



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial.”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL ABIERTO DE TRANSPORTE DE AGUA  
PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**Autores: FERNANDO PATRICIO ANDRADE MOROCHO  
JOSÉ MIGUEL PAREDES CASTELO**

**Director: Ing. Mario Cabrera**

**Riobamba – Ecuador**

**2011**

## PÁGINA DE REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL ABIERTO DE TRANSPORTE DE AGUA PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, presentado por los señores: Fernando Patricio Andrade Morocho y José Miguel Paredes Castelo, y dirigida por el Ing. Mario Cabrera.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la **UNACH**.

**Para constancia de lo expuesto firman:**

-----  
**Presidente del Tribunal (Ing. Rodrigo Briones)**

-----  
**Firma**

-----  
**Director (Ing. Mario Cabrera)**

-----  
**Firma**

-----  
**Miembro del Tribunal (Ing. Edmundo Cabezas)**

-----  
**Firma.**

### **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a los señores: Fernando Patricio Andrade Morocho, José Miguel Paredes Castelo y al Ingeniero Mario Cabrera y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

## **AGRADECIMIENTO**

Es el reconocimiento a la Facultad de Ingeniería en especial la Escuela de Ingeniería Industrial, y de manera especial a los ingenieros Mario Cabrera, Edmundo Cabezas y Rodrigo Briones, por la ayuda intelectual y material recibida para la realización de la investigación. Además, a nuestras familias por su paciencia, entendimiento y continuo apoyo a lo largo de nuestra carrera universitaria.

## **DEDICATORIA**

Primero y antes que nada, quiero dedicar a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, además por haber puesto en mi camino a mis padres, Vidal, Beatriz, y Ely personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

*José Miguel Paredes Castelo.*

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar a Dios, por estar siempre conmigo en cada instante de mi vida, por iluminar mi mente y agrandar a mi corazón, y además por darme la alegría de tener a mis padres, Luis Andrade y Rosario Morocho, a Verito Basantes, y a mi familia que han sido mi eje y mi fortaleza de seguir adelante en esta vida y la carrera estudiantil

*Fernando Patricio Andrade Morocho.*

## ÍNDICE

Portada	I
Página de revisión	II
Autoría de la investigación	III
Agradecimiento	VI
Dedicatoria	V
Índice general	VII
Índice de gráficos	X
Índice de tablas	XII
Resumen	XIII
Summary.	XIV
Introducción.	1

## ÍNDICE GENERAL.

### CAPÍTULO I

1.	GENERALIDADES.	3
1.1.	Problematización.	3
1.1.1.	Situación Problemática.	3
1.1.2.	Formulación del Problema.	3
1.1.3.	Ubicación del Sector.	4
1.1.4.	Justificación.	4
1.1.5.	Objetivos.	5
1.1.5.1.	Objetivo General.	5
1.1.5.2.	Objetivos Específicos.	5
1.2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	6
1.2.1.	FLUJOS EN CANALES ABIERTOS Y SU CLASIFICACIÓN.	6
1.2.2.	Descripción.	6

1.2.3.	Tipos de Flujo.	8
1.2.4.	Estado de Flujo.	10
1.2.5.	Clases de canales abiertos.	13
1.2.6.	Geometría de canal.	14
1.2.7.	Distribución de velocidades en un canal.	15
1.2.8.	Medición de velocidades	17
1.2.9.	Coeficientes de distribución de la velocidad.	17
1.2.10.	Distribución de presión en una sección de canal	18
1.3.	Flujo uniforme y sus ecuaciones.	19
1.3.1.	Establecimiento del flujo uniforme.	20
1.3.2.	Expresión de la velocidad en un flujo uniforme.	22
1.3.3.	La ecuación de Chezy.	23
1.3.4.	Cálculo del factor de resistencia de Chezy.	23
1.3.5.	La ecuación de Maning	25
1.3.6.	Selección del coeficiente de rugosidad de Maning.	26
1.3.7.	Factores que afectan el coeficiente de de rugosidad de Maning.	26
1.3.8.	Cálculo de rugosidad mediante formula.	27
1.3.9.	Tablas del Coeficiente de Rugosidad de Maning.	28
1.4.	Vertedor hidráulico	29
1.4.1.	Funciones	29
1.4.2.	Ecuaciones para el cálculo del caudal en Vertedores.	33
1.4.2.1.	Vertedor Trapezoidal.	33
1.4.2.2.	Vertedor Rectangular.	33
1.4.2.3.	Vertedor Triangular.	33
CAPÍTULO II		
2.	METODOLOGÍA.	34
2.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	34
2.2.	TIPO DE ESTUDIO.	35
2.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	36
2.4.	PROCEDIMIENTOS.	37



2.4.1.	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.	38
2.4.2.	Diseño y Construcción.	38
2.4.3.	Recursos Humanos.	45
2.4.4.	Recursos Físicos.	45
2.4.5.	Recursos Financieros.	47
2.4.6.	Costo Total del Proyecto.	47
2.5.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.	48
CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS.	62
3.1.	Datos Recopilados durante la Práctica # 1.	62
3.2.	Datos recopilados durante la Práctica # 2.	68
CAPÍTULO IV		
4.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	71
4.1.	Análisis de resultados en la Práctica # 1.	71
4.2.	Análisis de resultados en la Práctica # 2.	72
CAPÍTULO V		
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1.	CONCLUSIONES	73
5.2.	RECOMENDACIONES	74
CAPÍTULO VI		
6.	PROPUESTA	75
6.1.	TÍTULO DE LA PROPUESTA	75
	AUTOMATIZACIÓN DEL CANAL ABIERTO	75
6.2.	INTRODUCCIÓN	75
6.3.	OBJETIVOS	76
6.4.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO –TÉCNICA	76
6.5.	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	77
6.6.	MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.	77
	BIBLIOGRAFÍA.	78
	ANEXOS	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Comparación entre flujo en tubería y flujo en canales abiertos.	7
Figura 2. Flujo laminar & flujo turbulento.	12
Figura 3. Elementos geométricos de secciones de canal.	15
Figura 4. Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal	16
Figura 5. Distribución de presiones en canales rectos y curvos	19
Figura 6. Establecimiento del flujo en un canal	21
Figura 7. Distintos tipos de vertedores	33
Figura 8. Canal Abierto de Transporte de Agua	37
Figura 9. Ángulo de 2 pulg.	39
Figura 10. Bomba Sumergible VERTEX	39
Figura 11. Rotámetro.	39
Figura 12. Tanque de acero inoxidable	39
Figura 13. Regla metálica.	40
Figura 14. Tornillo sin fin.	40
Figura 15. Canal de transporte de agua.	40
Figura 16. Formas de Vertedores.	41
Figura 17. Variador de frecuencia Delta VFD-L	41
Figura 18. Breaker bifásico.	41
Figura 19. Válvula de bola	42
Figura 20. Manguera de $\frac{3}{4}$	43
Figura 21. Tee Plastigama.	43
Figura 22. Abrazaderas.	43
Figura 23. Fotografías de los diferentes regímenes de flujo observados en un canal abierto	51
Figura 24. Vertedor Rectangular.	59
Figura 25. Vertedor Trapezoidal.	59

Figura 26. Vertedor Triangular.	60
Figura 27. Diagrama de Frecuencia vs RPM observados en la Práctica.	62
Figura 28. Diagrama de Caudal vs RPM observados en la Práctica.	63
Figura 29. Fotografía de caudales observados en la Práctica	63
Figura 30. Fotografía de velocidades observados en la Práctica.	66
Figura 31. Fotografía de comportamiento del fluido observados en la Práctica.	67
Figura 32. Fotografía de caudal en vertedor Rectangular observados en la Práctica.	68
Figura 33. Fotografía de caudal en vertedor Trapezoidal observados en la Práctica.	69
Figura 34. Fotografía de caudal en vertedor Triangular observados en la Práctica.	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de distribución de velocidad	18
Tabla 2 .Valores Propuestos para m de Bazin	24
Tabla 3. Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad n	28
Tabla 4. Operacionalización de variables	36
Tabla 5. Procedimientos. Fuente: Autores	37
Tabla 6. Recursos Físicos	46
Tabla 7. Recursos Financieros.	47
Tabla 8. Costo del proyecto	47
Tabla 9. Datos del Motor. Fuente: Autores.	51
Tabla 10. Resultados en el variador de Frecuencia y Rotámetro. Fuente: Autores	52
Tabla 11. Resultados tipos de flujos. Fuente: Autores	52
Tabla 12. Toma de tiempos en el tanque de descarga. Fuente: Autores	53
Tabla 13. Cálculos de las velocidades en el tanque de descarga. Fuente: Autores	54
Tabla 14. Toma de tiempos en el vertedor. Fuente: Autores	54
Tabla 15. Cálculos de velocidades en el vertedor. Fuente: Autores	54
Tabla 16. Cálculos Matemáticos del número de Reynolds. Fuente: Autores	55
Tabla 17. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores	59
Tabla 18. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores	60
Tabla 19. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores	60

## RESUMEN

El siguiente Proyecto de Graduación que a continuación será presentado, es una guía muy importante para el diseño, cálculo y construcción de canales abiertos. En su contenido se encuentran experimentos prácticos a realizarse en un canal abierto. Aquí se definen muchos métodos de mediciones de caudales, velocidades, y se encuentran también tablas con ciertos coeficientes de rugosidades para diseño de canales, además encontramos vertedores para su aplicación.

El presente trabajo pone a disposición, de estudiantes, profesionales y público en general un canal de transporte de agua, que permite determinar los comportamientos de los fluidos en un canal abierto, además nos permite demostrar ecuaciones que rigen los fluidos tales como la ecuación de caudal, la ecuación de velocidad de fluidos, las leyes que rigen en fluidos en movimiento, y más,

Se ha previsto la experimentación con algunos tipos de rugosidades que intervienen en la construcción del canal de demostración, los mismos que nos permitirán observar una infinidad de flujos que se pueden originar en el trascurso del fluido a lo largo del canal de demostración.

Consideramos un trabajo con muchas aplicaciones didácticas tanto para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industrial como para las distintas Escuelas que conforman la Facultad de Ingeniería, además, este equipo de demostración permitirá realizar prácticas de laboratorio a personas interesadas en el área de fluidos, y diseño de canales abiertos.

## SUMMARY

In the formation of the Industrial Engineer one of the fundamental disciplines, it is that of Unitary Operations, which exactly analyzes the liquids or gases already be in balance, or in movement, being the fluids of major interest in our area.

A fluid, as consequence of having a mass and a speed, can transport a quantity of movement. In addition, by virtue of his temperature, it is capable of carrying an energy. Strictly speaking the convection it is the transport of energy for movement of the way.

The present work puts to disposition, of students, professionals and public in general a channel of demonstration of transporte of water, which allows to determine the behaviors of the fluids in an opened channel, in addition it allows us to demonstrate equations that riguen the such fluids as the equation of flow, the speed equation of fluids, the laws that riguen in fluids in movement, and more.

The experimentation has been foreseen by some types of ruggednesses that intervene in the construction of the channel of demonstration, the same ones that will allow us to observe his application of each one of the elements that intervene in the channel.

We consider a work with many didactic applications both for the students of the School of Industrial Engineering and for the different Schools that shape the Faculty of Engineering, in addition this equipment of demonstration will allow to realize laborator practices to persons been interested in the area of fluids.

## INTRODUCCIÓN

Los canales abiertos, son estructuras complementarias utilizadas para diferentes funciones, en este caso pueden ser para conducción de agua potable, riego, drenaje, energía hidroeléctrica, etc.

Al realizar este proyecto se busca obtener información sobre la capacidad de carga o caudal que puede transportar el mismo bajo distintos casos de la altura de nivel de fluido.

Con este canal abierto, se podrá demostrar la transportación de fluidos, además también se podrá determinar las diferentes pérdidas ocasionadas por los materiales que van a constituir el canal tales como:

- Rugosidad de Cemento
- Rugosidad de Madera
- Rugosidad Lisa (Acrílico)

En la actualidad podemos determinar que la comunidad no cuenta con una clara visión y conocimiento en lo que corresponde a diseño y construcción de estructuras hidráulicas tales como canales de riego, canales de drenaje, sistemas de evacuación de aguas residuales.

Este canal servirá para enseñar a la comunidad el debido diseño y construcción de canales abiertos, esto con la finalidad de poder aportar con un modelo a seguir para lograr crear canales que optimicen las condiciones de uso del mismo.

Al construir este equipo de laboratorio, dotado con todos los elementos necesarios, adecuados, y óptimos con los cuales no cuenta al momento la Facultad de Ingeniería,

podrá facilitar la comprensión y entendimiento de ciertas cátedras como Operaciones Unitarias, Mecánica de Fluidos, Instrumentación, etc., con lo cual los estudiantes de Ingeniería Industrial, Ingeniería Agroindustrial, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil, podrán ser los directos beneficiados de la aplicación del equipo.

En la Fundamentación teórica, encontraremos toda la información necesaria que se utilizo para la construcción y diseño del mismo. Además se sustenta este capítulo con una amplia información bibliográfica obtenida del texto de Hidráulica de Canales Abiertos, autoría de Ven The Chow 1994, el cual nos explica claramente el diseño y construcción de canales abiertos.

En Metodología utilizada, se describe las técnicas de investigación científica que intervinieron al momento de desarrollar este Proyecto, además aquí encontraremos los recursos empleados para su construcción. También se agrega información sobre los test de laboratorio y sus respectivos resultados.

Al momento de emplear los test o prácticas de laboratorio, empleamos una discusión breve para cada una de las hipótesis planteadas durante las prácticas de laboratorio, llegando a obtener conclusiones y recomendaciones favorables para cada uno de los resultados obtenidos las prácticas realizadas.

La documentación anexada habla específicamente de manuales de usuario para el correcto uso del equipo. Además cuenta con manuales de mantenimiento, esto con la finalidad de agregarle vida útil al equipo. Cuanta también con una detallada información sobre las partes y accesorios que conforman este equipo.



## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES.**

#### **1.1. Problematización.**

##### **1.1.1. Situación Problemática.**

La idea de construir un canal abierto de transporte de agua, nace por la necesidad de contar en la Facultad de Ingeniería con un equipo dotado e implementado con todos los accesorios necesarios para realizar diferentes tipos de ensayos en la cátedra de Operaciones Unitarias.

Con la construcción de este canal abierto, se podrá guiar a los estudiantes en diseñar y construir canales, así mismo se podrá adquirir conocimientos en las distintas cátedras en las cuales el canal va a prestar su aplicación didáctica.

##### **1.1.2. Formulación del Problema.**

Al tener un Canal Abierto de Transporte de Agua en el laboratorio, dotado con todos los elementos necesarios, adecuados, y óptimos con los cuales no cuenta al momento la Facultad de Ingeniería, podrá facilitar la comprensión y entendimiento de ciertas cátedras como Operaciones Unitarias, Mecánica de Fluidos, Instrumentación, etc., con lo cual los estudiantes de Ingeniería Industrial, Ingeniería Agroindustrial, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil, podrán ser lo directos beneficiados de este equipo al realizar ensayos y prácticas de laboratorio. La construcción de este Canal, es el tema fundamental de este estudio, así como elementos para la transportación de

fluidos, rugosidades en los canales, la trayectoria de sustancias líquidas, fluidos en movimiento, caudales necesarios y manuales para el manejo del equipo.

### **1.1.3. Ubicación del Sector.**

El presente proyecto de graduación, se divide en dos etapas de ejecución como son:

- Construcción.
- Ensayos.

La construcción del equipo lo realizamos en PROTEC Equipos Industriales, el mismo que se encuentra ubicado en la Ciudad de Riobamba, ciudadela El Batán, Calle Portoviejo 11-52 y Pasaje Caracas. Aquí realizamos la parte pertinente de ensamble y colocación de accesorios que contiene el canal abierto. Una vez ensamblado y verificado el correcto funcionamiento trasladarnos el equipo a realizar los respectivos ensayos.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Maquinaria Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba en el Kilometro 1 ½ vía a Guano Campus Edison Riera Rodríguez.

### **1.1.4. Justificación.**

La causa esencial de la ejecución del proyecto de graduación canal abierto de transporte de agua, es la falta de implementación de este equipo en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería, para las competencias adquiridas en la capacitación de los estudiantes al momento de desarrollarse profesionalmente. La principal causa que origina la deficiencia de conocimientos prácticos y experimentales en los estudiantes,

es la falta de equipos en los laboratorios debido a que no existen recursos económicos para la adquisición de estos.

El equipo a construirse para la Enseñanza e Investigación en Ingeniería, soluciona la necesidad de demostración práctica, asegurando que los estudiantes no sólo recuerden, sino que también lo entiendan. Con este equipo lograremos demostrar ecuaciones de caudal, rugosidades en canal, etc., y otras prácticas de laboratorio que adelante posteriormente se describen.

### **1.1.5. Objetivos.**

#### **1.1.5.1. Objetivo General.**

- Construir un Canal de Transporte de Agua para el laboratorio de la Facultad de Ingeniería.

#### **1.1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Adquirir conocimientos sobre hidráulica de canales, para la fundamentación teórica del Canal de Transporte de Agua.
- Conocer las características más importantes que debe tener el equipo y seleccionar accesorios y materiales necesarios para la construcción del Canal de Transporte de Agua.
- Realizar pruebas con el equipo ya construido y calibrar ciertos desperfectos.
- Realizar ensayos de laboratorio con el equipo.
- Elaborar manuales de utilización, manejo, y mantenimiento del Canal de Transporte de Agua.

## 1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

### 1.2.1. FLUJOS EN CANALES ABIERTOS Y SU CLASIFICACIÓN.

#### 1.2.2. Descripción.

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 diferencia en un aspecto importante. El flujo en canal abierto debe tener una *superficie libre*, en tanto que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el fluido debe llenar completamente el conducto. Una superficie libre está sometida a la presión atmosférica. El flujo en tubería al estar confinado en un conducto cerrado, no está sometido a presión atmosférica de manera directa. Si no solo a presión hidráulica.

Las dos clases de flujo se comparan en la figura 1. A la izquierda se muestra el flujo en tubería. Dos tubos se encuentran instalados en las secciones 1 y 2 de la tubería, los niveles de estos tubos e mantienen por acción de la presión en la tubería en elevaciones representadas por la línea conocida como *línea de gradiente hidráulico*.

La presión ejercida por el agua en cada sección del tubo se indica en el tubo piezométrico correspondiente (El tubo piezométrico es, como su nombre indica, un tubo en el que, estando conectado por uno de los lados a un recipiente en el cual se encuentra un fluido, el nivel se eleva hasta una altura equivalente a la presión del fluido en el punto de conexión u orificio piezométrico, es decir hasta el nivel de carga del mismo.). Mediante la altura y de la columna de agua por encima del eje central de la tubería. La energía total del flujo en la sección con referencia a una línea base es la suma de la elevación  $z$  del eje central de la tubería a la altura piezométrico y a la altura de la velocidad  $\cdot V^2/2g$ , donde  $V$  es la velocidad media del flujo. En la figura la energía está representada por la línea conocida como *línea de gradiente de energía*,

o simplemente *línea de energía*. La pérdida de energía que resulta cuando el agua fluye desde la sección 1 hasta la sección 2 está representada por  $h_f$ .

Un diagrama similar para el flujo en canal abierto se muestra en la parte derecha de la figura 1. Con propósitos de simplificación, se supone que el flujo es paralelo y que tiene una distribución de velocidades uniforme. En este caso, la superficie de agua es la línea de gradiente hidráulico y la profundidad del agua corresponde a la altura piezométrica<sup>2</sup>.

El Gradiente Hidráulico ( $i$ ).<sup>1</sup> Se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua.

$$i = h / l. \quad (1)$$

Donde:

$i$ : Gradiente hidráulico (adimensional).

$h$ : Diferencia de potencial entre dos puntos del acuífero ( $h_1 - h_2$ ).

$l$ : Distancia en la dirección del flujo entre estos dos puntos.

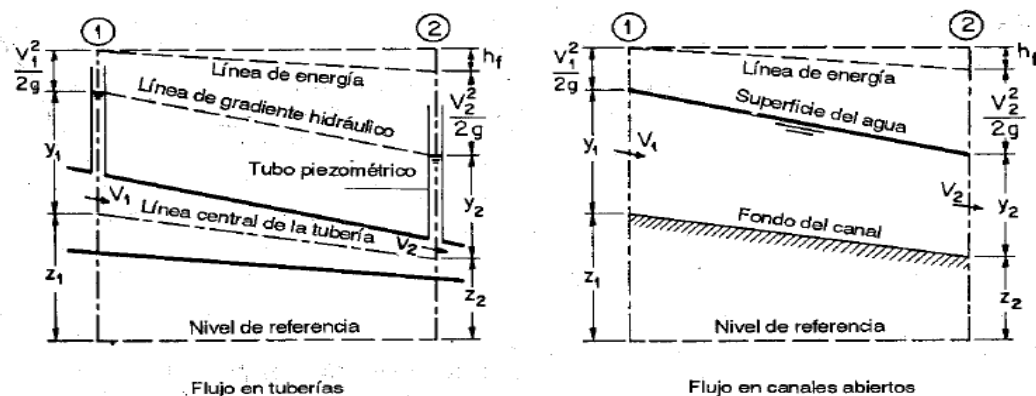


Figura 1 Comparación entre flujo en tubería y flujo en canales abiertos.

<sup>1</sup> T.E. Stanton y J.R. Pannel, (1994), Fricción en Fluidos, Vol. 2 Royal Society of London McGRAW HILL

En la tuberías, la superficie interior por lo general tiene rugosidades que varía desde aquellas correspondientes a tuberías nuevas de latón liso o de madera machimbrada, por un lado, hasta las tuberías de hierro y acero, viejas y corroídas, por otro lado. En canales abiertos la superficie varía desde la correspondiente a metales pulidos utilizados en canaletas de prueba, hasta la correspondiente a lechos rugosos e irregulares en ríos.

Además la rugosidad en un canal abierto varia con la posición de la superficie libre. Por consiguiente, la selección de los coeficientes de fricción implica una mayor incertidumbre para el caso de canales abiertos que para el de tuberías.

### **1.2.3. Tipos de Flujo.<sup>2</sup>**

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

Flujo Permanente. 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

Flujo no Permanente. El flujo no es permanente si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas de los canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes

Para cualquier flujo, el caudal  $Q$  en una sección de canal se expresa por:

$$Q = A * V \quad (2)$$

---

<sup>2</sup> Ven te Chow Tipos de Flujo. Hidráulica de Canales Abiertos Capítulo I Pág. 5. McGRAW HILL

Donde  $V$  es la velocidad media y  $A$  es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de este, debido a que la velocidad media está definida como el caudal dividido por el área de la sección transversal.

En la mayor parte de los problemas de flujo permanente el caudal es constante a través del tramo del canal en consideración, en otras palabras, el flujo es *continuo*. Entonces a partir de la ecuación 1

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \dots \quad (3)$$

Sin embargo la ecuación 1-2 obviamente no es válida cuando el caudal de un flujo permanente no es uniforme a lo largo del canal, es decir, cuando parte del agua entra o sale a lo largo del curso del flujo. Este tipo de flujo es conocido como flujo espacialmente variado o discontinuo, se presentan en cunetas a lo largo de carreteras, en vertederos de canal lateral, en canaletas de agua de lavado de filtros, en canales de efluentes alrededor de plantas de tratamiento de aguas residuales y canales principalmente de riego y drenaje en sistemas de irrigación.

Para mayor claridad, la clasificación del flujo en canales abiertos se resume de la siguiente manera.

A. Flujo Permanente

1. Flujo Uniforme.

2. Flujo Variado

a. Flujo Gradualmente Variado

b. Flujo Rápidamente Variado.

B. Flujo no Permanente.

1. Flujo Uniforme no Permanente. (Raro)

2. Flujo no Permanente. (Es decir flujo variado no permanente)

a. Flujo Gradualmente Variado no Permanente.

b. Flujo Rápidamente Variado no Permanente.

#### 1.2.4. Estado de Flujo.

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de la viscosidad y la gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

Efecto Viscosidad. El flujo puede ser laminar, o turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia.

El efecto de la viscosidad en relación con la inercia puede representarse mediante el número de Reynolds, definido por:

$$R = \frac{VL}{\nu} \quad (4)$$

Donde V es la velocidad del flujo en pies/s L la longitud característica en pies, y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua en pies<sup>2</sup>/s. para el agua a 20° C  $\nu$  es  $1.08 \times 10^{-5}$ . (Ver anexo C Viscosidad del agua.)

#### Número de Reynolds.<sup>3</sup>

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Desde un punto de vista matemático el número de Reynolds de un problema o situación concreta se define por medio de la siguiente fórmula:

---

<sup>3</sup> John Wiley & Sons, Mecánica de Fluidos Ingeniería, McGRAW HILL.



$$Re = \frac{\delta V_s D}{u} \quad (5)$$

O equivalente por:

$$Re = \frac{V_s D}{\nu} \quad (6)$$

Donde:

- $\delta$  Densidad del Fluido
- $V_s$  Velocidad Característica del Fluido
- $D$  Diámetro Equivalente del canal en el cual circula el fluido.
- $u$  Viscosidad dinámica del fluido
- $\nu$  Viscosidad cinemática del fluido.

$$D = 4 \frac{A}{P} \quad (7)$$

Donde:

D: Diámetro equivalente.

A: Es el área hidráulica.

P: Es el Perímetro mojado.

Además el número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. Así por ejemplo en conductos si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Según otros autores:

- Para valores de  $Re \leq 2000$  el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.
- Para valores de  $2000 \leq Re \leq 4000$  la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de  $Re \geq 4000$ , después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

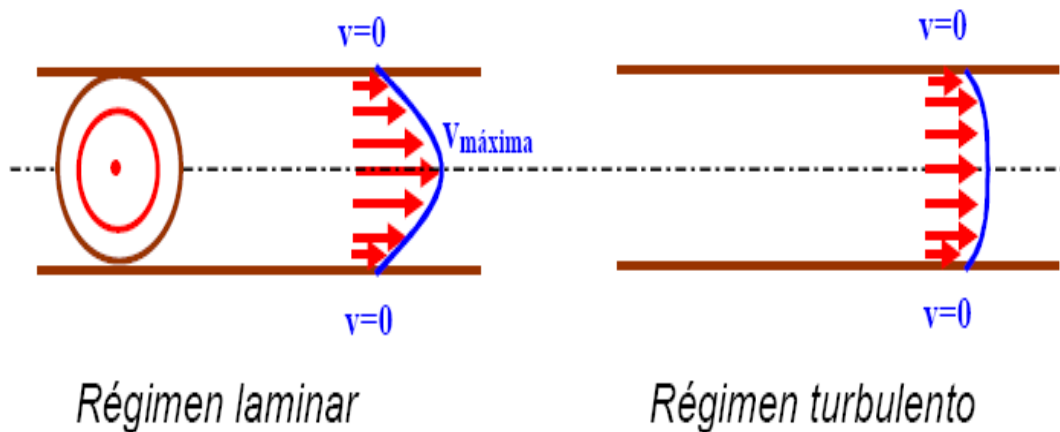


Figura 2. Flujo laminar & flujo turbulento.

### **1.2.5. Clases de canales abiertos.<sup>4</sup>**

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser Natural o Artificial.

#### Canales Naturales.

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños grandes. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

#### Canales Artificiales.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano, canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenajes, vertederos, canales de desborde, canales de madera, cunetas a lo largo de carreteras, así como canales modelos construidos con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. Las aplicaciones de las teorías hidráulicas a canales artificiales producen resultados bastante similares a las condiciones reales y por consiguiente razonables exactos para propósitos prácticos de diseño.

Bajo diferentes circunstancias en la práctica de ingeniería los canales abiertos artificiales reciben diferentes nombres como: canal artificial, canaleta, rápida, caída,

---

<sup>4</sup> Ven te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo II Pág. 19. McGRAW HILL

alcantarilla, tubo con flujo a superficie libre etc. Sin embargo estos nombres se utilizan de una manera más o menos imprecisa y solo se define de un modo general.

El canal artificial, por lo general es un canal largo con pendiente suave, construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o revestido con piedras, concreto, madera, cemento, y otros materiales.

La canaleta es un canal de madera, de metal, de concreto o de mampostería, a menudo soportado en o sobre la superficie del terreno para conducir el agua a través de una depresión.

La rápida es un canal que tiene altas pendientes, la caída es similar a una rápida, pero en cambio en elevación se efectúa en una distancia corta.

La alcantarilla que fluye parcialmente llena, es un canal cubierto con una longitud comparativamente corta instalado para drenar el agua a través de terraplenos de carreteras o de vías férreas.

El túnel con flujo a superficie libre es un canal cubierto comparativamente largo, utilizado para conducir utilizado para conducir el agua a través de una colina o cualquier obstrucción del terreno.

#### **1.2.6. Geometría de canal.**

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante, se lo conoce como canal prismático. De otro modo el canal no es prismático. Un ejemplo es un vertedero de ancho variable y alineamiento curvo. A menos que se indique específicamente.

El termino sección de canal se refiere a la sección transversal de una canal tomada de forma perpendicular a la dirección del flujo

Los canales artificiales por lo general se diseñan con secciones de figuras geométricas. A continuación se muestra una tabla con las figuras geométricas que comúnmente se utilizan.

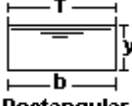
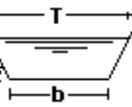
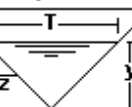

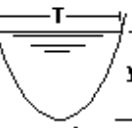
Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 3. Elementos geométricos de secciones de canal.<sup>5</sup>

### 1.2.7. Distribución de velocidades en un canal.

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en los canales ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad.

<sup>5</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo II Pág. 21. McGRAW HILL.

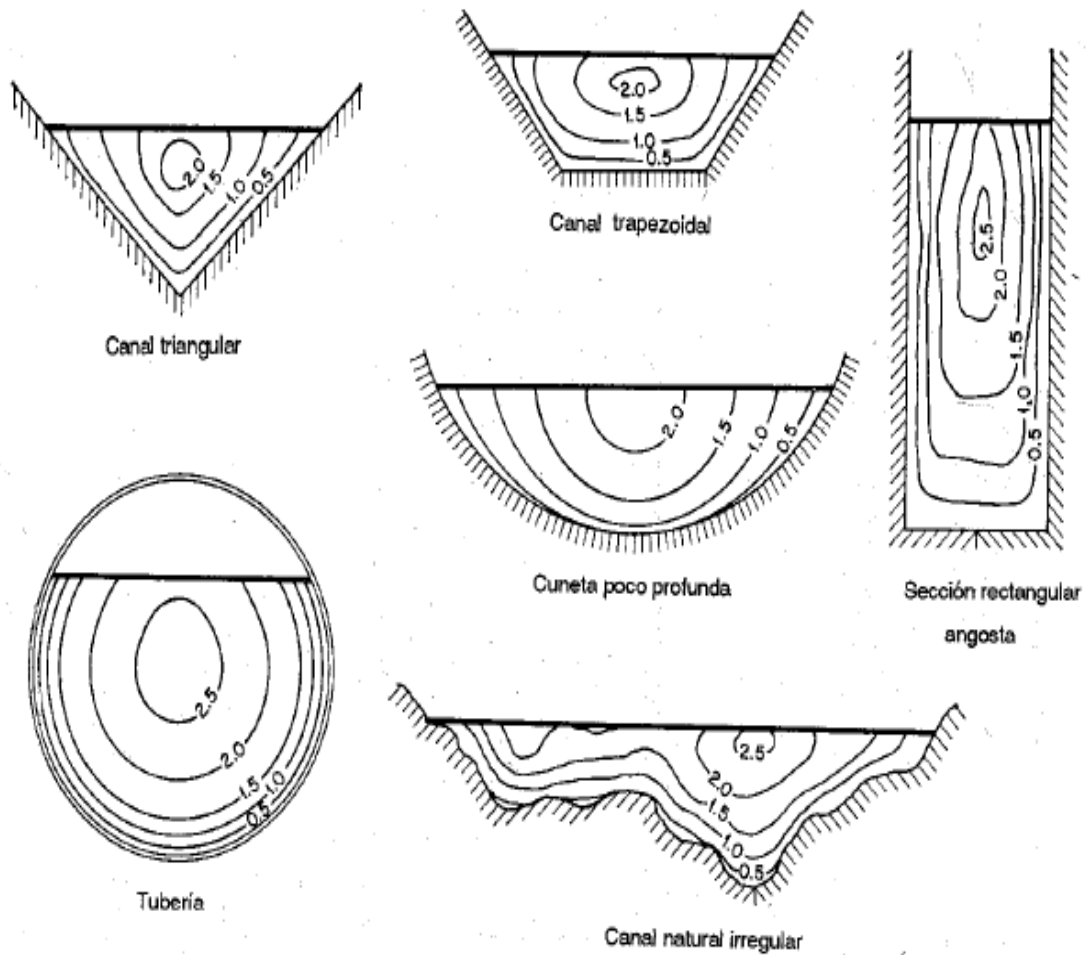


Figura 4. Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal.

La distribución de velocidades en un canal también depende de otros factores, como una forma inusual del canal, la rugosidad del canal y la presencia de curvas. En una corriente ancha, rápida y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre.

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la curva de la distribución vertical de las velocidades. En la curva la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo. Contrario a la creencia usual, el viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades.

### 1.2.8. Medición de velocidades

La sección transversal del canal se divide en franjas verticales por medio de un determinado número de verticales sucesivas y las velocidades medidas en las verticales se determinan midiendo la velocidad a 0.6 de la profundidad en cada vertical o tomando el promedio de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad cuando se requiere resultados más confiables.

La suma de los caudales a través de las franjas de todas las franjas es el caudal total. La velocidad media de toda la sección es igual al caudal total dividido para el área completa.

### 1.2.9. Coeficientes de distribución de la velocidad.<sup>6</sup>

Como resultado de la distribución no uniforme de velocidades en la sección de un canal, la altura de velocidad de un flujo en canales abiertos es por lo general mayor que el valor calculado de acuerdo a la expresión:

$$V^2/2g \quad (8)$$

Donde  $V$  = es la velocidad media

Cuando se utiliza el principio de energía en cálculos, la altura de la velocidad real puede expresarse como:

$$\alpha V^2/2g \quad (9)$$

Donde  $\alpha$  se lo conoce como coeficiente de energía o coeficiente de coriolis.

---

<sup>6</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo II Pág. 27. Mc GRAW HILL.

La distribución no uniforme de velocidades también afecta el cálculo del momentum en flujo en canales abiertos. A partir del principio de mecánica, el momentum de un fluido que pasa a través de una sección de canal por unidad de tiempo se expresa por:

$$\beta w Q V / g \quad (10)$$

Donde  $\beta$  es conocido como coeficiente de momentum,  $w$  es el peso del agua,  $Q$  es el caudal,  $v$  es la velocidad media.

Para propósitos prácticos se ha propuesto los valores mostrados para coeficientes de distribución de velocidad.

Canales	Valor de $\alpha$			Valor de $\beta$		
	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
Canales regulares, canaletas y vertederos . . . . .	1.10	1.15	1.20	1.03	1.05	1.07
Corrientes naturales y torrentes . . . . .	1.15	1.30	1.50	1.05	1.10	1.17
Ríos bajo cubiertas de hielo . . . . .	1.20	1.50	2.00	1.07	1.17	1.33
Valles de ríos, inundados . . . . .	1.50	1.75	2.00	1.17	1.25	1.33

Tabla 1 Coeficientes de distribución de velocidad.<sup>7</sup>

### 1.2.10. Distribución de presión en una sección de canal

La presión en cualquier punto de la sección transversal del flujo en un canal con pendiente baja puede medirse por medio de la altura de la columna de agua en un tubo piezométrico instalado en el punto. Al no considerar las pequeñas perturbaciones debidas a la tubería es claro que el agua en esta columna debe subir desde el punto de medición hasta la línea de gradiente hidráulico o superficie del agua.

<sup>7</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo II Pág. 28 McGRAW HILL



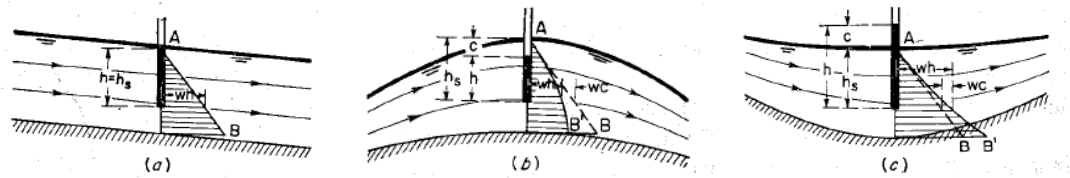


Figura 5. Distribución de presiones en canales rectos y curvos.

Distribución de presiones en canales rectos y curvos con pendientes bajas u horizontales en la sección, bajo consideración  $h$ =altura piezométrica  $h_s$ =altura hidrostática y  $c$ = corrección de altura de presión por curvatura (a) flujo paralelo (b) flujo convexo (c) flujo cóncavo.

### 1.3. Flujo uniforme y sus ecuaciones.

Se considera que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales:

- 1.- La profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección del canal son constantes.
- 2.- La línea de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos, es decir sus pendientes son todas iguales,

$$S_f = S_w = S_o = S. \quad (11)$$

Para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse libremente como el requerimiento de que el flujo posea una velocidad media constante.

Se considera que el flujo uniforme es solo permanente, debido a que el flujo uniforme no permanente prácticamente no existe. En corrientes naturales, aun el flujo uniforme permanente es raro debido a que en ríos y corrientes en estado natural casi nunca se experimenta una condición estricta de flujo uniforme.

### **1.3.1. Establecimiento del flujo uniforme.**

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluye aguas abajo. Esta resistencia por lo general es contrarrestada por las componentes de las fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento.

Un flujo uniforme se desarrollara si la resistencia se balancea con las fuerzas gravitacionales. La magnitud de la resistencia, cuando otros factores físicos del canal se mantienen constantes, depende de la velocidad de flujo.

Si el agua entra al canal con lentitud, la velocidad, y por consiguiente la resistencia es pequeña, y la resistencia es sobrepasada por las fuerzas de gravedad, dando como resultado una aceleración del flujo en el tramo aguas arriba.

La velocidad y la resistencia se incrementaran de manera gradual hasta que se alcance un balance entre las fuerzas de resistencia y de gravedad. Desde ahí el flujo se vuelve uniforme. El tramo de aguas arriba que se requiere para el establecimiento del flujo uniforme se conoce como zona transitoria. En esta zona el flujo es acelerado y variado.

Para mayor explicación se muestra un canal a lo largo con tres pendientes diferentes, sub crítica, crítica y supercrítica. En la pendiente sub crítica el agua en la zona de transición aparece ondulante.

El flujo es uniforme en el tramo del canal pero variado en los dos extremos. En la pendiente crítica la superficie del agua del flujo crítico es inestable. En el tramo intermedio pueden ocurrir ondulaciones, pero en promedio la profundidad es constante y el flujo puede considerarse uniforme.

En la pendiente supercrítica la superficie del agua transitoria pasa del nivel sub crítico a nivel supercrítico a través de una caída hidráulica gradual. Después de la zona de transición el flujo se aproxima al uniforme. La profundidad del flujo uniforme se lo conoce como profundidad normal.

En todas las figuras la línea de trazos largos representa la línea de profundidad normal, L.P.N., y la línea de trazos cortos representa la línea de profundidad crítica L.P.C.

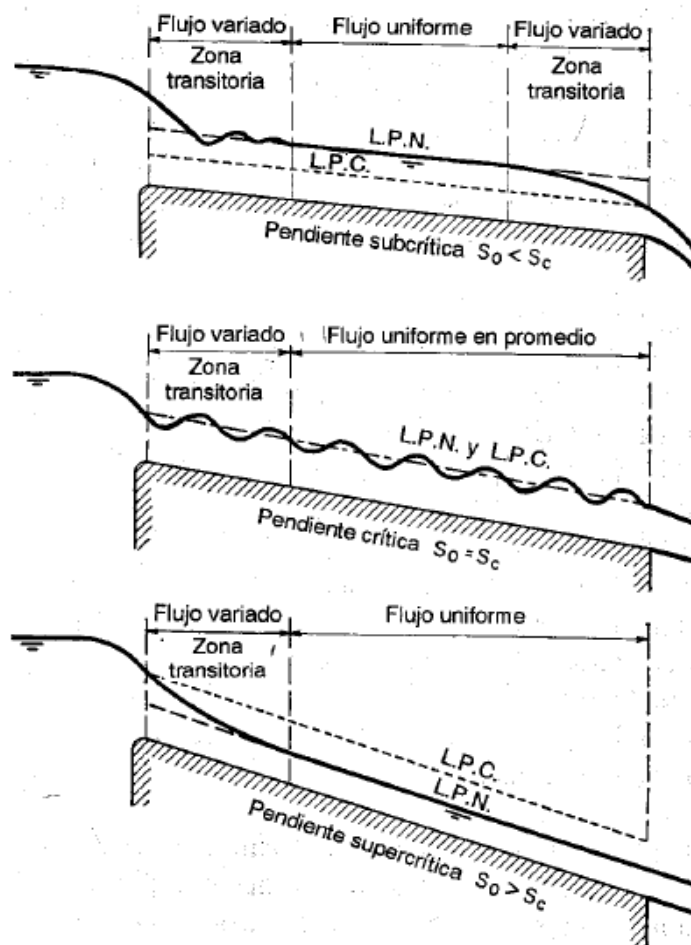


Figura 6. Establecimiento del flujo en un canal. <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo V. Pág. 89. McGRAW HILL

### 1.3.2. Expresión de la velocidad en un flujo uniforme.

Para los cálculos hidráulicos la velocidad media de un flujo uniforme turbulento en canales abiertos por lo general se expresa aproximadamente por la llamada ecuación de flujo uniforme. La mayor parte de las ecuaciones prácticas de flujo uniforme pueden expresarse de la siguiente manera.

$$V = CR^x Y^y \quad (12)$$

Donde:

V: Es la velocidad media en pies/s,

R: Es el radio hidráulico en pies,

S: Es la pendiente de energía

x y y: Son exponentes.

C: Es el factor de resistencia al flujo, el cual varía con la velocidad media, el radio hidráulico, la rugosidad del canal, la viscosidad y otros factores.

Para propósitos prácticos puede suponerse que el flujo en un canal natural uniforme bajo condiciones normales, es decir, si no existen flujos de crecientes o flujos notablemente variados causados por irregularidades en el canal.

Una buena ecuación de flujo uniforme para canal aluvial con transporte de sedimentos y flujo turbulento debería tener en cuenta todas las siguientes variables:

- A El área mojada
- V Velocidad media
- V<sub>ms</sub> La velocidad máxima en la superficie.
- P El perímetro mojado
- R El radio hidráulico.
- y La máxima profundidad del área mojada.
- Sw La pendiente de la superficie del agua

n	Coeficiente que representa la rugosidad del canal, coeficiente de rugosidad
Qs	La carga de sedimentos en suspensión.
Qb	La carga del lecho
u	La viscosidad dinámica del agua.
T	La temperatura para el agua.

### 1.3.3. La ecuación de Chezy.<sup>9</sup>

La famosa ecuación de Chezy por lo general se expresa como:

$$V = C \sqrt{RS} \quad (13)$$

Donde:

V: es la velocidad media en pies/s,

R: Es el radio hidráulico en pies,

S: Es la pendiente de la línea de energía.

C: Es un factor de resistencia al flujo conocido como C de Chezy.

### 1.3.4. Cálculo del factor de resistencia de Chezy.

A continuación se presentan tres ecuaciones para el cálculo de C de Chezy.

#### a) La ecuación de G.K. (Ganguillet y Kutter)

Este determina el valor de C en términos de la pendiente S, el radio hidráulico R y el coeficiente de la rugosidad n. en unidades inglesas, la ecuación es:

---

<sup>9</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo V Pág. 91. McGRAW HILL.

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + (41.65 + \frac{0.00281}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (14)$$

b) La ecuación de Bazin

Esta ecuación es de acuerdo con C de Chezy y se considera como una función de R pero no de S.

$$C = \frac{157.6}{1 + m} \frac{1}{\sqrt{R}} \quad (15)$$

Donde m es un coeficiente de rugosidad cuyos valores propuestos por Bazin se dan en la siguiente tabla:

Descripción del canal	m de Bazin
Cemento muy suave con formaleta de madera cepillada . . . . .	0.11
Madera sin cepillar, concreto o ladrillo . . . . .	0.21
Mampostería en bloques de piedra o de piedra y ladrillo mal acatado .	0.83
Canales en tierra en perfectas condiciones . . . . .	1.54
Canales en tierra en condiciones normales . . . . .	2.36
Canales en tierra en condiciones rugosas . . . . .	3.17

Tabla 2. Valores Propuestos para *m* de Bazin.

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow

La ecuación de Bazin se desarrollo primordialmente a partir de los datos obtenidos en pequeños canales experimentales; luego, su aplicación general es menos satisfactoria que la ecuación de G.K.

c) La ecuación de Powell.

Surgió una ecuación logarítmica para la rugosidad en canales artificiales. Esta ecuación, una ecuación implícita de C, es:

$$C = -42 \log \left( \frac{C}{4R} + \frac{\epsilon}{R} \right) \quad (16)$$

Donde R es el radio hidráulico en pies, R es el numero de Reynolds, y  $\epsilon$  es una medida de la rugosidad del canal, la cual tiene valores tentativos presentados en la tabla siguiente.

Para canales rugosos, el flujo por lo general es tan turbulento que R se vuelve muy grande comparado con C;

Luego la ecuación  $C = 42 \log \left( \frac{C}{4R} + \frac{\epsilon}{R} \right)$  se aproxima a la forma  $C = 42 \log (R/\epsilon)$

Para canales lisos, la rugosidad superficial puede ser tan pequeña que  $\epsilon$  se vuelve insignificante con R;

Luego la ecuación se aproxima a la forma:  $C = 42 \log \left( \frac{4R}{C} \right)$ . Como C de Chezy esta expresado de manera implícita en la ecuación de Powell, la solución para la ecuación de C requiere un procedimiento de ensayo y error.

### 1.3.5. La ecuación de Maning<sup>10</sup>

Esta ecuación se describe por;

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (17)$$

---

<sup>10</sup> Ven Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Capítulo V Pág. 96. McGRAW HILL.

Donde:

V es la velocidad media en pies/s.

R es el radio hidráulico en pies.

S es la pendiente de la línea de energía.

*n* es el coeficiente de rugosidad, específicamente conocido como *n* de Maning.

### **1.3.6. Selección del coeficiente de rugosidad de Maning.**

Al aplicar la ecuación de Maning o la ecuación de G.K., la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad *n*, ya que no existe un método exacto para la selección del valor de *n*.

### **1.3.7. Factores que afectan el coeficiente de de rugosidad de Maning.**

En realidad, el valor de *n* es muy variable y depende de cierto número de factores.

- a) Rugosidad Superficial. Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que produce un efecto retardador en el flujo. En general granos finos dan como resultado un valor relativamente bajo de *n*, y granos gruesos un valor alto de *n*.
  
- b) Vegetación. Puede considerarse como una rugosidad superficial, pero reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y tipo de vegetación, y es muy importante n diseño de pequeños canales de drenaje.



- c) Irregularidad del canal. Incluyen irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, el tamaño y la forma a lo largo del canal. En canales naturales estas irregularidades son producidas por presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas y depresiones, fosos y montículos en el lecho del canal.
- d) Alineamiento del canal. Curvas suaves con radios grandes producirán valores de  $n$  relativamente bajos, en cambio curvas bruscas con radios pequeños incrementan el valor de  $n$ .
- e) Sedimentación y socavación. Puede cambiar en una canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y disminuir el valor de  $n$ , en tanto que la socavación puede hacer lo contrario

### 1.3.8. Cálculo de rugosidad mediante formula.

A partir de varios reconocimientos de factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad, se desarrollo un procedimiento para estimar el valor de  $n$ . mediante este procedimiento el valor de  $n$  puede calcularse por:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (18)$$

Donde:

$n_0$ : es un valor básico para un canal recto, uniforme y liso en los materiales.

$n_1$ : es un valor que debe agregarse para corregir el efecto de las rugosidades.

$n_2$ : es un valor para considerar las variaciones y tamaño de la sección transversal.

$n_3$ : es un valor para considerar las obstrucciones

$n_4$ : es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo.

$m_5$ : es un factor de corrección por los efectos del canal.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	$n_0$	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	$n_3$	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Tabla 3. Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad mediante la ecuación (21).

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow

### 1.3.9. Tablas del Coeficiente de Rugosidad de Maning.

La tabla B (Ver Anexo D) presenta una lista de valor de  $n$  para canales de diferentes clases. Para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo, normal, y máximo de  $n$ . Los valores normales para canales artificiales dados en la tabla se recomiendan solo para canales con buen mantenimiento. Los números en negrillas son valores a menudo recomendados para diseño.

## **1.4. Vertedor hidráulico**

El vertedor es una estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales. Existen diversos tipos según el uso que se haga de ellos, a veces de forma controlada y otras veces como medida de seguridad en caso de tormentas en presas.

### **1.4.1. Funciones**

Tiene varias finalidades entre las que se destaca:

- Garantizar la seguridad de la estructura hidráulica, al no permitir la elevación del nivel, aguas arriba, por encima del nivel máximo.
- Garantizar un nivel con poca variación en un canal de riego, aguas arriba. Este tipo de vertedor se llama "pico de pato" por su forma.
- Constituirse en una parte de una sección de aforo del río o arroyo.
- Disipar la energía para que la devolución al cauce natural no produzca daños. Esto se hace mediante saltos, trampolines o cuencos.

En una presa se denomina vertedor a la parte de la estructura que permite la evacuación de las aguas, ya sea en forma habitual o para controlar el nivel del reservorio de agua.

Generalmente se descargan las aguas próximas a la superficie libre del embalse, en contraposición de la descarga de fondo, la que permite la salida controlada de aguas de los estratos profundos del embalse.

Los vertedores se usan conjuntamente con las compuertas para mantener un río navegable o para proveer del flujo necesario a la navegación.

Los vertedores son muy utilizados en ríos para mantener el nivel vertical del agua y ser aprovechado como lagos, zona de navegación y de esparcimiento. Los molinos hidráulicos suelen usar aliviaderos para subir este nivel y aprovechar el salto para mover las turbinas. Los aliviaderos son muy útiles para retirar cualquier desperdicio que esté flotando o como lugar de paso del río.

Debido a que un vertedor incrementa el contenido en oxígeno del agua que pasa sobre la cresta puede generar un efecto perjudicial en la ecología local del río. Un vertedor reduce artificialmente la velocidad del agua, lo que puede incrementar los procesos de sedimentación. Además representa una barrera para los peces migratorios, que no pueden saltar de niveles.

Al espesor del chorro medido sobre la cresta se le llama carga sobre la cresta y a la diferencia de nivel entre la cresta y la superficie del agua antes del abatimiento se le llama carga del vertedor ( $h$ ).

Se llama cresta, a la pared horizontal de la escotadura en contacto con el líquido y su longitud le llamaremos siempre “L”.

Los vertedores se clasifican según su:

1.- Forma:

- a).- Simples: rectangulares, trapezoidales y triangulares.
- b).- Compuestos: secciones combinadas.

2.- Altura relativa del umbral:

- a).- Vertedores: completos o libres.
- b).- vertedores incompletos o ahogados.

3.- Espesor de la pared:

- a).- Vertedores de pared delgada: placas o madera biselada.
- b).- Vertedores de pared gruesa.
- e).- Espesor de la cresta del vertedor.

4.- Longitud de la cresta:

- a).- Vertedores sin contracciones laterales: (L = B).
- b).- Vertedores con contracciones laterales (L x B).

Los vertedores triangulares hacen posible una mayor precisión en la medida de cargas correspondientes a gastos pequeños; en la práctica generalmente son utilizados cuando la cantidad de agua que escurre no es muy grande, siendo los más usuales los de 90°, 60° y 30°.

Los vertedores trapeziales como su nombre lo indica la escotadura tiene una forma trapezoidal, los taludes son iguales y tiene una inclinación de una vertical a cuatro horizontal 1:4 llamados también de Cipolletti.

Caudales en vertedores triangulares según el ángulo que forma su cresta.

Experimentando con vertedores triangulares ( $\alpha = 90^\circ$ ), el Profesor Horace King, en la Universidad de Michigan, obtuvo:

$$Q = 0.134 h^{2.47}$$

Fórmula de King. (19)

h = altura de la cresta. (m)

Q = Caudal. (m<sup>3</sup> / S).

Mr. A.A. Barnes, de los experimentos realizados por Thomson y Barr, propuso

$$Q = 1.33 h^{2.48} \quad (20)$$

$h$  = altura de la cresta. (m)

$Q$  = Caudal. ( $m^3 / S$ ) y  $\alpha = 90^\circ$ .

El profesor Raymond Boucher, de la Escuela Politécnica de Montreal, obtuvo para

$$Q = 1.3424 h^{2.48} \quad (21)$$

$h$  = altura de la cresta. (m)

$Q$  = Caudal. ( $m^3 / S$ ) y  $\alpha = 90^\circ$ .

Ecuación ésta que fue confirmada por Mr. V. M. Cone (1916). Mr. Cone también propuso las siguientes fórmulas para otros valores de escotaduras triangulares:

Para  $\alpha = 60^\circ$   $h$  (m) y  $Q$  ( $m^3 / S$ )

$$Q = 0.7725 h^{2.47} \quad (22)$$

Para  $\alpha = 30^\circ$   $h$  (m) y  $Q$  ( $m^3 / S$ ). Gourley y Crimp, para ángulos  $\alpha$  de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ , propusieron la siguiente fórmula:

$$Q = 0.3564 h^{2.48} \quad (23)$$

$$Q = 1.32 \tan(2/2) h^{2.48} \quad (24)$$

## 1.4.2. Ecuaciones para el cálculo del caudal en Vertedores.

### 1.4.2.1. Vertedor Trapezoidal.

$$Q = 3.367 L H^{3/2} \quad (25)$$

Donde:

L = Longitud del vertedor. (m) H = Altura de la cresta. (m)

### 1.4.2.2. Vertedor Rectangular.

$$Q = 3.33 L H^{3/2} \quad (26)$$

### 1.4.2.3. Vertedor Triangular.

$$Q = \frac{3}{15} (2g)^{2.5} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \mu H^{2.5} \quad (27)$$

Donde:

g = Gradiente de gravedad.  $\alpha$  = Angulo de abertura de la cresta.  $\mu$  = Viscosidad del agua. H = Altura del liquido.

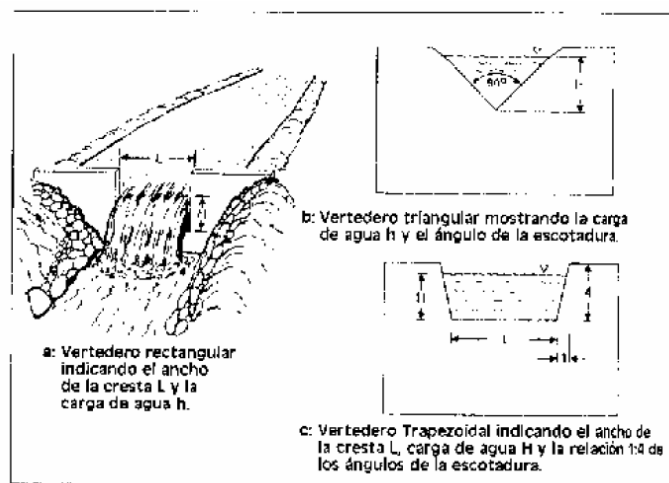


Figura 7. Distintos tipos de vertedores.

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA.**

#### **2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

Para el desarrollo y ejecución del proyecto, se realizaron las actividades que a continuación se describen:

- Se evaluaron las medidas de construcción del canal de demostración, mediante la ayuda de prototipos existentes en el mercado, los cuales nos sirvieron de línea base para determinar las dimensiones exactas del mismo.
- Se hizo una selección previa de los materiales de construcción con los cuales el canal va a estar constituido en su estructura.
- La selección de rugosidades fue un tema muy importante a tomar, debido a que se tomaron en cuenta la constitución de la mayoría de los canales construidos comúnmente en el medio.
- La selección de la bomba fue una tarea que no podíamos pasar por alto, debido a que por medio de la misma vamos a distribuir el caudal en todo el tramo del canal, lo cual nos llevo a un cálculo previo de selección, basándonos específicamente en parámetros de caudal necesarios para determinar tipos de flujos en el tramo del canal.
- Una vez constituido el equipo se procedió a realizar las pruebas de laboratorio y la obtención de datos de las mismas.



- Después se procedió a interpretar los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio, a ejecutar las ecuaciones y posteriormente a comparar con los resultados teóricos y los resultados prácticos.

## **2.2. TIPO DE ESTUDIO.**

**2.2.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO.** En este caso particular el proyecto sirve como fuente de información para sus investigadores. Esto consiste en observar, hechos, sucesos y cambios que ocurren al momento de desarrollar las prácticas de laboratorio.

Aquí en esta parte de la investigación de campo utilizamos material de desarrollo tales como: la grabación de fenómenos y cambios que ocurren al realizar las prácticas de laboratorio, el fotografiar distintos fenómenos de comportamientos en los fluidos y la técnica más importante la recolección y tabulación de datos obtenidos en las practicas.

**2.2.2. INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA.** Se refiere a la etapa preparatoria del trabajo científico en este caso el marco teórico de canales abiertos, que permita ordenar el resultado de las observaciones de las conductas, las características, los factores, los procedimientos y otras variables de fenómenos y hechos que se presenten al momento de realizar las prácticas de laboratorio.

**2.2.3. INVESTIGACIÓN ANALÍTICA.** Consiste fundamentalmente en establecer la comparación de variables entre grupos de estudio y de control sin aplicar o manipular las variables, en este caso en canales abiertos vamos a comprobar las ecuaciones que rigen los fluidos en canales abiertos, después de la demostración teórica nos trasladamos a la comprobación practica en este caso en el canal de demostración. Así logramos un grado de aceptación o negación tanto de la parte teórica y la parte practica.

**2.2.4. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.** Es un procedimiento netamente de comprobación de resultados y variables con respecto a los elementos de control que tenemos en el canal abierto, así analizamos con respecto a un factor o medida que el investigador introduce para estudiar y evaluar.

**2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

Variable	Concepto	Indicador	Técnicas	Instrumentos
Diseño	Consiste en una especulación ideadora de la resolución de un producto, un proyecto o una necesidad a futuro.	Porcentaje de Eficiencia Porcentaje de Cumplimiento	Medición. Análisis. Interpretación	Planos Catálogos Guías de Ensamble.
Construcción	Se designa con el término de Construcción a aquel proceso que supone el armado de cualquier cosa, desde cosas consideradas más básicas hasta algo más complejo.	Porcentaje de Eficiencia Porcentaje de Cumplimiento	Matriz de Evaluación y Control	Herramientas Materiales
Selección de Materiales	Se denomina selección a la técnica de tomar o elegir una o más cosas entre otras.	Calidad	Análisis . Interpretación, Control.	Catálogos

Tabla 4. Operacionalización de variables.

Fuente: Autores.

## 2.4. PROCEDIMIENTOS.

ACTIVIDAD	INSTRUMENTO A UTILIZAR	RESPONSABLE
Recolección de Datos.	Lista Chequeo	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Realización de cálculos de los equipos a utilizar.	Cálculos analíticos.	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Identificación de materiales.	Observación de lista requerida. Lista de chequeo	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Presentar preliminares.	Lista chequeo.	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Construcción de la máquina.	Lista chequeo.	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Ajustes de la máquina	Tablas de procesos	Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Pruebas de la máquina.	Diagramas de proceso.	Ing. Mario Cabrera. Fernando Andrade. Miguel Paredes..
Reajustes de máquina.	Listas de chequeo.	Ing. Mario Cabrera. Fernando Andrade. Miguel Paredes.
Pruebas de laboratorio.	Listas chequeo Informes de practica	Fernando Andrade. Miguel Paredes.

Tabla 5. Procedimientos. Fuente: Autores.



Figura 8. Canal Abierto de Transporte de Agua.

### 2.4.1. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

### 2.4.2. Diseño y Construcción.

En esta etapa de la elaboración del proyecto es importante conocer la utilidad y funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos que intervienen en el diseño y construcción del canal abierto con el propósito de obtener los resultados esperados.

Los elementos y equipos son:

- Estructura metálica.
- Tubo cuadrado de 2 pulg.



Figura 9. Ángulo de 2 pulg.

Ángulo que también usa la industria, para construir estructuras metálicas y para construcción de muebles.

### Bomba del canal abierto

- **Marca:** Vertex
- **Potencia:** 1/8 Hp
- **Capacidad:** 50 litros/min.
- **Voltaje:** Trifásica 220/ 50 hz



Figura 10. Bomba Sumergible VERTEX

### **Rotámetro**

Es un medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante. El Rotámetro consiste de un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo.



Figura 11. Rotámetro.

### **Tanque de acero**

El tanque de acero es un recipiente que almacena una cantidad de acuerdo lo que nosotros necesitamos para la demostración de transporte de agua



Figura 12. Tanque de acero inoxidable.

## **Regleta**

La regla es un material matemático destinado básicamente a tomar medición de lo que nosotros necesitamos para verificar nuestros cálculos.



Figura 13. Regla metálica.

## **Tornillo sin fin.**

Es el que transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, el engranaje avanza un diente.



Figura 14. Tornillo sin fin.

## **Canal acrílico**

Canal abierto de transporte de agua que nos ayuda a demostrar el caudal con sus tipos de rugosidades.



Figura 15. Canal de transporte de agua.

Las Compuertas son las que va dar el tipo de caída del agua y de igual manera se requiere que las personas que utilicen estas compuertas, después de haber realizado la practica den limpieza, dejándolas secas en su totalidad. Las mismas ya que puede devastar y tener oxido ya que es de material de acero inoxidable.

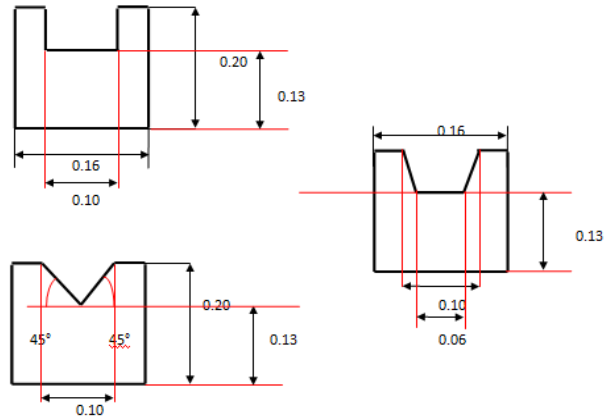


Figura 16. Formas de Vertedores.

### Variador de Frecuencia.

El variador de frecuencia regula la frecuencia de la corriente aplicada al motor, logrando con ello modificar su velocidad. Sin embargo, se debe tener presente que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio de la tensión aplicada, para no saturar el flujo magnético del motor.



Figura 17. Variador de frecuencia Delta VFD-L

## **Breaker.**

El interruptor es un dispositivo mecánico de conexión y desconexión eléctrica, capaz de establecer, soportar e interrumpir la corriente en las condiciones normales de funcionamiento del circuito donde va asociado.



Figura 18. Breaker bifásico.

## **Llave de desfogue**

Ayuda a desocupar el agua del tanque y del canal permitiendo no dejar agua en canal y en el tanque.



Figura 19. Válvula de bola.

## **Manguera de $\frac{3}{4}$**

Manguera de Pvc que ayuda transportar el agua de un tanque a otro tanque para abastecer el canal de demostración.





Figura 20. Manguera de  $\frac{3}{4}$

### **Tee.**

Usada para unir tubos simultaneamente en los sistemas de distribución de agua. Se puede usar en sistemas de agua potable, desagües, sistemas de riego y mucho mas.



Figura 21. Tee Plastigama.

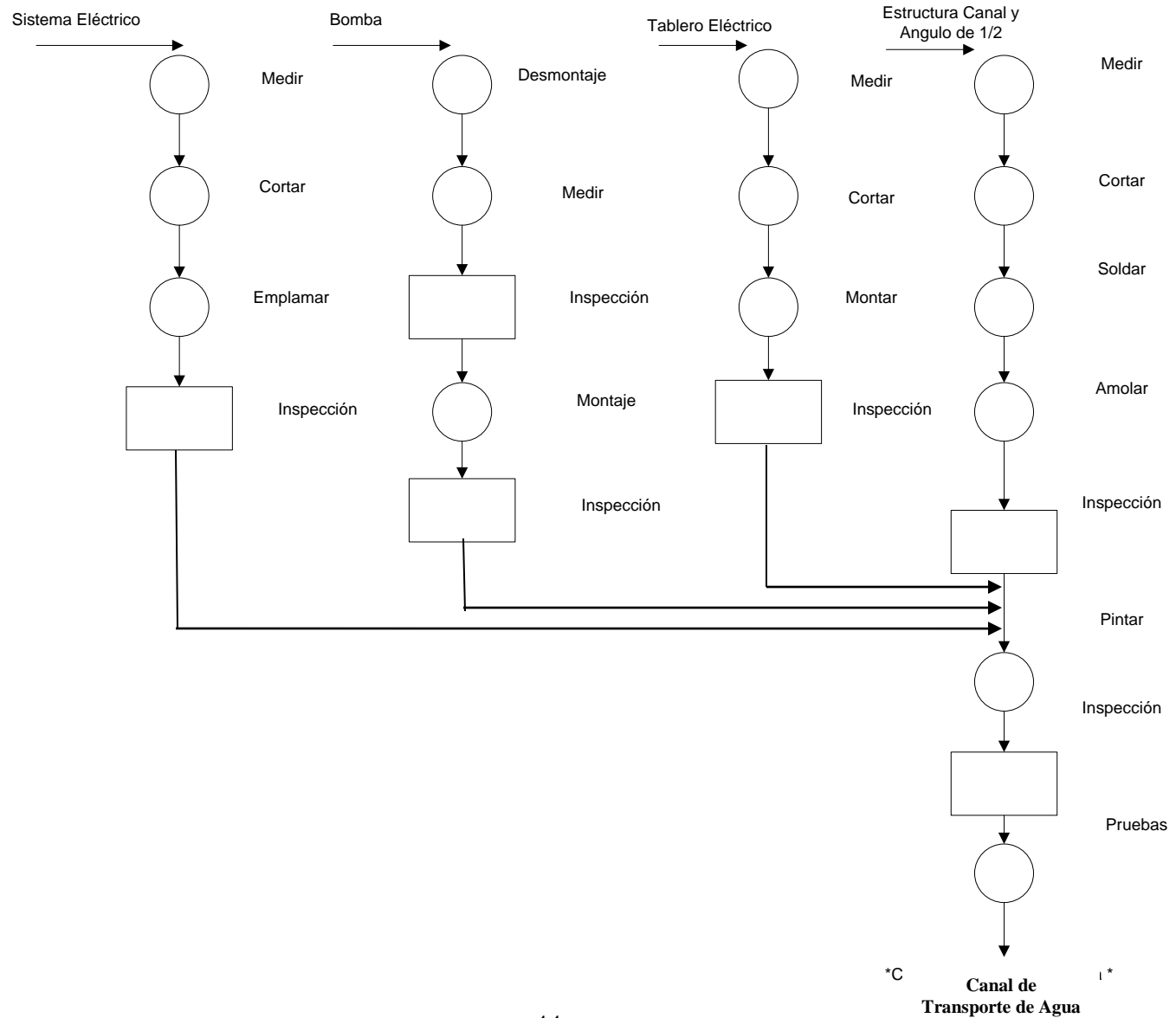
### **Acoples y Accesorios.**

Están diseñados para acoplar según el diámetro de las tuberías y según su fabricación. (PVC, acero inoxidable, acero comercial)



Figura 22. Abrazaderas.

### Diagrama de operaciones de Procesos



### 2.4.3. Recursos Humanos.

A continuación se detalla los recursos humanos que hemos utilizado para la construcción del Canal de Transporte de Agua.

Un egresado de la Facultad de Ingeniería Industrial

Un docente de la tesis de la UNACH

Un asesor de tesis de la UNACH

### 2.4.4. Recursos Físicos.

DISPONIBLE	NO DISPONIBLE
<b>Equipo</b>	<b>Maquinaria</b>
Computador	Soldadora Eléctrica
<b>Materiales</b>	Compresor
Hojas de impresión	Amoladora
<b>Documentos</b>	Cierra Eléctrica
<b>Manual de ingeniero Mecánico</b>	Taladro
<b>Manual de Bombas, uso y Mantenimiento</b>	
<b>Manual de canales abiertos.</b>	
	Soplete
	<b>Equipos</b>
	Interruptores
	Cronometro
	<b>Herramientas</b>
	Alicate
	Cierra
	Escuadras
	Flexómetro
	Compas
	Pintura
	Lijas
	Tiñer

Juego de llaves
Juego de Brocas
Juego de destornilladores
Entenalla
<b>Equipos de Protección Personal</b>
Guantes
Orejeras
Gafas
Overol
<b>Materiales</b>
2 Plancha de acrílico de 3mm.
1 Plancha de acero inoxidable
1 Tubo cuadrado 1 x1/2 hierro
1 Angulo de1/2 hierro
2 Libras de electrodos
2 litros de pintura anticorrosiva
2 litros de tñer
20 pernos de 1/4 x1
Válvula de desfogue.
Tornillos
Lijas
Acoples
Manguera
Tubo de 1/2 PVC
Tubo de 3/4 PVC
Codo de 1/2 PVC
Codo de 3/4 PVC
Codo de 1 PVC
Tee de 1/2 PVC
Teflón
Type
Silicón
Cemento de contacto

Tabla 6. Recursos Físicos.

#### 2.4.5. Recursos Financieros.

##### Recursos Financiados por los Autores del Proyecto.

<b>NO DISPONIBLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Equipos</b>	<b>( Unidad )</b>	<b>(\$)</b>	<b>(S)</b>
Bomba de 1/8 hp de 220 / 50 hz de 50 L/ min	1	250	250
Tablero Eléctrico con variador de Frecuencia, y breaker de protección.	1	200	200
Acoples y manguera	1	35.00	35.00
Tubería, tee, acoples, válvulas, etc.	1	80.00	80.00
Mano de obra	2	200.00	400.00
Planchas de Acrílico y Acero inoxidable.	2	150	300.00
Tanque de recepción de 90 litros y tanque de descarga 20 litros	2	150	300.00
Canal de transporte de agua de 3 metros	2	250	500.00
Variador de frecuencia del motor	1	300	300.00
Rotámetro	1	150	150.00
		<b>TOTAL</b>	<b>2515.00</b>

Tabla 7. Recursos Financieros.

#### 2.4.6. Costo Total del Proyecto.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Financiado por los Autores del proyecto.	2515.00
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>2515.00</b>

Tabla 8. Costo del proyecto

## 2.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**

TEMA:.....  
INFORME DE PRÁCTICA No.....      FECHA:.....  
PROFESOR O AYUDANTE.....      ALUMNO(A):.....  
CURSO:.....      GRUPO:.....      CALIFICACIÓN:.....

### ❖ **Introducción.**

El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye, generalmente cuando el número de Reynolds se encuentra por debajo de 2100 se sabe que el flujo es laminar, el intervalo entre 2100 y 4000 se considera como flujo de transición y para valores mayores de 4000 se considera como flujo turbulento. Este grupo adimensional es uno de los parámetros más utilizados en los diversos campos de la Ingeniería en los que se presentan fluidos en movimiento.

Para poder demostrar o calcular se utilizará motor trifásico sumergible, canales de distinto tipo de material, Rotámetro y Variador de Frecuencia con el que podemos elevar o disminuir la frecuencia del motor.

Además podemos sustituir canales de distinto material para poder demostrar el caudal, los flujos y las pérdidas ocasionadas por fricción y rugosidad.

### ❖ **Objetivo General.**

Determinar los tipos de flujo presentes en el canal abierto para diferentes tipos de materiales.

### ❖ **Objetivos Específicos.**

- Observar que tipos de flujos se presentan durante la práctica de laboratorio.
- Utilizando el variador de frecuencia determinar los distintos flujos presentes Oscilatorio, Turbulento, Laminar o Transitorio.
- Aplicar los métodos de Medición de velocidad.
- Calcular el nmero de Reynolds matemáticamente.
- Comparar los valores calculados y relacionarlos con los resultados observados.
- Determinar el diámetro equivalente en cada uno de los canales.
- Observar el comportamiento del fluido tanto al inicio (tanque de descarga) como al final del canal (vertedor)
- Relacionar y graficar las Rpm vs Potencia.

### ❖ **Materiales y Equipos.**

- Canal Abierto de Demostración de Transporte de Agua.
- Colorante Vegetal.
- Flotador. (Testigo)
- Regla.
- Flexómetro.
- Cronometro.
- Jeringuilla.

❖ **Gráficos.** (Debe realizar el estudiante)(**observar en los resultados.**

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Verificar que las conexiones del equipo estén en buen estado para encender
- ✓ Verificar el equipo que vaya a trabajar a 220 V.
- ✓ Verificar que la llave de desfogue este cerrada.
- ✓ Almacenar el tanque de agua a su límite señalado.
- ✓ Encender el equipo de la caja de mando.
- ✓ Verificar que encienda el variador de frecuencia.
- ✓ Comprobar el funcionamiento del equipo.
- ✓ No permitir que la bomba genere el efecto de cavitación.
- ✓ Abastecer continuamente el tanque.
- ✓ Con el variador de frecuencia seleccionar los caudales necesarios para la ejecución de la práctica.
- ✓ Tomar los datos que se requiere en la práctica.
- ✓ Desconectar del tablero el funcionamiento de la bomba
- ✓ Evacuar el agua del canal por medio de la llave de desfogue.
- ✓ Desconectar el Equipo.

❖ **Marco Teórico.** (Debe consultar el estudiante.)(verificar en el capítulo II)

❖ **Toma de datos.**

Para registrar los datos del tipo de flujo nos basamos en la figura 8 y relacionamos directamente con los flujos producidos tanto al inicio del canal como al final en el dique o vertedor. Colocamos el porcentaje de la potencia del motor en la tabla de datos obtenidos y hacemos una relación directa de la potencia versus revoluciones por minuto (rpm).



Determinamos los flujos de alimentación de agua necesarios para obtener flujos laminares, de transición y turbulentos. Esto es, ¿Cual debe ser la velocidad de llenado del tanque de descarga para cada tipo de flujo?

¿Cuál será el porcentaje que se debe aplicar en el variador de frecuencia para obtener un flujo laminar, transitorio o turbulento?

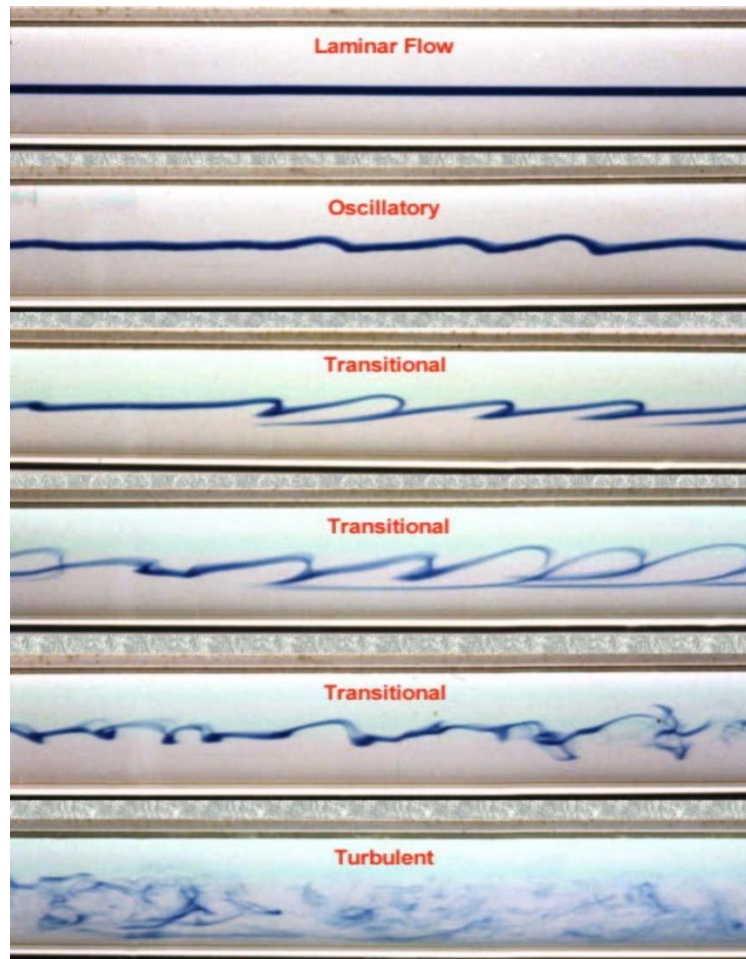


Figura 23. Fotografías de los diferentes regímenes de flujo observados en un canal abierto.

<b>Frecuencia Nominal</b>	50 Hz.
<b>R.P.M. Nominal</b>	3400

Tabla 9. Datos del Motor. Fuente: Autores.

Porcentaje del Variador de Frecuencia %	Frecuencia	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h
25			
55			
75			
100			
120			

Tabla 10. Resultados en el variador de Frecuencia y Rotámetro. Fuente: Autores

Prueba	Caudal	Tipo de Régimen a la Entrada (Tanque de Descarga)	Tipo de Régimen a la Salida (Vertedor)
1 (25%)			
2 (55%)			
3 (75 %)			
4 (100 %)			
5 (120 %)			

Tabla 11. Resultados tipos de flujos. Fuente: Autores

❖ **Cálculo matemático del número de Reynolds.**

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds

D = Diámetro del ducto.

v = Velocidad promedio del líquido.

$\rho$  = Densidad del líquido.

$\mu$  = Viscosidad del líquido.

Cuando el ducto es una tubería, D es el diámetro interno de la tubería.  
 Cuando no se trata de un ducto circular, se emplea el diámetro equivalente

$$D = 4 \frac{A}{P}$$

Donde:

D: Diámetro equivalente.

A: Es el área hidráulica.

P: Es el Perímetro mojado.

❖ **Calculo de la velocidad.**

$$\text{Velocidad del Fluido.} = \frac{\text{Espacio (m)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

**Ensayo en el tanque de descarga.**

Ensayo con Flotador	25% (0.3 m)	55% (0.1 m)	75% (0.5 m)	100% (0.5 m)	120% (0.5 m)
1					
2					
3					
4					
<b>Tiempo Promedio (Segundos)</b>					

Tabla 12. Toma de tiempos en el tanque de descarga. Fuente: Autores

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.3 m)</b>	<b>55% (0.1 m)</b>	<b>75% (0.5 m)</b>	<b>100% (0.5 m)</b>	<b>120% (0.5 m)</b>
<b>Velocidad del Fluido (m/s)</b>					

Tabla 13. Cálculos de las velocidades en el tanque de descarga. Fuente: Autores

### Ensayo en el vertedor.

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.1 m)</b>	<b>55% (0.5 m)</b>	<b>75% (0.5 m)</b>	<b>100% (0.1 m)</b>	<b>120% (0.1 m)</b>
<b>1</b>					
<b>2</b>					
<b>3</b>					
<b>4</b>					
<b>Tiempo Promedio (Segundos)</b>					

Tabla 14. Toma de tiempos en el vertedor. Fuente: Autores

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.1 m)</b>	<b>55% (0.5 m)</b>	<b>75% (0.5 m)</b>	<b>100% (0.1 m)</b>	<b>120% (0.1 m)</b>
<b>Velocidad del Fluido (m/s)</b>					

Tabla 15. Cálculos de velocidades en el vertedor. Fuente: Autores

<b>Prueba</b>	<b>Tipo de Régimen Calculado a la Entrada (Tanque de Descarga)</b>	<b>Tipo de Régimen Calculado a la Salida (Vertedor)</b>
<b>1 (25%)</b>		
<b>2 (55%)</b>		
<b>3 (75 %)</b>		
<b>4 (100 %)</b>		
<b>5 (120 %)</b>		

Tabla 16. Cálculos Matemáticos del número de Reynolds. Fuente: Autores

- ❖ **Curvas características grafica.** (Debe realizar el estudiante en base a los Datos obtenidos en la práctica de laboratorio.)
  
- ❖ **Conclusiones y Recomendaciones.**
  
- ❖ **Bibliografía.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**

**TEMA:**.....  
**INFORME DE PRÁCTICA No.**.....      **FECHA:**.....  
**PROFESOR O AYUDANTE**.....      **ALUMNO(A):**.....  
**CURSO:**.....      **GRUPO:**.....      **CALIFICACIÓN:**.....

❖ **Introducción.**

Los vertedores son definidos como simples aberturas sobre las cuales un líquido fluye, el término se aplica también a obstáculos en el paso de la corriente y a las excedencias de los embalses, los vertedores son por así decirlo orificios sin el borde superior.

En el empleo de un vertedor, como medidor de gasto es conveniente hacer las siguientes consideraciones.

- La carga (h) debe ser flexible.
- La cresta debe ser bien tallada y debe quedar en posición horizontal (En vertedores rectangulares y trapezoidales).
- Todo el flujo debe pasar sobre el vertedor.
- Dimensiones mínimas sugeridas para vertedores triangulares con contracción.

❖ **Objetivo General.**

Determinar el caudal para diferentes tipos de vertedores.

❖ **Objetivos Específicos.**

- Calcular los caudales que se originan en la cresta del vertedor aplicando las ecuaciones para cada uno de los vertederos.
- Utilizando el rotámetro, medir los valores de caudal que se originan tanque de descarga y comparar con los valores que se obtienen en el cálculo mediante las ecuaciones planteadas.
- Comparar los valores obtenidos tanto en el rotámetro y mediante las ecuaciones y discutir los resultados.

❖ **Materiales y Equipos.**

- Canal Abierto de Demostración de Transporte de Agua.
- Vertedor de forma rectangular.
- Vertedor de forma trapezoidal.
- Vertedor de forma triangular.
- Regla.

❖ **Gráficos.** (Debe realizar el estudiante)

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Verificar que las conexiones del equipo estén en buen estado para encender
- ✓ Verificar el equipo que vaya a trabajar a 220 V.

- ✓ Verificar que la llave de desfogue este cerrada.
- ✓ Colocar el dique al final del canal de acuerdo al orden señalado.
- ✓ Almacenar el tanque de agua a su límite señalado.
- ✓ Encender el equipo de la caja de mando.
- ✓ Verificar que encienda el variador de frecuencia.
- ✓ Comprobar el funcionamiento del equipo.
- ✓ No permitir que la bomba genere el efecto de cavitación.
- ✓ Abastecer continuamente el tanque.
- ✓ Con el variador de frecuencia fijamos una potencia para generar caudal.
- ✓ Medimos la carga sobre la cresta del vertedor ( $h$ ) y el la longitud  $L$  y lo registramos en la tabla.
- ✓ Con el variador de frecuencia generamos distintos caudales y repetimos hasta en 4 ocasiones como mínimo los dos pasos anteriores.
- ✓ Tomar los datos que se requiere en la práctica.
- ✓ Desconectar del tablero el funcionamiento de la bomba
- ✓ Evacuar el agua del canal por medio de la llave de desfogue.
- ✓ Desconectar el Equipo.

❖ **Marco Teórico.** (Debe consultar el estudiante.)

❖ **Toma de datos.**

Para registrar los datos de caudal observamos el rotámetro y llenamos la tabla que a continuación se ha propuesto, a su vez medimos la cresta que origina el líquido y lo registramos también en la tabla. Con el variador de frecuencia originamos los diferentes tipos de caudal necesarios para obtener distintas medidas en la cresta del vertedor así obtenemos diferentes caudales en el vertedor.



### Vertedor Forma Rectangular.

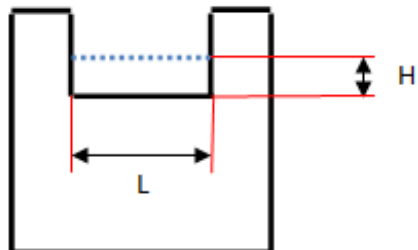


Figura 24. Vertedor Rectangular.

$$Q = 3.33 L H^{3/2}$$

Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25			
55			
75			
100			
120			

Tabla 17. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores

### Vertedor Forma Trapezoidal.

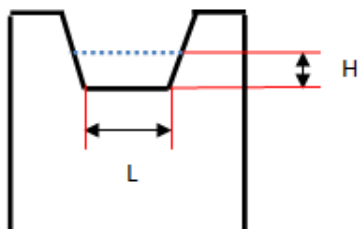


Figura 25. Vertedor Trapezoidal.

$$Q = 3.367 L H^{3/2}$$

Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25			
55			
75			
100			
120			

Tabla 18. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores

**Vertedor Forma Triangular.**

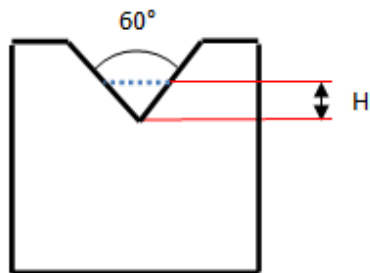


Figura 26. Vertedor Triangular.

$$Q = \frac{3}{15} (2g)^{2.5} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \mu H^{2.5}$$

Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25			
55			
75			
100			
120			

Tabla 19. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores

- ❖ **Curvas características grafica.** (Debe realizar el estudiante en base a los datos obtenidos en la práctica de laboratorio.)
  
- ❖ **Conclusiones y Recomendaciones.**
  
- ❖ **Bibliografía.**

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS.

#### 3.1. Datos recopilados durante la práctica # 1.

<b>Frecuencia Nominal</b>	50 Hz.
<b>R.P.M. Nominal</b>	3400

Tabla 9. Datos del Motor. Fuente: Autores.

<b>Porcentaje del Variador de Frecuencia %</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>RPM</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup>/h</b>
25	10.42	708	0.2
55	22.92	1558	1
75	31.25	2125	1.5
100	41.67	2833	2
120	50.00	3400	2.4

Tabla 10. Resultados en el variador de Frecuencia y Rotámetro. Fuente: Autores

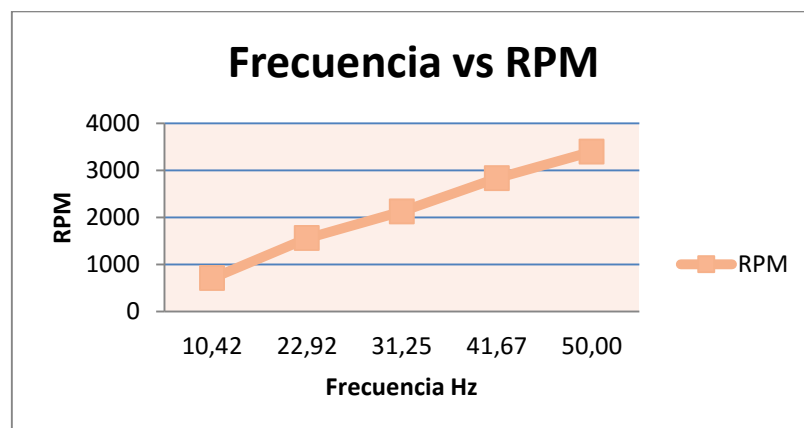


Figura 27. Diagrama de Frecuencia vs RPM observados en la Práctica.

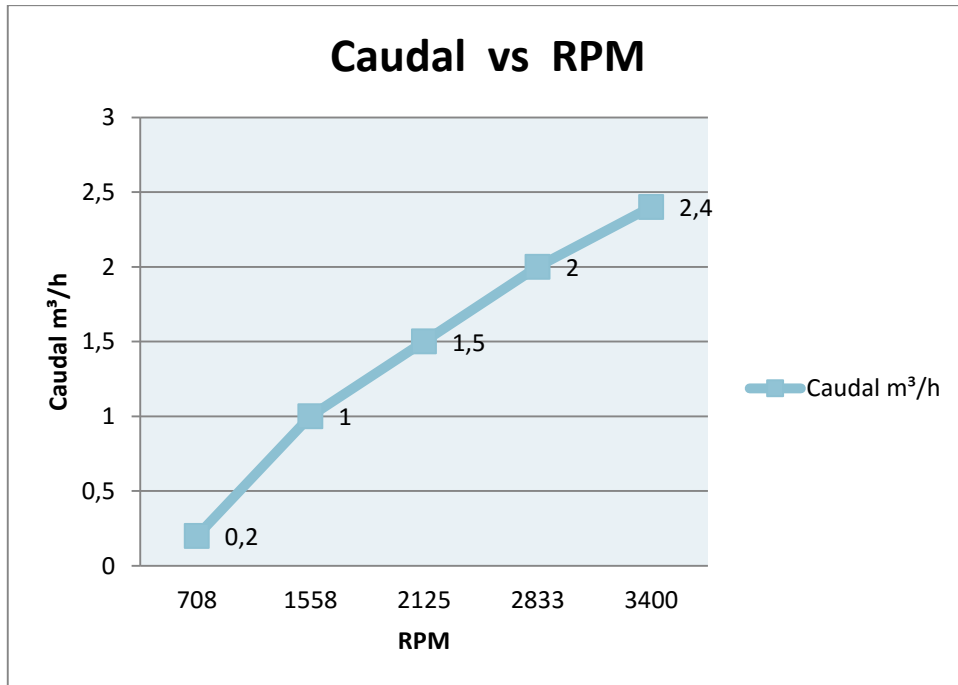


Figura 28. Diagrama de Caudal vs RPM observados en la Práctica.



Figura 29. Fotografía de caudales observados en la Práctica.

Prueba	Caudal	Tipo de Régimen a la Entrada (Tanque de Descarga)	Tipo de Régimen a la Salida (Vertedor)
1 (25%)	0.2	Transicional	Laminar
2 (55%)	1	Transicional	Transicional.
3 (75 %)	1.5	Turbulento	Transicional
4 (100 %)	2	Turbulento	Turbulento
5 (120 %)	2.4	Turbulento	Turbulento

Tabla 11. Resultados tipos de flujos Observados. Fuente: Autores

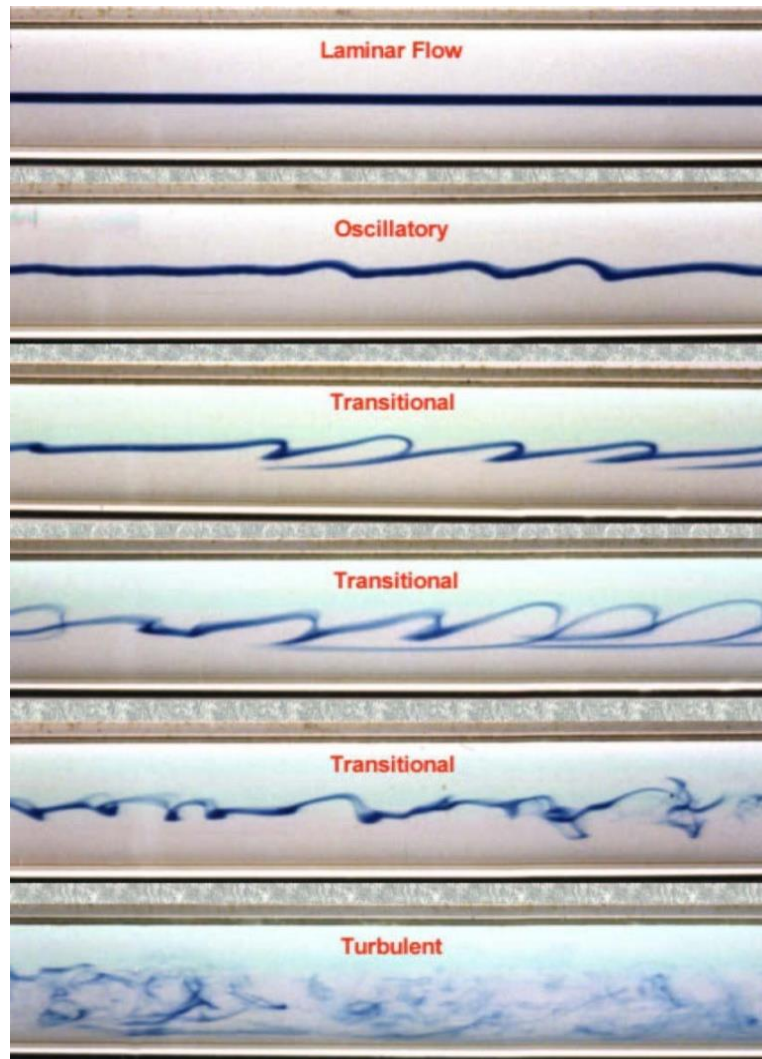


Figura 23. Fotografías de los diferentes regímenes de flujo observados en un canal abierto.

**Ensayo en el tanque de descarga.**

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.3 m)</b>	<b>55% (0.1 m)</b>	<b>75% (0.5 m)</b>	<b>100% (0.5 m)</b>	<b>120% (0.5 m)</b>
<b>1</b>	12	5	3	3	2
<b>2</b>	11	4	6	4	2
<b>3</b>	11	6	4	3	2
<b>4</b>	10	6	3	3	2
<b>Tiempo Promedio (Segundos)</b>	<b>11</b>	<b>5.25</b>	<b>4</b>	<b>3.25</b>	<b>2</b>

Tabla 12. Toma de tiempos en el tanque de descarga. Fuente: Autores

$$\text{Velocidad del Fluido.} = \frac{\text{Espacio (m)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.3 m)</b>	<b>55% (0.1 m)</b>	<b>75% (0.5 m)</b>	<b>100% (0.5 m)</b>	<b>120% (0.5 m)</b>
<b>Velocidad del Fluido (m/s)</b>	<b>0.028</b>	<b>0.019</b>	<b>0.125</b>	<b>0.0235</b>	<b>0.25</b>

Tabla 13. Cálculos de las velocidades en el tanque de descarga. Fuente: Autores

**Ensayo en el vertedor.**

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.1 m )</b>	<b>55% (0.5 m )</b>	<b>75% (0.5 m )</b>	<b>100% (0.1 m )</b>	<b>120% (0.1 m )</b>
<b>1</b>	12	24	21	5	4
<b>2</b>	16	26	22	4	4
<b>3</b>	14	26	19	3	3
<b>4</b>	14	24	20	5	5
<b>Tiempo Promedio (Segundos)</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>20.5</b>	<b>4.25</b>	<b>4</b>

Tabla 14. Toma de tiempos en el vertedor. Fuente: Autores

$$\text{Velocidad del Fluido.} = \frac{\text{Espacio (m)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

<b>Ensayo con Flotador</b>	<b>25% (0.1 m )</b>	<b>55% (0.5 m )</b>	<b>75% (0.5 m )</b>	<b>100% (0.1 m )</b>	<b>120% (0.1 m )</b>
<b>Velocidad del Fluido (m/s)</b>	<b>7.14 x 10<sup>-3</sup></b>	<b>0.0196</b>	<b>0.0243</b>	<b>0.1538</b>	<b>0.025</b>

Tabla 15. Cálculos de velocidades en el vertedor. Fuente: Autores

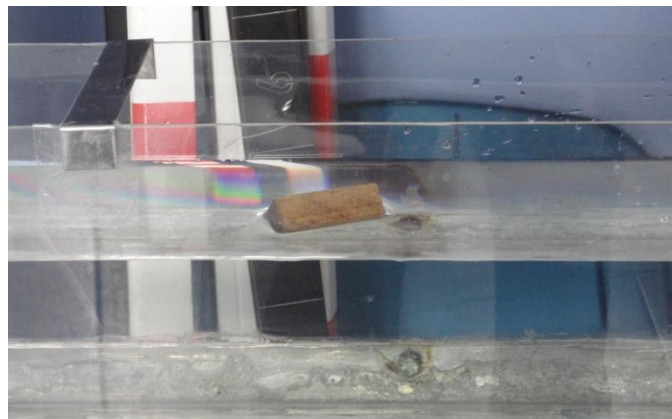


Figura 30. Fotografía de velocidades observados en la Práctica.



**Número de Reynolds Calculado.**

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$D = 4 \frac{A}{P}$$

Prueba	Tipo de Régimen Calculado a la Entrada (Tanque de Descarga)	Tipo de Régimen Calculado a la Salida (Vertedor)
<b>1 (25%)</b>	3506.65	1404.19
<b>2 (55%)</b>	3716.35	3854.65
<b>3 (75 %)</b>	24583.27	4778.98
<b>4 (100 %)</b>	30256.35	4627.44
<b>5 (120 %)</b>	49166.55	4916.65

Tabla 16. Cálculos Matemáticos del número de Reynolds. Fuente: Autores

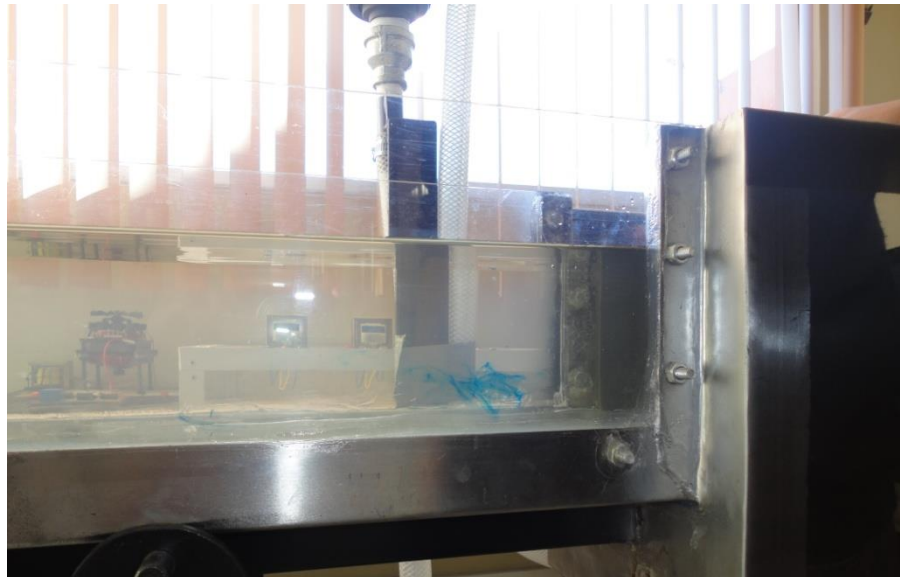
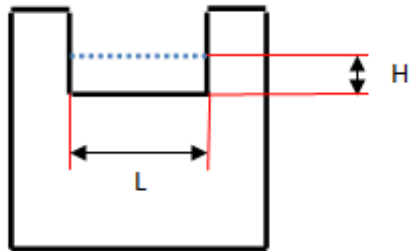


Figura 32. Fotografía de comportamiento del fluido observados en la Práctica.

### 3.2. Datos recopilados durante la práctica # 2.

#### Vertedor Forma Rectangular.



$$Q = 3.33 L H^{3/2}$$

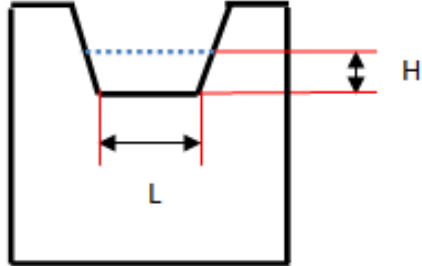
Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25	850	0.2	0.19
55	1870	1	1.02
75	2255	1.5	1.57
100	3400	2	2.2
120	4080	2.4	2.6

Tabla 17. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores



Figura 32. Fotografía de caudal en vertedor Rectangular observados en la Práctica.

### Vertedor Forma Trapezoidal.



$$Q = 3.367 L H^{3/2}$$

Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25	850	0.2	0.25712
55	1870	1	0.839
75	2255	1.5	1.336
100	3400	2	2.057
120	4080	2.4	2.7

Tabla 18. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores

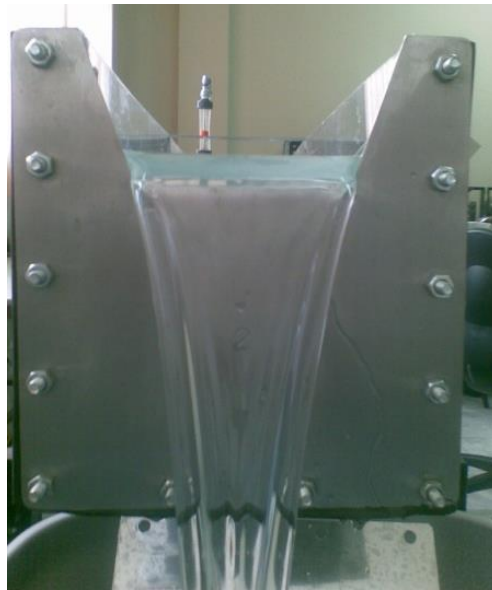
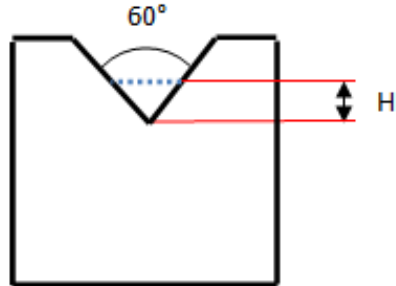


Figura 33. Fotografía de caudal en vertedor Trapezoidal observados en la Práctica.

**Vertedor Forma Triangular.**



$$Q = \frac{3}{15} (2g)^{2.5} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \mu H^{2.5}$$

Frecuencia %	RPM	Caudal m <sup>3</sup> /h Rotámetro.	Caudal m <sup>3</sup> /h Calculado.
25	850	0.2	0.230
55	1870	1	0.904
75	2255	1.5	1.23
100	3400	2	2.037
120	4080	2.4	2.55

Tabla 19. Cálculo y comparación de caudales. Fuente: Autores



Figura 34. Fotografía de caudal en vertedor Triangular observados en la Práctica.

## CAPÍTULO IV

### 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto en la parte teórica como en la parte práctica tenemos lo siguiente:

#### 4.1. Análisis de resultados en la Práctica # 1.

De acuerdo a la grafica de observación para determinar el régimen de flujo que se presenta en distintos puntos del canal abierto tenemos que:

- Los tipos de flujos que se presentan tanto en el tanque de descarga como en el vertedor concuerdan con los observados en la grafica. Esta parte es de gran ayuda para el estudiante ya que por medio de la tinta inyectada en el canal podemos observar como el flujo cambia en cada tramo de la trayectoria del fluido teniendo así muchos flujos presentes a lo largo del canal abierto.
- Además la ecuación del número de Reynolds nos ayuda directamente a comprobar de manera matemática los que sucede en cada tramo del canal. Con estos resultados el número de Reynolds podemos ir al diagrama de Muding para poder encontrar las pérdidas ocasionadas por fricción en cada uno de los materiales empleados en cada práctica de laboratorio.
- Es preciso anotar que es de mucha ayuda el saber tomar velocidades tanto en el vertedor como en el canal, esto con la finalidad de buscar nuevas estrategias y nuevas maneras de medir la velocidad en canales mucho más extensos que se presentan en la vida real.
- En cuanto a la relación directa en lo que concierne a frecuencia vs RPM, podemos destacar que al momento de realizar un diagrama de relación podemos determinar la frecuencia en la cual se encuentra trabajando la bomba sumergible, esto con el propósito de regular las RPM y a su vez por medio del

Rotámetro medir el caudal deseado para generar los distintos tipos de flujos para propósitos prácticos.

- En los dos canales siguientes sucede algo similar en lo que concierne a toma de medidas y generación de flujos en todo el trayecto del fluido en el canal, aquí lo que varía es el coeficiente de rugosidad por lo que las medidas antes anotadas varían con respecto a la composición de las paredes de construcción del canal que en este caso son rugosidad de madera y rugosidad de cemento (este último el más utilizado en la construcción de canales.). para propósitos prácticos es muy útil ejecutar las prácticas de laboratorio utilizando por lo menos dos tipos de canales para observar su diferencia al momento de la toma de velocidades. Aquí observaremos que entra a jugar un papel muy importante los coeficientes de rugosidad de Manning para el cálculo de velocidades.

#### **4.2. Análisis de resultados en la Práctica # 2.**

- Aquí encontramos una serie de ecuaciones que nos ayudan a determinar caudales en el vertedor, en este caso debemos tomar muy en cuenta las unidades del sistema que se vaya a escoger ya sea el sistema internacional o el sistema inglés, esto origina confusión y mala selección de unidades determinadas para calcular el caudal en vertedores.
- Las ecuaciones para calcular el flujo en vertedores también proporcionan un cierto margen de error, es por eso que se recomienda tomar la ecuación que más se aproxime a los valores calculados reales, para el cálculo de caudal en vertedores triangulares, la fundamentación teórica proporciona una infinidad de ecuaciones para calcular caudal con distintos ángulos de aforo.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Mediante la cátedra de Operaciones Unitarias logramos llegar a determinar las ecuaciones que rigen el comportamiento de fluidos en los canales abiertos, para poder observar distintos flujos que se forman en el canal.
- Con la ayuda de las ecuaciones Maning y Chazy, se llegó a determinar el correcto dimensionamiento y construcción de canales abiertos.
- Se realizó un estudio completo en el cual se identificó, los tipos de flujo presente en el canal abierto para diferentes tipos de materiales y el caudal para diferentes tipos de vertedores, así llegamos a determinar que el canal de acrílico con un coeficiente de rugosidad  $n = 0.010$ , es el menos rugoso y el que ofrece mejor conducción del fluido en canales abiertos. Para el canal de madera se pudo determinar un coeficiente de rugosidad  $n = 0.017$ , y para el canal de cemento se determinó un coeficiente de rugosidad  $n = 0.014$ .
- Aquí se llegó a determinar la velocidad en canales abiertos, después de emplear distintos métodos de medida.
- Con la elaboración de las prácticas de laboratorio se llegó a comprobar tanto de manera visual como de manera matemática los flujos originados en el canal. Además, por medio de las ecuaciones planteadas para el número de Reynolds y para determinar el caudal comprobamos de manera teórica y práctica el número de Reynolds presentes en el canal.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Hacer uso del manual de usuario del equipo antes de ser usado, para de esta manera evitar cualquier accidente y a su vez dar un correcto uso a la equipo de laboratorio, Anexo A
- Incluir una cultura de mantenimiento preventivo para el cuidado de la bomba sumergible, el variador de frecuencia y el rotámetro analógico, para ello se describe en el Anexo B un plan completo de mantenimiento preventivo para los elementos que conforman el canal abierto,
- Se recomienda coordinación antes de la utilización del equipo con el laboratorista de la Facultad y con el Docente, esto con la finalidad de preparar el equipo para el uso en las prácticas de laboratorio y conocer cómo funciona el sistema de bombeo del mismo.
- Cumplir con los procedimientos planteados para realizar cada una de las prácticas en el laboratorio, para ello se describe el funcionamiento del equipo en el Anexo C
- Se recomienda integrar en la malla curricular la cátedra de instrumentación que servirá para dar a conocer el correcto uso de los instrumentos existentes en los laboratorios.
- Se deben adquirir equipos para determinar velocidades y caudales más exactos para este tipo de prácticas de laboratorio, esto beneficiara directamente al aprendizaje del estudiante en la ejecución de la práctica.



## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA**

#### **6.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA**

##### **AUTOMATIZACIÓN DEL CANAL ABIERTO**

#### **6.2. INTRODUCCIÓN**

A un futuro para estar con la tecnología podemos implementar la automatización en el canal abierto. Un sistema que nos ayudaría a enfocar una estructura rígida que forma una contracción dentro de un canal por medio de la cual se dan las condiciones hidráulicas para que se presente un campo con régimen crítico dentro de él. La automatización de esta manera, dentro de la estructura se presenta una sección de control que sirve de punto de partida para la medición del caudal circulante. El caudal es una de las variables más importantes a ser medida para apoyar la gestión del recurso hídrico en los sistemas de canales, dando como resultado una adecuada medición volumétrica, en aquellas máquinas que usan fluidos para trabajar, usando mayormente áreas para moderar las potencias.

La necesidad de medir y regular el caudal de agua de los canales para mejorar la gestión de los recursos hídricos, junto con el gasto de los canales no navegables, drenajes, vertidos libres, etc.; han dado origen al diseño e instalación de estructuras que faciliten dicho fin, automatizar.

Considerando la importancia de adiestrar adecuadamente a los estudiantes en la medición de flujo, se planteó la necesidad de crear un sistema en el que se pueda medir caudal de agua por medio de automatizar y un sensor, con el fin de simular un sistema real a pequeña escala.

### **6.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

- Automatizar el equipo de canal abierto de transporte de agua.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar tiempos más técnicos para tener resultados reales.
- Realizar suficientes prácticas para obtener experiencia.
- Realizar las pruebas con equipos exactos.
- Utilizar sensores en los canales de riego.

### **6.4. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO –TÉCNICA**

En el presente caso, el objetivo principal es medir el caudal de agua diseñando y construyendo un prototipo, cuyas dimensiones se definirán tomando en cuenta los elementos que se automatice así como, respetando las normas mínimas que recomiendan los libros y manuales para la construcción e instalación de los diversos accesorios que contiene esta instalación hidráulica.

Estas máquinas utilizan la incompresibilidad de los líquidos para generar grandes cantidades de potencia en muy poco tiempo. Por este mismo hecho se usan máquinas neumáticas donde se requiere mucha potencia, se pretende aplicar un conjunto de información teórica básica, esquemas de cálculo y propuestas de instalaciones de aforo que aseguren una precisión adecuada en las mediciones. Esta propuesta tiene el propósito de que los resultados a obtener presenten un error total mínimo, adecuado para este tipo de propósitos, incluyendo en éste, el error experimental (derivado del ajuste de las fórmulas de cálculo) y del incurrido en la lectura de los parámetros intervinientes.

Se describen la instalación y metodología de medición que ha mostrado ser la más adecuada, de gran utilidad y precisión, de manera que las medidas realizadas sean las más confiables posibles. No obstante, cabe acotar que existen otras múltiples opciones de determinación de caudal que incluyen otros principios diferentes a los que se pretende.

## **6.5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

Ajustar en la malla curricular con la cátedra de instrumentación que sería algo esencial para todos los estudiantes de ingeniería.

Al desarrollar este tema propuesto podremos aplicar métodos nuevos y equipos más avanzados para las prácticas obteniendo resultados reales las cuales que los estudiantes podrían efectuar otro tipo de tema de investigación empleando teoría y equipos adecuados para que puedan desarrollar sus prácticas en el equipo.

## **6.6. MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.**

De la propuesta Técnicas modernas de medición de flujo en canales abiertos más del 100% de los estudiantes desconoce de esta práctica conlleva a una investigación, presentando deficiencias en la práctica y criterios en los estudiantes.

Con el tema de investigación , se espera en primera instancia concientizar a los estudiantes y al personal docente de la Universidad, para obtener resultados prácticos en los estudiantes se tiene la perspectiva que en cada práctica el 100% de los estudiantes tenga la noción de que se trata en la vida real los flujo de canales abiertos.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 5° Edición, 2004, Editorial McGRAW-HILL
- Shames, Mecánica de Fluidos, 3° Edición, 1998, Editorial McGRAW-HILL
- Arturo Rocha Felices, Hidráulica de Tuberías y Canales, 3° Edición, Editorial McGRAW-HILL.
- White, F.M. “Mecánica de Fluidos”. 5° Edición, Editorial McGraw–Hill.. 1988.
- Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.
- [www.bvsde.ops-oms](http://www.bvsde.ops-oms).
- [www.vertexpumps.com](http://www.vertexpumps.com)

# **ANEXOS**

**A.- MANUAL DE USUARIO.**  
**Canal Abierto de Demostración de**  
**Transporte de Agua.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente documento tiene por finalidad ser una herramienta de apoyo para el uso del canal abierto de demostración de transporte de agua, que se ha diseñado con el propósito de que los estudiantes de la facultad de ingeniería y el público en general tengan conocimiento en el manejo correcto del mismo.

## **2. CONSIDERACIONES GENERALES**

Esta máquina está diseñada para obtener resultados altamente satisfactorios durante mucho tiempo.

Para su instalación no requieren montaje especial, por su diseño de cuatro puntos de apoyo mediante el sistema de garruchas con freno incluido en la parte inferior del soporte del canal.

La conexión a la línea de alimentación debe ser flexible para evitar una posible transmisión de las vibraciones. La tubería de conducción hacia el tanque de descarga será de la misma medida del diámetro de salida de la bomba sumergible, así la distancia a recorrer pues así se obtiene mayor rendimiento.

Se aconseja colocar en la llave de desfogue una manguera para poder evacuar el agua que queda en el canal luego de realizar las respectivas prácticas de laboratorio. Esto evitara que el tanque de descarga y el canal en todo su tramo se deposite residuos de agua los mismos que con el tiempo pueden llegar a corroer el canal y el tanque de descarga.

Además en el taque de recepción de agua es prudente que el laboratorista no permita que el mismo quede sin fluido, específicamente el tanque posee unas marcas de llenado en el interior las cuales indican el nivel mínimo y el nivel máximo de

alimentación de agua, esto evitara que la bomba trabaje en vacio. Cabe recalcar que la bomba sumergible está diseñada para absorber líquidos de una altura de 0.15 metros desde el impulsor hasta la carcasa de la bomba.

### **3. FUNCIONAMIENTO**

El sentido de giro de la bomba está indicado por una flecha que se encuentra en la carcasa de la bomba. (Es igual al giro de las agujas del reloj visto desde el motor). Probar no más de 3 segundos el sentido de giro.

MODELO SA Y SB RPM (NOMINAL)

VERTEX COLAND PUMP 50 Hz;

A.C. 0.4 A; V 220v ~

### **4. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA**

Realice la conexión de instalación eléctrica según las normas vigentes en el lugar de la instalación. El tablero eléctrico debe cumplir con el requisito de un arranque que no comprometa las partes móviles de la bomba. (Valido para VERTEX COLANT PUMP)

**Importante:** controle las características del motor de la bomba en su chapa identificatoria antes de proceder a su conexionado.

Para seguridad, debe protegerse el motor de la bomba con relevo térmico, guardamotor (variador de frecuencia) y un dispositivo de puesta a tierra.



Realizar la conexión de los cables al motor de la bomba hágalo como está indicado en el esquema contenido en la caja de bornera motor de la bomba (variador de frecuencia). Consultar el anexo de este manual para la programación del variador y la conexión del motor de la bomba sumergible.

Atención: Antes de realizar algún tipo de operación con la bomba, cortar el suministro eléctrico.

## **5. VARIADOR DE FRECUENCIA.**

En cuanto es el variador de frecuencia es considerado como el cerebro que controla los distintos niveles de revoluciones por minuto. A la vez actúa como un guarda motor por sus funciones múltiples de disparo ante eventuales malas maniobras de funcionamiento o alteraciones de voltajes. A su vez el variador de frecuencia consta con una infinidad de programaciones para su funcionamiento. Para este tipo de bomba sumergible VERTEX está programado de acuerdo a los parámetros básicos de funcionamiento de la bomba. Cabe recalcar que se puede cambiar los datos de programación para obtener valores continuos (solo en caso de trabajar con caudales fijos), el mismo que se detallan en el anexo de programación.

El modelo de variador de frecuencia Delta VFD-L cuenta con sus respectivas líneas de ingreso de corriente alterna. Trabaja con tres fases R S T y su terminal de protección a tierra. Sus salidas están constituidas por R1 S1 S2.

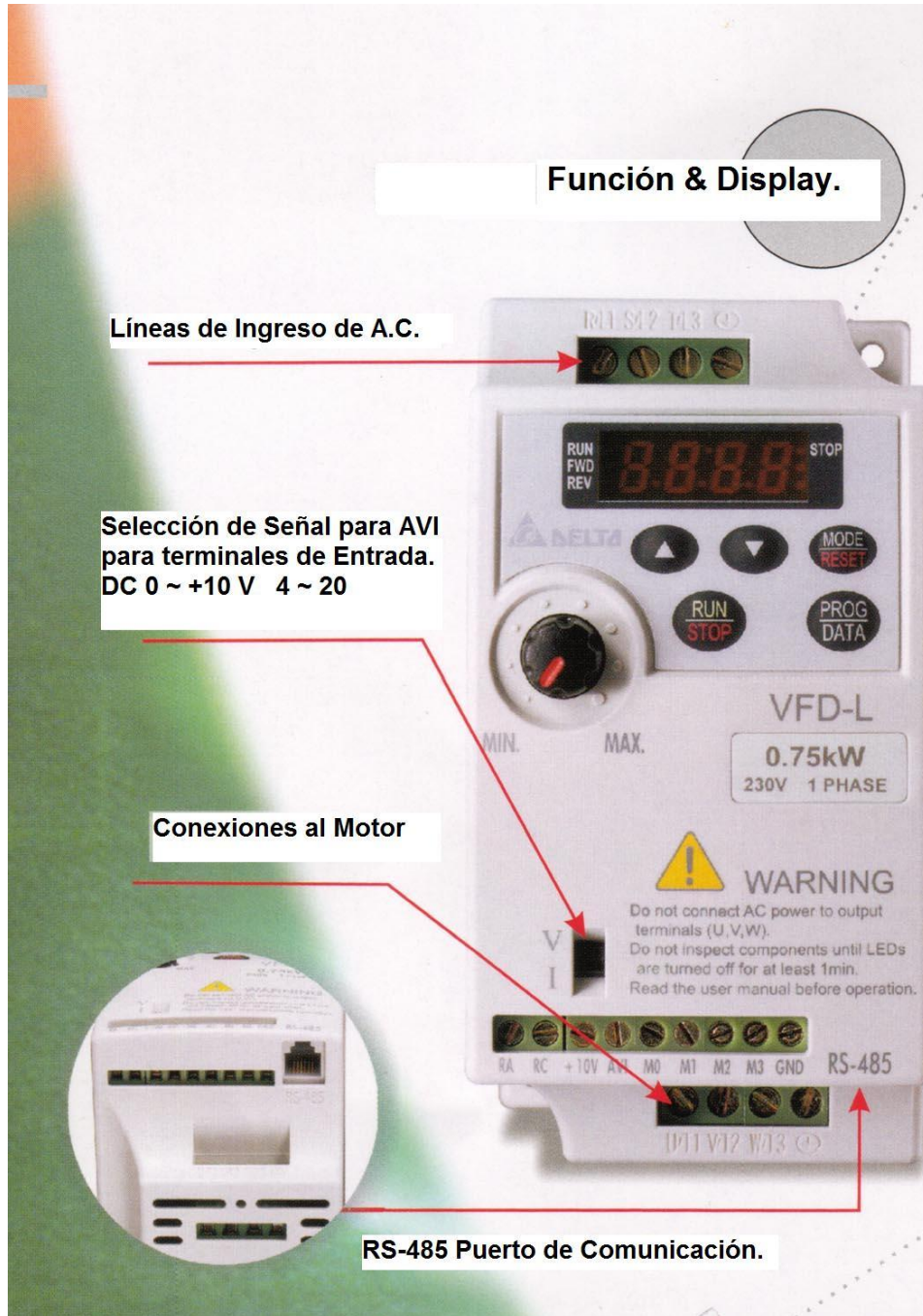
Además cuenta con una memoria de programación de PLC el mismo que también lo hace actuar como un temporizador programado. Cuenta además con un puerto RS-485 el mismo que arroja datos en señales de pulso para poder graficar en el computador.

## 6. PROBLEMAS EN EL FUNCIONAMIENTO

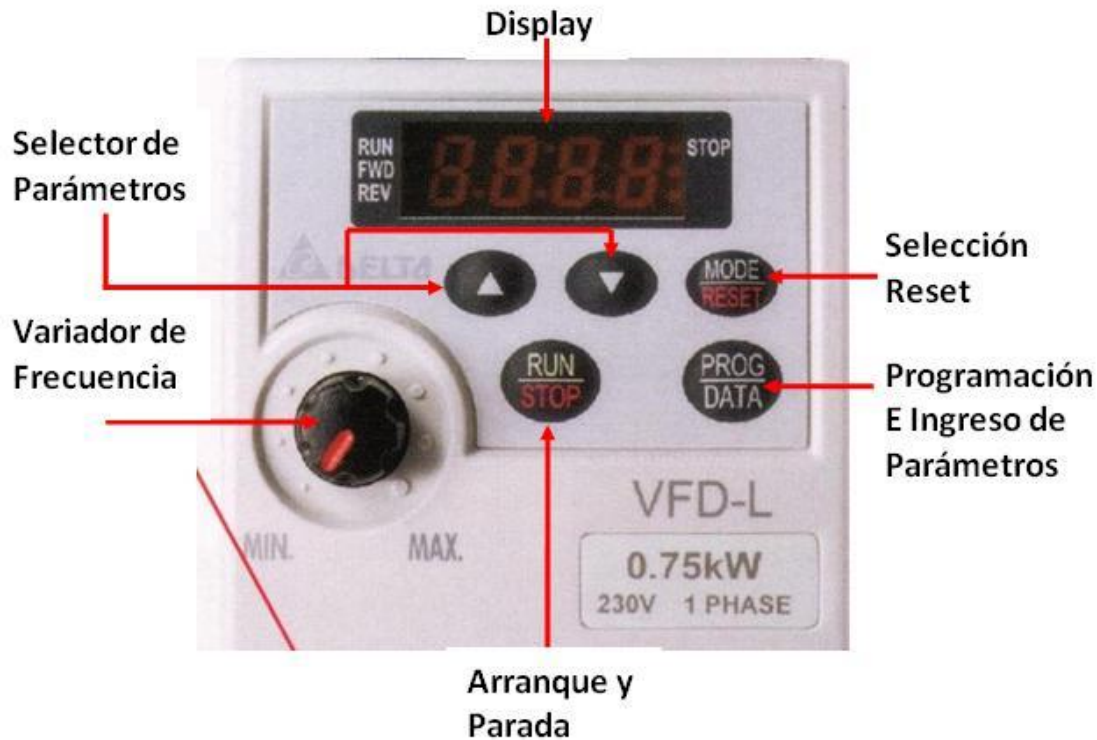
CAUSA	SOLUCIÓN
El variador de frecuencia indica F 04.(Señal de Protección)	Deje enfriar el variador de frecuencia y el motor por cuatro horas por lo mínimo, esto sucede cuando el motor ha estado trabajando durante mucho tiempo y ha estado bombeando caudales muy altos.
La bomba no entrega el caudal indicado en las pruebas de laboratorio.	Con ayuda del laboratorista verifique los terminales de conexión que no estén invertidos. Esto sucede cuando se ha invertido los terminales de ingreso al Breaker
El variador de frecuencia no funciona.	Esto solo sucede cuando exclusivamente la bomba ha sido cambiada o el variador ha sido desconfigurado en su programación original. Verificar el manual de programación del variador de frecuencia.
La bomba produce efecto de cavitación.	Pare la bomba. Coloque el nivel de agua a su límite máximo para que la misma succione al tanque de descarga y así pueda trabajar.
La bomba y el variador no encienden	Verificar el voltaje de ingreso al variador. Recuerde solo se puede trabar con línea de 220 voltios.
La bomba es muy ruidosa.	Acoplamiento desgastados o impulsor desgastado o averiado. Solución cambie el impulsor o los terminales de acople.
La temperatura de la bomba trabajando es muy alta.	Desconecte el variador de frecuencia y deje enfriar el motor de la bomba de succión. Verifique los parámetros de programación del variador de frecuencia.

## 7. PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

## Partes Constitutivas.



## 8. PROGRAMACIÓN DEL DISPLAY.



Para su respectiva programación primero identificamos la placa base del motor la cual está constituida por:

Modelo:	YSB-50
Rated flow:	50 (L/min)
Voltaje de Entrada:	220v
Frecuencia de Trabajo:	50 Hz
Amperaje:	0.4 A.
Revoluciones por Minuto.	RPM: 3400.

Una vez obtenidos los datos de origen de la bomba sumergible, vamos a proceder a programar según los parámetros indicados:

### **Selección de Parámetros.**

1. Seleccionamos el botón **SELECCIÓN RESET**.
2. Seguidamente seleccionamos el botón **DATA PROG**.

### **Grupo 1 Parámetros básicos.**

3. Ingresamos primero los parámetros de trabajo del variador indicando los puntos 1 00. Aquí ingresamos la frecuencia máxima de operación que es de 50 Hz.
4. Ingresamos ahora el parámetro de trabajo 1 01. Aquí ingresamos el nivel máximo de frecuencia. Que es al 120 % de la frecuencia nominal.
5. Ahora ingresamos el parámetro de trabajo 1 03. Aquí ingresamos el nivel mínimo de frecuencia nominal que es de 20 % de la frecuencia nominal, esto con la finalidad de proteger la bomba sumergible evitando posibles recalentamientos en el sistema de bombeo.

### **Grupo 2 Parámetros y métodos de operación.**

6. Vamos ahora a programar el potenciómetro negro (variar la frecuencia.) el parámetro a seleccionar es el 2 00 donde escogemos el valor nominal d3. Aquí el potenciómetro funciona y controla el número de RPM de la bomba.

### **Grupo 7 Parámetros del motor.**

7. Finalmente ingresamos los parámetros de trabajo del motor. El parámetro a seleccionar es el 7 01 y seleccionamos el valor nominal d 1.
8. Finalmente salimos del programador del variador de frecuencia dando un click en el botón que dice **RUN STOP**.

## **B.- MANUAL DE MANTENIMIENTO.**

## **Manual de Mantenimiento.**

### **Elaboración del Manual de Mantenimiento.-**

Este manual está elaborado y destinado a todos los estudiantes y docentes de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial de La Universidad Nacional de Chimborazo involucrados en los laboratorios de Operaciones Unitarias, Mantenimiento y Mecánica de los fluidos.

Su objetivo principal, es conocer el Uso y Mantenimiento del “Canal de Demostración de Transporte de Agua ”, su funcionamiento y actuación de los elementos de seguridad y los diferentes dispositivos en función del tiempo.

De este modo se permitirá que el estudiante alcance conocimientos básicos y prácticos sobre la Importancia del Mantenimiento.

## **1. BOMBA SUMERGIBLE VERTEX COLAND PUMP.**

### **1.1. Introducción.-**

El cuidado de la bomba es añadir años a su vida. Mucha gente se olvida de considerar el mantenimiento de la bomba.

Las Bombas en la industria se le han prestado una atención especial al mantenimiento preventivo de bombas de parte del personal de operaciones y mantenimiento.

El hecho de que los repuestos y suministro de nuevas bombas, de aleaciones adecuadas y las limitaciones que se presentan con el almacenaje del equipo y sus partes, ha servido para que el mantenimiento preventivo sea más importante que el correctivo, debido a que el cuidado evita el desgaste.

La invención de nuevos materiales para hacer reparaciones y cambios, métodos de entrenamiento, programas educativos para empleados y comités de conservación de materiales; son factores que han servido para que los empleados que trabajan en la industria se den cuenta de la importancia de tener un gran cuidado con el equipo que está bajo su responsabilidad.

## **1.2. BOMBA SUMERGIBLE**

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido. Este tipo de bombas es ideal para obtener presiones elevadas. Se usa principalmente en sistemas de riego, equipos de limpieza a presión, y en cualquier sistema requiriendo presión. Además de su gran eficiencia, la bomba de alta presión tiene un diseño sumamente práctico:

La gama cumple con diversas aplicaciones y comprende bombas centrífugas hasta 150 HP, bombas sumergibles y motores sumergibles hasta 400 HP.

Los principales empleos son en el mercado civil, municipal, industrial, agrícola y domestico, para drenaje, en las instalaciones contra-incendio y de acondicionamiento y calentamiento de aire.



## **1.3.Descripción de producto detallado.**



### 1.3.1. Aplicaciones.

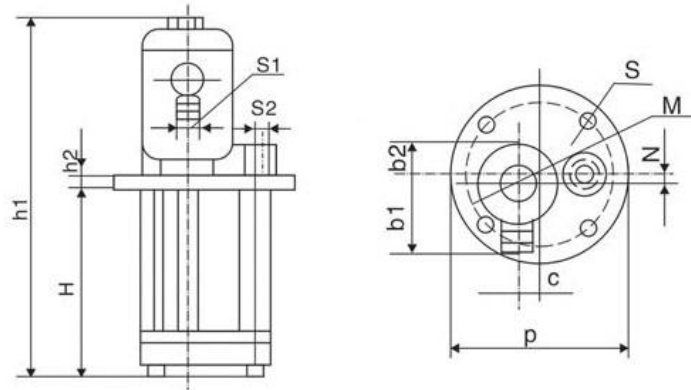
Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua.

Las bombas sumergibles también se utilizan en depósitos de combustible. Aumentando la presión en el fondo del depósito, se puede elevar el líquido más fácilmente que aspirándolo (succión) desde arriba.

Las bombas sumergibles pueden trabajar también con tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito. Sin embargo, para funcionar tienen que estar cebadas, esto es, con agua, de forma que la columna de agua comunique la bomba con el depósito. La tubería de aspiración no puede ser excesivamente alta para que no disminuya excesivamente la presión en la bomba y evitar la cavitación en la bomba. El líquido bombeado, al circular alrededor del motor, también refrigera a éste. Para que los propósitos se refresquen. Además, si la bomba está situada fuera del depósito, existe la posibilidad de que se produzcan fugas de gasolina y pueda causar un incendio. Algunos tipos de bomba no están preparados para ciertas aplicaciones, como el bombeo de agua caliente o líquidos inflamables

Montaje												
Type	H	h1	h2	P	M	N	S	b.1	.b2	C	S1	S2
YSB-12	150	280	4	120	105	3	6	70	33	11	M20 x 1.5	G3/8"
YSB-25	170	310	5	150	130	3	7	76	40	16	M20 x 1.5	G1/2"
YSB-25	170	320	5	150	130	3	7	76	40	16	M20 x 1.5	G1/2"
YSB-50	170	320	5	150	130	3	7	76	40	16	M20 x 1.5	G3/4"
YSB-100	250	432	6	200	180	11	7	103	51	16	M20 x 1.5	G1"
YSB-200	256	535	13	190 x 190	215		12			25	M20 x 1.5	G-1/4"

Imágenes de Producto: Tres Motor de Bomba de Fase



#### 1.4. Funcionamiento

TRES FASE (380V/50HZ)						
Tipo	Flujo nominal (L/min)	Nominal lift(M)	Poder (W)	Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Corriente (A)
YSB-12	12	3	40	50	380	0.24
YSB-25A	25	4	90	50	380	0.31
YSB-25B	25	4	90	50	380	0.31
YSB-25C	25	4	125	50	380	0.29
YSB-50	50	4	250	50	380	0.4
YSB-100	100	5	370	50	380	0.75
YSB-200	200	7	900	50	380	2.25

La bomba sumergible trabaja con un cierto nivel de agua la cual desempeña la descarga de agua del un tanque de recepción al tanque de descarga. Hay que tener mucho cuidado con el nivel de agua del tanque donde se encuentra la bomba sumergible es un fenómeno causado por una inestabilidad en el flujo de la corriente.

La cavitación se manifiesta con la formación de cavidad en el líquido bombeado y está acompañada por vibraciones ruidosas, reducción del caudal y, en menor medida, del rendimiento de la bomba. Se provoca por el pasaje rápido de pequeñas burbujas de vapor a través de la bomba: su colapso genera micro chorros que pueden causar

graves daños. Y la presión, así como el funcionamiento. Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito.

La cantidad de líquido que se debe bombear, o elevar en un cierto intervalo de tiempo por una bomba: normalmente expresada en litros por segundo (l/s), litros por minuto (l/m) o metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h). La limpieza es lo mas recomendada al finalizar la práctica, así podríamos mantener mucho tiempo más de vida.

## **2. VARIADOR DE FRECUENCIA.**

### **2.1.Introducción.-**

El cuidado del variador de frecuencia es añadir tiempo a su vida útil. No hay que olvidar y considerar la programación y el mantenimiento de la misma. El variador de frecuencia en la vida industrial se le ha prestado una atención especial por la programación y la seguridad que se presta este equipo para las bombas y hoy en día la mayor parte del personal de operaciones y mantenimiento pueden ayudarse a regular y asegurar su equipo de trabajo.

La invención de nuevos variadores de frecuencia es para regular velocidades en **las máquinas y equipos en las industrias**, son factores que han servido para que los empleados que trabajan en la industria se den cuenta de la importancia de tener un gran cuidado con el equipo que está bajo su responsabilidad.

### **2.2. Variador de frecuencia**

**La mayoría de las máquinas utilizadas en la industria moderna requieren velocidades variables, como por ejemplo: las máquinas herramientas, extrusoras de plásticos, trenes de laminación, mecanismos de elevación, transportadores y elevadores de materiales, equipos de aire acondicionado, bombas, ventiladores, hornos rotativos o lineales, embotelladoras, norias frigoríficas, molinos,**

**agitadores, etc. En dichas máquinas se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, evitar bruscas aceleraciones, diferentes productos a fabricar o garantizar la seguridad de personas y bienes.**

Para seleccionar el accionamiento adecuado para una máquina, debemos basarnos en algunos parámetros como:

- Potencia o cupla necesaria, basados en la producción deseada.
- Tipo de carga, cupla constante, potencia constante, cupla variable, etc. dependiendo del tipo de máquina.
- Límites o rango de regulación de velocidad.
- flexibilidad de regulación, aceleración, desaceleración, estabilidad, condiciones de arranque o frenado, etc.
- Factibilidad económica y estudio financiero considerando el ahorro de energía.

### **2.3. FUNCIONAMIENTO**

En cada caso, deben elegirse correctamente las características de los motores y variadores a instalar para cada servicio, por lo que se hace necesario conocer las particularidades de cada proceso.

El variador de frecuencia regula la frecuencia de la corriente aplicada al motor, logrando con ello modificar su velocidad, que trabaja con un Breaker. Sin embargo, se debe tener presente que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio de la tensión aplicada, para no saturar el flujo magnético del rotor:

- Arranque y variación de vuelo
- Inversión de giro
- Aceleración

- Desaceleración
- Parada
- Protección del motor y variador
- Comando de 3 hilos
- Guarda la configuración
- Conmutación de Lam.

### **2.3.1. Aceleración controlada**

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S».

Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

### **2.3.2. Variación de velocidad**

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

### **2.3.3. Regulación de la velocidad**

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado. Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador taco métrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor.

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones. La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.



#### 2.3.4. Características del variador de frecuencia

- Compensación automática de par y de deslizamiento, pudiendo entregar hasta un 150% del par nominal a 5 Hz.

- Operación extremadamente silenciosa.
- Tensión de salida con un contenido mínimo en armónicos gracias a la innovadora técnica SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) con portadora de hasta 10 kHz.
- Por supuesto, el VFD-L comparte con sus hermanos mayores de la familia VFD de Delta su robustez, su fiabilidad y su extremada facilidad de configuración, virtudes que les han hecho legendarios.
- Frecuencia de salida hasta 400 Hz. Alimentación monofásica a 230 Vac, siendo también posible la conexión trifásica a 230 Vac. Posibilidades de consigna de velocidad: tensión 0-10V, bucle 4-20 mA, potenciómetro integrado o externo (5K), E/S multifunción (3 velocidades pre programadas, JOG...), comunicaciones, teclado. Diferentes buses de campo.

### **3. CANAL ABIERTO DE TRANSPORTE DE AGUA.**

#### **3.1. Introducción**

El canal de demostración podemos realizar prácticas que podamos obtener resultados y conclusiones que nos facilitara entender sobre el caudal, la rugosidad, vertederos, etc.

Esta maquina está construido por el material de acrílico de 4mm muchas de las personas que requieren de este equipo se olvida de considerar el mantenimiento del canal de demostración.

#### **3.2. Canal de demostración**

El canal de demostración requiere de mantenimiento después de cada práctica como:

No dejar que lastimen el acrílico.

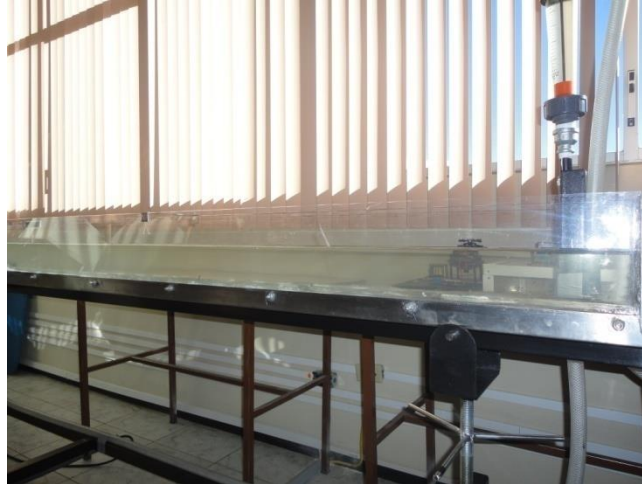
No permitir que haya desfogues.

No dejar que permanezca con agua en el canal de demostración.

Limpiar con franela el canal

Permanecer seco el canal después de cada demostración.

Utilizar para las fugas de agua la pega el silicón.



### **3.3. Funcionamiento**

El canal funciona de la siguiente manera:

El canal permanece estáticamente en la cual recorre una cierta cantidad de agua con la ayuda de una bomba recircula el agua por el canal y con ciertos diques se obtiene un chorro y podemos calcular los resultados que necesitamos de cada práctica

#### **3.3.1. Llenado del tanque.**

Primero para poder realizar la práctica se procede a llenar el tanque se succión (Tanque Plomo) hasta el nivel máximo del tanque. Cabe recalcar que existe un orificio el cual sirve de protección para evitar que el nivel máximo de agua sobrepase y llegue a ingresar a las bobinas de la bomba sumergible.





Llenado de Tanque.

### 3.3.2. Encendido de la bomba.

Una vez con introducido el fluido en el tanque de succión procedemos a encender la encuentre utilizando este equipo.

Mencionamos además que el variador d frecuencia se encuentra protegido tanto con tomas a tierra como con parámetros de arranque y parada al motor cuando exista sobresaltos de voltaje.

bomba sumergible. Primero alimentamos el toma corriente con 220 voltios de corriente alterna. Seguidamente encendemos el variador de frecuencia con una frecuencia de trabajo seleccionada directamente por el laboratorista o el Docente que se encuentre realizando la practica respectiva.



Variador de Frecuencia.

### 3.3.3. Rotámetro.

Una vez encendido el variador de frecuencia llegamos a determinar el caudal que se encuentra circulando hacia el canal por medio del rotámetro analógico. Se debe tomar muy en cuenta que para el cálculo respectivo de caudales el rotámetro arroja valores de metros cúbicos por hora  $m^3/h$ . es por eso que se debe hacer las respectivas conversiones de unidades para obtener valores de caudal en metros cúbicos por segundo  $m^3/s$ .



Rotámetro.

## **C.- VISCOSIDAD DEL AGUA.**

### VISCOSIDAD DEL AGUA

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad dinámica (poises)	Viscosidad cinemática (Stokes)	Viscosidad Dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Viscosidad Dinámica (kg·s/m <sup>2</sup> )
0	1.787·10 <sup>-2</sup>	1.787·10 <sup>-2</sup>	1.787·10 <sup>-3</sup>	1.787·10 <sup>-6</sup>	1.822·10 <sup>-4</sup>
1	1.728·10 <sup>-2</sup>	1.728·10 <sup>-2</sup>	1.728·10 <sup>-3</sup>	1.728·10 <sup>-6</sup>	1.761·10 <sup>-4</sup>
2	1.671·10 <sup>-2</sup>	1.671·10 <sup>-2</sup>	1.671·10 <sup>-3</sup>	1.671·10 <sup>-6</sup>	1.703·10 <sup>-4</sup>
3	1.618·10 <sup>-2</sup>	1.618·10 <sup>-2</sup>	1.618·10 <sup>-3</sup>	1.618·10 <sup>-6</sup>	1.649·10 <sup>-4</sup>
4	1.567·10 <sup>-2</sup>	1.567·10 <sup>-2</sup>	1.567·10 <sup>-3</sup>	1.567·10 <sup>-6</sup>	1.597·10 <sup>-4</sup>
5	1.519·10 <sup>-2</sup>	1.519·10 <sup>-2</sup>	1.519·10 <sup>-3</sup>	1.519·10 <sup>-6</sup>	1.548·10 <sup>-4</sup>
6	1.472·10 <sup>-2</sup>	1.472·10 <sup>-2</sup>	1.472·10 <sup>-3</sup>	1.472·10 <sup>-6</sup>	1.501·10 <sup>-4</sup>
7	1.428·10 <sup>-2</sup>	1.428·10 <sup>-2</sup>	1.428·10 <sup>-3</sup>	1.428·10 <sup>-6</sup>	1.456·10 <sup>-4</sup>
8	1.386·10 <sup>-2</sup>	1.386·10 <sup>-2</sup>	1.386·10 <sup>-3</sup>	1.386·10 <sup>-6</sup>	1.413·10 <sup>-4</sup>
9	1.346·10 <sup>-2</sup>	1.346·10 <sup>-2</sup>	1.346·10 <sup>-3</sup>	1.346·10 <sup>-6</sup>	1.372·10 <sup>-4</sup>
10	1.307·10 <sup>-2</sup>	1.307·10 <sup>-2</sup>	1.307·10 <sup>-3</sup>	1.307·10 <sup>-6</sup>	1.332·10 <sup>-4</sup>
11	1.271·10 <sup>-2</sup>	1.271·10 <sup>-2</sup>	1.271·10 <sup>-3</sup>	1.271·10 <sup>-6</sup>	1.296·10 <sup>-4</sup>
12	1.235·10 <sup>-2</sup>	1.235·10 <sup>-2</sup>	1.235·10 <sup>-3</sup>	1.235·10 <sup>-6</sup>	1.259·10 <sup>-4</sup>
13	1.202·10 <sup>-2</sup>	1.203·10 <sup>-2</sup>	1.202·10 <sup>-3</sup>	1.203·10 <sup>-6</sup>	1.225·10 <sup>-4</sup>
14	1.169·10 <sup>-2</sup>	1.170·10 <sup>-2</sup>	1.169·10 <sup>-3</sup>	1.170·10 <sup>-6</sup>	1.192·10 <sup>-4</sup>
15	1.139·10 <sup>-2</sup>	1.140·10 <sup>-2</sup>	1.139·10 <sup>-3</sup>	1.140·10 <sup>-6</sup>	1.161·10 <sup>-4</sup>
16	1.109·10 <sup>-2</sup>	1.110·10 <sup>-2</sup>	1.109·10 <sup>-3</sup>	1.110·10 <sup>-6</sup>	1.130·10 <sup>-4</sup>
17	1.081·10 <sup>-2</sup>	1.082·10 <sup>-2</sup>	1.081·10 <sup>-3</sup>	1.082·10 <sup>-6</sup>	1.102·10 <sup>-4</sup>
18	1.053·10 <sup>-2</sup>	1.054·10 <sup>-2</sup>	1.053·10 <sup>-3</sup>	1.054·10 <sup>-6</sup>	1.073·10 <sup>-4</sup>
19	1.027·10 <sup>-2</sup>	1.029·10 <sup>-2</sup>	1.027·10 <sup>-3</sup>	1.029·10 <sup>-6</sup>	1.047·10 <sup>-4</sup>
20	1.002·10 <sup>-2</sup>	1.004·10 <sup>-2</sup>	1.002·10 <sup>-3</sup>	1.004·10 <sup>-6</sup>	1.021·10 <sup>-4</sup>
21	0.9779·10 <sup>-2</sup>	0.9799·10 <sup>-2</sup>	0.978·10 <sup>-3</sup>	0.980·10 <sup>-6</sup>	0.997·10 <sup>-4</sup>
22	0.9548·10 <sup>-2</sup>	0.9569·10 <sup>-2</sup>	0.954·10 <sup>-3</sup>	0.957·10 <sup>-6</sup>	0.973·10 <sup>-4</sup>
23	0.9325·10 <sup>-2</sup>	0.9348·10 <sup>-2</sup>	0.932·10 <sup>-3</sup>	0.935·10 <sup>-6</sup>	0.951·10 <sup>-4</sup>
24	0.9111·10 <sup>-2</sup>	0.9136·10 <sup>-2</sup>	0.911·10 <sup>-3</sup>	0.914·10 <sup>-6</sup>	0.929·10 <sup>-4</sup>
25	0.8904·10 <sup>-2</sup>	0.8930·10 <sup>-2</sup>	0.890·10 <sup>-3</sup>	0.893·10 <sup>-6</sup>	0.908·10 <sup>-4</sup>
26	0.8705·10 <sup>-2</sup>	0.8733·10 <sup>-2</sup>	0.870·10 <sup>-3</sup>	0.873·10 <sup>-6</sup>	0.887·10 <sup>-4</sup>
27	0.8513·10 <sup>-2</sup>	0.8543·10 <sup>-2</sup>	0.851·10 <sup>-3</sup>	0.854·10 <sup>-6</sup>	0.868·10 <sup>-4</sup>
28	0.8327·10 <sup>-2</sup>	0.8359·10 <sup>-2</sup>	0.833·10 <sup>-3</sup>	0.836·10 <sup>-6</sup>	0.849·10 <sup>-4</sup>
29	0.8148·10 <sup>-2</sup>	0.8181·10 <sup>-2</sup>	0.815·10 <sup>-3</sup>	0.818·10 <sup>-6</sup>	0.831·10 <sup>-4</sup>

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad dinámica (poises)	Viscosidad cinemática (Stokes)	Viscosidad Dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Viscosidad Dinámica (Kg·s/m <sup>2</sup> )
30	0.7975·10 <sup>-2</sup>	0.8010·10 <sup>-2</sup>	0.798·10 <sup>-3</sup>	0.801·10 <sup>-6</sup>	0.813·10 <sup>-4</sup>
31	0.7808·10 <sup>-2</sup>	0.7844·10 <sup>-2</sup>	0.781·10 <sup>-3</sup>	0.784·10 <sup>-6</sup>	0.796·10 <sup>-4</sup>
32	0.7647·10 <sup>-2</sup>	0.7685·10 <sup>-2</sup>	0.765·10 <sup>-3</sup>	0.768·10 <sup>-6</sup>	0.780·10 <sup>-4</sup>
33	0.7491·10 <sup>-2</sup>	0.7531·10 <sup>-2</sup>	0.749·10 <sup>-3</sup>	0.753·10 <sup>-6</sup>	0.764·10 <sup>-4</sup>
34	0.7340·10 <sup>-2</sup>	0.7381·10 <sup>-2</sup>	0.734·10 <sup>-3</sup>	0.738·10 <sup>-6</sup>	0.748·10 <sup>-4</sup>
35	0.7194·10 <sup>-2</sup>	0.7237·10 <sup>-2</sup>	0.719·10 <sup>-3</sup>	0.724·10 <sup>-6</sup>	0.733·10 <sup>-4</sup>
36	0.7052·10 <sup>-2</sup>	0.7097·10 <sup>-2</sup>	0.705·10 <sup>-3</sup>	0.710·10 <sup>-6</sup>	0.719·10 <sup>-4</sup>
37	0.6915·10 <sup>-2</sup>	0.6961·10 <sup>-2</sup>	0.692·10 <sup>-3</sup>	0.696·10 <sup>-6</sup>	0.705·10 <sup>-4</sup>
38	0.6783·10 <sup>-2</sup>	0.6831·10 <sup>-2</sup>	0.678·10 <sup>-3</sup>	0.683·10 <sup>-6</sup>	0.691·10 <sup>-4</sup>
39	0.6654·10 <sup>-2</sup>	0.6703·10 <sup>-2</sup>	0.665·10 <sup>-3</sup>	0.670·10 <sup>-6</sup>	0.678·10 <sup>-4</sup>
40	0.6529·10 <sup>-2</sup>	0.6580·10 <sup>-2</sup>	0.653·10 <sup>-3</sup>	0.658·10 <sup>-6</sup>	0.666·10 <sup>-4</sup>
41	0.6408·10 <sup>-2</sup>	0.6461·10 <sup>-2</sup>	0.641·10 <sup>-3</sup>	0.646·10 <sup>-6</sup>	0.653·10 <sup>-4</sup>
42	0.6291·10 <sup>-2</sup>	0.6345·10 <sup>-2</sup>	0.629·10 <sup>-3</sup>	0.636·10 <sup>-6</sup>	0.641·10 <sup>-4</sup>
43	0.6178·10 <sup>-2</sup>	0.6234·10 <sup>-2</sup>	0.618·10 <sup>-3</sup>	0.623·10 <sup>-6</sup>	0.630·10 <sup>-4</sup>
44	0.6067·10 <sup>-2</sup>	0.6124·10 <sup>-2</sup>	0.607·10 <sup>-3</sup>	0.612·10 <sup>-6</sup>	0.618·10 <sup>-4</sup>
45	0.5960·10 <sup>-2</sup>	0.6019·10 <sup>-2</sup>	0.596·10 <sup>-3</sup>	0.602·10 <sup>-6</sup>	0.608·10 <sup>-4</sup>
46	0.5856·10 <sup>-2</sup>	0.5916·10 <sup>-2</sup>	0.586·10 <sup>-3</sup>	0.592·10 <sup>-6</sup>	0.597·10 <sup>-4</sup>
47	0.5755·10 <sup>-2</sup>	0.5817·10 <sup>-2</sup>	0.576·10 <sup>-3</sup>	0.582·10 <sup>-6</sup>	0.587·10 <sup>-4</sup>
48	0.5656·10 <sup>-2</sup>	0.5819·10 <sup>-2</sup>	0.566·10 <sup>-3</sup>	0.572·10 <sup>-6</sup>	0.577·10 <sup>-4</sup>
49	0.5561·10 <sup>-2</sup>	0.5626·10 <sup>-2</sup>	0.556·10 <sup>-3</sup>	0.563·10 <sup>-6</sup>	0.567·10 <sup>-4</sup>
50	0.5468·10 <sup>-2</sup>	0.5534·10 <sup>-2</sup>	0.547·10 <sup>-3</sup>	0.553·10 <sup>-6</sup>	0.557·10 <sup>-4</sup>

Viscosidad del agua a varias temperaturas.

Fuente: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.

[www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/007697/07697-04.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/007697/07697-04.pdf)

**D.- VALORES PARA EL CÁLCULO DEL  
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD  $n$ .**

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	<b>0.010</b>	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	<b>0.024</b>	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	<b>0.010</b>	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	<b>0.013</b>	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	<b>0.014</b>	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
e. Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	<b>0.013</b>	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

Tabla . Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad  $n$ .

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	<b>0.012</b>	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	<b>0.013</b>	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	<b>0.013</b>	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	<b>0.015</b>	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030	.....	0.500

Tabla . Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad  $n$ . (Continuación)

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow



Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	<b>0.022</b>	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	<b>0.030</b>	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

Tabla . Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad  $n$ . (Continuación)


Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de <i>n</i> es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

Tabla . Valores para el cálculo del coeficiente de Rugosidad *n*. (Continuación)

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow.

## **E.- CERTIFICADO DE GARANTÍA.**

 <b>Proveedores Industriales</b>	<b>PROTMEC</b>
	BOMBAS PARA TODA APLICACION INDUSTRIAL O DOMESTICA * TUBERIA Y ACCESORIOS * TRANSMISION DE POTENCIA * CALDEROS Y REPUESTOS * SELLADO DE FLUIDOS * MAQUINAS Y HERRAMIENTAS ELECTRICAS Y MANUALES * CONTROLES ELECTRONICOS * AUTOMATIZACION * TERMOPLASTICOS INDUSTRIALES * BRONCES Y ACEROS ESPECIALES * ANAEROBICOS INDUSTRIALES * BANDAS TRANSPORTADORAS * ETC ATENCION A TODA NECESIDAD DE LA INDUSTRIA

## CERTIFICADO DE GARANTIA

Srs.

Fecha: 06/01/2011

**FERNANDO ANDRADE**

Por medio de la presente damos reconocimiento de garantía por proyecto de canal abierto, que nuestra empresa ha fabricado. La garantía incluye reparación o reposición si se encontrara que el producto tiene defectos de fabricación o defectos en mano de obra y materiales, por el lapso de un año a partir de 6 de Enero 2011, La garantía no se hace efectiva si los equipos han sido utilizados en condiciones distintas a las normales o si se los encontrara alterados en su composición original o reparado por personas no autorizadas. Debe presentarse el equipo junto con su factura de compra en nuestro establecimiento en caso de algun problema técnico.

En espera de su amable acogida, quedo de usted atentamente

  
PROTMEC  
PROVEEDORES INDUSTRIALES  
Tcnlg. Christian Meza G.  
GERENTE

---

ATENCION AL CLIENTE: TELEFAX 03-2-950742 /2961579 TALLER: 03-2-946446 CELULAR: 096131297  
E-mail: protmec@gmail.com

## **F.- CARTA DE COMPROMISO.**

Ç

**Riobamba, 2 de Febrero del 2011**

**Doctora:**

**Anita Ríos**

**DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Presente:

Yo, **Fernando Patricio Andrade Morocho**, portador del numero de cédula N **060334386-4**, **José Miguel Paredes Castelo** portador del numero de cédula N **060323355-2**, estudiantes de Quinto año de Ingeniería Industrial, queremos poner en constancia que al terminar nuestro trabajo investigativo y una vez realizado varias pruebas de laboratorio deseamos donar el equipo de Demostración de Canales Abiertos a la Universidad Nacional de Chimborazo para la Facultad de Ingeniería.

Por la acogida atención a la presente le damos el más sincero agradecimiento.

Atentamente

-----  
-  
Fernando Andrade.  
060334386-4

-----  
José Paredes  
060323355-2

## **G.- IMÁGENES DE PRÁCTICAS.**

## 2.- IMÁGENES TOMADAS DURANTE LA PRÁCTICA

