si el canal tiene una pendiente supercrítica (Esquema inferior de la figura2), en principio el flujo es supercrítico. Debido a la presencia de la presa el efecto de remanso originado en el embalse no se extiende muy lejos aguas arriba. Por el contrario, el flujo en el canal de aguas arriba continuará en la dirección de aguas abajo en estado supercrítico, hasta que el perfil de la superficie de flujo se encuentre por debajo del nivel del embalse, luego aumentará abruptamente hasta la elevación del embalse a través de un resalto hidráulico. El efecto de remanso no se extenderá aguas arriba a través del resalto hidráulico. El flujo aguas arriba del resalto está completamente gobernado por las condiciones de aguas arriba.

Los ejemplos anteriores explican la importancia del hecho de que en pendientes subcríticas el efecto de cambio en la elevación de la superficie del agua del lado de aguas abajo se trasmite aguas arriba a través de una curva de remanso, en tanto que en pendientes supercríticas no puede transmitirse lejos aguas arriba. La condición de flujo en un canal subcrítico se afecta por las condiciones de aguas abajo; pero, en un canal supercrítico o en el lugar donde el agua entra al canal, la condición de flujo depende por completo de las condiciones aguas arriba. En consecuencia, se dice que el control de flujos se localiza en el extremo de aguas abajo para canales con pendientes subcríticas, y en el extremo de aguas arriba para canales con pendiente supercríticas.^[2]

2.10.- Bombas

2.10.1.- Definición

Se define como una maquinaria hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que accionada en energía hidráulica del flujo incomprensible que mueve. Este fluido puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar. Al incrementarse la energía del fluido se aumenta su presión, su velocidad o su altura. En general, una bomba se utiliza para aumentar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión a una de mayor presión.

2.10.2.- Tipos de Bombas

Las bombas se pueden clasificar en dos tipos:

- Las bombas de desplazamiento positivo o volumétrica.
- Las bombas rotodinámicas.

2.10.2.1.- Bombas de Desplazamiento Positivo

Su principio de funcionamiento está basado en la hidrostática. Tienen un contorno móvil que por cambio de volumen obliga al fluido a avanzar a través de la máquina, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras. Este tipo de bombas se caracteriza porque en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen, por lo que también se les conoce como bombas volumétricas. Cuando el volumen máximo varía de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si este volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. Ejemplos de estas bombas: de embolo buzo

reciprocante, de engranajes, de tornillo, de pistón, de aspas, etc. Se utilizan mucho este tipo de bombas para la succión de agua residuales o aguas negras. Estas bombas se clasifican en:

2.10.2.1.1.- Bombas de Émbolo Alternativo

Estas bombas se caracterizan porque poseen uno o varios compartimientos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o una membrana. Los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. En estas maquinas el movimiento del fluido es discontinuo. Ejemplo de estas bombas: Bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones, o la bomba de pistones de accionamiento axial.

2.10.2.1.2.- Bombas Volumétricas Rotativas o Rotoestáticas

Se caracteriza porque el fluido es confinado en uno o varios compartimientos que se desplaza desde la zona de entrada, que es la zona de baja presión, hasta la zona de salida, la de alta presión de la máquina. Ejemplo: Bomba de paleta, bomba de lóbulos, bomba de engranaje, bomba de tornillo, entre otras.

2.10.2.2.- Bombas Rotodinámicas

El principio de funcionamiento de estas bombas está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de maquinas el flujo del fluido es continuo. Se clasifican en:

2.10.2.2.1.- Bombas Radiales o Centrífugas

Son muy adecuadas para manejar mayor cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo, por esta razón constituyen al menos el 80% de la población mundial de las bombas.

Este tipo de bomba transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requerida. El fluido entra por este rodete y es conducido, y por esfuerzo de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno de su forma lo conduce hacia el siguiente rodete o la siguiente etapa.

Sin embargo aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad de este. Por tanto una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiera al líquido es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad.

2.10.2.2.2.- Bombas Axiales

Cuando el fluido pasa por los canales de los alábes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.

2.10.2.2.3.- Bombas Diagonales o Helicentrífugas

Cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

2.10.3.- Potencia de la bomba

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot h_B}{76 \cdot \eta} \quad (2.9)$$

Donde:

P = Potencia de la bomba en caballos de fuerza

h_B = Carga dinámica total en metros

η = Eficiencia o rendimiento de la bomba. Para fines prácticos se puede estimar entre 50 % y 70%. Adimensional.

Q = Capacidad de la bomba (m^3/s)

γ = Peso específico del fluido (Kg/m^3)

El caballo de potencia también conocido como caballo de fuerza es una unidad de potencia que se utiliza en el sistema Anglosajón de Unidades. La bomba eleva cierto volumen de agua a una determinada altura. La altura de trabajo está dada por la suma de la diferencia de elevación entre las dos superficies de agua o carga estática, las pérdidas de carga por fricción en los conductos y las pérdidas adicionales por conexión. Esta altura también es afectada por las pérdidas producidas por los rozamientos mecánicos y fugas de caudal.

$$H_{p_{MOTOR}} = 1,5 * h_{p_B} \quad (2.10)$$

2.11.- resalto hidráulico

La teoría del resalto hidráulico fue desarrollada en un principio para canales horizontales o ligeramente inclinados en los que el peso del agua dentro del resalto hidráulico tiene muy poco efecto sobre su comportamiento y por lo tanto no se considera en el análisis. No obstante, los resultados obtenidos de este modo pueden aplicarse a la mayor parte de los canales encontrados en problemas de ingeniería.

Para canales con pendiente alta el efecto del peso del agua dentro del resalto puede ser tan significativo que debe incluirse en el análisis.

El resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad, este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene lugar un cambio violento del régimen de flujo, de supercrítico a subcrítico. Puede producirse en cualquier canal, pero en la práctica los resaltos se obligan a formarse en canales de fondo horizontal, ya que el estudio de un resalto en un canal con pendiente es un problema complejo y difícil de analizar teóricamente.

Las aplicaciones prácticas del resalto hidráulico son las siguientes:

- La disipación de energía en flujos sobre diques, vertederos, presas y otras estructuras hidráulicas y prevenir de esta manera la socavación aguas debajo de las estructuras.
- Incrementar el peso sobre la zona de aguas debajo de una estructura de mampostería y reducir la presión hacia arriba bajo dicha estructura aumentando la profundidad del agua en su zona de aguas abajo.
- Recuperar altura o aumentar el nivel del agua en el lado de aguas debajo de una canaleta de medición y mantener un nivel alto del agua en el canal de irrigación o de cualquier estructura para distribución de aguas.
- Aumentar el caudal por debajo de una compuerta deslizante manteniendo alejada la profundidad de aguas abajo, debido a que la altura efectiva se reducirá si la profundidad de aguas abajo ahoga el resalto.
- Mezclar químicos utilizados para la purificación de agua y casos similares.
- Para indicar condiciones especiales de flujo, como la existencia de flujo supercrítico o la presencia de una sección de control, de tal manera que puede localizarse una estación de aforo.

- Airear el agua en sistemas de suministros urbanos.
- Remover bolsas de aire en la línea de suministro de agua y prevenir el taponamiento por aire.

El resalto hidráulico ha sido utilizado por sus características para reducir las velocidades de flujo en canales a valores que permitan el escurrimiento sin ocasionar tensiones de corte superiores a los límites permitidos por los materiales que componen el perímetro mojado. Se denomina colchón hidráulico al lugar geométrico en el que ocurre el resalto. Se han investigado diferentes formas de colchones hidráulicos con el objetivo de lograr una mejor disipación de energía en una menor longitud.

2.11.1.- Resalto en Canales Rectangulares Horizontales

Para un flujo supercrítico en un canal rectangular horizontal, la energía del flujo se disipa a través de la resistencia friccional a lo largo del canal dando como resultado un descenso en la velocidad y un incremento en la profundidad en la dirección del flujo. Un resalto hidráulico se formará en el canal si el número de Froude (F) del flujo, la profundidad del flujo (y_1) y la profundidad de aguas abajo, es decir, la profundidad recuente (y_2) satisfacen la ecuación. ^[4]

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (2.11)$$

Esta ecuación puede representarse mediante la curva mostrada en la figura 2. Esta curva se verificó a satisfacción con muchos datos experimentales y es muy útil para el análisis y el diseño de resalto hidráulicos.

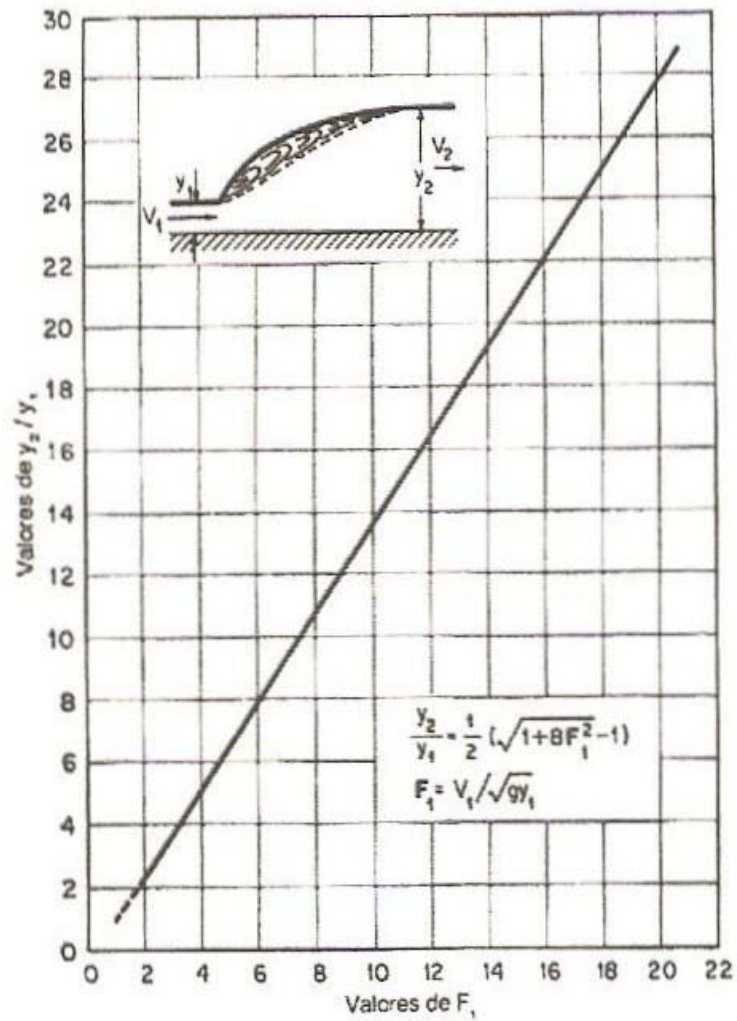


Figura 3- Relación entre F_1 y y_2/y_1 para un resalto hidráulico en un canal rectangular horizontal. Fuente ^[2]

2.11.2.- Resalto en Canales Inclinados

En el análisis de resaltos hidráulicos en canales con pendientes o con pendientes apreciables, es esencial considerar el peso del agua dentro del resalto, por

esta razón no puede emplearse las ecuaciones de momentum, ya que en canales horizontales el efecto de este peso es insignificante.

Si las pendientes son fuertes la componente del peso del agua tiene influencia en la ecuación de momento, entonces las componentes a evaluar son: el peso propio del agua que se desprecia en los canales rectangulares horizontales porque las pendientes de los canales son muy pequeñas, la fuerza de frotamiento con las paredes de canalización; el valor final de incidencia de esta fuerza de frotamiento es despreciable frente a otros por eso no se toma en cuenta en el cálculo de las fuerzas resultantes. Se considera la componente del peso en la dirección del movimiento con signo positivo y la componente de frotamiento con signo negativo. Recordando que la masa en unidad de tiempo se obtiene con el producto de la densidad por el caudal.

2.11.3.- Tipos de Resalto Hidráulico

El Bureau of Reclamation investigó diferentes tipos de resalto hidráulico en canales horizontales, cuya base de clasificación es el número de Froude, entre los tipos de resalto se encuentran:

Para $F_1 = 1$, el flujo es crítico, por tanto no se forma ningún resalto.

Para $F_1 = 1$ a 1.7 la superficie de agua presenta la tendencia a la formación de ondulaciones, no son necesarios cuencos amortiguadores y se denomina este tipo de resalto como ondular. La disipación de energía es baja, menor del 5%.

Para $F_1 = 1.7$ a 2.5 en el tramo de la mezcla el ondulamiento de la superficie es mayor, se presenta una serie de remolinos sobre la superficie del resalto, pero la superficie del agua hacia aguas abajo permanece uniforme. No se necesitan cuenco disipador amortiguador. La velocidad a través de la sección es razonablemente uniforme y la energía disipada se encuentra entre 5% y 15%. Se presenta el resalto débil.

Para $F_1 = 2.5$ a 4.5 presenta un chorro intermitente oscilante que entra desde el fondo del resalto hasta la superficie y se devuelve sin ninguna periodicidad. Cada oscilación produce una gran onda con periodo irregular, bastante común en canales y que pueden viajar largas distancias causando daños. La disipación de energía que se produce es del 15% a 45%. El resalto que se presenta en este intervalo se llama resalto oscilante.

Para $F_1 = 4.5$ a 9.0 se trata de un resalto plenamente formado, con mayor estabilidad y el rendimiento es mejor, variando la energía disipada entre 45% y 70%. La extremidad de aguas abajo del remolino superficial y el punto sobre el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurren en la misma sección vertical. La acción y posición de este resalto son menos sensibles a la variación en la profundidad de aguas abajo. Este tipo de resalto se llama permanente o estable.

Para $F_1 = 9$ y valores mayores a este, se trata de un resalto con gran disipación de energía hasta un 85%. Gran ondulación de la superficie con tendencia de traslado de la zona de régimen supercrítico hacia aguas abajo. El chorro de alta velocidad choca con paquetes de agua intermitentes que ocurren hacia abajo a lo largo de la cara frontal del resalto, generando ondas hacia aguas abajo. La acción del resalto es brusca pero efectiva. Se produce el resalto hidráulico fuerte. ^[2]

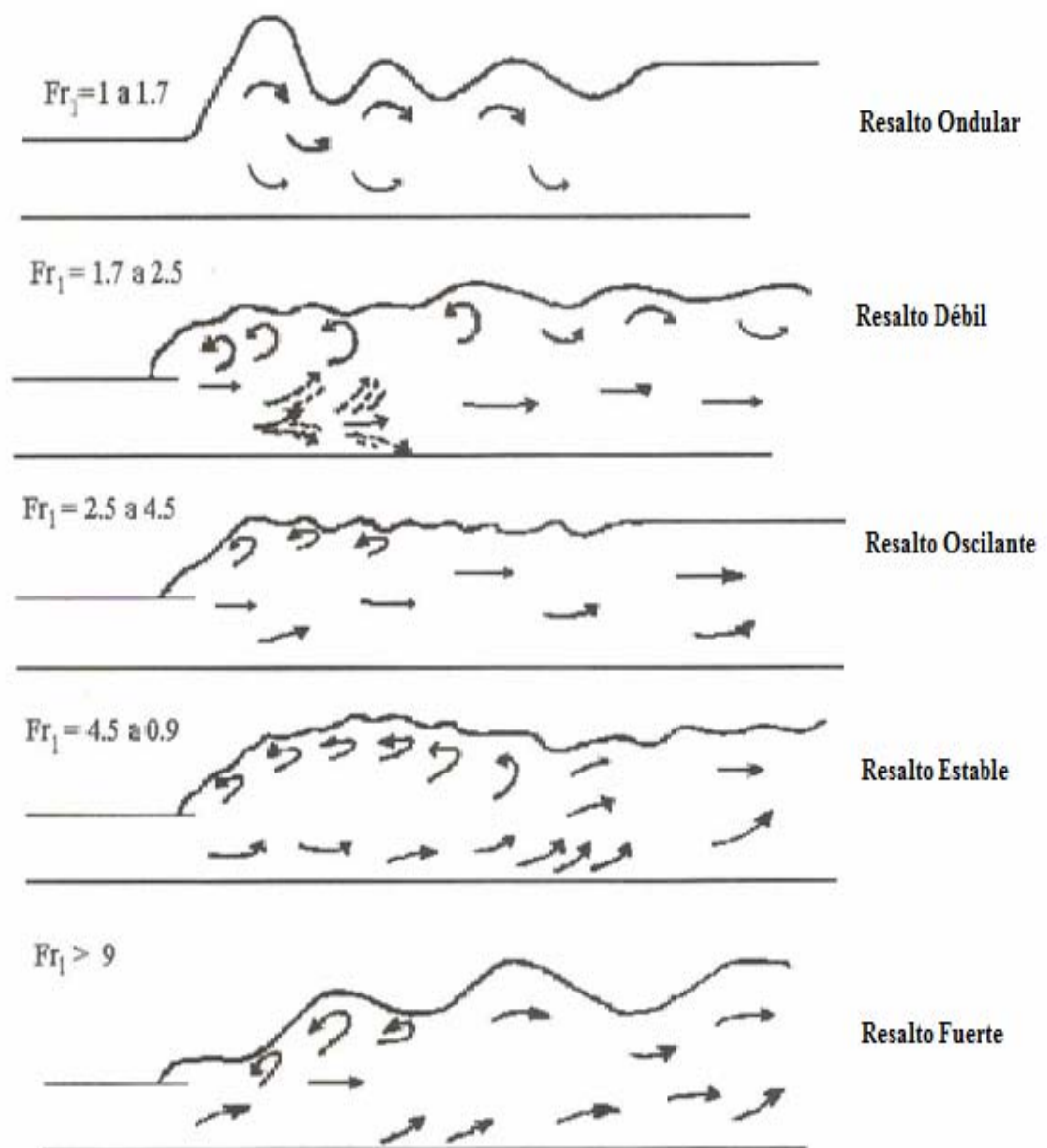


Figura 4 - Tipos de Resalto Hidráulicos. Fuente ^[2]

2.11.4.- Características Básicas del Resalto Hidráulico

Las características del resalto hidráulico han sido aprovechadas para reducir las velocidades de flujo en canales a valores que permitan el escurrimiento sin ocasionar tensiones de corte superiores a los límites permitidos por los materiales que componen el perímetro mojado. El lugar geométrico en el que se presenta el resalto se denomina colchón hidráulico, se han investigado diferentes formas de colchones hidráulicos con el objeto de lograr una mejor disipación de energía en una menor longitud. Para el diseño de colchones hidráulicos se consideran los siguientes aspectos:

2.11.4.1.- Eficiencia

Se define la eficiencia de un resalto hidráulico como la relación de energía específica antes y después del resalto. Se expresa como:

$$\eta_{RH} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

(2.12)

Por lo que se puede advertir la eficiencia de un resalto hidráulico depende únicamente del número de Froude de aguas arriba (F_1) y que es una expresión adimensional.

2.11.4.2.- Pérdida de energía

Se define como la diferencias de energías específicas antes y después del resalto hidráulico. Se expresa como:

$$E_{RH} = E1 - E2 = \frac{(Y2 - Y1)^3}{4Y1.Y2} \quad [m] \quad (2.13)$$

Donde:

Y_1 = Profundidad antes de que ocurra el resalto hidráulico, expresado en metros.

Y_2 = Profundidad después del resalto hidráulico, expresado en metros.

2.11.4.3.- Altura del Resalto

La diferencia entre las profundidades antes y después del resalto hidráulico es la altura del resalto ($h_j = y_2 - y_1$), al expresar cada término como la relación de la energía específica inicial, tenemos:

$$h_j / E_1 = (y_2 / E_1) - (y_1 / E_1) \quad (2.14)$$

Donde:

h_j / E_1 = Es la altura relativa.

y_1 / E_1 = Es la profundidad relativa.

y_2 / E_1 = Es la profundidad seciente relativa.

Puede demostrarse que todas estas relaciones son funciones adimensionales de F_1 . Por ejemplo:

$$\frac{h_j}{E1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 3}{F_1^2 + 2} \quad [Adm] \quad (2.15)$$

Como la pérdida relativa, la eficiencia, la altura relativa y las profundidades inicial relativa y seciente relativa de un resalto hidráulico en un canal rectangular horizontal son funciones de F_1 , puede graficarse contra F_1 , dando como resultado un conjunto de curvas características (Figura 5). Las curvas características le darán al diseñador una idea general del rango de condiciones en las cuales la estructura debe operarse. Por ejemplo en el diseño de una compuerta deslizante que involucre un

resalto por debajo de la compuerta, estas curvas mostrarán con claridad la forma del resalto para diferentes aberturas de la compuerta bajo una altura determinada.

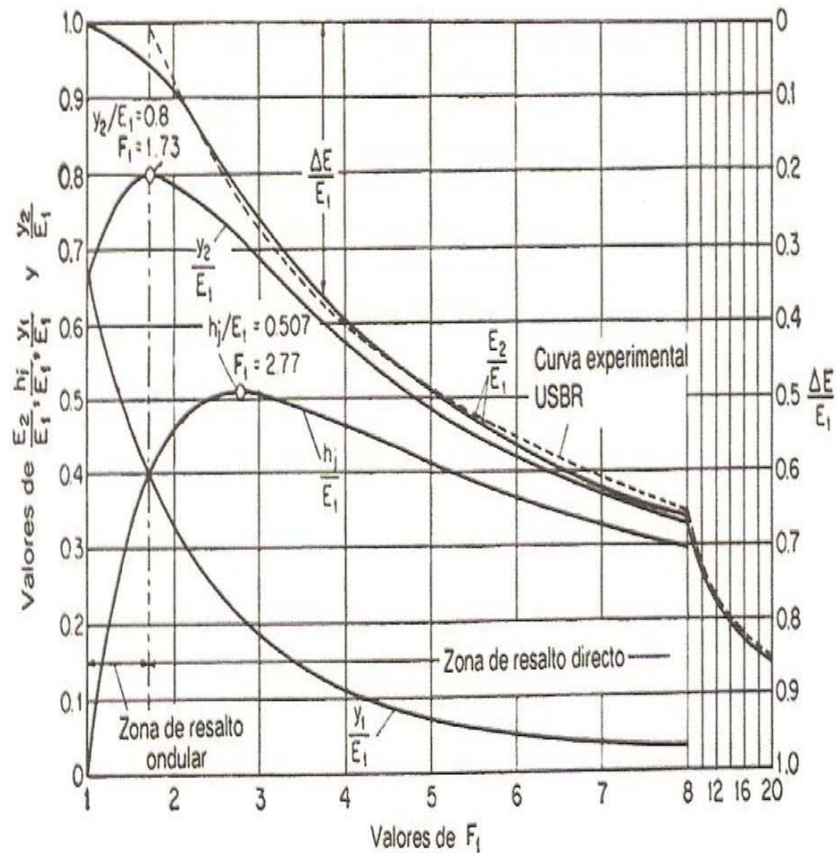


Figura 5 - Curvas Características de Resalto Hidráulicos en Canales Rectangulares Horizontales. Fuente ^[2]

2.11.5.- Longitud del Resalto

Uno de los parámetros de especial importancia en el diseño de obras hidráulicas es la longitud del resalto hidráulico, esta definirá la necesidad de incorporar obras complementarias para reducir esta longitud y aplicar medidas de protección de la

superficie para incrementar su resistencia a los esfuerzos cortantes. La longitud del resalto se define como la distancia medida desde la cara frontal del resalto y_1 hasta un punto en la superficie inmediatamente aguas abajo del remolino y_2 .

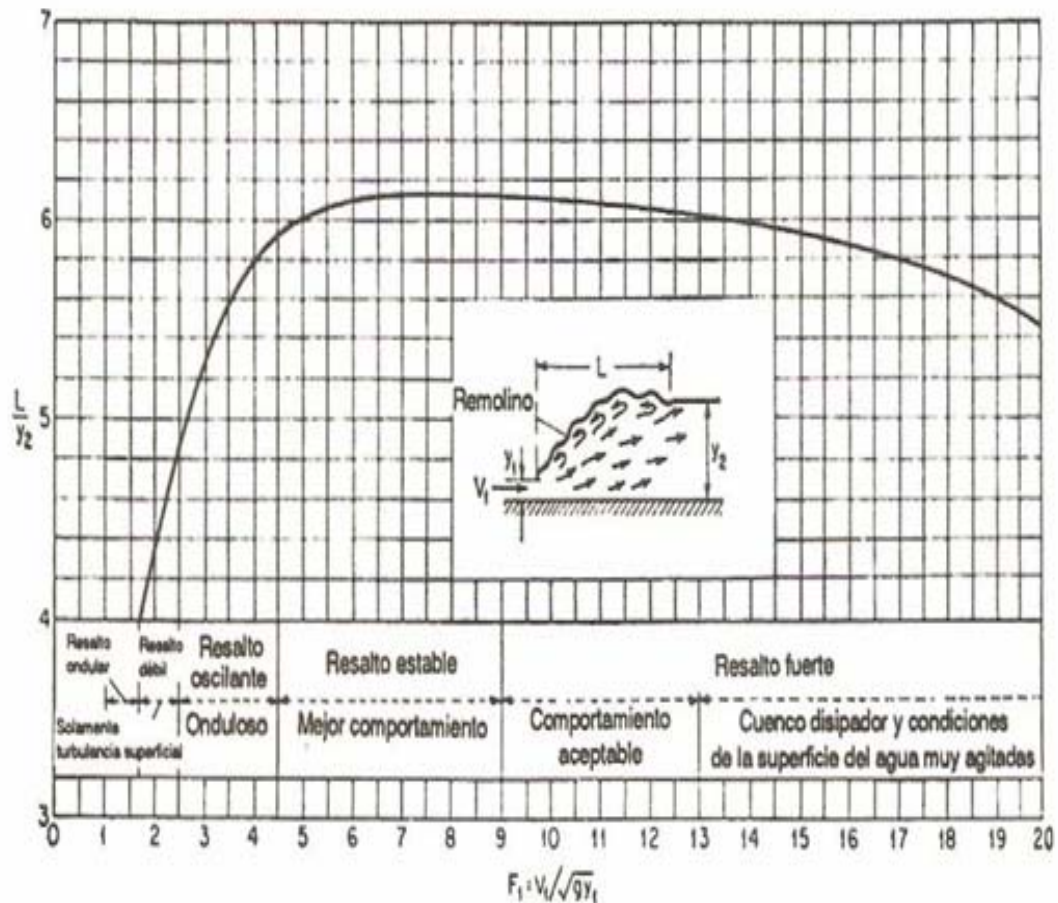


Figura 6 - Longitud en Términos de la Profundidad Secante y_2 de Resalto en Canales Horizontales. Fuente ^[2]

Los resultados de pruebas experimentales, realizadas en seis canales de laboratorio, por el Bureau of Reclamation, en donde se relaciona $L / (y_2 - y_1)$, L/y_1 ó L/y_2 versus F_1 , se representa en la figura 6, la grafica F_1 versus L/y_1 es quizás la mejor, debido a que la curva resultante es la que mejor definen los datos, sin embargo, la gráfica F_1 versus L/y_2 es conveniente debido a que la curva resultante

muestra la regularidad de una parte plana para el rango de los resaltos bien establecidos. No se ha desarrollado un procedimiento satisfactorio para el cálculo de la longitud del resalto debido a que este fenómeno no se ha analizado teóricamente, así como las complicaciones prácticas originadas de la inestabilidad general de este fenómeno y la dificultad en definir las secciones de inicio y la de fin del resalto.

Silverster (1964) propuso una ecuación empírica para el cálculo de la longitud del resalto en canales rectangulares de lechos horizontales relacionada a continuación:

$$L = 9.75y_1 (F_1 - 1)^{1.01} \quad (\text{m.}) \quad (2.16)$$

2.11.6.- Perfil Superficial

El perfil superficial de un resalto hidráulico es importante para determinar la presión que debe utilizarse en el diseño estructural, debido a que la presión vertical en el piso horizontal bajo un resalto hidráulico es prácticamente la misma que hincaría el perfil de la superficie del agua. También es necesario en el diseño del borde libre para los muros laterales del cuenco disipador donde ocurre el resalto.

Bakhmeteff y Matzke, encontraron que el perfil de la superficie de un resalto hidráulico, se puede representar por curvas adimensionales en función del número de Froude (F_1), como se muestra en la figura 7.

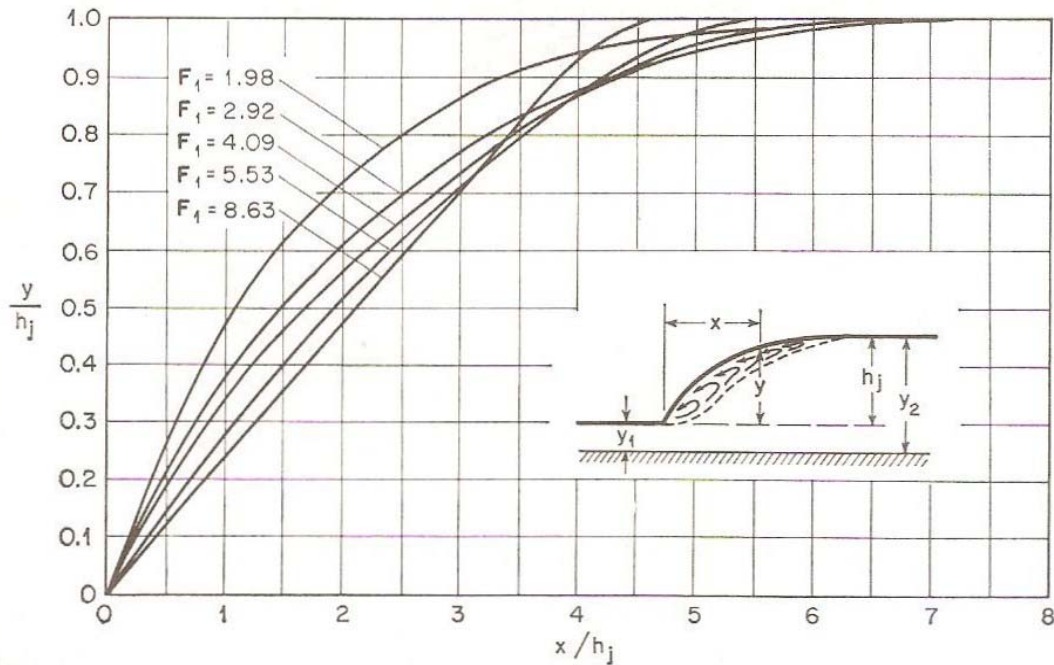


Figura 7 – Perfiles Superficiales Adimensionales de Resaltos Hidráulicos en Canales Horizontales. Fuente^[2]

2.11.7.- Localización del Resalto.

En un flujo supercrítico cuando la profundidad cambia abruptamente a una profundidad recuente, ocurre lo que denominamos el resalto hidráulico. Este resalto ocurre en un canal horizontal rectangular si las profundidades inicial y secuente y el Número de Froude de aproximación satisfacen la ecuación (2.11). Esta condición teórica por lo general, se utiliza para localizar la posición de un resalto. Se debe considerar la longitud de un resalto hidráulico para un cálculo más exacto de la posición del mismo. A continuación se ilustrará la localización de un resalto hidráulico en tres casos comunes.

El caso *A* de la figura 8 muestra el resalto por debajo de una compuerta deslizante en un canal de pendiente suave. Los perfiles *AB* y *CD* pueden identificarse con facilidad como del tipo *M3* y *M2*, respectivamente. La curva *A'B* es una gráfica de la profundidad recuente con respecto a *AB*. Mediante la posición *F'*, puede estimarse la longitud del resalto. Mediante ensayo y error puede encontrarse una intercepción horizontal entre las curvas *A'B* y *CD* igual a la longitud del resalto. Por ejemplo, la distancia horizontal *EF* es igual a dicha longitud, correspondiente a la profundidad y_2 en *F*. Es claro, que el resalto se formará entre *G* y *F*, debido a que la profundidad en *F* es recuente a la profundidad en *G* y a que la distancia *EF* mide la longitud del resalto. Nótese que si la longitud del resalto no se hubiera considerado en el análisis, se consideraría que el resalto se forma en el punto *F'* aguas arriba, dando como resultado un error representado por *F'F*. En el caso *A*, puede verse que al incrementar la profundidad del agua hacia aguas abajo o al subir la curva *CD*, el resalto puede moverse hacia aguas arriba. La profundidad de aguas abajo puede subirse hasta una altura para la cual el resalto eventualmente se ahogue al frente de la compuerta deslizante. Al bajar la profundidad de aguas abajo o al disminuir *CD* el resalto se moverá hacia aguas abajo.

En el análisis anterior se aplica también a la localización de un resalto formado a la salida de un vertedero de cresta delgada o de uno de rebose.

Cuando existe un resalto hidráulico por debajo de una compuerta deslizante, el flujo que sale de la compuerta formará un chorro que posee una vena contracta. La distancia L_e desde la vena contracta hasta la apertura de la compuerta deslizante a menudo es corta. Con respecto a esta distancia, existe una regla general adoptada, la cual establece que la vena contracta se localiza aproximadamente a una distancia h desde la apertura de la compuerta deslizante.

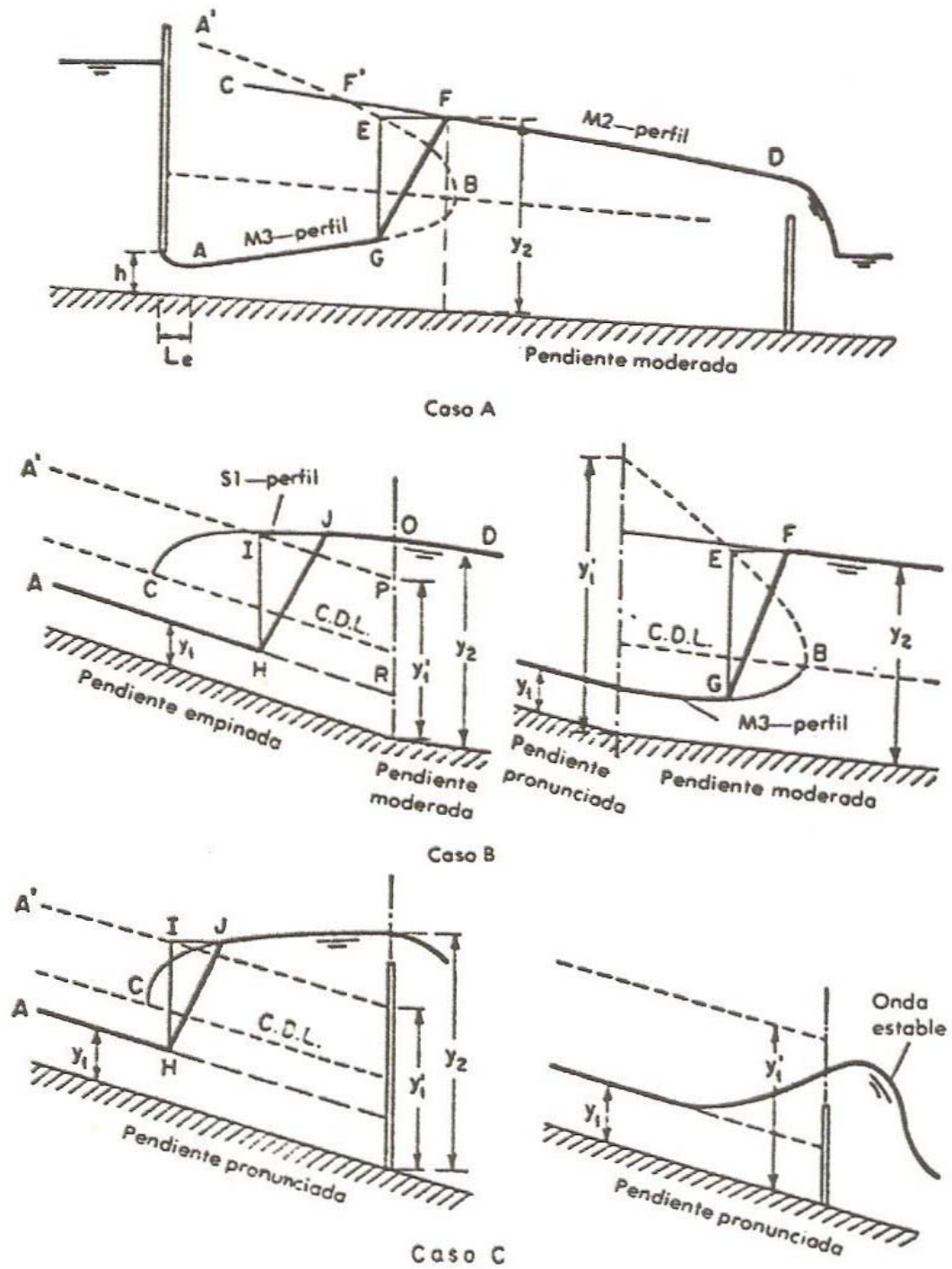


Figura 8 – Localización de un Resalto Hidráulico. Fuente ^[2]

El caso *B* muestra el resalto en un canal que tiene un quiebre en su pendiente de fondo que cambia de empinada a suave. Por simplicidad, se supone que el flujo es uniforme a lo largo del canal con excepción del tramo entre el resalto y el quiebre. El resalto puede ocurrir en el canal empinado o en el suave, según si la profundidad aguas abajo y_2 es menor o mayor que la profundidad y'_1 seciente a la profundidad de aguas arriba y_1 . Si la profundidad y_2 es mayor que y'_1 , el resalto ocurrirá en la región empinada. Luego la superficie curva OC es del tipo SI . La línea $A'P$ indica la profundidad seciente a la línea AR . Ahora determine una intercepción horizontal IJ entre $A'P$ y CO , el cual es igual a la longitud del resalto. Es claro que un resalto HJ empezará en la sección que contiene a I . Si la profundidad y_2 se baja aproximadamente a algo menor que y'_1 , el resalto empezará a moverse dentro del canal suave. En este caso el canal se localiza como se describió en el caso *A*.

El caso *C* muestra el resalto por detrás de una barrera de rebose. En teoría se formará un resalto si la profundidad de la barrera es mayor que la profundidad seciente y'_1 correspondiente a la profundidad supercrítica de aproximación y_1 . La localización del resalto es igual a la del caso *B* si éste ocurre en la región empinada. Al aumentar la altura de la barrera el resalto se moverá hacia aguas arriba. Al disminuir se moverá hacia aguas abajo. Cuando la profundidad de la barrera es menor que la seciente y'_1 , la barrera será sobrepasada por una oleada estacionaria, en la forma de un ascenso superficial ondular solitario, a la que no seguirán ondulaciones adicionales.^[4]

2.11.8.- El Resalto Hidráulico Como Disipador de Energía

Desde un punto de vista práctico, el resalto hidráulico es muy útil para disipar el exceso de energía en un flujo supercrítico. Su mérito está en prevenir las posibles erosiones aguas debajo de vertederos de rebose, rápidas y compuertas deslizantes, debido a que reduce rápidamente la velocidad del flujo sobre un piso protegido hasta

un punto donde el flujo pierde su capacidad de socavar el lecho del canal natural aguas abajo.

El resalto hidráulico utilizado para la disipación de energía a menudo se confina total o parcialmente en un tramo del canal que se conoce como cuenco de disipación o cuenco de aquietamiento, cuyo fondo se recubre para resistir la socavación. En la práctica, el cuenco disipador rara vez se diseña para confinar toda la longitud de un resalto hidráulico libre sobre la zona revestida, debido a que sería muy costoso. En consecuencia, a menudo se instalan accesorios para controlar el resalto dentro de un cuenco. El principal propósito de este control es acotar el rango dentro del cual el resalto ocurrirá y por consiguiente reducir el tamaño y el costo del cuenco disipador. El control tiene ventajas adicionales, debido a que mejora la función de disipación del cuenco, estabiliza la acción del resalto y, en algunos casos, incremental el factor de seguridad. En el diseño de un cuenco disipador con un resalto hidráulico como disipador de energía deben considerarse los siguientes aspectos prácticos:

- La posición del resalto hidráulico.
- Condiciones a la salida.
- Tipos de resaltos y sus recomendaciones.

Posición Del Resalto:

Estén tres modelos alternativos que permiten que un resalto se forme aguas debajo de una fuente (puede ser: un vertedero de rebose, una rápida o una compuerta deslizante). En la figura 9 se muestran tres casos que se explicarán a continuación.

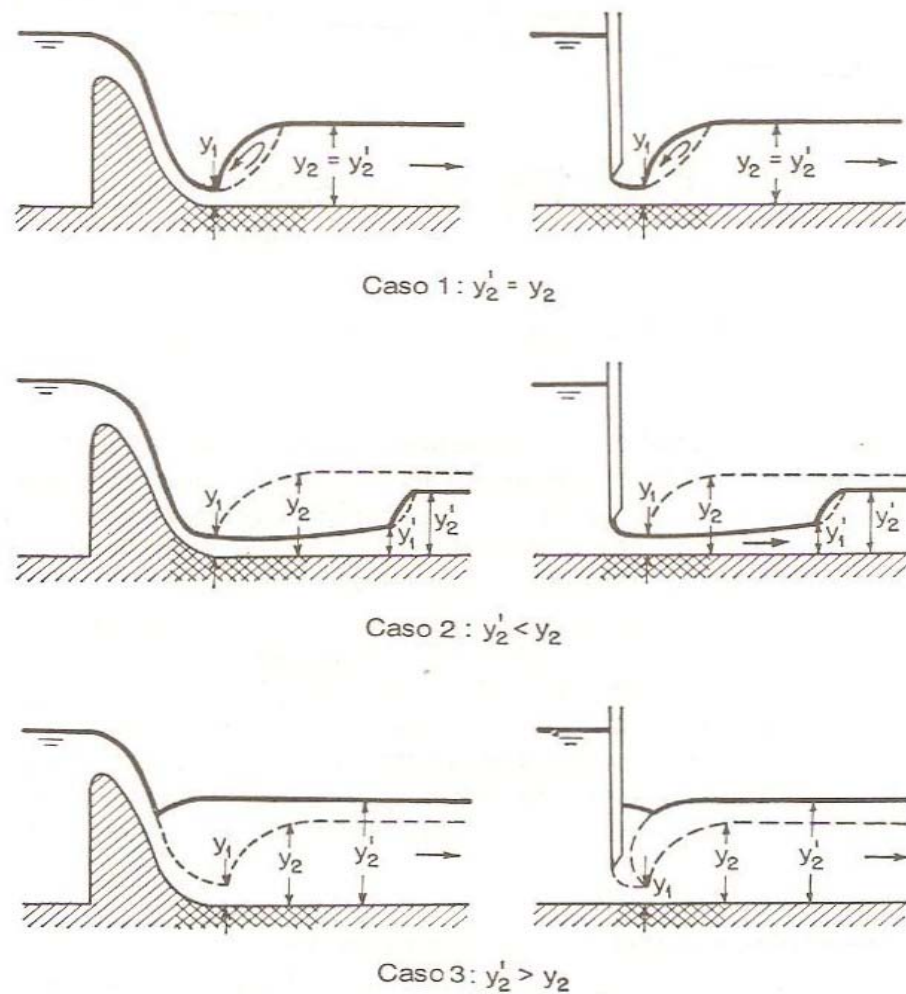


Figura 9 – Efecto de la Profundidad de Salida en Formación de un Resalto Hidráulico Aguas Debajo de un Vertedero o por Debajo de una Compuerta Deslizante. Fuente ^[2]

El caso 1 representa el modelo para el cual la profundidad de aguas abajo y_2' es igual a la profundidad y_2 secunete a y_1 . En este caso los valores de F_1 , y_1 y y_2' (= y_2) van a satisfacer la ecuación 2.11 y el resalto ocurrirá sobre un piso sólido inmediatamente delante de la profundidad y_1 . Para propósitos de protección contra la socavación, este es un caso ideal. Una objeción importante a este modelo, sin embargo, es que una pequeña diferencia entre los valores reales y supuestos de los coeficientes hidráulicos relativamente puede causar que el resalto se mueva hacia

aguas abajo desde su posición estimada. En consecuencia, siempre es necesario algún dispositivo para controlar su posición.

El caso 2 representa el patrón para el cual la profundidad de salida y'_2 es menor que y_2 . Esto significa que la profundidad de salida del caso 1 se disminuye. Como resultado, el resalto se desplazará hacia aguas abajo hasta un punto donde se satisfaga nuevamente la ecuación 2.11. En lo posible, este caso debe evitarse en el diseño, debido a que el resalto rechazado fuera de la zona resistente a la socavación ocurrirá en un lecho de cantos rodados sueltos o, peor aún, en un canal completamente desprotegido, dando como resultando una erosión severa. La solución para el diseño es utilizar cierto control en el fondo del canal, el cual incrementará la profundidad de agua a la salida y asegurará un resalto dentro de la zona protegida.

En caso 3 representa un modelo en el cual la profundidad de salida y'_2 es mayor que y_2 . Esto significa que la profundidad de salida con respecto al caso 1 se incrementa. Como resultado, el resalto se verá forzado hacia aguas arriba, y finalmente puede ahogarse en la fuente y convertirse en un resalto sumergido. Este tal vez es el caso más seguro para el diseño, debido a que la posición del resalto sumergido puede fijarse con rapidez. Desafortunadamente el diseño no es eficiente, debido a que se disipará muy poca energía.

Condiciones a la Salida:

En la descripción anterior se supone que la profundidad de la salida tiene una cierta posición fija, para la cual su profundidad y'_2 es igual a la profundidad seciente y_2 o diferente de ella. Sin embargo, en la mayor parte de los problemas prácticos, la profundidad de agua a la salida fluctúa, debido a cambios en el caudal de flujo en el canal. En tales casos, a menudo se dispone de una curva de calibración de la profundidad de salida que muestra la relación entre el nivel de salida y'_2 y el caudal Q . De la misma manera, puede construirse una curva de calibración del resalto para

mostrar la relación entre la profundidad secuente y_2 y el caudal Q . Debido a la diferencia en la posición relativa de las dos curvas de calibración, Leliavsky sugirió que el diseño puede considerarse según cinco diferentes clases de condiciones, mostrada en la figura 9.

El caso 1 representa una condición ideal para la cual las dos curvas de calibración siempre coinciden. Esto significa que existe el caso 1 de la figura 9 y que siempre se formará un resalto en el lugar deseado sobre la zona protegida para todos los caudales. Condiciones como esta rara vez se encuentran en la naturaleza.

El caso 2 representa las condiciones para las cuales la curva de calibración del resalto siempre se encuentra en un nivel mayor que la curva de calibración de profundidad de salida. Esto significa que siempre existe el caso dos de la figura 9 (es decir, la profundidad de salida es menor que la secuente) y que el resalto se formará en un lugar alejado hacia aguas abajo. Un método efectivo para asegurar que el resalto ocurra en la zona protegida es utilizar bloques para crear un cuenco disipador.

El caso 3 representa las condiciones para las cuales las curvas de calibración para el resalto se encuentran siempre a un nivel menor que la de calibración de profundidad de salida. Esto significa que siempre ocurre el caso 3 de la figura 9 (es decir, la profundidad de salida es mayor que la secuente) y que el resalto se moverá hacia aguas arriba y tal vez se ahogará en la fuente. En consecuencia, se disipará muy poca energía. Un método efectivo para asegurar un resalto es construir una zona de aproximación por encima del nivel del lecho del canal. La pendiente de la aproximación puede ser tal que las condiciones apropiadas para un resalto se desarrollen allí para todos los caudales. Otro método es proveer una caída en el fondo del canal para bajar la profundidad de salida.

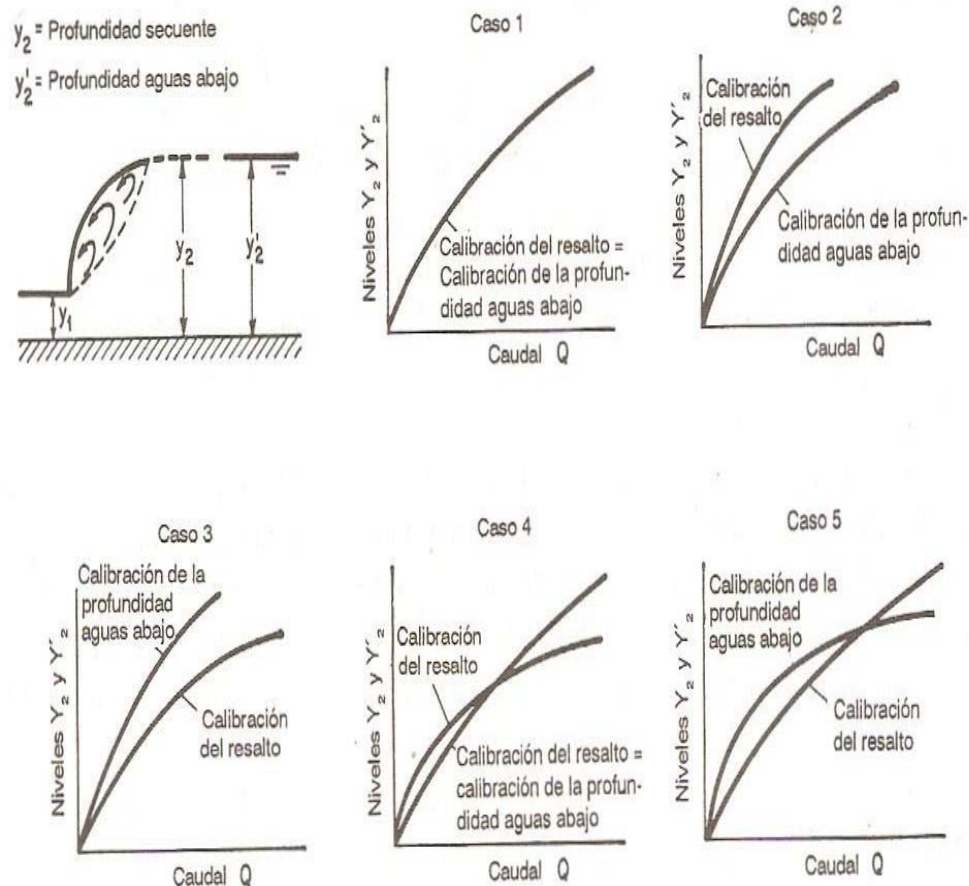


Figura 10 – Clasificación de las Condiciones de Profundidad de Salida para el Diseño de Obras de Protección contra la socavación. Fuente ^[2]

El caso 4 representa las condiciones para las cuales la curva de calibración del resalto se encuentra a un nivel mayor que la de calibración de profundidad de salida para caudales bajos pero a un nivel menor para caudales altos. Un método efectivo para asegurar un resalto es proveer un cuenco disipador para formarlo a bajos caudales y combinar el cuenco con una aproximación inclinada para desarrollarlo a satisfacción para todos los caudales.

El caso 5 representa las condiciones para las cuales la curva de calibración del resalto se encuentra a un nivel más bajo que la de calibración de profundidad de salida para caudales bajos pero a un nivel más alto para caudales altos. Un método efectivo para asegurar el resalto es incrementar la profundidad de aguas abajo lo suficientemente mediante la construcción de una piscina de aquietamiento formándolo así para caudales altos.

Tipos de Resalto y sus Recomendaciones:

Al considerar los diferentes tipos de resalto hidráulico descritos el U.S. Bureau of Reclamation da las siguientes recomendaciones prácticas:

- Todos los tipos de resalto se encuentran en el diseño de cuencos disipadores.
- El resalto débil no requiere bloques o consideraciones especiales. Lo único que se necesita es dar la longitud apropiada al cuenco, la cual es relativamente corta.
- El resalto oscilante, encontrado a menudo en el diseño de estructuras de canales, presas de derivación y aun obras de descarga es difícil de manejar. En lo posible, deben evitarse los resaltos con número de Froude dentro del rango 2.5 a 4.5. En muchos casos no pueden evitarse el uso de este resalto pero, en otros casos, alternando las dimensiones puede llevarse al rango deseable. Los bloques deflectores o accesorios tienen muy poco valor. Las ondas son la principales fuente de dificultad, por consiguiente pueden utilizarse supresores de ondas diseñados para manejarlas.
- No se encuentra una dificultad particular para el resalto estacionario. Arreglos de deflectores y de bloques son muy útiles como medios para acortar la longitud del cuenco disipador.
- A medida que el número de Froude aumenta, el resalto se vuelve más sensible a la profundidad de salida. Para números de Froude tan bajos como 8, se

recomienda una profundidad de salida mayor que la seciente para asegurar que el resalto permanecerá en la zona protegida.

- Cuando el número de Froude es mayor que 10, un cuenco disipador de resalto puede no ser lo más económico. En este caso, la diferencia entre las profundidades inicial y seciente es alta y, por lo general, se requiere un cuenco muy profundo con muros de contención muy altos. El costo del cuenco disipador no compensa los resultados obtenidos.^[2]

2.11.9. Control Del Resalto Mediante Obstáculos

El resalto hidráulico puede controlarse o afectarse por medio de obstáculos de distintos diseños, como por ejemplo los vertederos de cresta delgada, de cresta ancha, y subidas y descensos abruptos en el fondo del canal. El objetivo del obstáculo es asegurar la formación del resalto y controlar su posición en todas las condiciones probables de operación.

Se ha demostrado por medio de experimentos que las fuerzas que actúan sobre el obstáculo en un resalto disminuyen rápidamente hasta un mínimo a medida que el extremo de aguas abajo del resalto se mueve hacia aguas arriba hasta una posición por encima del obstáculo. Desde ahí en adelante la fuerza se incrementa con lentitud hasta un valor constante a medida que el resalto se aleja más hacia aguas arriba. Dicho cambio en la fuerza sobre el obstáculo tal vez se debe a un cambio en la distribución de velocidades desde un extremo del resalto hasta el otro, ya que la distribución no uniforme de velocidades es una característica de un flujo rápidamente variado como este. Como resultado, el momentum en la sección de distribución no uniforme se incrementa de manera sustancial. En teoría, el control del resalto hidráulico mediante obstáculos puede analizarse utilizando la teoría del momentum. Debido a la falta de conocimiento preciso sobre la distribución de velocidades, el

análisis teórico no puede predecir el resultado cuantitativo con exactitud. La información útil para propósitos de diseño se basa en estudios experimentales.

El análisis dimensional muestra que la relación entre el número de Froude F_1 del flujo de aproximación, la altura h del obstáculo, la profundidad de aproximación y_1 , la profundidad y_2 aguas arriba del obstáculo, y la profundidad de aguas abajo y_3 puede expresarse como:

$$\frac{h}{Y_1} = \phi\left(F_1, \frac{x}{y_2}, \frac{y_3}{y_1}\right) \quad (2.17)$$

Esta función puede determinarse cuantitativamente mediante estudios sobre modelos. La posición exacta del resalto, controlada por el obstáculo, no puede determinarse de manera analítica. En el estudio sobre modelos, esta posición puede representarse por la relación entre X y y_2 , constante en cada prueba, con una magnitud suficiente para asegurar un resalto completo. En el diseño, la longitud de un cuenco disipador debe ser por lo menos igual a X . Sin embargo, por razones económicas, la longitud del cuenco puede diseñarse para valores menores que X , siempre y cuando las altas velocidades en el fondo al final del cuenco alcancen un valor seguro para las condiciones del canal aguas abajo.^[2]

2.11.9.1.- Control Mediante un Vertedero de Cresta Delgada

Basado en el análisis teórico y en datos experimentales, Forster y Skrinde desarrollaron un diagrama (Figura 11) que muestra las relaciones entre: el número de Froude de flujo de aproximación, la razón entre la altura del vertedero h y la profundidad de aproximación y_1 , y la razón entre la distancia X desde el pie del resalto hasta el vertedero y la profundidad y_2 aguas arriba de éste.

Este diagrama permite un análisis del efecto de un vertedero determinado para condiciones conocidas de aproximación y de profundidad de salida, siempre y cuando la profundidad de salida normal y_3 no afecte el caudal por encima de la cresta del vertedero (Esta condición la observó por primera vez Bazin y posteriormente Bakhmeteff la demostró teóricamente), es decir, siempre que $y_3 < y_2 - 0.75h$. Por lo general prevalecen condiciones no sumergidas durante un amplio rango de caudales. Luego y_3/y_1 de la ecuación 2.15 puede eliminarse. Si ocurre sumergencia, el resalto se mueve hacia aguas arriba con un posible ahogamiento.

En el sistema, cualquier punto se representa con un par de coordenadas $(F, h/y_1)$. Si el punto se localiza dentro de las curvas, ocurrirá el resalto hidráulico, con su posición relativa indicada por el valor interpolado correspondiente de X/y_2 . Los puntos por encima y a la izquierda de una curva interpolada representan las condiciones en las cuales el vertedero es muy alto, de tal modo que el resalto se moverá hacia aguas arriba y tal vez se ahogará en la fuente. Los puntos a la derecha de la curva representan las condiciones en las que el vertedero es muy bajo, de tal manera que el resalto se moverá hacia aguas abajo y posiblemente desaparecerá. Si el vertedero es tan bajo, puede sobrepasarse sólo mediante un aumento superficial en forma de onda solitaria, originando una oleada estacionaria.

Para propósitos de diseño, se propone utilizar la curva $X/y_2 = 5$ del diagrama. La experiencia en laboratorio ha demostrado que el vertedero más alto requerido no necesariamente ocurre en las condiciones de caudal máximo. En consecuencia, tal vertedero debe tener el mayor valor requerido de h dentro del rango de caudal esperado, como se determina mediante el diagrama.^[2]

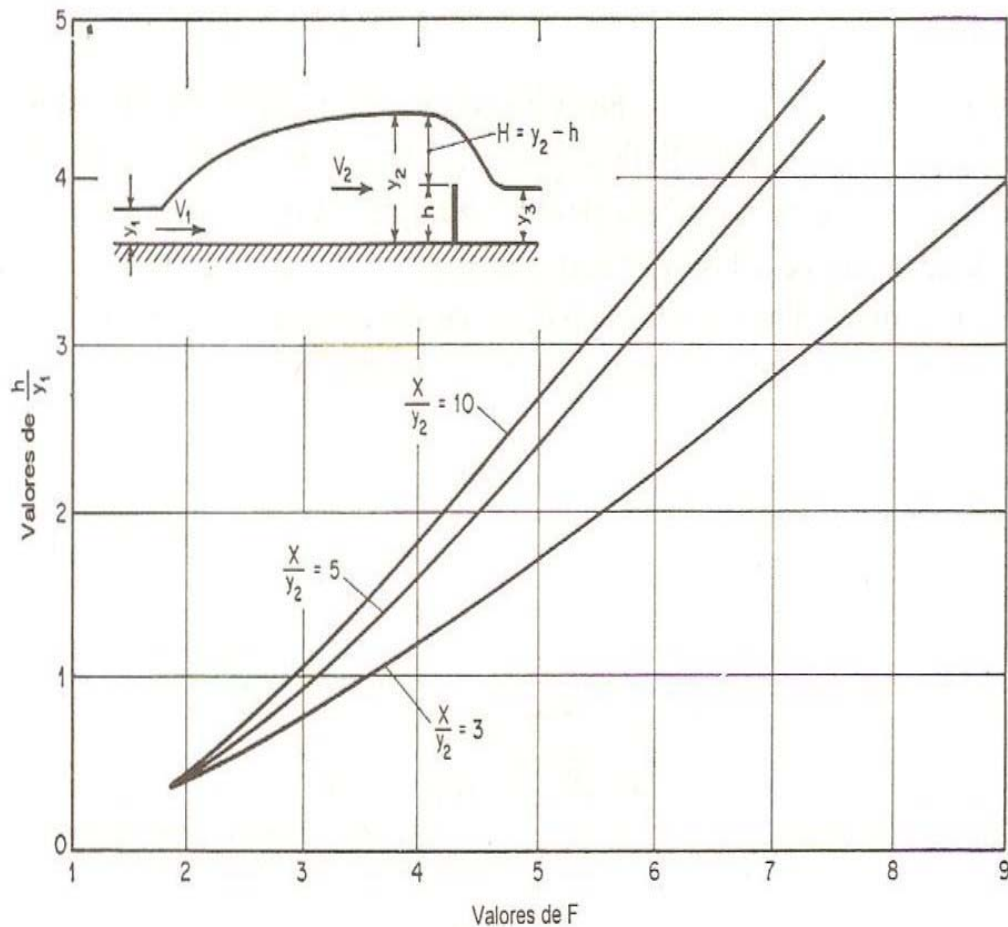


Figura 11 – Relaciones Experimentales entre F , h/y_1 y X/y_2 para un Vertedero de Cresta Delgada (Según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]

2.11.9.2.- Control Mediante un Vertedero de Cresta Ancha

Si la profundidad de aguas abajo es menor que la profundidad crítica sobre el vertedero, es decir, si $y_3 < (2y_2 + h)/3$, el nivel de salida no afectará de manera significativa la relación entre la elevación de la profundidad aguas arriba y el caudal. Luego el caudal por unidad de ancho del vertedero puede escribirse como:

$$q = 0.433\sqrt{2g}\left(\frac{y_2}{y_2 + h}\right)^{1/2} H^{3/2} \quad (2.18)$$

Como $q = V_1 y_1$, $H = y_2 - h$ y $F_1 = V_1(g y_1)^{1/2}$, la ecuación anterior puede reducirse a :

$$2.667 F_1^2 \left(1 + \frac{h/y_1}{y_2/y_1}\right) = \left(\frac{y_2}{y_1} - \frac{h}{y_1}\right)^3 \quad (2.19)$$

Cuando un resalto hidráulico está influido por el vertedero, y_2/y_1 puede relacionarse con F por medio de la ecuación 2.11, entonces la ecuación 2.19 se convierte en la siguiente:

$$\frac{21.33 F_1^2}{\sqrt{1 - 8 F_1^2} - 1} = \frac{\left(\sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1 - 2h/y_1\right)^2}{\left(\sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1 + 2h/y_1\right)} \quad (2.20)$$

Esta ecuación da la relación entre h/y_1 y F_1 puede graficarse como la curva mostrada en la figura 12. Forster y Skrinde encontraron que esta curva coincide con los datos experimentales para una elevación abrupta con $y_3 = y_c$ para $X = 5(h + y_3)$. A pesar de la falta de datos experimentales adicionales, esta curva puede utilizarse como guía para el dimensionamiento de un cuenco disipador con un vertedero de cresta ancha como control del resalto, siempre y cuando $y_3 < (2y_2 + h)/3$.

Un vertedero de cresta ancha tiene ciertas ventajas en comparación con algunos otros tipos de control. Tiene una estabilidad estructural mayor que un vertedero de cresta delgada y a menudo requiere menores costos de excavación que una elevación abrupta.^[2]

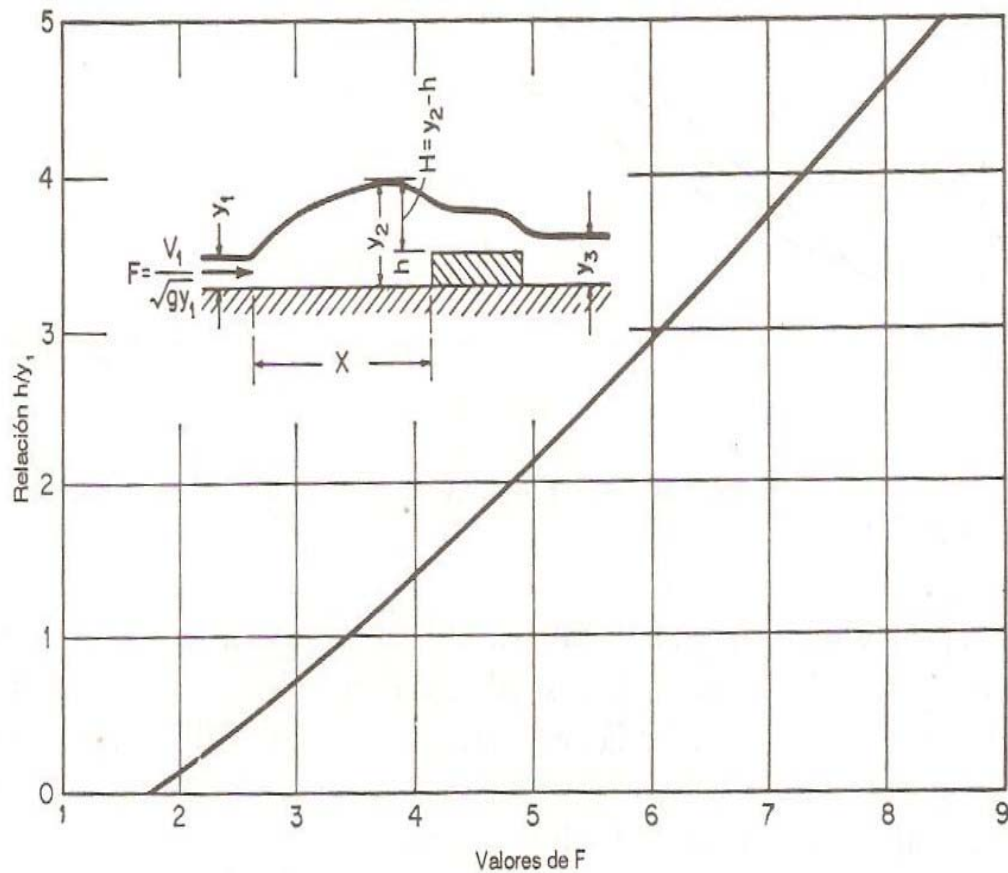


Figura 12 – Relaciones Analíticas entre F_1 y h/y_1 para un Vertedero de Cresta Ancha (según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]

2.11.9.3.- Control Mediante una Elevación Abrupta

Forster y Skrinde a partir de datos experimentales desarrollaron un diagrama (Figura 13) que muestra las relaciones entre F_1 , y_3/y_1 y h/y_1 de una elevación abrupta para $X=5(h+y_3)$. La consistencia de las relaciones se verificó mediante un análisis teórico, utilizando la teoría de momentum, similar al hecho para un vertedero de cresta ancha. Este diagrama permite la predicción del comportamiento de una elevación abrupta cuando se conocen V_1 , y_1 , y_2 , y_3 y h .

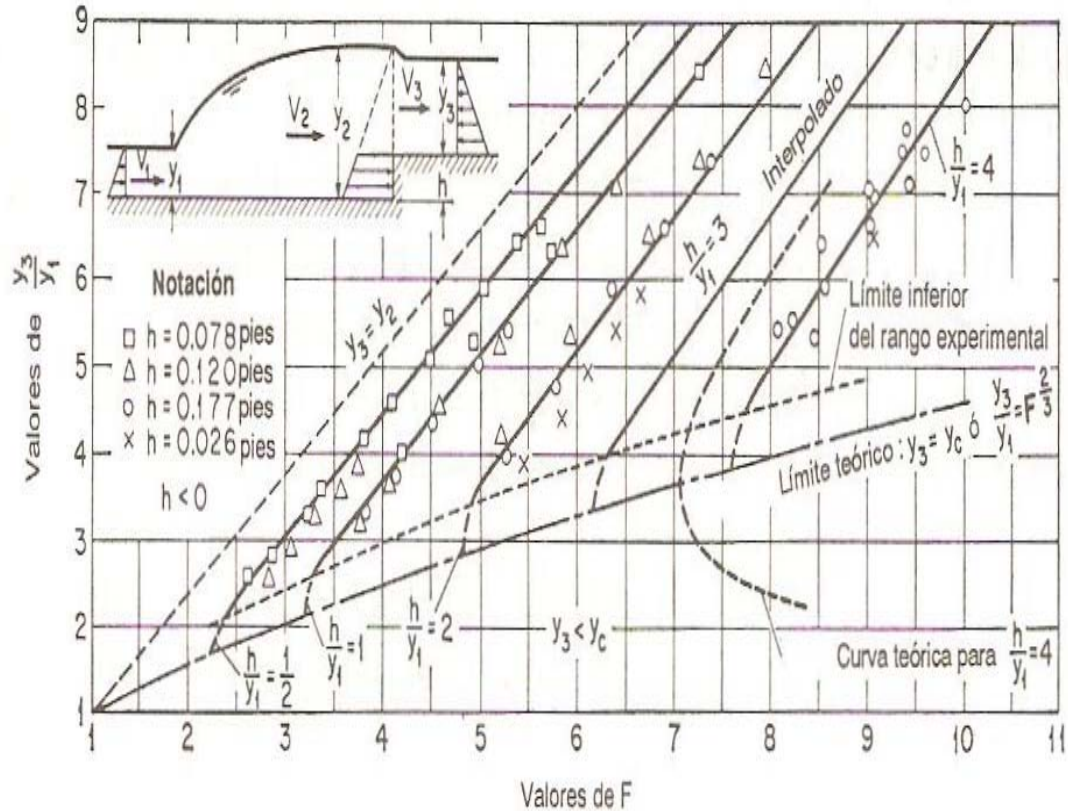


Figura 13 – Relaciones Experimentales entre F_1 , y_3/y_1 y h/y_1 para una Elevación Abrupta (según Forster y Skrinde). Fuente ^[2]

En el diagrama, un punto $(F_1, y_3/y_1)$ localizado por encima de la línea $y_3 = y_2$ representa la condición $y_3 > y_2$, para la cual la condición abrupta sólo servirá para incrementar el efecto del ahogamiento. En un punto localizado dentro del rango experimental entre las líneas para $y_3 = y_2$ y $y_3 = y_c$, su posición con relación a la curva h/y_1 correspondiente indica el efecto de la elevación abrupta sobre el patrón de flujo. Luego, si el punto se localiza en la curva h/y_1 correspondiente, se formará un resalto con $X = 5(h + y_3)$. Si se localiza a la izquierda y por encima de la curva, la elevación es muy alta y el resalto se verá forzado hacia aguas arriba y se ahogará. Si se localiza

a la derecha de la curva, la elevación es muy baja y el resalto se verá forzado hacia aguas abajo y en dirección de la elevación abrupta y desaparecerá.

Si el punto $(F_1, y_3/y_1)$ se localiza en el diagrama por debajo de la línea $y_3 = y_c$, entonces el flujo normal aguas abajo es supercrítico. Al resalto seguirá una sección crítica creada por encima de la cresta de la elevación abrupta, de manera que ésta actúa como un vertedero, lo cual implica que puede utilizarse en el diagrama de diseño (Figura 11) para el vertedero de cresta delgada.

Para propósitos de diseño puede utilizarse el diagrama (Figura 13) para determinar la longitud y profundidad necesaria de un cuenco disipador cuando se conocen V_1, y_1 y y_3 . Se propone que primero se defina un punto $(F_1, y_3/y_1)$ para las condiciones de máximo caudal y se determine el correspondiente valor de h/y_1 mediante interpolación. Al repetir este procedimiento para otros caudales dentro del rango de caudales esperado, puede obtenerse un valor de h requerido mayor, que debe utilizarse para la elevación más alta. También puede determinarse una altura mínima de elevación necesaria para prevenir que el resalto desaparezca.^[2]

2.11.9.4.- Control del Resalto Mediante una Caída Abrupta

El control del resalto mediante obstáculos es útil si la profundidad de aguas abajo es menor que la profundidad seciente para un resalto normal, pero si la primera es mayor que la segunda, debe utilizarse una caída en el piso del canal para asegurar un resalto. Por lo general esta condición ocurre a la salida de una expansión con flujo supercrítico.

Para determinado número de Froude de aproximación, la profundidad de aguas debajo de una caída puede localizarse en cualquiera de cinco posibles regiones, como se muestra en la figura 13 a). El límite inferior de la región 1 es la profundidad para la

cual el resalto empezará a viajar hacia aguas arriba. El límite superior de la región 5 es la profundidad para la cual el resalto empezará a moverse hacia aguas abajo. En efecto, la caída no controla el resalto en estas dos regiones porque éste es estable y la caída es efectiva para sus propósitos deseados sólo en las regiones 2 y 4. La región intermedia 3 representa un estado ondulatorio de flujo sin un frente de rompimiento.

Al aplicar las ecuaciones de continuidad y de momentum en un análisis similar al realizado para el vertedero de cresta ancha, Hsu demostró que para la región 2:

$$F_1^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{y_3/y_1}{1 - y_3/y_1} \right) \left(1 - \left(\frac{y_3}{y_1} - \frac{h}{y_1} \right)^2 \right) \quad (2.21)$$

Y para la región 4:

$$F_1^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{y_3/y_1}{1 - y_3/y_1} \right) \left(\left(\frac{h}{y_1} + 1 \right)^2 - \left(\frac{y_3}{y_1} \right)^2 \right) \quad (2.22)$$

Estas ecuaciones se verificaron mediante experimentos. Las relaciones entre F_1 , y_3/y_1 y h/y_1 se muestran en la figura 14.

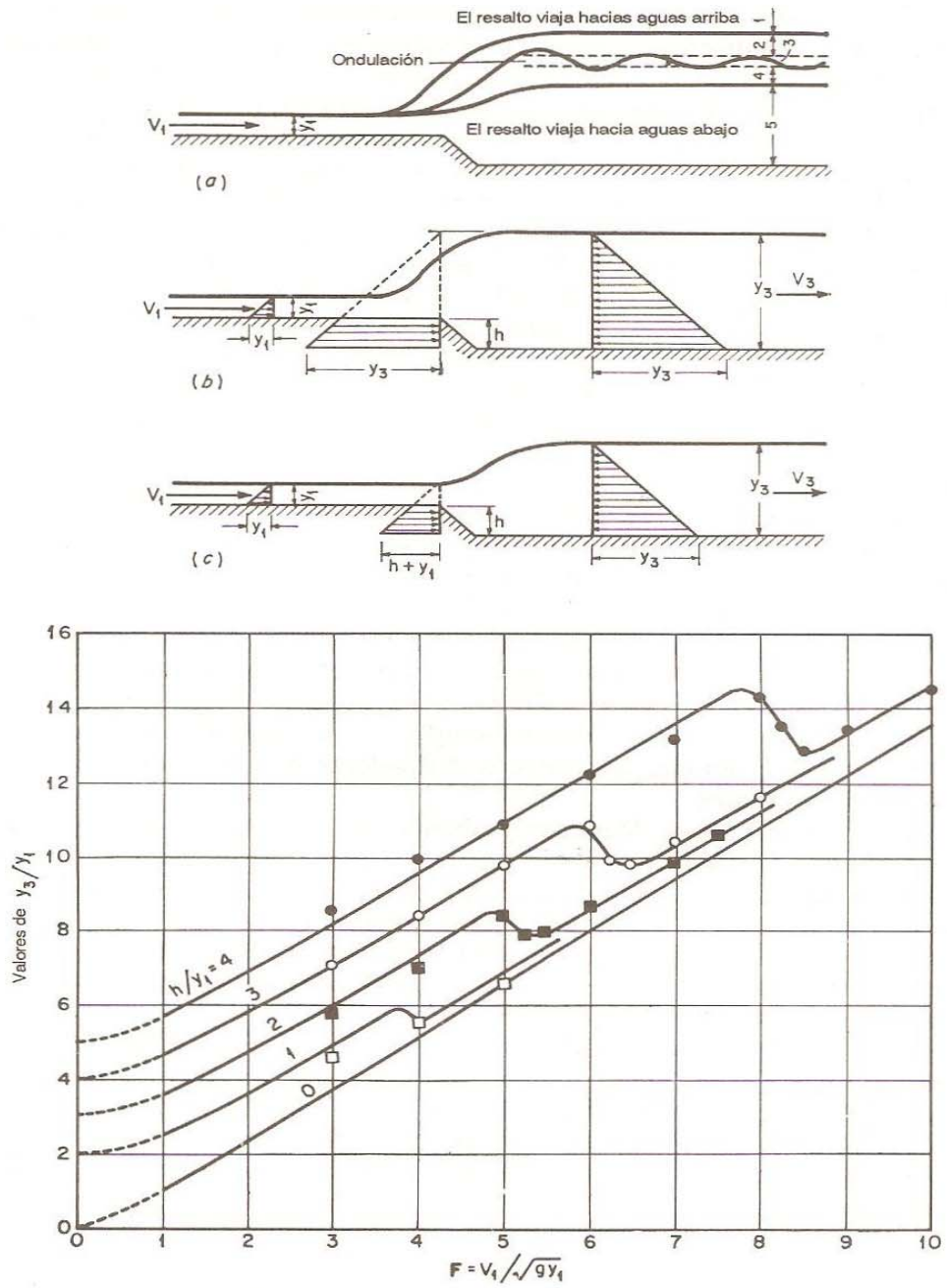


Figura 14 – Relaciones Experimentales y Analíticas entre F , y_3/y_1 y h/y_1 , para una Caída Abrupta (según E. Y. Hsu). Fuente [2]

En esta figura cada curva para determinado h/y_1 tiene dos ramas relativamente rectas conectadas mediante una parte recta corta cerca de la mitad. El brazo del lado izquierdo representa la condición correspondiente a la región 2 y el del lado derecho, la región 4. Este diagrama puede utilizarse para propósitos de diseño con el fin de determinar la altura relativa de caída requerida para estabilizar un resalto en cualquier combinación de caudal, profundidad de aguas arriba y profundidad de aguas abajo. [2]

2.11.9.5.- Cuenco Disipador de Diseño Generalizado

En trabajos importantes o en aquellos que involucran un gran número de cuencos disipadores, a menudo se necesitan diseños generalizados de cuencos por razones económicas y para cumplir requerimientos específicos. Estos diseños pueden desarrollarse a través de años de experiencia y observaciones sobre estructuras existentes, o mediante investigaciones en modelos, o ambos. Los cuencos diseñados de esta manera a menudo están provistos de accesorios especiales, incluidos bloques de rápida, umbrales y pilares deflectores.

Los bloques en la rápida se utilizan para conformar una estructura dentada a la entrada del cuenco disipador. Su función es partir el chorro de entrada y elevar una parte de él desde el piso, produciendo una longitud de resalto más corta que la que sería posible sin ellos. Estos bloques también tienden a estabilizar el resalto y por consiguiente a mejorar su comportamiento.

Los umbrales dentados, o sólidos, a menudo se colocan al final del cuenco disipador. Su función es reducir además la longitud del resalto y controlar la socavación. Para cuencos grandes diseñados para altas velocidades de entrada, el umbral por lo general es dentado para llevar a cabo la función adicional de difundir la parte residual del chorro de alta velocidad que puede alcanzar el extremo del cuenco.

Los pilares deflectores son bloques localizados en posiciones intermedias sobre el piso del cuenco. Su función es disipar la energía principalmente mediante una acción de impacto. Los bloques deflectores son muy útiles en pequeñas estructuras con velocidades de entrada bajas. Sin embargo, no son recomendables cuando las altas velocidades hacen posible la cavitación. En ciertas circunstancias, deben diseñarse para soportar el impacto de hielo o desechos flotantes.

Existen muchos diseños generalizados de cuencos disipadores que utilizan un resalto hidráulico como medio para la disipación de energía, ejemplo de ellos son:

1.- El cuenco SAF. Se recomienda para ser utilizado en estructura pequeñas de vertederos, obras de salida y canales donde $F_1 = 1.7$ a 17 . La reducción en la longitud del cuenco conseguida por el uso de accesorios diseñados para el mismo es de alrededor del 80% (70% a 90%).

2.- El cuenco USB II. Se recomienda para ser utilizado en estructuras grandes de vertederos, canales, etc., donde $F_1 > 4.5$. La longitud del resalto y del cuenco se reduce alrededor del 33% mediante el uso de accesorios.

3.- El cuenco USB IV. Se recomienda para ser utilizado con resaltos de $F_1 = 2.5$ a 4.5 , lo cual a menudo ocurre en estructuras de canal y en presas de derivación. Este diseño reduce las ondas excesivas creadas en resaltos imperfectos.

Nótese que estos diseños sólo son ejemplos comunes y debe tenerse cuidado al utilizarlos en aplicaciones de cuencos disipadores en condiciones de diseño completamente diferentes.

El principio del cuenco disipador también se aplica al diseño de una caída de canal (o descenso de canal), la cual es una estructura construida para asegurar un descenso en la superficie del agua de un canal y una destrucción segura de la energía liberada de esta manera. La caída del canal algunas veces se diseña con un ancho contraído parecido al de la canaleta Parshall, y se conoce como caída contraída, la

cual puede construirse a bajo costo en conjunto con un puente y utilizarse también como un medidor o regulador. [4]

2.11.9.6.- Vertedero de Caída Recta

La napa de una caída libre aireada de un vertedero de caída recta (Figura 14) invertirá su curvatura y se convertirá suavemente en un flujo supercrítico en el piso de aguas abajo. En consecuencia, puede formarse un resalto hidráulico aguas abajo. Con base a sus propios datos experimentales y los de Moore y Bakhmeteff y Feodoroff, Rand encontró que la geometría de flujo en vertedero de caída recta pueden describirse mediante funciones del número de caída, el cual se define como:

$$D = \frac{q^2}{g \cdot h^3} \quad (2.23)$$

Donde q es el caudal por unidad de ancho de la cresta de la caída, g es la aceleración de gravedad y h es la altura de la caída. Las funciones son:

$$\frac{L_d}{h} = 4.30D^{0.27} \quad (2.24)$$

$$\frac{y_p}{h} = 1.00D^{0.22} \quad (2.25)$$

$$\frac{y_1}{h} = 0.54D^{0.425} \quad (2.26)$$

$$\frac{y_2}{h} = 1.66D^{0.27} \quad (2.27)$$

Donde L_d es la longitud de caída, es decir, la distancia desde el muro de caída hasta la posición de la profundidad y_1 ; y_p es el nivel de la piscina bajo la napa; y_1 es la

profundidad en el pie de la napa o el inicio del resalto hidráulico; y y_2 es la profundidad seciente de salida correspondiente a y_1 . La posición de la profundidad y_1 puede determinarse aproximadamente mediante la línea ABC, que une el punto A sobre el piso en la posición donde ocurre y_1 , el punto B en el eje de la napa a la altura de la profundidad de la piscina y el punto C en el eje de la napa sobre la cresta de la caída. El hecho de que estos tres puntos se localicen sobre una línea se verificó experimentalmente.^[2]

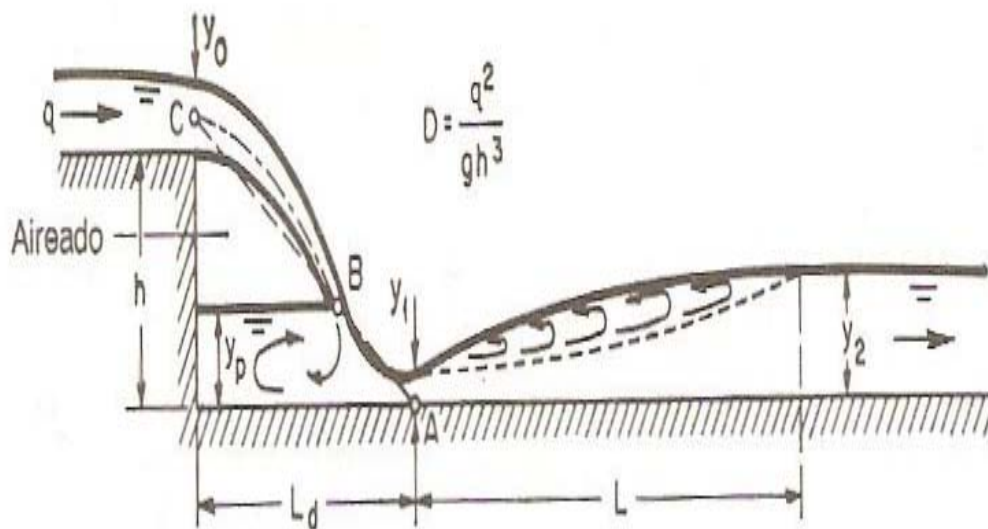


Figura 15 – Geometría del Flujo en un Vertedero de Caída Recta. Fuente ^[2]

Para una altura h y un caudal q por unidad de ancho, dados en la cresta de la caída, la profundidad seciente y_2 y la longitud de la caída L_d puede calcularse mediante las ecuaciones (2.24) y (2.27). Si la profundidad de salida es menor que y_2 el resalto hidráulico se moverá hacia aguas abajo, y si es mayor, el resalto se ahogará. A medida que el nivel de salida aumente, la cresta del vertedero se sumergirá. El vertedero será aún efectivo si la sumergencia no alcanza la profundidad de control en la cresta del mismo. La superficie superior de la napa sumergida puede suponerse

como una línea tangente a la de la napa libre en el punto donde ésta entra en el agua de aguas abajo.

En el análisis anterior se supuso que la longitud de la cresta del vertedero es igual al ancho del canal de aproximación. Si la longitud de la cresta es menor que el ancho del canal de aproximación, la contracción en los extremos del vertedero será tan grande que los extremos de la napa pueden caer más allá de los muros laterales del cuenco disipador, y la concentración de velocidades en el centro de la salida puede causar socavación adicional en el canal de aguas abajo. Por consiguiente, es importante diseñar el extremo de aproximación de manera apropiada mediante la conformación del canal de aproximación para reducir el efecto de las contracciones laterales.

El vertedero de caída recta por lo general lo instala el U.S. Soil Conservation Service en pequeñas estructuras de drenaje. La forma más simple de este tipo de estructura, conocida como *vertedero de caída con entrada rectangular*, es una caja rectangular abierta en la parte superior y en el extremo de aguas abajo. La escorrentía de aguas de lluvia se dirige hacia la caja mediante diques y muros, entra por el extremo de aguas arriba y por los dos lados, y sale a través del extremo abierto de aguas abajo hacia un canal de descarga.

Al colocar una malla de hierro o parrilla sobre la superficie del vertedero de caída recta, el chorro de caída puede separarse en un determinado número de láminas delgadas largas de agua, que caen casi verticalmente hacia el canal de aguas abajo. Luego la energía del chorro puede disiparse sin necesidad de utilizar un resalto hidráulico y, por consiguiente, puede reducirse la acción de ondas si $F_1=2.5$ a 4.5 . En este diseño, la parrilla puede estar compuesta por una serie de vigas, como rieles de acero, canaletas de hierro o madera, que formen ranuras paralelas a la dirección del flujo. El ancho de la ranura es igual a dos tercios del ancho de las vigas. Si los rieles

están inclinados hacia abajo formando un ángulo de 3° o mayor, la parrilla misma realiza su limpieza. Si la parrilla se inclina hacia arriba, puede controlar el nivel del agua del lado aguas arriba, pero puede generar un problema de limpieza. La longitud de las ranuras de la parrilla puede calcularse mediante:

$$Lg = \frac{12.5 * Q}{W.N\sqrt{2g.y_l}} \quad (2.28)$$

Donde Q es el caudal total en m³/s, W es el ancho de un espacio en metros, N es el número de espacios, g es la aceleración de gravedad y y_l es la profundidad de flujo en el canal de aguas arriba.^[2]

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- Nivel de investigación

La construcción del equipo de resalto hidráulico a ser utilizado en el nuevo laboratorio de hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Puerto la Cruz se llevó a cabo mediante una investigación explicativa, donde se busca no solo el estudio del comportamiento del fenómeno del resalto hidráulico sino también obtener las condiciones idóneas para que este se produzca y así lograr realizar las prácticas en el equipo diseñado.

3.2.- Tipo de investigación

En el diseño y construcción del equipo hidráulico se utilizó una investigación de tipo experimental en su mayoría debido a que se eligió los materiales y equipos con los cuales va a contar las diferentes alternativas de diseño, además se eligió cada una de las partes del diseño seleccionado y se maneja en todo momento las condiciones que se requería para que el fenómeno que se quería estudiar, en este caso el de resalto hidráulico, se produjera. En una pequeña parte se utilizó una investigación de campo, ya que fue necesario ir al mercado a investigar las características de los materiales y equipos que se seleccionaron para cada alternativa de diseño.

3.3.- Población y muestra

Para llevar a cabo esta investigación se estableció en principio que la población estará conformada por los diversos materiales existentes en la zona a los cuales se les realizó un estudio sobre sus propiedades, ventajas y desventajas; mientras que la muestra será el equipo que se construyó en base a los materiales en estudio.

3.4.- Tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó fue el muestreo estratificado en donde se dividió los materiales en subconjuntos según la función que iban a cumplir para la construcción de las diferentes partes que conforman el equipo diseñado.

3.5.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1.- Recopilación y Análisis de Datos

Una técnica utilizada en esta etapa fue la inspección visual del laboratorio para constatar el estado del antiguo equipo (en estudio) del laboratorio. También se utilizó esta técnica para visualizar las características físicas y técnicas del nuevo laboratorio.

3.5.2.- Observación Directa

Se utilizó esta técnica para visualizar los diferentes materiales y sus características con que se podía construir el equipo hidráulico, y una vez construido dicho equipo se volvió a utilizar esta técnica para obtener los datos de las prácticas correspondientes.

3.5.3.- Análisis de Datos

El análisis de datos se llevo a cabo mediante la representación de gráficos y tablas de los resultados obtenidos con el cual se podrá calcular el tipo de resalto que se presentará en cada una de las prácticas realizadas.

3.6.- Etapas de la investigación

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo pasó por varias etapas descritas a continuación:

3.6.1.- Etapa I: Revisión bibliográfica

Esta etapa consistió en la recopilación de la información necesaria para la el desarrollo del proyecto, esto se logro mediante la revisión de textos, revistas, manuales, internet y cualquier bibliografía que se relacione con el tema.

3.6.2.- Etapa II: Visualización de las Características Físicas y Técnicas del Equipo y su Lugar de Ubicación en el Nuevo Laboratorio

En esta etapa se definirá las características del equipo que se va a construir, se procederá a visitar el lugar en el cual estará ubicado el equipo en el nuevo laboratorio.

3.6.3.- Etapa III: Estudio de los Posibles Materiales para la Construcción del Equipo

Luego de haber recopilado cualquier información de interés y haber observado el lugar en donde se colocará el nuevo equipo, se procederá a realizar un estudio en el

mercado de los posibles materiales para su construcción tomando en cuenta sus ventajas y desventajas.

3.6.4.- Etapa IV: Alternativas de Construcción del equipo y su Diseño

Con la información que se obtuvo de los posibles materiales se realizaron tres alternativas de diseños, se eligió la mejor alternativa desde el punto de vista de su facilidad de construcción en cuanto a los materiales. Y se procedió a realizar el diseño del equipo, se tomaron en cuenta las pérdidas generadas por la tubería y sus accesorios, también se verificó si la bomba era la adecuada.

3.6.5.- Etapa V: Elaboración del Presupuesto y de los Cálculos Métricos

Se elaboró los cálculos métricos para obtener las cantidades de materiales que va a requerir el equipo de cada una de las alternativas de diseño. También se realizó el presupuesto base del equipo.

3.6.6.- Etapa VI: Construcción del Equipo Hidráulico

Se construyó el equipo que se diseñó siguiendo los criterios de diseños establecidos y contando con el material que se elaboró para su construcción.

3.6.7.- Etapa VII: Calibración del Equipo

Se procedió a realizar la calibración y el ajuste del equipo para su buen funcionamiento.

3.7.- Recursos necesarios

3.7.1.- Equipos

- Computadora Tipo Laptop Hp ProBook
- Calculadora HP 49G⁺
- Impresora HP serie F380
- Cámara Digital.

3.7.2.- Materiales

- Documentos bibliográficos.
- Artículos de oficina (bolígrafos, lápiz, carpetas, engrapadoras, clips, entre otros).

3.7.3.- Herramientas

- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.
- Microsoft Power Point.
- Microsoft Internet Explorer.
- Autocad 2010.

CAPITULO IV

MATERIALES Y EQUIPOS

4.1.- Tanque de descarga y tanque de alimentación

Para el diseño del tanque de descarga y el de alimentación se tomaron en cuenta los materiales y equipos existentes en el mercado, teniendo en cuenta sus características, ventajas y desventajas y criterios de selección para ser utilizados en la construcción del equipo.

4.1.1.- Fibra de vidrio.

La fibra de vidrio se obtiene gracias a la intervención de ciertos hilos de vidrio muy pequeños que al entrelazarse van formando una malla, patrón o tramo; estos hilos se van formando mediante el paso de un vidrio líquido a través de un elemento o pieza muy resistente (este proceso se lleva a cabo industrialmente).

La fibra de vidrio se caracteriza por su fragilidad, suele ser un material frágil a la hora de recibir un golpe se puede agrietar o romper. Es un material transparente y de alta dureza.

Siempre y cuando se encuentre en estado de fundición, entonces podrá ser maleable o manuable.

Su temperatura ideal para ser fundido es 1250°C. Y es un excelente aislante térmico, al tiempo es que es inerte a diversas sustancias como es el caso de los ácidos.

Se le suele usar para reforzar el plástico mediante el empleo de la fibra, que como finalidad la construcción de un tanque.

La fibra de vidrio se vende por rollos, las dimensiones son de 1.20 metros de ancho por 40 o 50 metros de largo. Estos rollos se combinan con una resina plástica catalizada especial, hasta obtener una consistencia adecuada.

4.1.2.- Láminas de Acrílico.

El acrílico es un material plástico altamente flexible, capaz de soportar largos periodos de tiempo a la intemperie. Tiene su aplicación y uso en diversos sectores, entre ellas se mencionan: publicitario, industrial, científico, construcción y transporte, entre otros.

Entre las principales ventajas que posee este material es que es muy versátil, puede fácilmente adquirir formas por diversos métodos y posee diversos acabados aplicables en pintura. Otra ventaja es su durabilidad, no presenta daños cuando esta expuesto a largos periodos de tiempo y a la intemperie y sobre todo a rayos ultravioletas, manteniendo sus colores y brillo.

Es un material más seguro que el vidrio porque no se astilla y es un excelente aislante eléctrico. Además se pueden cambiar sus colores obteniendo tonos perlados, transparentes, translucidos y fosforescentes.

El peso del acrílico es más liviano que el vidrio, la mitad. Puede ser encontrado a partir de 2 milímetros hasta 100 milímetros y con diversos acabados de superficie; satinado, rayas, prismas y texturas decorativas. En el mercado se pueden encontrar de 3 milímetros de espesores, 4,5,6,8,10,12,15,20 milímetros, las dimensiones

disponibles de las láminas son de 1.22 x 1.83 metros, 1.22 x 2.44 metros y 1.22 x 3.05 metros.

Trabajar en acrílico es muy fácil, de la misma forma que la madera, el aluminio o el bronce pero con la ventaja de ser más versátil.

Estas láminas están cubiertas por ambos lados con un papel auto adherible que las protege de rayaduras y maltratos durante su manejo, se recomienda mantener esta protección hasta la etapa final del trabajo.

Debido a que las láminas de acrílico son de material termoplástico, no se deben almacenar cerca de fuentes de calor, tales como radiadores, recipientes calientes, hornos o línea de vapor para evitar que se deforme. De igual manera debe evitarse el contacto con vapores solventes, ya que son atacados por algunos de ellos.

4.1.3.- Láminas de Hierro.

El hierro es un elemento metálico, maleable, magnético, plateado o de color blanco, se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, es el metal más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal.

Entre las ventajas que ofrece este material tenemos:

- No se dobla, rompe o cambia de forma.
- Posee larga vida económica.
- Permite acabados rectos y esquinas cuadradas.
- Posee alta resistencia a la rotura.
- Posee alta tenacidad, esta propiedad nos expresa el trabajo que realiza un metal, cuando es sometido a esfuerzos exteriores que lo deforman hasta la rotura. Esta característica nos define la trabajabilidad del metal.

- Posee conductividad eléctrica y térmica.
- Cuando se incrementa la temperatura este metal tiende a dilatarse.

Desventajas:

- Se puede producir la oxidación y la corrosión.

En el mercado se encuentran láminas de hierro pulido y estriadas, de dimensiones: 2.40 x 1 m x 2.80 mm; 2.40 x 1 m x 3.00 mm; 2.00 x 1 m x 0.60 mm; 2.00 x 1 m x 0.70 mm; 2.00 x 1 m x 0.90 mm; 2.00 x 1 m x 1.20 mm; 2.40 x 1.20 m x 0.45 mm; 2.40 x 1.20 m x 0.60 mm; 2.40 x 1.20 m x 0.70 mm; 2.40 x 1.20 m x 0.90 mm; 2.40 x 1.20 m x 1.20 mm; entre otras hasta espesores más grandes.

4.2.- tuberías

Las tuberías son conductos que cumple la función de transportar el agua y otros fluidos. Se encuentran elaboradas de diferentes materiales y de distintos diámetros. A continuación se van a mencionar las distintas tuberías posibles a ser utilizadas en construcción del equipo, disponibles en el mercado.

4.2.1.- Tuberías Plásticas PVC (Policloruro de Vinilo Rígido)

Dentro de la gama de tuberías plásticas se encuentran las tuberías de PAVCO, cuyas características se mencionan a continuación:

- Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad, buena resistencia mecánica y al impacto, lo que la hace común e ideal para la edificación y construcción.

- Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes, entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en gran número de aplicaciones.
- Es un material altamente resistente, los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años, como se comprueba en las aplicaciones tales como tuberías para la conducción de aguas potables y sanitarios.
- Posee alta resistencia a la electrolisis.
- Bajo costo de instalación y manejo, ya que ahorra en gastos de equipo especial para unir y transportar las tuberías en relación con las metálicas.
- Posee facilidad de instalación.
- Baja conductividad térmica.
- Resistente a la corrosión, esta tubería es inmune al daño causado con la corrosividad natural del suelo, esto es realmente ventajoso en comparación a la tubería metálica.
- Entre los diámetros que se encuentran disponibles en el mercado se mencionan: $\frac{1}{2}$ pulgada, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3, y hasta 8 pulgadas con una resistencia a la presión que va desde 200 hasta 500 psi.
- El PVC se debe utilizar para el agua fría solamente o respiradero. Ya que soporta agua caliente hasta 50° sin derretirse.
- En su terminado, las paredes interiores son lisas, esta característica perdura con la vida útil de la tubería y gracias a dicha característica el transporte del agua se hace mucho más fácil.
- Se degrada con los rayos ultravioleta cuando se expone a la luz solar.
- Presenta un buen comportamiento ante movimientos sísmicos o asentamientos.
- La tubería de PVC puede ser de unión soldada o mecánica.

4.2.2.- Tuberías de Hierro Galvanizado.

Estas tuberías son utilizadas para la conducción de agua, gas, aire y otros usos industriales, su presión de trabajo es la mitad de la presión de ensayo hidrostático pudiendo llegar hasta 1050 PSI. En general puede considerarse una superficie interior mas lisa en las tuberías de hierro fundido, aunque generalmente, para efectos de diseño se unen valores de C similares a 100 y 110. En el mercado se disponen de tuberías que varían de diámetro desde $\frac{1}{2}$ pulgada, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{4}$, 2 y hasta 8 pulgadas.

Comercialmente sus longitudes son:

- Rango sencillo de 5 a 7 metros.
- Rango doble de 7 a 12 metros.

4.2.3.- Tuberías de Cobre

Este tipo de tubería es usada en la conducción de gas, debido a que presentan gran ductilidad y por ende pocas fallas de fuga debido a fuertes impactos. En acueductos se utilizan para casos especiales, cuando se necesitan dobleces que no se pueden lograr con los otros materiales y accesorios.

Las tuberías de cobre ofrecen larga vida y alta resistencia a los efectos de corrosión. Para la conducción del agua, estas presentan un coeficiente de rugosidad C de 130. Entre sus características encontramos:

- No se oxida.
- No se obstruye con incrustaciones.
- Característica que garantiza su duración.

- La superficie interior de la tubería disminuye las pérdidas de presión por rozamiento.
- Presenta alta resistencia a la presión interna y externa.
- La tubería es flexible o rígida dependiendo del tipo de aleación.

Se pueden encontrar desde ½” hasta ¾”. La longitud máxima en el mercado es de 15 m.

4.2.4.- Tuberías en Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (CPVC)

- Son tuberías de gran eficiencia cuando el problema es la conducción de productos altamente corrosivos a temperatura y presión.
 - Las tuberías son de bajo peso, lo que reduce los costos de transporte, soportes más livianos, su superficie es más lisa.
 - Son fáciles de limpiar y no requiere mantención.
 - Exteriormente, la tubería posee una capa rica en resina, lo que proporciona una excelente resistencia a ambientes exteriores.
 - La temperatura máxima para el CPVC es de 80 °C dependiendo de la concentración del fluido.
 - En el mercado los diámetros que se encuentran son de ½ pulgada y de ¾ de pulgada.
 - El CPVC se puede utilizar para el abastecimiento del agua potable caliente y fría.

4.2.5.- Mangueras Plásticas.

Existen una amplia gama de marcas, tipos y diámetros que se pueden encontrar en el mercado.

4.2.5.1.- Mangueras Cristal:

Es una manguera de alta flexibilidad fabricada con doble capa compuesto de PVC, libre de cadmio. Apta para ser utilizada en sistema de aire de baja presión, de vacío, de instalaciones de conducciones de aguas u otras sustancias químicas. Es resistente a la abrasión y a numerosos productos químicos. Su transparencia permite visualizar la conducción del fluido. Es flexible pero no resiste las altas presiones ya que tiende a agrietarse. Es lisa tanto en la parte fuera como en la de dentro y su longitud máxima es 100 metros. Se disponen en el mercado diferentes diámetros desde 3/16 pulgadas, 1/4, 1/2, hasta 2 1/2 pulgadas y el espesor aumenta a medida que aumenta el diámetro.

4.2.5.2.- Mangueras de Alta Presión:

Es una manguera de alta flexibilidad fabricada con doble capa de compuesto de PVC y refuerzo adicional en fibra piliamídica. Altas para ser utilizadas en sistemas sometidos a presión, para tarea de riego o de limpieza en establecimientos industriales o agropecuarios de todo tipo. Resistentes a la abrasión y a numerosos productos químicos. No se colapsa. Y su temperatura de trabajo es de 2 °C a 60 °C. En el mercado se disponen mangueras de diámetro de 1/4, 5/16, 3/8, 1/2 pulgadas, entre otros.

4.2.5.3.- Mangueras RIFLEX:

Esta manguera se utiliza para altas presiones. Existen dos tipos, la pesada y la liviana. Son por lo general de colores, la parte de afuera es en forma de onda pero en su interior es bastante lisa. No son transparentes. Son bastante resistentes y flexibles debido a esa forma externa que las caracteriza. Se puede encontrar el diámetro requerido, desde 1" hasta 8". La longitud máxima es de 25 a 50 metros.

4.3.- Soporte

4.3.1.- Tubo Pulido

Este tipo de tubo cuadrado tiene un espesor de 1.0 mm en adelante, en el mercado se pueden encontrar diferentes dimensiones como lo son: 1x1, 1x2, 1 ½" x 1 ½", 2x2 pulgadas, en el mercado las dimensiones más grandes son 4 pulgadas por 140 mm. por 6 metros

Las longitudes son de 6 metros para todas las dimensiones.

4.4.- Bomba

La bomba a utilizar será aquella tal que sea capaz de vencer la altura dinámica total del sistema. En cuanto a los tipos de bomba, es preferible las centrífugas por las siguientes razones:

- Son las más encontradas en el mercado.
- Se puede manejar mayor cantidad de fluido.
- Las curvas de funcionamiento son más estables, características por pequeñas variaciones del caudal suministrado frente a consideraciones variables de la presión requerida.
- Elevada tolerancia en presencia de aire mezclado con el fluido bombeado.

En el mercado este tipo de bomba se vende de acuerdo a la cantidad de caudal que se requiera bombear. Se encuentran desde 0.25 Hp hasta 20 Hp (dependiendo del fabricante).

4.5.- Pintura

Para pintar el equipo se escogió entre los diferentes tipos de pintura que se encuentran en el mercado. Entre ellas tenemos:

Pintura al aceite: Tiene como conglomerantes y como aglutinante aceites vegetales secantes. No se recomienda mezclar con resinas duras. Muy utilizadas anteriormente por su flexibilidad y penetración sobre bases porosas.

Esmalte graso: Está compuesto por aceites secantes mezclados con resinas duras naturales o sintéticas. Posee buen brillo, buena extensibilidad, tiene un secado y endurecimiento lento que se retrasan con el frío. Se utiliza en interiores como esmalte de acabado.

Esmalte sintéticos: Se obtienen por combinación química de resinas duras y aceites secantes. Las resinas más empleadas son las alquílicas, que tienen gran dureza, buen brillo, resisten agentes químicos e intemperie y, al combinarse con los aceites, tienen gran flexibilidad. Secan con rapidez. Gran brillo, incluso al exterior. Se utilizan mucho en decoración y protección de superficies de madera y sobre metal, tanto en exteriores como en interiores. También se utilizan como imprimaciones anticorrosivas, aunque necesitan primero una preparación esmerada si se utiliza sobre metal.

Pinturas de resinas: Se obtienen a base de un derivado clorado del caucho. Resistes agentes atmosféricos, agua y agentes químicos. Son impermeables. Poseen un secado rápido. Se utiliza sobre superficies de hormigón, acero, depósitos de cemento, marcas viales, piscinas, etc.

Pinturas ignifugas e intumescentes: Son pinturas que no arden al someterlas a una llama intensa, y a veces aíslan el elemento de la acción del fuego por lo que retrasan su destrucción. Puede ser ignifugas simplemente o además ser intumescentes, que son en las que, al producirse el fuego, aparece un efecto de esponjamiento celular debido al calor consiguiendo que una capa delgada de pintura se transforme en una costra esponjosa.

Pinturas Bituminosas: Se obtienen con soluciones de productos bituminosos (breas y alquitranes) y con disolventes normales. Algunas veces se incorporan resinas. Son impermeables al agua. Resisten aceite, petróleo y álcalis pero no resisten disolventes. Se adhieren bien sobre metal y cualquier elemento de enfoscado, mortero, hormigón, etc.

4.6.- Electroodos

Se utilizaran electroodos para soldar el soporte del equipo y el tanque de alimentación. El electrodo puede ser consumible, en el caso de la soldadura con gas metal o la soldadura blindada, o no consumible, como la soldadura con gas tungsteno. Para un sistema de corriente directa, la barra de soldadura puede ser el cátodo para una soldadura de tipo llenado o el ánodo para cualquier otro tipo de soldadura.

4.7.- Válvulas

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Entre los tipos de válvulas que existen tenemos: Válvula de control, válvula compuerta, válvula macho, válvula globo, válvula bola, válvula mariposa, válvula de apriete, válvula check (retención), válvula de desahogo (alivio).

4.8.- Cinta métrica

La cinta métrica utilizada en la medición de distancias, se construye en una delgada lámina de acero al cromo, o de aluminio, o de un tramado de fibras de carbono unidas mediante un polímero de teflón (las más modernas). Las más pequeñas están centimetradas e incluso milimetradas, con la marca de los números pintados o grabados sobre la superficie de la cinta. Por lo general están protegidas con un rodete de latón o PVC.

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA

5.1.- Selección del sistema.

Antes de realizar el estudio de las alternativas de diseño se debe visualizar el área donde se ubicará el equipo. El laboratorio posee las siguientes características:

- Posee luz de 110V.
- Cuenta con una tubería que suministra agua a lo largo del laboratorio.
- Tiene buena iluminación.
- El tanque de alimentación podrá ser descargado con facilidad porque cuenta con un canal a lo largo del laboratorio.

Luego se procedió al estudio de las distintas alternativas de diseño. En esta etapa del proyecto se estudiaron tres diseños, a continuación se explicaran los detalles de cada uno de ellos y se realizaran comparaciones de los mismos para establecer cuál es el más adecuado para su selección. Las alternativas de diseño son:

1.- Un diseño empleando una motobomba, con el tanque de alimentación hecho de láminas de hierro y el de descarga hecho de material acrílico.

2.- Un diseño con el tanque de alimentación hecho de concreto y el de descarga de fibra de vidrio, también se utilizará una bomba para impulsar el agua.

3.- La última alternativa de diseño consta de un sistema utilizando la gravedad como impulsor del agua, con el tanque de alimentación hecho de polietileno (PE) y el de descarga hecho de vidrio.

Opción N° 1:

Un diseño empleando una motobomba, con el tanque de alimentación hecho de láminas de hierro y el de descarga hecho de láminas de acrílico.

Descripción:

Se contará con un tanque de alimentación hecho de láminas de hierro que mediante una motobomba impulsará el agua hasta el tanque de descarga que se encuentra en la parte superior, elaborado con láminas de acrílico, una compuerta de cola en la salida delgada que formará el resalto.

La motobomba a utilizar tendrá las siguientes características:

- Marca: Evans
- $\frac{3}{4}$ Hp
- Diámetro de succión de 1 $\frac{1}{4}$ " y diámetro de descarga de 1"
- Corriente 110v.

El tanque de descarga será construido de acrílico de espesor 5mm. El tanque de alimentación será construido de láminas de hierro de 3mm de espesor, calibre 14. Y el soporte será construido de perfiles de hierro de 1"x1"

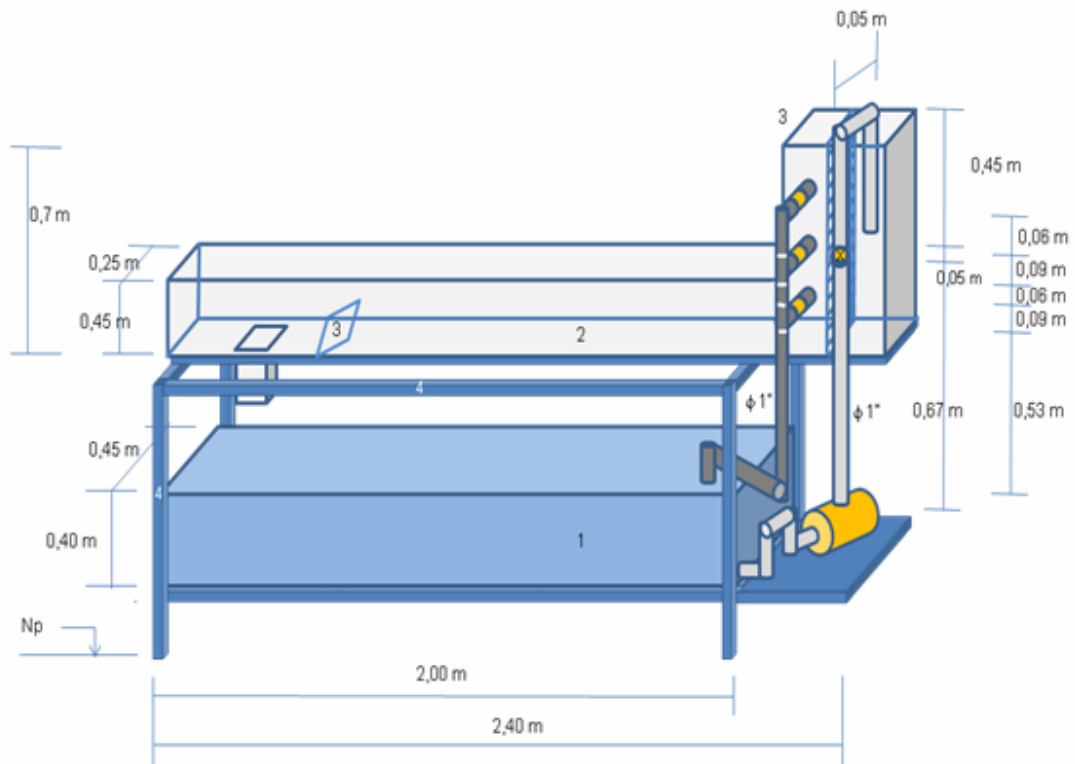







Fig. 16. Esquema de la Opción N°1

- | | |
|---|---|
| 1 | Tanque de Alimentación |
| 2 | Tanque de Descarga |
|  | Malla de Acero |
|  | Válvula de Compuerta |
|  | Tubería de hierro galvanizado de diámetro 1" |
|  | Tubería de PVC de diámetro 1" |
|  | Bomba |
| 4 | Soporte de Equipo |
| Np | Nivel del piso |
| m | Unidad de medidas de las longitudes del equipo (Metros) |
| ϕ | Diámetro de la tubería |
| 3 | Compuerta de cola |

Cómputos Métricos de la Opción N°1:

Soporte del Equipo:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E361114100	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte	Perfiles de acero de 1"x1".	22,50m
		Electrodos ESR-13	1Kg.

Tanque de Alimentación:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E361121100	Suministro de planchas lisas de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte	Planchas de acero de espesor 3mm. 2,4mx1,20m	2,73m ²
		Electrodos ESR-13	3Kg.

Tanque de Descarga:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E451111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación	Láminas de acrílico de espesor 5mm.	3,40m ²

Tuberías:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E611031025	Tubería agua clara de acero galvanizado. Diámetro de 1 pulgada (25,4mm) ASTM. Incluye conexiones	Tubería galvanizada. Diámetro 1 pulgada.	1,67m.
		Válvula compuerta de diámetro 1 pulgada	1 pieza
		Codo galvanizado de 90° de diámetro de 1 pulgada	2 piezas
E611031032	Tubería de agua clara de acero galvanizado. Diámetro 1 ¼ pulgada (31mm) ASTM.	Tubería galvanizada. Diámetro 1 ¼ pulgada	0,30m
		Codo de 90° de diámetro 1 ¼ pulgada	4 piezas
E511111025	Tuberías plásticas rígidas livianas. PVC. Diámetro 1 pulgada (25,4mm)	Tubería de PVC de 1 pulgada de diámetro	1,25m.

Presupuesto Base de la Opción N°1:

Código	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total (BsF)
E361 114100	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte. Perfiles de acero de 1"x1". Largo 6m.	m	25 BsF/m	4	100
	Electrodos ESR-13	Paquete	25 BsF/paquete	1	25
E361 121100	Suministro de planchas lisas de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte. Planchas lisas de acero. De espesor 3mm. De 2,40m x 1,20m	m ²	320 BsF/m ²	2	640
	Electrodos ESR-13	Paquete	25 BsF/paquete	2	50
E451 111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación. Láminas de acrílico transparente de espesor 5mm. 3,05m x 1,83m	lámina	2043,48 BsF/lámina	1	2043,48
E611 031025	Tubería agua clara de acero galvanizado. Diámetro	m	120 BsF/m	1	120

	de 1 pulgada (25,4mm) ASTM. Incluye conexiones. Tubería galvanizada. Diámetro 1 pulgada.				
	Válvula compuerta de diámetro 1 pulgada	pieza	45 BsF/pieza	4	1 80
	Codos de 90° de diámetro 1 pulgada	pieza	9 BsF/pieza	2	1 8
E611 031032	Tubería de agua clara de acero galvanizado. Diámetro 1 ¼ pulgada (31mm) ASTM. Tubería Galvanizada de diámetro 1 ¼ pulgada	m	50 BsF/m	1	5 0
	Codos de 90° de diámetro 1 ¼ pulgada	pieza	12 BsF/pieza	4	4 8
E511 111025	Tuberías plásticas rígidas livianas. PVC. Diámetro 1 pulgada (25,4mm). Tubo de PVC de diámetro de 1 pulgada	m	37 BsF/m	1	3 1
	Pegamento para tubería PVC	Unidad	22 BsF/unidad	1	2 2
	Tee enroscable para agua fría de 1 pulgada	pieza	11 BsF/pieza	2	2 2
	Codo de 90° de diámetro de 1 pulg.	pieza	7 BsF/pieza	1	7
E461 000101	Esmalte en estructuras metálicas. ¼ de galón de pintura azul	Galón	15 BsF/galón	3	4 5

E464 000001	Fondo anticorrosivo para elementos y estructuras metálicas. ¼ de galón de esmalte anticorrosivo azul	G alón	28 BsF/galón	3	8 4
E909 040050	Transporte en camioneta de estructuras metálicas a distancias hasta 50km. Transporte del tanque de alimentación y del soporte		230 BsF	1	2 30
S/C	Sin Código de Partida. Bomba Evans de ¾Hp.110v.	B omba	1170 BsF/Bomba	1	1 170

SubTotal: 4825,48

Iva: 579,06

Total: 5407,54

Ventajas:

- Como el acrílico es un material transparente se puede visualizar claramente el fenómeno del resalto hidráulico.
- Las láminas de hierro son fáciles de perforar y por ello de trabajar con ellas.
- Se puede visualizar el nivel del agua en el tanque de alimentación.
- Debido al diseño, es un equipo compacto y fácil de ubicar y de transportar.
- El acrílico no se amarillenta.
- El agua realiza un ciclo, ya que se descarga directamente al tanque de alimentación y por bombeo vuelve al tanque de descarga.
- Es rápido el proceso de llenado del tanque de descarga.
- El diseño origina menos pérdidas.
- El acrílico es resistente al impacto, provee resistencia química y resiste al ataque de una gran variedad de productos químicos.
- Resiste al calor.

- Este diseño contara con tres alturas de agua, las cuales permanecerán cada una estable a medida que se realiza la práctica.

Desventajas:

- El diseño se torna costoso ya que se requiere comprar una motobomba.
- Las láminas de hierro con el tiempo se oxidan si no se les suministra un mantenimiento adecuado.
- El acrílico debe estar alejado de fuentes de calor, como por ejemplo: los hornos.
- El acrílico se contrae y se expande más que la fibra de vidrio.

Opción N° 2:

Un diseño con el tanque de alimentación hecho de concreto y el de descarga hecho de fibra de vidrio, también se utilizara una motobomba para impulsar el agua.

Descripción:

Se contará con un sistema con el tanque de alimentación por debajo del de descarga hecho con concreto, mientras que el de descarga estará hecho de fibra de vidrio. El soporte del tanque de alimentación será construido con perfiles de hierro de 2"x2", mientras que el soporte del tanque de descarga será construido con perfiles de 1"x1", la motobomba estará al lado de este último.

La motobomba contará con las siguientes características:

Marca: Pedrollo

Modelo: HFm 50A

$\frac{3}{4}$ Hp

Diámetro de succión 1 ½" y diámetro de descarga 1 ½".

El tanque de alimentación será construido de concreto de F_c 200Kgf/cm² de espesor 3cm.

Mientras que el de descarga será de fibra de vidrio de espesor de 5mm.

El equipo contará con un soporte de perfiles de acero de 2"x2".

Detalles del Soporte:

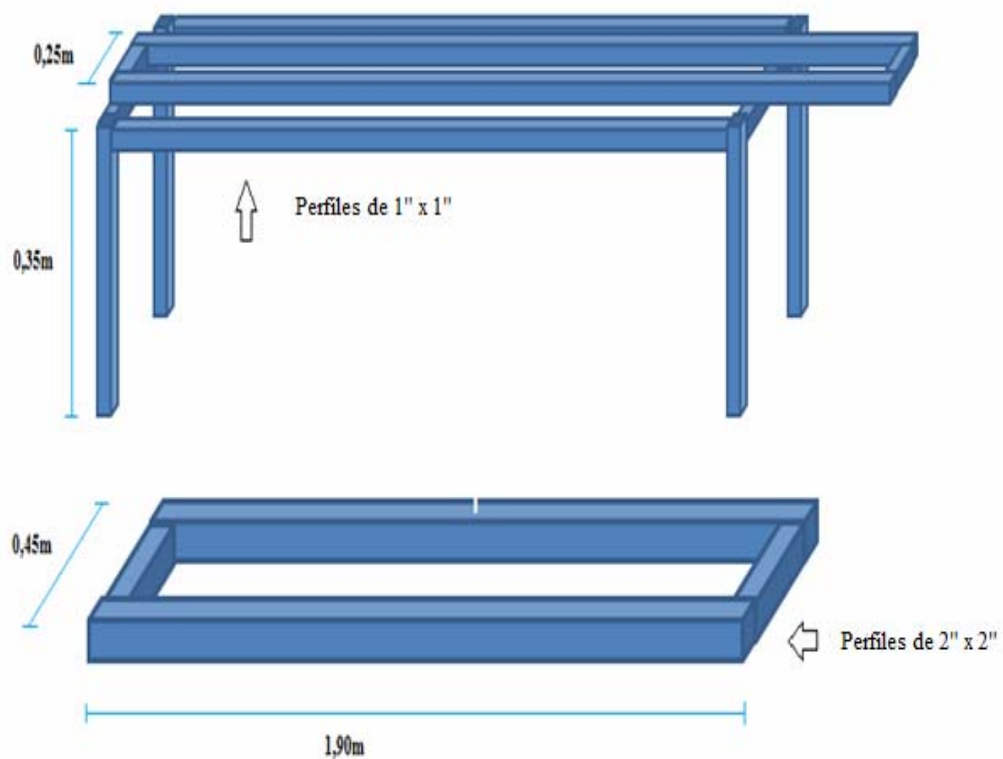


Fig. 17 Esquema del Soporte de la Opción N° 2

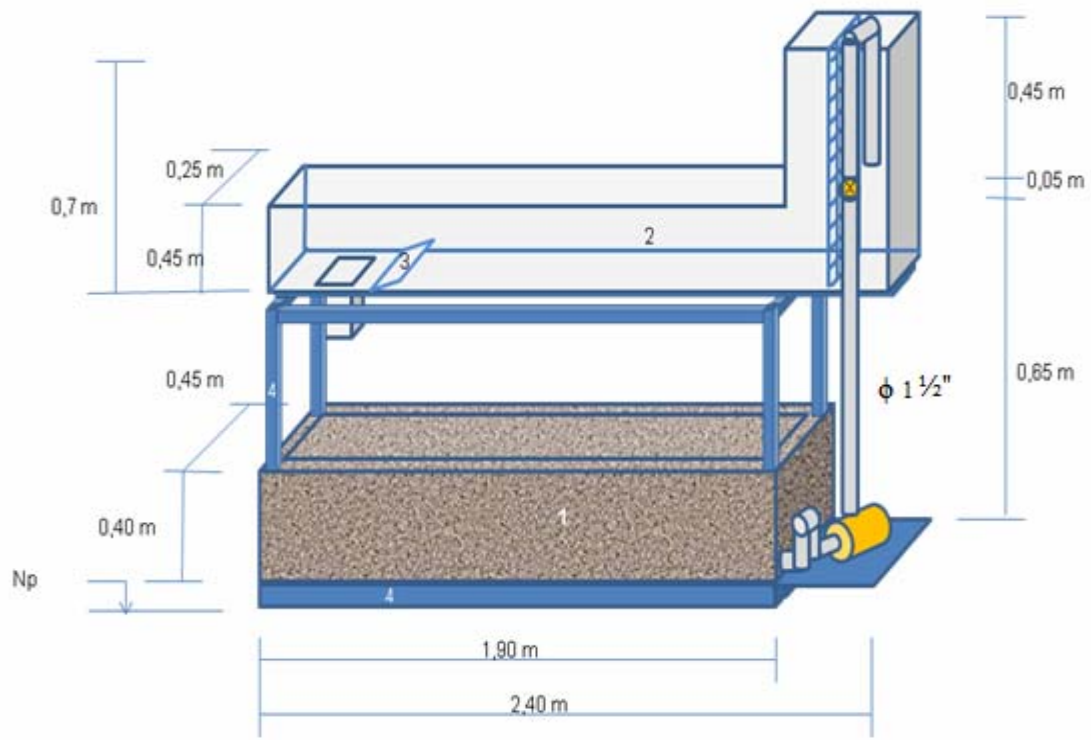













Fig. 18 Esquema de la Opción N° 2

-  **1** Tanque de Alimentación
-  **2** Tanque de Descarga
-  **Malla de Acero**
-  **Válvula de Compuerta**
-  **Tubería de hierro galvanizado de diámetro 1"**
-  **Bomba**
-  **4** Soporte de Equipo
-  **Np** Nivel del piso
-  **m** Unidad de medidas de las longitudes del equipo (Metros)
-  **φ** Diámetro de la tubería
-  **3** Compuerta de cola

Cómputos Métricos de la Opción N° 2:

Soporte del Equipo:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E361114100	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte	Perfiles de acero de 2"x2".	4,94m
		Perfiles de acero de 1"x1"	12,04
		Electrodos ESR-13	2Kg.

Tanque de Alimentación:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E337000120	Concreto de Fc200Kgf/cm ² a los 28 días, acabado corriente, para la construcción de elementos arquitectónicos. Incluye transporte del cemento y agregados hasta 50Km.	½ Saco de cemento Portland Blanco. Tipo 1.	21,3Kg
		Arena	0,056m ³
		Piedra picada	0,056m ³
E342010127	Encofrado de madera, tipo recto, acabado en obra limpia	Madera para encofrar el tanque	3,97m ²

Tanque de Descarga:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E451111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación	Láminas de fibra de vidrio.	3,40m ²

Tuberías:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E611021038	Tuberías agua clara, de acero galvanizado. Diámetro 1½" (38mm). ASTMA. Incluye conexiones	Tubería galvanizada. Diámetro 1½".	1,67m.
		Tubería galvanizada. Diámetro 1½"	0,30m
		Válvula compuerta de diámetro 1½" pulgada	1 pieza
		Codo galvanizado de 90° de diámetro de 1½" pulgada	6 piezas

Presupuesto Base de la Opción N°2:

Código	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total (BsF)
E361	Suministro de perfiles	m	25	3	

114100	de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte. Perfiles de acero de 1"x1". Largo 6m.		BsF/m		5
E361 114100	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte. Perfiles de acero de 2"x2". Largo 6m.	m	30 BsF/m	1	0
	Electrodos ESR-13	pa quete	25 BsF/paquete	2	0
E337 000120	Concreto de Fc200Kg/cm ² a los 28 días, acabado corriente, para la construcción de elementos arquitectónicos. Incluye transporte del cemento y agregados hasta 50Km. 1 Saco de cemento Portland Blanco. Tipo 1.	sa co	25 BsF/saco	1	5
	Sacos de Arena	sa co	5 BsF/saco	5	5
	Sacos de Piedra	sa co	7	6	2
E451 111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación. Láminas de fibra de	lá mina	1700 BsF/lámina	1	700

	vidrio. 2,90m x 1,80m				
E611 021038	Tuberías agua clara, de acero galvanizado. Diámetro 1½" (38mm). ASTMA. Incluye conexiones. Tubería galvanizada. Diámetro 1½" pulgada.	m	70 BsF/m	1	0
	Tubería galvanizada. Diámetro 1½" pulgada	m	40 BsF/m	1	0
	Válvula compuerta de diámetro 1½" pulgada	m	132 BsF/m	1	35
	Codos de 90 ° de diámetro 1½" pulgada	pieza	15 BsF/pieza	6	0
E461 000101	Esmalte en estructuras metálicas. ¼ de galón de pintura azul	galón	15 BsF/galón	1	5
S/C	Sin código de partida. Bomba Pedrollo. ¾Hp.	bomba	1600 BsF/bomba	1	600

SubTotal: 3897,00

Iva: 467,64

Total: 4364,64

Ventajas:

- El concreto es un material fuerte y resistente.
- Los costos de operación y mantenimiento del concreto son más económicos que otros materiales.
- La fibra de vidrio es un buen aislante térmico.
- El concreto tiene una vida útil más larga que otros materiales.
- La fibra de vidrio es inerte a muchas sustancias incluyendo ácidos.

Desventajas:

- Por ser el concreto un material rígido el tanque de alimentación no podrá ser movido de su lugar de construcción.
- Trabajar con concreto para construir el tanque de alimentación es más complicado que con láminas de hierro.
- Se tomará más tiempo la construcción de este diseño que con láminas de hierro.
-

Opción N° 3:

Un sistema utilizando la gravedad como impulsor del agua, con el tanque elevado de alimentación hecho de polietileno (PE) y el de descarga hecho de vidrio.

Descripción:

Se utilizará un diseño contando con un tanque elevado de alimentación, hecho de polietileno (PE), el agua por la fuerza de gravedad llegará hasta el tanque de descarga, este último construido de de vidrio a una distancia de 0,30m del nivel de piso. El tanque de descarga contará con una compuerta de cola ancha en la salida. El soporte del equipo será construido con perfiles de acero de 2" x 2".

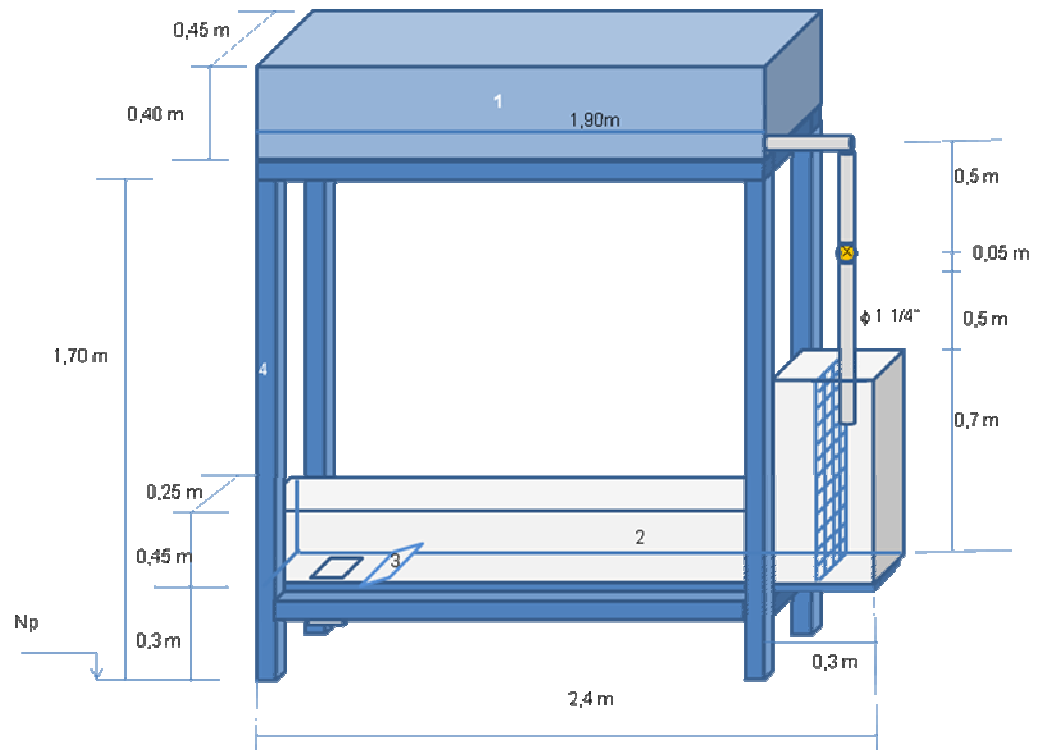


Fig. 19 Esquema de la Opción N° 3

- | | |
|--|---|
| 1 | Tanque de Alimentación |
| 2 | Tanque de Descarga |
| Malla de Acero | |
| X | Válvula de Compuerta |
| Tubería de hierro galvanizado de diámetro 1 1/4" | |
| 4 | Soporte de Equipo |
| Np | Nivel del piso |
| m | Unidad de medidas de las longitudes del equipo (Metros) |
| φ | Diámetro de la tubería |
| 3 | Compuerta de cola |

Cómputos Métricos de la Opción N° 3:

Soporte del Equipo:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E451111206	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte	Perfiles de acero de 2"x2".	22,56m
		Electrodos ESR-13	2Kg.

Tanque de Alimentación:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E451111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación	Láminas de polietileno (PE) de espesor 5mm.	3,40m ²

Tanque de Descarga:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E451111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación	Láminas de vidrio	3,40m ²

Tuberías:

Código	Partida	Descripción	Cantidad
E611031032	Tubería de agua clara de acero galvanizado. Diámetro 1 ¼ pulgada (31mm) ASTM.	Tubería galvanizada. Diámetro 1 ¼".	1,45m.
		Válvula compuerta de diámetro 1 ½" pulgada	1 pieza
		Codo galvanizado de 90° de diámetro de 1 ¼" pulgada	1 piezas

Presupuesto Base de la Opción N°3:

Código	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total (BsF)
E451 111206	Suministro de perfiles de acero nacionales para la fabricación de estructuras de acero. No incluye transporte. Perfiles de acero de 2"x2".	m	30 BsF/m	4	1 20
	Electrodos ESR-13	paquete	25 BsF/paquete	2	5 0
E451 111206	Vidrios planos, lisos y transparentes, de color, no rebordados, espesor 5mm. Incluyen elemento de fijación.	lámina	416 BsF/lámina	1	4 16

	Láminas de Polietileno (PE) 2,10m x 1,90m	lámina	1500 BsF/lámina	1	1 500
E611 031032	Tubería de agua clara de acero galvanizado. Diámetro 1 ¼ pulgada (31mm) ASTM. Tubería galvanizada. Diámetro 1¼"pulgada.	m	75 BsF/m	1	7 5
	Válvula compuerta de diámetro 1¼" pulgada	pieza	110 BsF/pieza	1	1 10
	Codos de 90 ° de diámetro 1¼" pulgada	pieza	12 BsF/pieza	1	1 2
E461 000101	Esmalte en estructuras metálicas. ¼ de galón de pintura azul	Galón	15 BsF/galón	1	1 5

SubTotal: 2298,00

Iva: 275,76

Total: 2573,76

Ventajas:

- El diseño es de menor costo que los dos anteriores porque no se tiene que hacer uso de una motobomba.
- El resalto se tornará más estable debido a la compuerta de cola gruesa en el tanque de descarga.
- El vidrio es un material resistente a las altas temperaturas.
- El polietileno de alta densidad es una material de alta resistencia química y térmica.
- Es resistente al impacto.

Desventajas:

- Trasladar el equipo se hace complicado debido al diseño de este.
- Se requiere de un sistema de soporte de mayor grosor que el de la opción N° 1.
- El vidrio es un material frágil a los golpes.
- Es más complicado trabajar con vidrio que con la fibra de vidrio y las láminas de acrílico.
- El polietileno es un material costoso.
- Trabajar con este material se hace complicado por su manejo.

Después de haber hecho un estudio sobre las tres alternativas de diseño, se eligió la opción N°1, un diseño con el tanque de alimentación debajo del tanque de descarga hecho de láminas de hierro, mientras que el tanque de descarga hecho de láminas de acrílico, contando con una motobomba para impulsar el agua hasta el tanque de descarga. A pesar de ser un diseño más costoso que las otras opciones se seleccionó este diseño por las siguientes razones:

- Es rápido de construir, no requiere tanto tiempo de construcción como en la opción N° 2.
- Debido a las condiciones del lugar de ubicación en el laboratorio el diseño N°3 sería también complicado de construir dado que el suministro de agua se encuentra en la parte inferior y no en la superior del mismo.
- El diseño N° 1 es fácil de ubicar en el laboratorio y a la vez sencillo de construir en un tiempo prudente, se le puede realizar mantenimiento de una forma sencilla ya que el tanque de descarga puede ser bajado con facilidad al igual que el de alimentación. Y los materiales para su construcción son fáciles de ubicar en la zona.

5.2.- Selección de las partes.

El sistema contará con las siguientes partes:

- Un tanque de alimentación hecho con láminas de hierro.
- Un tanque de descarga hecho con láminas de acrílico.
- Una motobomba.
- Una válvula que regulará la compuerta.
- Tuberías de hierro galvanizado de 1" y 1¼".
- Soporte de tubo cuadrado de 1"x1".
- Accesorios de hierro galvanizado de 1" y 1¼".
- Un breaker.

5.2.1.- Tanque de alimentación:

El tanque de alimentación del sistema será de láminas de hierro pulido, perfiles 1"x1", calibre 14. Las dimensiones del tanque serán: Largo: 1,90m; ancho: 0,45m y alto: 0,40m. Entre las ventajas que ofrece este material se encuentran:

- El hierro es un material fácil de trabajar y además de conseguir en el mercado.
- Su traslado también se hace sencillo.
- Se requieren pocos instrumentos para trabajar con él.
- Bien trabajado, el tanque de alimentación será hermético y no se producirán grietas si se le da el mantenimiento adecuado y se cuida de él.
- En el mercado hay diferentes grosores y calibre.
- Es un material muy resistente.

5.2.2.- Tanque de descarga:

El tanque de descarga será construido con láminas de acrílico transparente de 5mm de espesor. Las dimensiones del tanque serán; Largo: 2,40m; ancho: 0,25m y su altura será: 0,70m y 0,45m. Se tendrá especial cuidado en su construcción. Entre las ventajas de este material:

- El acrílico es un material que resiste los golpes.
- Trabajar con él se hace fácil.
- Es cómodo a la hora de transportarlo del lugar de compra al lugar donde se va a construir el equipo.
- Es un material de una vida útil larga.
- Es un material bastante liviano y seguro para trabajar ya que no se astilla.

5.2.3.- Bomba del equipo:

El equipo contará con una bomba que va a impulsar el agua desde el tanque de alimentación que se encuentra debajo hasta el tanque de descarga que se encuentra arriba del de alimentación,

Se estudian bombas que se encuentren en el rango de $\frac{1}{2}$ Hp; $\frac{3}{4}$ Hp, y 1 Hp para ver cuál es la que mejor se adapta al equipo diseñado. Y se seleccionó una bomba de Marca Evans, de $\frac{3}{4}$ Hp, de 110V.

5.2.4.- Válvulas:

Las válvulas son uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria, estas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar en este caso el agua que es el elemento con el que se va a trabajar.

En el mercado las válvulas que se pueden encontrar son:

- Válvulas de compuerta.
- Válvulas de globo.

Se estudiarán válvulas de diámetro de 1", según el diseño escogido.

5.2.4.1.- Válvula de Compuerta de Diámetro 1" y 1¼":

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

Se recomienda para:

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para resistencia mínima a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajos costos.
- Diseños y funcionamientos sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.

- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.

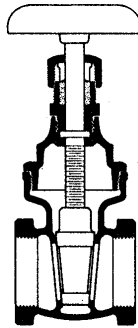


Figura 20. Válvula de compuerta.

5.2.4.2.- Válvula de Globo de Diámetro 1":

Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en el cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería.

Se recomienda para:

- Estrangulación o regulación de circulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

Ventajas:

- Estrangulación eficiente.
- Control preciso de la circulación.
- Bajo costo.
- Alta capacidad.

- Cierre bidireccional,
- Se limpia por sí sola.
- Poco mantenimiento.

Desventajas:

- Gran caída de presión.
- Costo relativo elevado.
- Propensa a la cavitación.
- Alta torsión para accionarla.

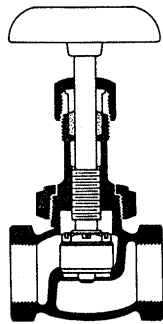


Figura 21. Válvula de Globo.

5.3.- Diseño del sistema

Para la realización del diseño del sistema se dimensionó el equipo. Se tomaron medidas tentativas tanto del tanque de descarga como el tanque de alimentación, el soporte del equipo se diseño en base a las medidas anteriores.

5.3.1.- Detalles del Equipo

5.3.1.1.- Esquema Hidráulico

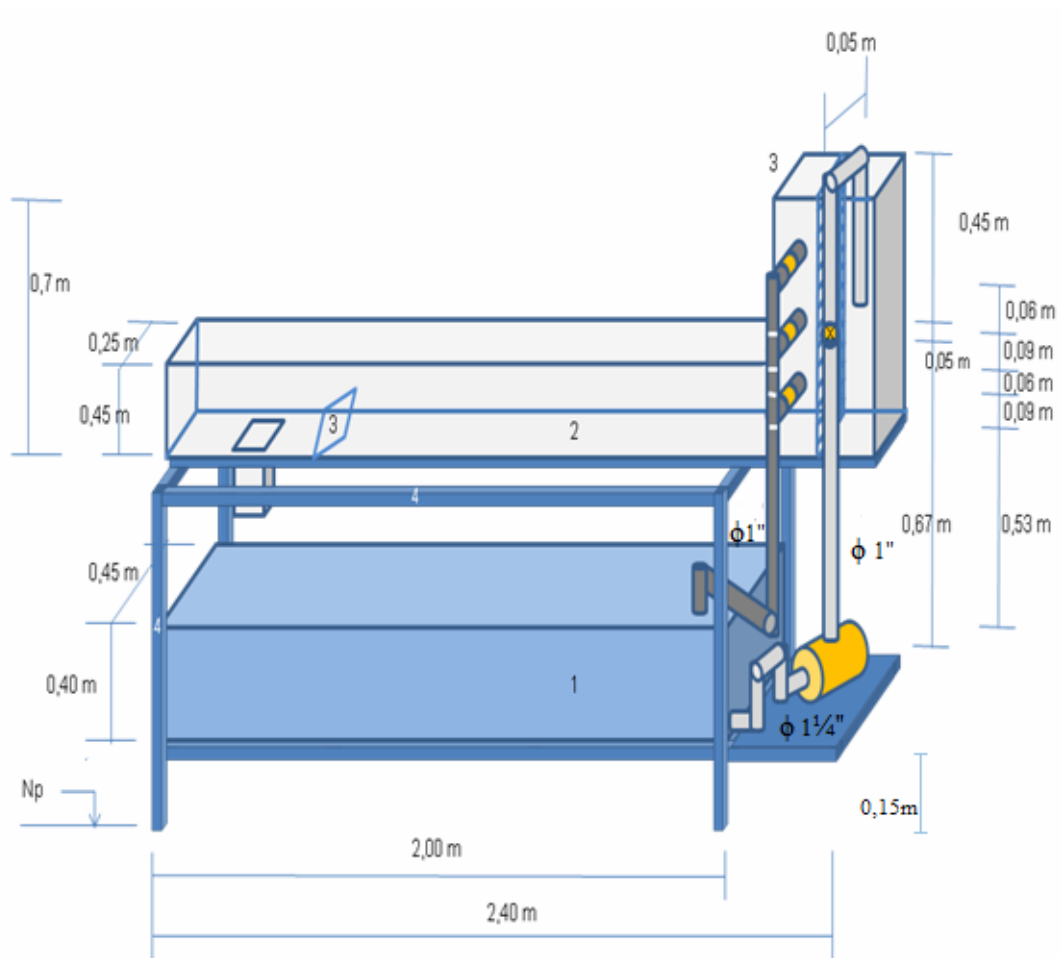














Figura 22. Esquema Hidráulico.

	Tanque de Alimentación
	Tanque de Descarga
	Malla de Acero
	Válvula de Compuerta
	Tubería de hierro galvanizado de diámetro 1"
	Tubería de PVC de diámetro 1"
	Bomba
	Soporte de Equipo
	Nivel del piso
	Unidad de medidas de las longitudes del equipo (Metros)
	Diámetro de la tubería
	Compuerta de cola

Breve explicación del equipo diseñado: Posee dos tanques, el de descarga situado en la parte de arriba y el de alimentación en la parte de abajo a 0,15m del nivel del piso, colocado sobre un soporte hecho de perfiles de hierro, el agua ascenderá al tanque de descarga por medio de una bomba que succionará desde el tanque de alimentación para luego por descarga retornar al de alimentación. El tanque de descarga será de material acrílico para poder visualizar el fenómeno y contará con una compuerta deslizante y una de cola de ángulo variable, también tendrá una malla de 1"x1" cuyo objetivo será disminuir la turbulencia que se generará para estabilizar el agua. Mientras que el tanque de alimentación será construido de láminas de hierro, tendrá una descarga y una succión. El equipo poseerá dos tipos de tuberías; la tubería que impulsará el agua desde el tanque de alimentación al de descarga será de hierro galvanizado (H.G) de diámetro 1" mientras que la tubería de descarga será de PVC de diámetro 1"; el equipo también tendrá diversos accesorios como válvulas reguladoras, codos, entre otros. (Ver figura 22).

5.3.1.2.- Vista de Planta del Equipo

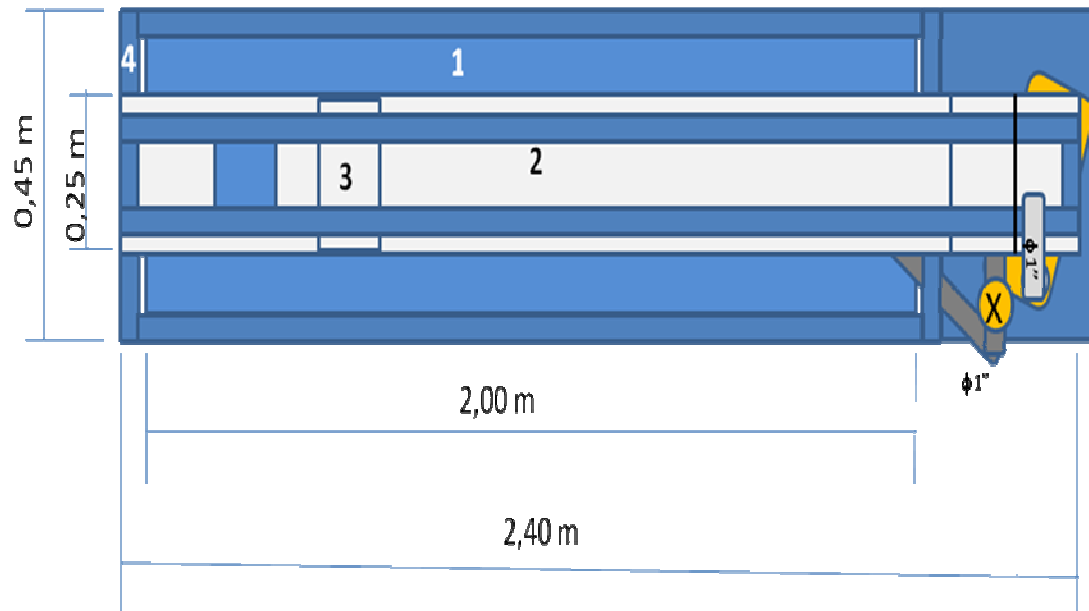


Figura 23. Vista de Planta del Equipo

- 1 Tanque de Alimentación
- 2 Tanque de Descarga
- Malla de Acero
- X Válvula de Compuerta
- Tubería de hierro galvanizado de diámetro 1 1/4"
- Bomba
- 4 Soporte de Equipo
- m Unidad de medidas de las longitudes del equipo (Metros)
- φ Diámetro de la tubería
- 3 Compuerta de cola
- Tubería de PVC de diámetro 1"

5.3.1.3.- Tanque de Alimentación

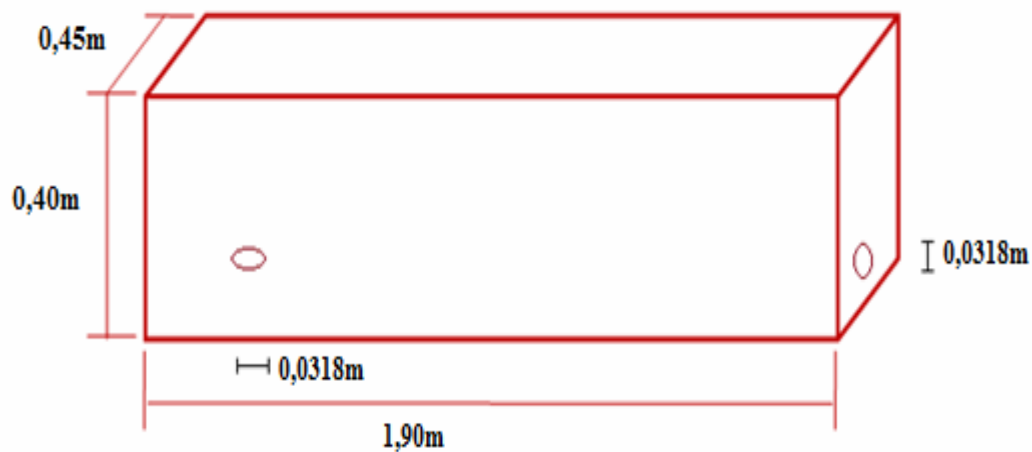


Figura 24. Tanque de Alimentación.

El tanque de alimentación será construido de láminas de hierro de 3mm. De espesor, tendrá un volumen en condiciones crítica de $0,342\text{m}^3$ que es igual a 342 litros. La base tendrá 1,90 metros de largo, mientras que su altura 0,40 metros y su ancho 0,45 metros.

5.3.1.4.- Tanque de Descarga

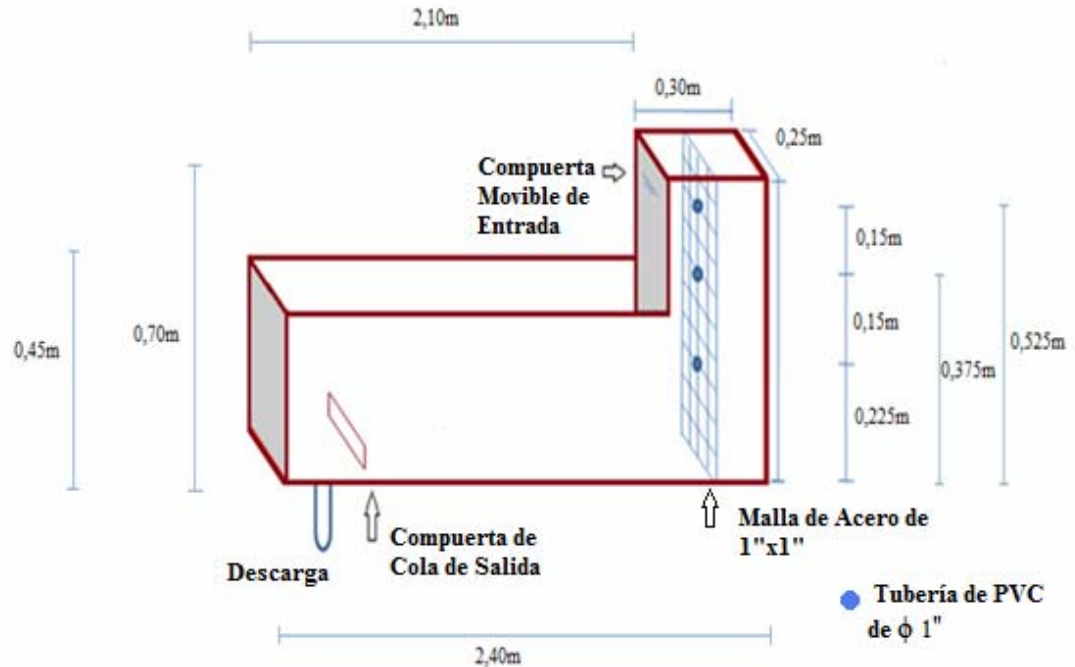


Figura 25. Tanque de Descarga.

El tanque de descarga será construido de un material acrílico transparente, poseerá dos compuertas; una movable por donde el agua comenzará a emerger a través del canal y otra compuerta de cola de ángulo variable que ayudará a la formación del resalto hidráulico. Tendrá tres alturas de agua que se mantendrán constante, la primera a 22,5cm, la segunda a 37,5cm y la tercera a 52,5cm de la base del tanque de descarga, adicionalmente también poseerá una descarga al final del tanque hecha del mismo material acrílico. La longitud del tanque será de 2,40 metros y la base será de 25cm. Poseerá una malla de acero inoxidable para que establezca la turbulencia del fluido.

5.3.1.5.- Soporte del equipo

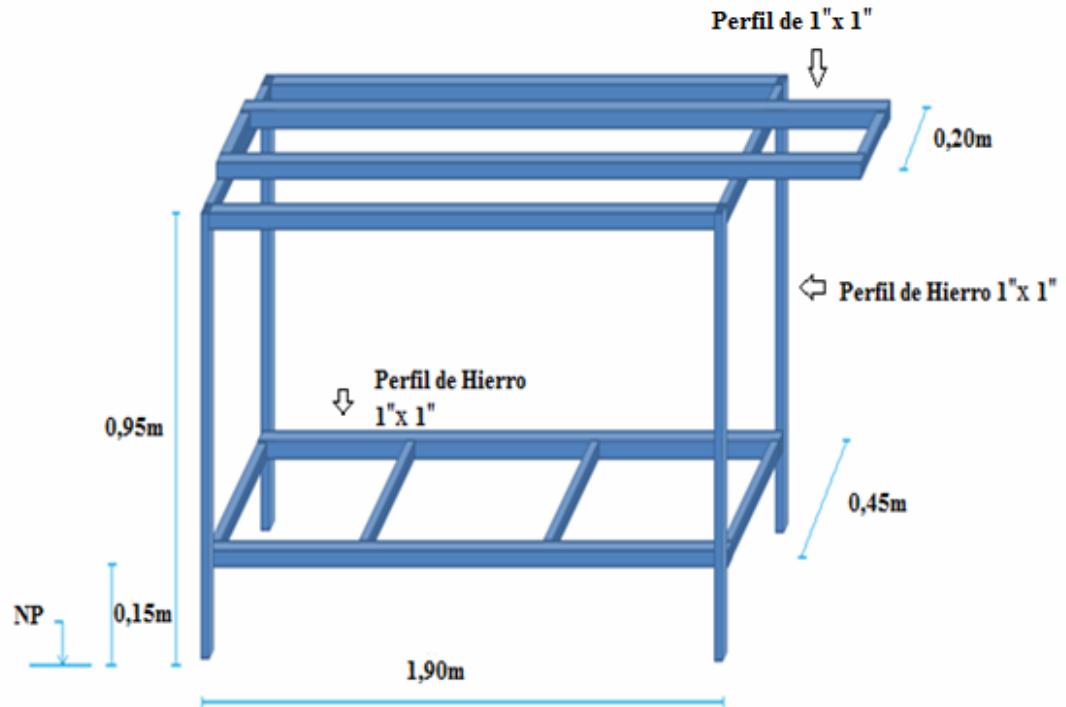


Figura 26. Soporte del Equipo.

El soporte del equipo se construirá con perfiles de hierro de 1" x 1" pulgada, será como se muestra en la figura, se soldará y se armará en una sola pieza donde se reforzara tanto la parte de arriba como la de abajo, tendrá de altura 0,75 metros, se dejará un espacio para la colocación de la bomba.

5.3.2.- Caudal del Diseño del Sistema:

5.3.2.1.- Ecuación de la Bomba:

Para realizar el diseño del equipo se trabajó con una bomba con las siguientes características:

Marca: Evans.

Hp: $\frac{3}{4}$

Modelo: 2HME075.

3400 RPM.

La Ecuación General de una bomba es:

$$H = A + BQ + CQ^2 \quad (4.1)$$

Se trabajo con la información que suministra el fabricante sobre la bomba en base a las curvas características de está. Se tomaron tres valores del caudal con sus respectivas alturas y se sustituyan estos valores en la ecuación general de la bomba. Se obtuvo un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas.

A, B y C son parámetros característicos de de la ecuación de la bomba.

$$24,0m = A + (0,00075)B + (0,00075)^2 C$$

$$19,0m = A + (0,00175)B + (0,00175)^2 C$$

$$13,0m = A + (0,00225)B + (0,00225)^2 C$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes valores:

$$A = 21,625$$

$$B = 6666,67$$

$$C = - 4666666,67$$

La ecuación de la bomba a utilizar para la realización del equipo:

$$H = 21,625 + 6666,67 * Q - 4666666,67 * Q^2 \quad (4.2)$$

Se estimaron algunos valores del caudal, para obtener los siguientes resultados:

Q(m3/seg)	H(m)
0,0020	16,29
0,0021	15,05
0,0022	13,71
0,0023	12,27
0,0024	10,75
0,0025	9,13
0,0026	7,41
0,0027	5,61
0,0028	3,71
0,0029	1,71

MOTOBOMBAS CENTRÍFUGAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

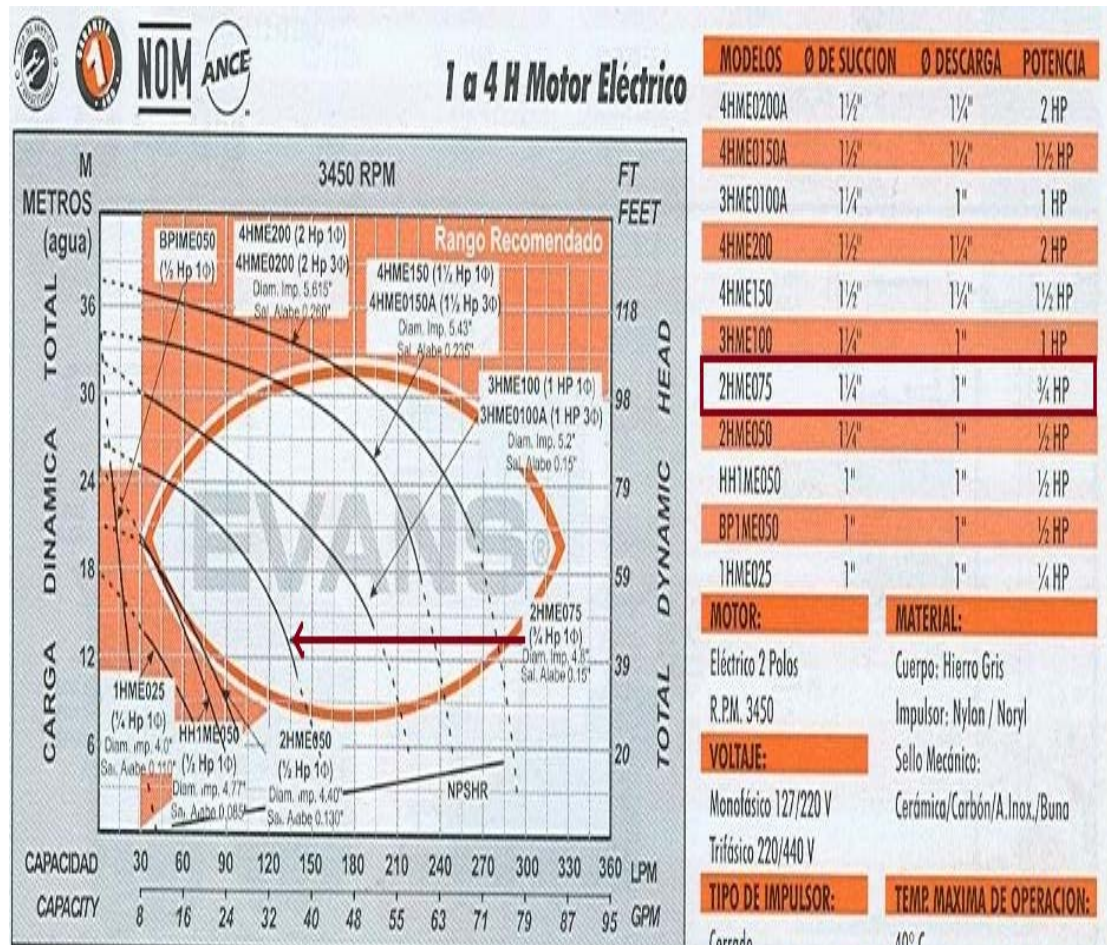


Figura 27. Suministrado por el fabricante.

Fuente[http://sereso.dnsalias.com/evans/Bombas/serie_H_del_1_al_4.jpg]

5.3.2.2.- Pérdidas en la Tubería:

5.3.2.2.1.- Pérdidas por Accesorios en función del caudal:

Tubería de 1 pulgada de diámetro:

Según Saladarriaga V., Juan G., Hidráulica de Tuberías¹⁹¹

<u>Accesorios</u>	<u>K</u>
4 codos de 90° ø 1"	3,6
<u>1 válvula de compuerta ø 1"</u>	<u>0,19</u>
	$\Sigma=3,79$

$$h_e = \frac{kv^2}{2g} \quad (4.3)$$

h_e = Pérdidas por Accesorios de la tubería [m]

v = Velocidad del fluido [m/seg]

g = Aceleración de gravedad [m/seg²]

Donde:

$$Q = VA \quad (4.3.1)$$

Q= Caudal [m³/seg]

A=Area de la tubería [m²]

Se despeja la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.3.2)$$

Se sustituye en la Ecuación 4.3 y se Obtiene:

$$h_e = \frac{k \left(\frac{Q}{A} \right)^2}{2g} = h_e = \frac{kQ^2}{2gA^2} \quad (4.4)$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (4.4.1)$$

D= Diámetro de la Tubería [m]

Se sustituye la Ecuación 4.4.1 en la Ecuación 4.4 y se obtiene:

$$he = \frac{kQ^2}{2g \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2}$$

$$he = \frac{kQ^2}{2g \pi^2 \frac{D^4}{16}}$$

$$he = \frac{16kQ^2}{2g \pi^2 D^4} \quad (4.5)$$

$$he \phi 1'' = \frac{8(3,79)Q^2}{(9,81m/seg^2) \pi^2 (0,0254m)^4}$$

$$he \phi 1^{1/2''} = 752359,79 Q^2$$

Tubería de 1 ¼ de diámetro:

Según Saladarriaga V., Juan G., Hidráulica de Tuberías^[9]

<u>Accesorios</u>	<u>K</u>
2 codos de 90° ø 1¼"	1,8

$$h_e = \frac{16kQ^2}{2g\pi^2 D^4}$$

$$h_e \phi^{1/4} = \frac{8(1,80)Q^2}{(9,81m/seg^2)\pi^2(0,03175m)^4}$$

$$h_e \phi^{1/4} = 146358,79Q^2$$

$$h_{eT} = 752359,79Q^2 + 146358,79Q^2$$

$$h_{eT} = 898718,58 Q^2$$

5.3.2.2.2.- Pérdidas en las Tuberías:

Se utiliza para el cálculo de las pérdidas en la tubería la fórmula de Hazen-Williams

$$S_f = \frac{10,643LQ^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,87}} \quad (4.6)$$

Donde:

- Sf= Pérdidas en la Tubería [m]
- L= Longitud de la Tubería [m]
- Q= Caudal que fluye por la tubería [m³/seg]
- C= Coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes de los tubos (material y estado)=120. Según la tabla 14-3 Manual de Hidráulica de Azevedo J. M. y Acosta A. Guillermo
- D= Diámetro de la tubería [m]

Pérdidas en la tubería de 1" pulgada de diámetro:

$$Sf = \frac{10,643(1,20m)Q^{1,85}}{(120)^{1,85}(0,0254)^{4,87}}$$

$$Sf = 106713,61Q^{1,85}$$

Pérdidas en la tubería de 1¼" pulgada de diámetro:

$$Sf = \frac{10,643(0,21m)Q^{1,85}}{(120)^{1,85}(0,03175)^{4,87}}$$

$$Sf = 6299,50Q^{1,85}$$

$$Sf_T = 106713,61Q^{1,85} + 6299,50Q^{1,85}$$

$$Sf_T = 113013,10Q^{1,85}$$

5.3.2.2.3.- Pérdidas totales expresadas en función del caudal:

$$htf = Sf + he + Z \quad (4.7)$$

Z=Altura medida desde el nivel del agua del tanque de alimentación hasta el punto más alto de la tubería de descarga = 1,05m

$$htf = 113013,10Q^{1,85} + 898718,58Q^2 + 1,05$$

Se estimaron algunos valores del caudal para obtener los siguientes resultados:

Q(M3/seg)	H(m)
0,0020	5,79
0,0021	6,27
0,0022	6,77
0,0023	7,29
0,0024	7,84
0,0025	8,36
0,0026	9,00
0,0027	9,60
0,0028	10,24
0,0029	10,89

Se realiza la gráfica de las tablas, la última es la del sistema y la primera de la bomba.

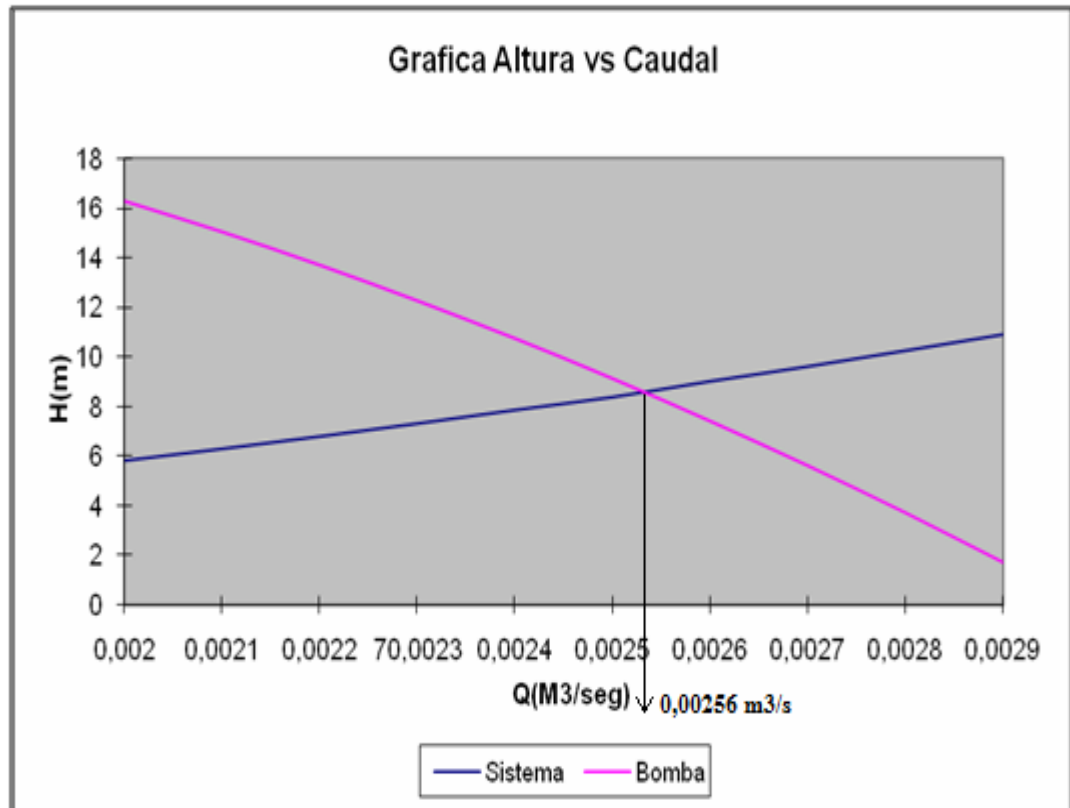


Figura 28. Gráfica de Caudal vs Altura.

El caudal en la cual la bomba trabaja en óptimas condiciones es $0,00256 \text{ m}^3/\text{seg}$

5.3.3.- Altura Dinámica total del Sistema (Hmax):

$$H_{\text{max}} = h + H \quad (4.8)$$

5.3.3.1.- Altura del recorrido más crítico:

El recorrido más crítico es la altura que hay desde el nivel del agua hasta donde desemboca la tubería de descarga. Esta altura en el diseño tiene un valor de $0,75 \text{ m}$

5.3.3.2.- Pérdidas menores localizadas en el Sistema:

$$H = \sum(L * J)$$

$$\text{Si } J = \frac{1,21957 * 10^{10} (Q/C)^n}{D^{4,87}} \quad (4.9)$$

En el diseño se encuentran dos diámetros de tuberías, el diámetro de 1" para la descarga de la bomba y el de 1¼" para la succión. El coeficiente C es igual a 120. Se sustituye J en la Ecuación 4.9 y se obtiene:

$$H = \frac{1,21957 * 10^{10} (Q/C)^n}{D^{4,87}} L$$

Donde:

H=Pérdidas menores [m]

Q=Gasto probable [l/seg]

C=Coeficiente de rugosidad [adm]

L=Longitud equivalente [adm]

D=Diámetro de la tubería [mm]

η =Exponente que varía de 1,85 a 2,00

Para un Diámetro de 1" pulgada:

Longitudes Equivalentes. Fuente ^[ANEXO E]

Accesorios	Le
4 Codos de 90° ø 1"	2,0m
1 Válvula de compuerta ø 1"	0,20m
Longitud de la tubería	0,86m
	$\Sigma=3,06m$

$$H = \frac{1,21957 * 10^{10} (2,56l / \text{seg} / 120)^{1,85}}{(25,40)^{4,87}} * 3,06$$

$$H = 4,35\text{m}$$

Para un diámetro de 1¼" pulgada:

Longitudes Equivalentes. Fuente ^[ANEXO E]

<u>Accesorios</u>	<u>Le</u>
4 Codos de 90° ø 1¼"	2,80m
<u>Longitud de la tubería</u>	<u>0,30m</u>
	Σ=3,10m

$$H = \frac{1,21957 * 10^{10} (2,56l / \text{seg} / 120)^{1,85}}{(31,75)^{4,87}} * 3,10$$

$$H = 1,49\text{m}$$

$$H_T = 5,84\text{m}$$

$$H_{\text{max}} = 0,75\text{m} + 5,84\text{m}$$

$$H_{\text{max}} = 6,59\text{m}$$

5.3.4.- Potencia de la Bomba:

Se comprueba que la bomba que se utiliza para el diseño es la correcta para construir el equipo.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot h_B}{76 \cdot \eta} \quad (4.10)$$

Donde:

γ = Peso Específico del Agua = 1g/cm³

Q=Caudal [l/seg]

η =Eficiencia de la Bomba. Según las Normas Venezolanas es igual a 0,60

Hmax=Altura total [m]

$$Hp = \frac{(2,56l / seg)(6,59m)}{(76)(0,60)}$$

$$Hp=0,40$$

5.3.5.- Potencia del Motor:

$$Hp(\text{Motor}) = 1,5 \text{ Hp (bomba)}$$

(4.11)

$$Hp(\text{Motor}) = 1,5 (0,40)$$

$$Hp(\text{Motor}) = 0,60 \text{ Hp}$$

Como en el mercado no hay una bomba con este número de hp se utilizo una bomba de $\frac{3}{4}$ Hp.

5.3.6.- Resalto Hidráulico:

Hasta los momentos al equipo diseñado se le suministraron unas dimensiones similares al equipo del antiguo laboratorio de ingeniería hidráulica, se verificó que la

bomba con la que se trabajó es la adecuada. Ahora se comprobará si las dimensiones del equipo producirá el fenómeno de resalto hidráulico para su posterior estudio.

Teorema de Bernoulli:

$$\frac{V_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} + Z_a = \frac{V_b^2}{2g} + \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + h_{ab}$$

Donde:

V_a = Velocidad en el punto A [m/seg]

g = Aceleración de la gravedad [m/seg²]

P_a = Presión en el punto A [Kpa]

γ = Peso específico del fluido [Kgf/m³]

h_{ab} = Pérdida de altura total entre los puntos A y B. Tomando como eje de referencia el punto B [m]

Z_a = Altura en el punto A

El teorema de Bernoulli se aplicará ente la parte más alta donde desemboca el agua y la parte inferior del tanque de descarga

$$g=9,81 \text{ m/seg}^2$$

$$V_a=0 \text{ m/seg}$$

$P_a=0$ es igual a la presión atmosférica

w =Para el agua será igual a 1000 Kgf/m³

$$h_{ab}=0\text{m}$$

$$Z_a = \frac{V_b^2}{2g}$$

$$0,25\text{m} = \frac{V_b^2}{2(9,81\text{m/seg}^2)}$$

$$Vb^2 = 2(9,81m / seg^2)(0,25m)$$

$$Vb = 2,22m / seg$$

Esta será la velocidad con la que el agua saldrá de la compuerta del tanque de alimentación.

5.3.7.- Cálculo del Número de Froude (F1):

$$F1 = \frac{V1}{\sqrt{gY1}}$$

Donde:

V1=Vb=Velocidad del agua que sale de la compuerta

Y1=Altura de la compuerta. Se le da un valor igual a 0,01m

$$F1 = \frac{2,22m / seg}{\sqrt{(9,81m / seg^2)(0,01m)}}$$

F1= 7,09; con este valor se produce un resalto estable.

Con una abertura de la compuerta igual a 0,02m.

$$F1 = \frac{2,22m / seg}{\sqrt{(9,81m / seg^2)(0,02m)}}$$

F1= 5,01 con este valor se produce un resalto estable.

5.3.8.- Detalles de Pintura

Antes de pintar el equipo, se procedió a colocarle dos capas de esmalte anticorrosivo, eso se hizo con el fin de evitar la corrosión tanto del tanque de alimentación como del soporte del equipo.

Después de haber colocado la pintura anticorrosiva se procedió a pintar el equipo de un color azul al igual que el soporte.

5.3.9.- Descarga del equipo

El tanque hecho de material acrílico posee una tubería de descarga de diámetro de 1 pulgada en tres altura diferentes, la primera a 22,5 centímetros de la base, la segunda a 37,5 centímetros y la tercera a 52,5 centímetros, todas ellas desembocan en el tanque de alimentación. Este último por su parte posee una tubería de descarga en el fondo de 1 $\frac{1}{4}$ pulgada.

5.4.0.- Medidores de Profundidad

Para medir las profundidades requeridas para realizar las prácticas (Ver anexo F) se colocaran reglas graduadas para facilitar este paso, en la abertura de la compuerta deslizante se podrá medir la profundidad Y_1 gracias a la colocación de una regla. Mientras que para medir la longitud del resalto hidráulico que se va a formar se colocará un metro de capacidad de 3m, para facilitar la práctica.

CAPITULO VI

CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN

6.1.- Construcción

6.1.1.- Tanque de Alimentación

- Una vez establecidas las dimensiones del tanque de alimentación se tomaron dos láminas de hierro de 3 milímetros de espesor y se cortaron con una maquina cortadora especial de acuerdo a lo establecido por las dimensiones.

- Luego se procedió a soldar las láminas cortadas con la ayuda de un esmeril, una maquina soldadora, electrodos, entre otros.

- Se perforó el fondo del tanque con un agujero de $1\frac{1}{4}$ pulgada soldándole un niple de ese mismo diámetro esto se hizo para facilitar el mantenimiento del tanque a la hora de descargarlo.

- Para conectar la bomba se perforó otro agujero de $1\frac{1}{4}$ pulgada, se soldó un niple de ese mismo diámetro para conectar con las tuberías y los accesorios correspondiente (en este caso 2 codos de 90°) y posteriormente la bomba.

- Para asegurarse de que no hay grietas en el tanque se probó, llenándolo de agua. En este caso como habían algunas fugas se le aplico en todas las juntas silicón blanco para tapar las grietas.

- Una vez que se secó el silicón se pintó el tanque por dentro de pintura anticorrosiva, se esperó a que se secará para luego pintarlo a mano.

6.1.2.- Tanque de Descarga

- Se cortaron las láminas de acrílico de acuerdo a lo establecido en el diseño, esto se pudo llevar a cabo con la ayuda de una cortadora especial. Las dimensiones de las láminas fueron las siguientes: dos láminas de 0,70mx0,25m; dos láminas de 0,70mx0,30m; una lámina de 2,10mx0,25m; dos láminas de 0,45mx2,10m y una lámina de 0,25mx0,40m

- Se pegaron las láminas con un material especial utilizado en trabajos con acrílicos, llamado cemento acrílico.

- Para la construcción de la lámina vertical movable se hizo un riel de acrílico que se fijó con la ayuda del silicón, esto fue con el fin de deslizar la compuerta en forma vertical hasta la abertura requerida.

- Se corto un pedazo de lámina de acrílico para la compuerta de cola movable que irá al final del tanque de descarga, se reforzó con dos tornillos de acero inoxidable para que se pudiera deslizar en el ángulo deseado. Las dimensiones de esta lámina son: 0,25mx0,12m.

- Se reforzaron con acrílico las juntas del tanque de alimentación a todo lo largo del mismo para darle mayor seguridad.

- Se cortaron 4 pedazos más pequeño para realizar la descarga del tanque que se procedió a pegar con el cemento acrílico.

6.1.3.- Soporte del Equipo

- Para realizar el soporte del equipo se utilizó tubos cuadrados de 1" x 1" pulgadas, que se cortaron de acuerdo al diseño establecido, todo esto se hizo con la ayuda de una máquina de soldar y electrodos.

- Se soldó primero lo que correspondía al tanque de alimentación, su esqueleto principal, este por ser tan pesado se reforzó con cuatro tramos para mayor seguridad.

- Seguidamente se soldó la parte de arriba del tanque de descarga que se colocó encima del tanque de alimentación.

- Se le anexó al soporte del equipo una base lo suficientemente larga para colocar la bomba y el cajetín.

- Con la ayuda del esmeril se procedió a quitar los detalles que sobresalían del soporte para darle un mejor acabado.

- Por último se pintó el soporte con esmalte anticorrosivo, se le dio dos pasadas, luego se pintó el soporte con pintura de aceite. Tanto el anticorrosivo como la pintura del soporte se le aplicó con una brocha.

6.1.4.- Tuberías

- El tipo de tubería que se utilizó para la conexión de la bomba fue de hierro galvanizado (H.G) por lo tanto se tuvo que mandar a cortar las partes que se iban a colocar de acuerdo al diseño del sistema con una cortadora especial para este tipo de tuberías.

- Para la colocación del sistema de tuberías del equipo lo primero que se realizó fue el enroscado de la tubería que está conectada a la succión de la bomba, se utilizó: niples, codos y teflón para conectarlas.

- Luego se enroscaron las demás piezas junto con los accesorios: codos de 90°, niples y una válvula compuerta para regular el caudal que sale de la bomba, todo esto se hizo con teflón y con la ayuda de una llave maestra para que no quedaran filtraciones.

- Para colocar el sistema de tuberías por descarga se utilizaron tuberías PVC, este tipo de tuberías tiene la ventaja que no hay que mandarla a cortar sino que uno mismo lo puede cortar de acuerdo a su medida requerida, se utilizó el pegamento especial para este tipo de tubería, junto con los accesorios requeridos: codo de 90° y tee. Cabe destacar que al momento de colocar el pegamento en las tuberías se tuvo mucho cuidado en hacerlo.

6.1.5.- Instalaciones Eléctricas de la Bomba

Las conexiones eléctricas de la bomba se hicieron con empalmes simples en cada uno de los tres cables de alimentación provenientes de la bomba y se aislaron con cinta plástica para evitar un posible cortocircuito. Al momento de comprarla se nos dio asesoría técnica de cómo se debía instalar correctamente esta.

Para una mayor seguridad se compró un cajetín en donde se colocaran el cableado eléctrico.

Una característica de la bomba que se adquirió es que se puede trabajar en corriente 220v y 110v, en nuestro caso se trabajó con corriente 110v porque esa es la que se encuentra en el laboratorio.

6.2.- Calibración del sistema

Una vez que el equipo se armó se observaron ciertas irregularidades a la hora de realizar la práctica, entre ellas se encuentran:

- Una de las tuberías de hierro galvanizado goteaba, esto se debía a que no estaba enroscada correctamente, se procedió a desarmarla y enroscarla de la forma adecuada.
- La bomba requirió cebarla, es decir, llenarle la tubería que conecta la bomba con el sistema de agua y encenderla para que arrancara.
- El tanque de alimentación requirió otra colocación de silicón en las aberturas que se le realizaron para colocar la descarga del mismo y la succión de la bomba.

- Se preciso llevar la bomba a revisión técnica debido a que comenzó a manar agua de una de las aberturas que tiene la bomba para respirar, se le ajustaron bien los cellos y deajo de manar agua por la parte inferior.
- Se le tuvo que colocar silicón transparente al tanque de descarga en las juntas debido a que presentó filtraciones al momento en que este se lleno de agua.
- Al realizar las prácticas correspondientes se observo que la compuerta de cola se necesitaba volver a ajustar debido a que en grandes corrientes de agua el ángulo variaba.
- Se colocaron los instrumentos de medición correspondientes en el equipo, para facilitar las prácticas.

Para la calibración del sistema se realizaron las siguientes pruebas:

- Para una altura de agua de 0,225 m. y abertura de la compuerta (0,005m; 0,01m y 0,02m) y un ángulo de inclinación de 10° se presentaron resaltos estables en abertura de 0,005m. A medida que la abertura de la compuerta aumentaba estos tendían a formar resaltos oscilantes.
- Para alturas de agua de 0,225m. y un ángulo de inclinación de la compuerta igual a 20° se observó resaltos estables en aberturas de la compuerta igual a 0,005m y 0,01m. y en abertura de 0,02m se observó un resalto oscilante debido al número de Froude obtenido (4,28). Para la misma altura de agua (0,225m) e iguales aberturas de la compuerta vertical con ángulo de inclinación de 30° los resultados fueron pocos visibles.
- Para la altura de agua de 0,375m con un ángulo de inclinación de 10° y aberturas iguales a 0,005m; 0,01m y 0,002m el número de Froude fue de 10,4; 7,9 y 6,0 respectivamente para cada abertura originando resaltos fuertes y estables.
- Para una altura de agua de 0,375m con un ángulo de inclinación de la compuerta de cola igual a 20° y aberturas de la compuerta vertical de 0,005m;

0,01m y 0,002m se obtuvieron números de Froude de 10,42; 8,00 y 5,42 respectivamente para cada abertura generándose resaltos fuertes y estables respectivamente. Con la misma altura de agua (0,375m), variando el ángulo de inclinación a 30° , se observó que para la abertura de la compuerta vertical de 0,005m el resalto fue poco visible.

- Para una altura de agua igual a 0,525m y un ángulo de inclinación de 10° , con aberturas de 0,005m; 0,01m y 0,02m se obtuvieron números de Froude igual a 11,03; 7,61 y 6,40; originando resaltos fuertes y estables.
- Para la altura de agua 0,525m y un ángulo de la compuerta de cola igual a 20° , con aberturas de 0,005m; 0,01m y 0,02m los resaltos obtenidos oscilaban de fuertes a estables debido al número de Froude resultante (11,40; 8,40 y 6,15)

CAPITULO VII

RESULTADOS

7.1.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 1 (0,225m)

Altura de Agua de Rebose 1 (0,225m)

Ensayo 1

Para una altura de rebose de agua igual a 0,225m con un ángulo de inclinación de 10° y aberturas de la compuerta vertical iguales a 0,005m; 0,01m y 0,02m se obtuvieron los siguientes datos y resultados.

Tabla N° 1: Ensayo 1

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,225	10	0,0078	0,036	0,40
0,01	0,225	10	0,0140	0,057	0,42
0,02	0,225	10	0,0210	0,060	0,25

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _c	Tipo de Resalto
0,005	0,225	1,60	2,10	7,59	0,016	Estable
0,01	0,225	3,20	2,10	5,67	0,025	Estable
0,02	0,225	6,40	2,10	4,66	0,040	Estable

Ensayo 2

Para una altura de rebose de agua igual a 0,225m con un ángulo de inclinación de 20° y aberturas de la compuerta vertical iguales a 0,005m; 0,01m y 0,02m se obtuvieron los siguientes datos y resultados.

Tabla N° 2: Ensayo 2

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,225	20	0,009	0,016	0,40
0,01	0,225	20	0,013	0,064	0,36
0,02	0,225	20	0,025	0,072	0,15

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,225	1,60	2,10	7,00	0,016	Estable
0,01	0,225	3,20	2,10	6,00	0,025	Estable
0,02	0,225	6,40	2,10	4,28	0,040	Oscilante

Ensayo 3

Para una altura de rebose de agua igual a 0,225m con un ángulo de inclinación de 30° y aberturas de la compuerta vertical iguales a 0,005m; 0,01m y 0,02m se obtuvieron los siguientes datos y resultados.

Tabla N° 3: Ensayo 3

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,225	30	DM	DM	DM
0,01	0,225	30	DM	DM	DM
0,02	0,225	30	DM	DM	DM

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,225	1,60	2,10	NC	0,016	SI
0,01	0,225	3,20	2,10	NC	0,026	SI
0,02	0,225	6,40	2,10	NC	0,041	SI

DM = Dificil de Medir.

NC = No se Puede Calcular el Número de Froude (F₁).

SI = Sin Identificar el Tipo de Resalto.

7.2.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 2 (0,375m)

Altura de Agua de Rebose 2 (0,375m)

Ensayo 4

Tabla N° 4: Ensayo 4

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,375	10	0,007	0,062	0,60
0,01	0,375	10	0,012	0,075	0,65
0,02	0,375	10	0,022	0,068	0,63

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,375	2,06	2,71	10,4	0,020	Fuerte
0,01	0,375	4,13	2,71	7,9	0,030	Estable
0,02	0,375	8,26	2,71	6,0	0,050	Oscilante

Ensayo 5

Tabla N° 5: Ensayo 5

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,375	20	0,0072	0,068	0,40
0,01	0,375	20	0,0120	0,062	0,36
0,02	0,375	20	0,0250	0,063	0,25

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,375	2,06	2,71	10,42	0,020	Fuerte
0,01	0,375	4,13	2,71	8,00	0,030	Estable
0,02	0,375	8,26	2,71	5,42	0,050	Estable

Ensayo 6**Tabla N° 6: Ensayo 6**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,375	30	DM	DM	DM
0,01	0,375	30	0,018	0,051	0,42
0,02	0,375	30	0,025	0,062	0,23

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,375	2,07	2,71	DM	0,020	SI
0,01	0,375	4,13	2,71	6,45	0,030	Estable
0,02	0,375	8,26	2,71	5,53	0,050	Estable

DM = Dificil de Medir.

NC = No se Puede Calcular el Número de Froude (F₁).

SI = Sin Identificar el Tipo de Resalto.

7.3.- Resultados Obtenidos Para una Altura de Agua 3 (0,525m)

Altura de Agua de Rebose 3 (0,525m)

Ensayo 7**Tabla N° 7: Ensayo 7**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,525	10	0,009	0,073	0,36
0,01	0,525	10	0,018	0,074	0,20
0,02	0,525	10	0,026	0,068	0,15

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,525	2,44	3,20	11,03	0,021	Fuerte
0,01	0,525	4,88	3,20	7,61	0,033	Estable
0,02	0,525	9,76	3,20	6,40	0,053	Estable

Ensayo 8**Tabla N° 8: Ensayo 8**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,525	20	0,0083	0,075	0,38
0,01	0,525	20	0,014	0,082	0,42
0,02	0,525	20	0,028	0,090	0,36

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,525	2,44	3,20	11,04	0,021	Fuerte
0,01	0,525	4,88	3,20	8,42	0,033	Estable
0,02	0,525	9,76	3,20	6,15	0,053	Estable

Ensayo 9**Tabla N° 9: Ensayo 9**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,005	0,525	30	0,007	0,081	0,42
0,01	0,525	30	0,017	0,084	0,28
0,02	0,525	30	0,028	0,080	0,15

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C	Tipo de Resalto
0,005	0,525	2,44	3,20	12,30	0,021	Fuerte
0,01	0,525	4,88	3,20	8,00	0,033	Estable
0,02	0,525	9,76	3,20	6,15	0,055	Estable

DM = Dificil de Medir

NC = No se Puede Calcular el Número de Froude

SI = Sin Identificar el Tipo de Resalto.

7.4.- Otros ensayos

Para descarga de la tubería 1 (0,225m)

Ensayo 10

Tabla N° 10: Ensayo 10

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,26	10	0,010	0,028	0,20
0,01	0,30	10	0,013	0,030	0,30
0,01	0,35	10	0,015	0,035	0,35

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,26	3,44	2,25	7,3	0,026	Estable
0,01	0,30	3,70	2,43	6,9	0,028	Estable
0,01	0,35	3,90	2,60	6,8	0,029	Estable

Ensayo 11

Tabla N° 11: Ensayo 11

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,015	0,26	10	0,011	0,030	0,26
0,015	0,30	10	0,015	0,030	0,30
0,015	0,35	10	0,020	0,038	0,35

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,015	0,26	5,1	2,25	6,8	0,030	Estable
0,015	0,30	5,5	2,43	6,3	0,036	Estable
0,015	0,35	5,9	2,60	5,9	0,038	Estable

Ensayo 12**Tabla N° 12: Ensayo 12**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,26	10	0,013	0,040	0,10
0,02	0,35	10	0,015	0,052	0,39

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,26	6,86	2,25	6,42	0,040	Estable
0,02	0,35	7,90	2,60	6,80	0,050	Estable

Ensayo 13**Tabla N° 13: Ensayo 13**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,025	0,26	10	0,015	0,040	0,30
0,025	0,35	10	0,017	0,045	0,40

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,025	0,26	8,50	2,25	6,00	0,049	Estable
0,025	0,35	9,91	2,60	6,50	0,054	Estable

Ensayo 14**Tabla N° 14: Ensayo 14**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,26	20	0,016	0,065	0,42
0,01	0,35	20	0,018	0,071	0,50

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,26	3,44	2,25	5,76	0,026	Estable
0,01	0,35	3,96	2,60	6,10	0,029	Estable

Ensayo 15**Tabla N° 15: Ensayo 15**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,26	20	0,011	0,072	0,60
0,02	0,35	20	0,013	0,078	0,60

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,26	6,86	2,25	7,03	0,042	Estable
0,02	0,35	7,93	2,60	7,42	0,046	Estable

Ensayo 16**Tabla N° 16: Ensayo 16**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,025	0,26	20	0,013	0,070	0,60
0,025	0,35	20	0,016	0,073	0,64

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,025	0,26	8,57	2,25	6,40	0,049	Estable
0,025	0,35	9,91	2,60	6,40	0,054	Estable

Ensayo 17**Tabla N° 17: Ensayo 17**

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,26	20	DM	DM	DM
0,01	0,35	20	DM	DM	DM

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,26	NC	NC	NC	NC	SI
0,01	0,35	NC	NC	NC	NC	SI

DM = Dificil de Medir

NC = No se Puede Calcular el Número de Froude

SI = Sin Identificar el Tipo de Resalto.

Para descarga de la tubería 2 (37,5m)

Ensayo 18

Tabla N° 18: Ensayo 18

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,41	10	0,015	0,030	0,33
0,01	0,49	10	0,018	0,054	0,38

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,41	4,27	2,80	7,36	0,030	Estable
0,01	0,49	4,72	3,10	7,38	0,033	Estable

Ensayo 19

Tabla N° 19: Ensayo 19

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,41	10	0,023	0,045	0,42
0,02	0,49	10	0,028	0,056	0,44

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,41	8,54	2,80	4,20	0,049	Oscilante
0,02	0,49	9,45	3,10	4,18	0,052	Oscilante

Ensayo 20

Tabla N° 20: Ensayo 20

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,41	20	0,016	0,054	0,38
0,01	0,49	20	0,028	0,062	0,43

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,41	4,27	2,80	7,00	0,030	Estable
0,01	0,49	4,72	3,10	5,96	0,033	Estable

Ensayo 21

Tabla N° 21: Ensayo 21

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,41	20	0,021	0,080	0,41
0,02	0,49	20	0,032	0,082	0,39

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,41	8,54	2,80	6,20	0,049	Estable
0,02	0,49	9,45	3,10	5,50	0,052	Estable

Ensayo 22

Tabla N° 22: Ensayo 22

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,41	30	0,048	0,083	0,23
0,01	0,49	30	0,050	0,089	0,36

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,41	4,27	2,10	4,11	0,030	Oscilante
0,01	0,49	4,72	3,10	4,42	0,033	Oscilante

Ensayo 23

Tabla N° 23: Ensayo 23

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,41	30	0,046	0,093	0,31
0,02	0,49	30	0,050	0,097	0,33

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,41	8,54	2,80	2,94	0,049	Oscilante
0,02	0,49	9,45	3,10	3,19	0,052	Oscilante

Para Descarga de la tubería 3 (525m)

Ensayo 24

Tabla N° 24: Ensayo 24

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,56	30	0,020	0,010	0,49

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,56	5,04	3,31	7,52	0,030	Estable

Ensayo 25

Tabla N° 25: Ensayo 25

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,56	30	0,023	0,011	0,52

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,56	10,09	3,31	6,89	0,050	Estable

Ensayo 26

Tabla N° 26: Ensayo 26

Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,01	0,56	20	0,020	0,042	0,19

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,01	0,56	5,04	3,31	7,52	0,030	Estable

Ensayo 27

Tabla N° 27: Ensayo 27

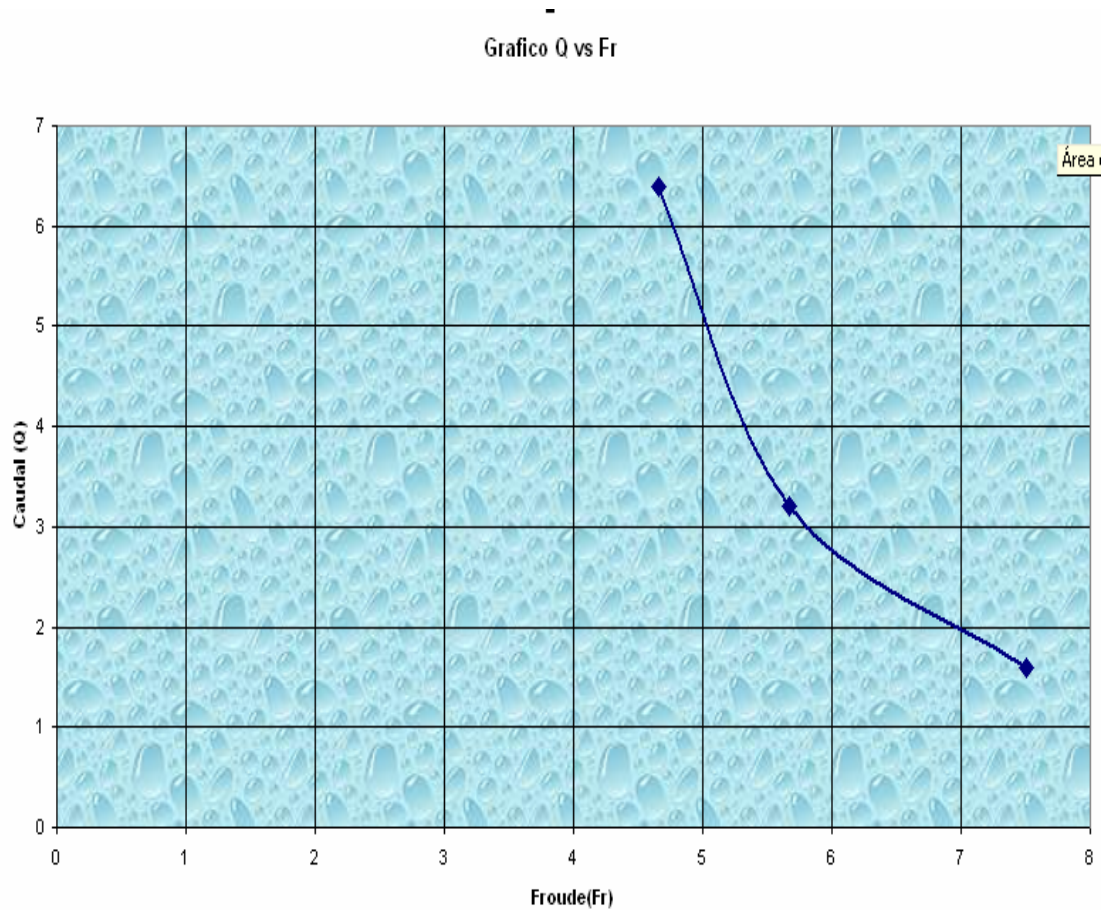
Abertura (m)	Altura de Agua (m)	Angulo (°)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Longitud (m)
0,02	0,56	20	0,023	0,047	0,20

Abertura (m)	Altura (m)	Q (l/s)	V (m/s)	F ₁	Y _C (m)	Tipo de Resalto
0,02	0,56	10,09	3,31	7,04	0,050	Estable

7.5.- graficas correspondiente a los resultados

Fijando la altura de Agua y variando la abertura de la compuerta tenemos los siguientes gráficos.

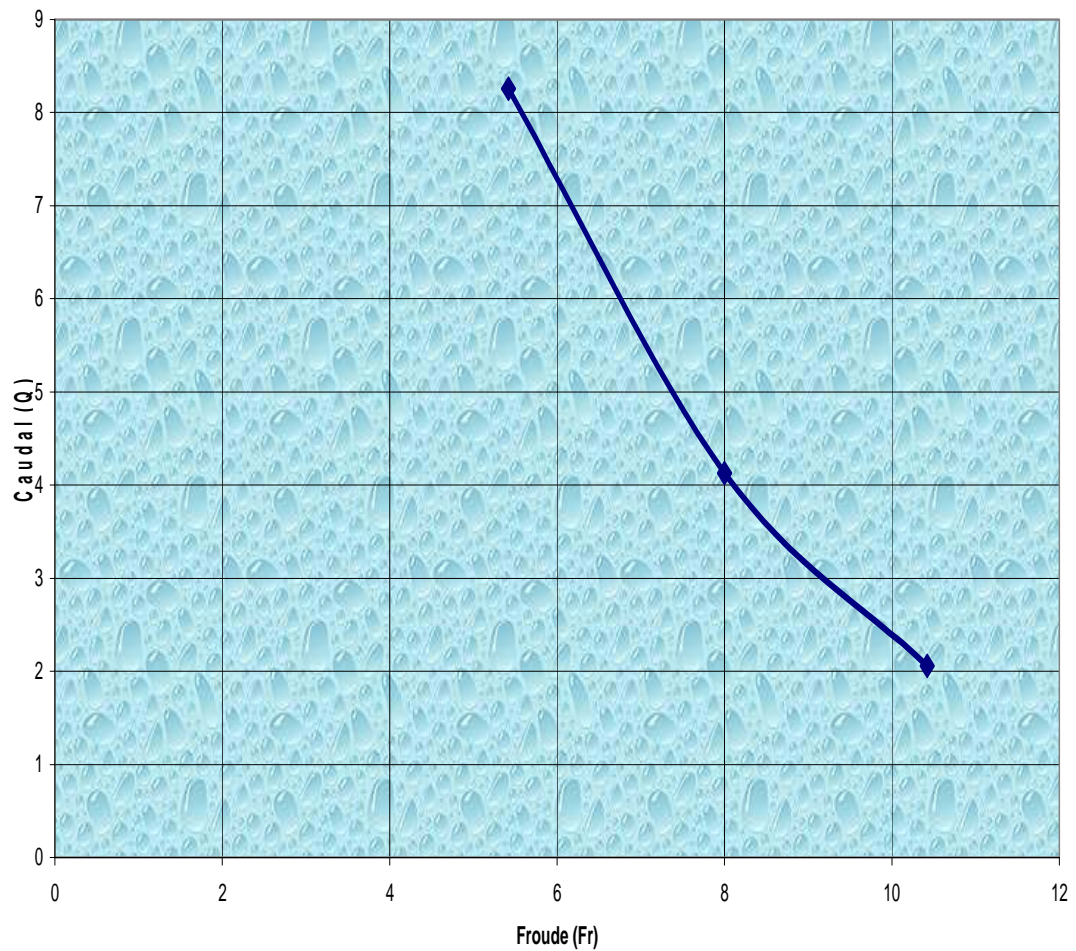
7.5.1.- Para la Primera Altura de Agua 1 (0,225m) y variando la abertura de compuerta (0,005m, 0,01m, 0,02m). Fijando una inclinación de la Compuerta de 10°



A mayor caudal menor número de Froude (F_1), en el cual el resalto es poco visible y en algunos casos se observan resaltos oscilantes, a medida que el caudal disminuye el resalto se presenta en forma estable. La altura de agua y la variación de la compuerta juegan un papel fundamental en los resultados.

7.5.2.- Para la Segunda Altura de Agua 2 (0,375m) y variando la abertura de compuerta (0,005m, 0.01m, 0,02m). Fijando una Inclinación de la Compuerta de 20°

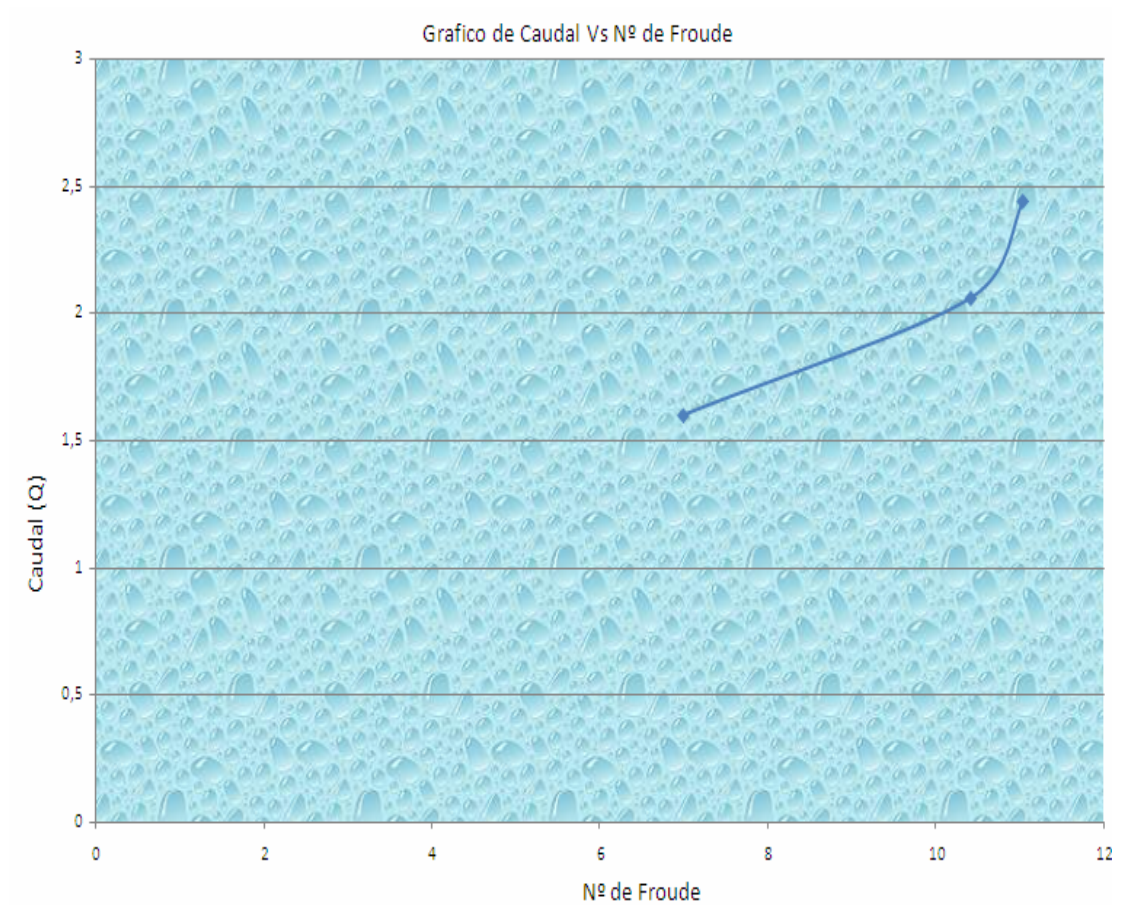
Grafico Q vs Fr



A menor caudal mayor será el número de Froude (F_1) originándose resaltos fuertes. A medida que aumenta el caudal disminuye el número de Froude (F_1) originando resaltos estables.

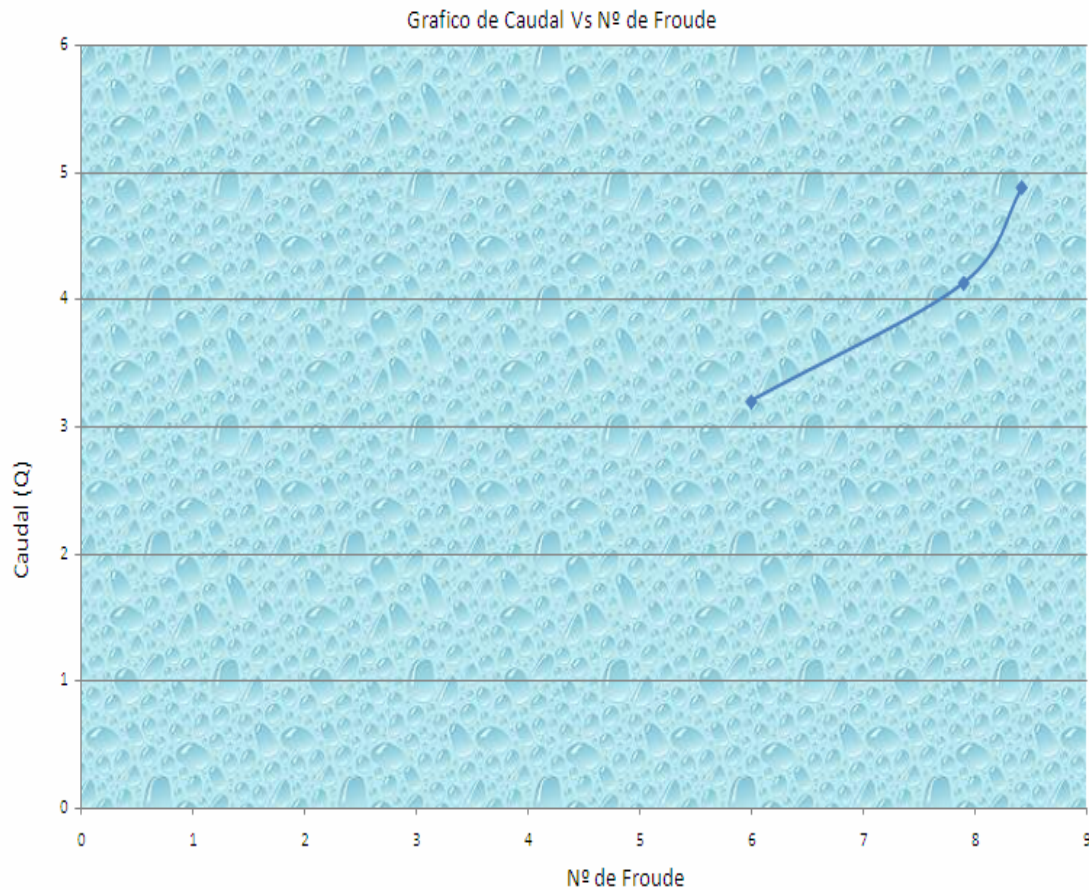
Fijando la abertura de la compuerta y variando la altura de agua tenemos los siguientes comportamientos.

7.5.3.- Fijando la abertura de la compuerta y variando la altura de agua (0,225m, 0,375m, 0,525m). Para una abertura de 0,005m y 20°



A medida que aumenta el caudal se origina un aumento en el número de Froude. Debido a la variación de la altura de agua, cuando esta es mayor la velocidad va a ser mayor por ende el caudal aumenta y, la energía a disipar será mayor.

7.5.4.- Fijando la abertura de la compuerta y variando la altura de agua (0,225m, 0,375m, 0,525m). Para una abertura de 0,01m y 20°



A medida que aumenta el caudal se incrementa el Número de Froude debido a que aumenta la altura de agua y la velocidad es mayor, por lo tanto el caudal es mayor.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- Conclusiones

Debido a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Al considerar las tres alternativas de diseño se eligió la opción N° 1 porque es mucho más fácil de construir en cuanto a los materiales que se requieren para ello, el equipo se puede ubicar en cualquier parte del laboratorio, su traslado se hace mucho más sencillo que las otras dos opciones y su mantenimiento también, el tiempo de construcción es menor que el de los otros dos.

En cuanto a las prácticas realizadas en el equipo construido se concluye lo siguiente:

1. Para una altura de agua igual a 0,225m y las siguientes aberturas de la compuerta vertical (0,005m; 0,01m y 0,02m) y los siguientes ángulos de inclinación (10°, 20° y 30°) los resaltos originados tendían a formarse de estables a poco visibles. Debido a la variación del ángulo el cual al aumentar con la misma altura de agua y aberturas de la compuerta iguales se dificulta la observación de los resaltos y en algunas oportunidades no se visualizan los mismos.
2. Para la altura de agua igual a 0,375m y las siguientes aberturas de la compuerta vertical (0,005m; 0,01m y 0,02m) y los siguientes ángulos de inclinación (10°, 20° y 30°) se observaron que los resaltos originados fueron

fuertes y a medida que se aumentaba la altura de la compuerta estos tendían a ser estables, en este caso la variación del ángulo no afectó.

3. Para la altura de agua igual a 0,525m y 0,375m y las siguientes aberturas de la compuerta vertical (0,005m; 0,01m y 0,02m) y los siguientes ángulos de inclinación (10°, 20° y 30°) se presentaron resaltos fuertes y a medida que se aumentaba la abertura de la compuerta el resalto tendía a ser estable, igual al caso anterior no afectó la variación del ángulo. Esto se debe a que las alturas de agua establecidas (0,375m y 0,525m) fueron ideadas para que se produzca el fenómeno del resalto hidráulico.
4. También se realizaron otras pruebas extras a diferentes alturas dando como resultados resaltos fuertes, estables y oscilantes.
5. Mediante estas observaciones se llega a la conclusión que el equipo diseñado y construido cumple satisfactoriamente para el estudio del resalto hidráulico

8.2.- Recomendaciones

1. Se recomienda para observar resaltos fuertes y estables, alturas de agua de (0,375m y 0,525m) y aberturas de la compuerta vertical (0,005m y 0,01m)
2. Para observar resaltos oscilantes se recomienda una altura de agua igual a 0,225m y las siguientes aberturas de la compuerta vertical 0,005m y 0,01m.
3. No se recomienda trabajar con alturas menores a 0,225m debido a que se dificulta la observación del resalto y en algunos casos no se originan.
4. Se recomienda al finalizar la práctica descargar el tanque de alimentación para prolongar la vida útil del equipo.
5. Para realizar las prácticas del laboratorio es necesario trabajar en grupo, entender el procedimiento y repetir los ensayos para mejorar los resultados.
6. Se recomienda llevar a la práctica la construcción de las alternativas de diseño 1 y 2 propuestas para compararlas con la desarrollada en este proyecto, así

como llevar a cabo otros proyectos que mejoren los equipos del laboratorio que no estén en buenas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ^[1] Aguille J., y Otros. (1993). **"Mecánica de los Fluidos"**. Primera Edición U.L.A. Mérida, Venezuela.
- ^[2] Chow V., (2004). **"Hidráulica de Canales Abiertos"**. Editorial McGraw-Hill.
- ^[3] De Acevedo J. M., y Acosta G., (1976). **"Manual de Hidráulica"**. Editorial Harla S.A. México.
- ^[4] Dutterweiler Helga y Echeverria G., Ronny. (2001). **"Diseño de un Equipo para el Estudio de Resalto Hidráulico a ser Utilizado en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente"**. Tesis de Grado. Departamento de Ingeniería Civil. UDO. Puerto la Cruz. Venezuela.
- ^[5] French Richard H., (1992). **"Hidráulica de Canales Abiertos"**. Editorial McGraw-Hill. México.
- ^[6] Gilles Ranald y Evett Jack. (1994). **"Mecánica de los Fluidos e Hidráulica"**. Editoria McGraw-Hill. España.
- ^[7] Gonzales L., (1997). **"Curso de Hidráulica en Canales Abiertos"**. Universidad de Oriente. Venezuela.
- ^[8] Mataix C., (1982). **"Mecánica de los Fluidos y Maquinas Hidráulicas"**. Editorial Harla S.A. México.
- ^[9] Saladarriaga V., (1998). **"Hidráulica de Tuberías"**. McGraw-Hill. Interamericana C.A. Colombia.
- ^[10] Sotelo G., (1981). **"Hidráulica en General"**. Editorial Limusa. México.
- ^[11] Streeter Victor y Bedford Keith. (2000). **"Mecánica de los Fluidos"**. Editorial McGraw- Hill. Colombia.
- ^[12] Streeter Wylie. (1994). **"Mecánica de los Fluidos"**. Editorial McGraw-Hill. México.
- ^[13] Truebas S., (1981). **"Hidráulica"**. Editorial Continental S.A. México.

^[14] White F., M., (1983). "**Mecánica de los Fluidos**". Editorial McGraw-Hill.
México.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TÍTULO	Construcción de un Equipo para el Estudio del Resalto Hidráulico en el Nuevo Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente. Puerto la Cruz
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Almeida A., María G.	CVLAC: 16.852.154 E MAIL: gaby318@hotmail.com
Cesin G., Elisama V.	CVLAC: 15.551.546 E MAIL: elicesin@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Construcción de un equipo

Resalto hidráulico

Ingeniería civil

Laboratorio de hidráulica

Canales rectangulares

Canales abiertos

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

Unos de los aspectos que merece especial atención por parte de los ingenieros civiles en el diseño de obras hidráulicas es el estudio del resalto hidráulico, fenómeno que se produce cuando el agua asciende bruscamente en un canal abierto. Actualmente en la Universidad de Oriente núcleo de Anzoátegui. Puerto la Cruz el departamento de ingeniería civil cuenta con un nuevo laboratorio para la asignatura: Laboratorio de hidráulica. El principal objetivo del presente trabajo de investigación contempla la construcción de un equipo para el estudio del resalto hidráulico para el nuevo laboratorio.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Bou Ghannam, Mounir	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	11.420.592			
	E_MAIL	mo.bou@hotmail.com			
	E_MAIL				
Gómez, Mariely	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	15.155.952			
	E_MAIL	mariely2002@hotmail.com			
	E_MAIL				
González Luis	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.307.130			
	E_MAIL	lbggonzalez@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	04	16
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Equipo resalto hidráulico.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE**ESPACIAL:** _____ (OPCIONAL)**TEMPORAL:** _____ (OPCIONAL)**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Ingeniero Civil**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Pregrado**ÁREA DE ESTUDIO:**Departamento de Ingeniería Civil**INSTITUCIÓN:**Universidad De Oriente. Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

AUTOR

Almeida A., María G.

AUTOR

Cesin G., Elisama V.

TUTOR

Bou Ghanam, Mounir

JURADO

Gómez, Mariely

JURADO

González Luis

Saab, Yasser

POR LA SUBCOMISION DE TESIS