



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO PARA
MEDICIONES DE CAUDAL**

AUTORES: Echeverría Montesdeoca Diego Augusto
Guilcapi Toapanta Edmundo Vinicio

DIRECTOR: Ing. Mario Rosero

ASESOR: Ing. Mauricio Carrillo

Tesis de grado, previa a la Obtención del título de Ingenieros Industriales en Procesos
de Automatización

Ambato – Ecuador

Marzo / 2005

DECLARACION, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Augusto Echeverría Montesdeoca, (CI: 180310130-0) y Edmundo Vinicio Guilcapi Toapanta, (CI: 180283040-4).

Declaramos que la investigación enmarcada en el diseño de la tesis es absolutamente original, auténtica y personal. En tal virtud, declaramos que el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo de tesis son y serán de nuestra sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Diego A. Echeverría M.

Edmundo V. Guilcapi T.

El presente trabajo se llevó
A efecto en la Facultad de
Ingeniería en Sistemas con la
Dirección de los señores
profesores:
Ing. Mario Rosero
Ing. Mauricio Carrillo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a Dios por guiarme siempre y estar junto a mi, por darme sabiduría e inteligencia, para alcanzar uno de mis sueños.

Un sincero agradecimiento al Ing. Mario Rosero, Ing. Mauricio Carrillo Director y Asesor de la Tesis de Grado a las Autoridades, Profesores y personal de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas que supieron brindarme sus sabias enseñanzas preparándome así para enfrentar a la vida y poner mis conocimientos en práctica.

Diego

Un profundo agradecimiento a todos quienes me han apoyado durante el transcurso en esta etapa de mi vida; familiares, amigos y todas las personas que en su momento supieron darme ánimos para seguir adelante y alcanzar mis metas, a todos ellos mis sinceros agradecimientos.

Vinicio

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico el presente trabajo a mis padres Rosita, Fausto quienes han estado siempre junto a mi, y me han brindado su apoyo incondicional.

Diego Echeverría

Dedico este trabajo en primer lugar a mi Dios por haberme dado salud y vida, a él entrego todo esfuerzo y sacrificio realizado.

A mis padres Luis y Bachita que con su trabajo y dedicación permitieron que alcanzara este sueño, a ellos mi amor y cariño.

A mis hermanos, familiares y amigos que me supieron comprender, apoyar y me dieron fuerzas para seguir adelante.

Vinicio Guilcapi

CONTENIDO

Portada	i
Declaración de Autenticidad	ii

Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
Contenido	vi

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Metodología	3

CAPITULO II

CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

2.1 Fluidos	5
2.2 Propiedades del agua	6
2.2.1 Densidad	6
2.2.2 Peso específico	7
2.2.3 Viscosidad dinámica	7
2.2.4 Viscosidad cinemática	7
2.2.5 Perímetro mojado	8
2.2.6 Radio hidráulico	8
2.3 La presión y otros parámetros del agua	10
2.4 Velocidad y caudal	11
2.4.1 Velocidad	11

2.4.2 Caudal	12
2.5 Leyes fundamentales de la Hidráulica	13
2.5.1 Ley de Pascal	13
2.5.2 Teorema de Bernoulli	14
2.5.3 Principios básicos de la hidráulica	14
2.5.3.1 Conservación de masa o continuidad	15
2.5.3.2 Principio de conservación de la energía hidráulica	17
2.5.3.3 Principio de conservación de la cantidad de movimiento	23
2.6 Fluido en tuberías	25
2.6.1 Distribución de velocidades	25
2.6.2 Tipos de flujos	27
2.6.2.1 Flujo laminar	27
2.6.2.2 Flujo turbulento	28
2.6.3 Número de Reynolds	28
2.7 Tuberías	29
2.8 Accesorios	29
2.9 Válvulas	30
2.9.1 Tipos de válvulas	31
2.10 Seleccionamiento de la válvula para el Banco Hidráulico	34

CAPITULO III

BOMBAS

3.1 Concepto	36
3.2 Objetivos de una bomba hidráulica	36

3.3 Desplazamiento	37
3.4 Caudal en GPM	37
3.5 Rendimiento volumétrico	37
3.6 Presión	38
3.6.1 Valores nominales de la presión	38
3.7 Tipos de bombas	39
3.7.1 Bombas de desplazamiento no positivo	39
3.7.2 Bombas de desplazamiento positivo	39
3.7.2.1 Bombas de desplazamiento fijo	40
3.7.2.2 Bombas de desplazamiento variable	40
3.7.3 Bomba centrífuga	42
3.7.3.1 Bombas de tipo voluta	43
3.7.3.2 Bombas de tipo difusor	43
3.7.3.3 Bombas de tipo turbina	44
3.7.3.4 Bombas de flujo mixto y de flujo axial	45
3.7.4 Bomba rotatoria	46
3.7.4.1 Bombas de engranes	46
3.7.4.2 Bombas de leva y pistón	46
3.7.4.3 Bombas lobulares	47
3.7.4.4 Bombas de tornillos	47
3.7.5 Bomba reciprocante	47
3.7.5.1 Bombas de acción directa	48
3.7.5.2 Bombas de potencia	48
3.8 Términos y definiciones en la selección de la bomba	49

3.8.2 CSPN disponible	56
3.8.3 CSPN requerida	56
3.8.4 Pérdida de carga en tuberías	58
3.8.4.1 Pérdidas por fricción	58
3.8.4.2 Pérdidas de carga menores	59

CAPITULO IV

APARATO PARA MEDIR CAUDAL EN CANALES ABIERTOS

4.1 Medición de caudal por vertederos	61
4.2 Clasificación de los vertederos	62
4.2.1 Según el espesor de la cresta	63
4.2.1.1 Vertederos de pared delgada	63
4.3 Fórmulas para los vertederos de cresta delgada	68
4.5 Selección del vertedero para el Banco Hidráulico	69
4.5.1 Vertedero triangular	69

CAPITULO V

DISEÑO DEL BANCO HIDRÁULICO

5.1 Banco hidráulico	71
5.2 Disposición del Banco Hidráulico	71
5.2.1 Parámetros para el diseño del Banco	72
5.3 Cálculo de esfuerzos para el Banco	77
5.3.1 Tanque reservorio de carga	77
5.3.2 Tanque reservorio de descarga	80

CAPITULO VI

CALCULO DE LA CSPN, POTENCIA DE LA BOMBA Y VERTEDERO

6.1 Cálculo de la columna de succión positiva neta disponible	84
6.1.1 Pérdidas por fricción en la succión	86
6.1.2 Pérdidas Menores	88
6.2 Potencia de la bomba	91
6.3 Dimensionamiento del vertedero triangular	92
6.4 Datos y cálculos para la práctica	96
6.5 Desarrollo de la práctica de laboratorio	99

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones	105
7.2 Recomendaciones	107

ANEXOS

ANEXO A1. Coeficiente de rugosidad	109
ANEXO A2. Coeficiente de pérdida en accesorios	109
ANEXO A3. Fórmulas para vertederos triangulares	110
ANEXO A4. Resistencia última a la tracción	111
ANEXO A5. GPM para bombas Myers	112
ANEXO A6. Succión teórica máxima	113
ANEXO A7. Presión de vapor y densidad del agua	114
ANEXO A8. Planos del Banco Hidráulico	115

ANEXO A9. Esquema de la tubería de succión	118
ANEXO A10. Guía de laboratorio	119

BIBLIOGRAFIA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO PARA
MEDICIONES DE CAUDAL**

AUTORES: Echeverría Montesdeoca Diego Augusto
Guilcapi Toapanta Edmundo Vinicio

DIRECTOR: Ing. Mario Rosero

ASESOR: Ing. Mauricio Carrillo

Tesis de grado, previa a la Obtención del título de Ingenieros Industriales en Procesos
de Automatización

Ambato – Ecuador

Marzo / 2005

DECLARACION, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Augusto Echeverría Montesdeoca, (CI: 180310130-0) y Edmundo Vinicio Guilcapi Toapanta, (CI: 180283040-4).

Declaramos que la investigación enmarcada en el diseño de la tesis es absolutamente original, auténtica y personal. En tal virtud, declaramos que el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo de tesis son y serán de nuestra sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Diego A. Echeverría M.

Edmundo V. Guilcapi T.

El presente trabajo se llevó
A efecto en la Facultad de
Ingeniería en Sistemas con la
Dirección de los señores
profesores:
Ing. Mario Rosero
Ing. Mauricio Carrillo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a Dios por guiarme siempre y estar junto a mi, por darme sabiduría e inteligencia, para alcanzar uno de mis sueños.

Un sincero agradecimiento al Ing. Mario Rosero, Ing. Mauricio Carrillo Director y Asesor de la Tesis de Grado a las Autoridades, Profesores y personal de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas que supieron brindarme sus sabias enseñanzas preparándome así para enfrentar a la vida y poner mis conocimientos en práctica.

Diego

Un profundo agradecimiento a todos quienes me han apoyado durante el transcurso en esta etapa de mi vida; familiares, amigos y todas las personas que en su momento supieron darme ánimos para seguir adelante y alcanzar mis metas, a todos ellos mis sinceros agradecimientos.

Vinicio

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico el presente trabajo a mis padres Rosita, Fausto quienes han estado siempre junto a mi, y me han brindado su apoyo incondicional.

Diego Echeverría

Dedico este trabajo en primer lugar a mi Dios por haberme dado salud y vida, a él entrego todo esfuerzo y sacrificio realizado.

A mis padres Luis y Bachita que con su trabajo y dedicación permitieron que alcanzara este sueño, a ellos mi amor y cariño.

A mis hermanos, familiares y amigos que me supieron comprender, apoyar y me dieron fuerzas para seguir adelante.

Vinicio Guilcapi

CONTENIDO

Portada	i
Declaración de Autenticidad	ii

Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
Contenido	vi

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Metodología	3

CAPITULO II

CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

2.1 Fluidos	5
2.2 Propiedades del agua	6
2.2.1 Densidad	6
2.2.2 Peso específico	7
2.2.3 Viscosidad dinámica	7
2.2.4 Viscosidad cinemática	7
2.2.5 Perímetro mojado	8
2.2.6 Radio hidráulico	8
2.3 La presión y otros parámetros del agua	10
2.4 Velocidad y caudal	11
2.4.1 Velocidad	11

2.4.2 Caudal	12
2.5 Leyes fundamentales de la Hidráulica	13
2.5.1 Ley de Pascal	13
2.5.2 Teorema de Bernoulli	14
2.5.3 Principios básicos de la hidráulica	14
2.5.3.1 Conservación de masa o continuidad	15
2.5.3.2 Principio de conservación de la energía hidráulica	17
2.5.3.3 Principio de conservación de la cantidad de movimiento	23
2.6 Fluido en tuberías	25
2.6.1 Distribución de velocidades	25
2.6.2 Tipos de flujos	27
2.6.2.1 Flujo laminar	27
2.6.2.2 Flujo turbulento	28
2.6.3 Número de Reynolds	28
2.7 Tuberías	29
2.8 Accesorios	29
2.9 Válvulas	30
2.9.1 Tipos de válvulas	31
2.10 Seleccionamiento de la válvula para el Banco Hidráulico	34

CAPITULO III

BOMBAS

3.1 Concepto	36
3.2 Objetivos de una bomba hidráulica	36

3.3 Desplazamiento	37
3.4 Caudal en GPM	37
3.5 Rendimiento volumétrico	37
3.6 Presión	38
3.6.1 Valores nominales de la presión	38
3.7 Tipos de bombas	39
3.7.1 Bombas de desplazamiento no positivo	39
3.7.2 Bombas de desplazamiento positivo	39
3.7.2.1 Bombas de desplazamiento fijo	40
3.7.2.2 Bombas de desplazamiento variable	40
3.7.3 Bomba centrífuga	42
3.7.3.1 Bombas de tipo voluta	43
3.7.3.2 Bombas de tipo difusor	43
3.7.3.3 Bombas de tipo turbina	44
3.7.3.4 Bombas de flujo mixto y de flujo axial	45
3.7.4 Bomba rotatoria	46
3.7.4.1 Bombas de engranes	46
3.7.4.2 Bombas de leva y pistón	46
3.7.4.3 Bombas lobulares	47
3.7.4.4 Bombas de tornillos	47
3.7.5 Bomba reciprocante	47
3.7.5.1 Bombas de acción directa	48
3.7.5.2 Bombas de potencia	48
3.8 Términos y definiciones en la selección de la bomba	49

3.8.2 CSPN disponible	56
3.8.3 CSPN requerida	56
3.8.4 Pérdida de carga en tuberías	58
3.8.4.1 Pérdidas por fricción	58
3.8.4.2 Pérdidas de carga menores	59

CAPITULO IV

APARATO PARA MEDIR CAUDAL EN CANALES ABIERTOS

4.1 Medición de caudal por vertederos	61
4.2 Clasificación de los vertederos	62
4.2.1 Según el espesor de la cresta	63
4.2.1.1 Vertederos de pared delgada	63
4.3 Fórmulas para los vertederos de cresta delgada	68
4.5 Selección del vertedero para el Banco Hidráulico	69
4.5.1 Vertedero triangular	69

CAPITULO V

DISEÑO DEL BANCO HIDRÁULICO

5.1 Banco hidráulico	71
5.2 Disposición del Banco Hidráulico	71
5.2.1 Parámetros para el diseño del Banco	72
5.3 Cálculo de esfuerzos para el Banco	77
5.3.1 Tanque reservorio de carga	77
5.3.2 Tanque reservorio de descarga	80

CAPITULO VI

CALCULO DE LA CSPN, POTENCIA DE LA BOMBA Y VERTEDERO

6.1 Cálculo de la columna de succión positiva neta disponible	84
6.1.1 Pérdidas por fricción en la succión	86
6.1.2 Pérdidas Menores	88
6.2 Potencia de la bomba	91
6.3 Dimensionamiento del vertedero triangular	92
6.4 Datos y cálculos para la práctica	96
6.5 Desarrollo de la práctica de laboratorio	99

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones	105
7.2 Recomendaciones	107

ANEXOS

ANEXO A1. Coeficiente de rugosidad	109
ANEXO A2. Coeficiente de pérdida en accesorios	109
ANEXO A3. Fórmulas para vertederos triangulares	110
ANEXO A4. Resistencia última a la tracción	111
ANEXO A5. GPM para bombas Myers	112
ANEXO A6. Succión teórica máxima	113
ANEXO A7. Presión de vapor y densidad del agua	114
ANEXO A8. Planos del Banco Hidráulico	115

ANEXO A9. Esquema de la tubería de succión	118
ANEXO A10. Guía de laboratorio	119

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

Los estudiantes que cursaron y los que siguen estudiando en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, y en especial la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, tienen la necesidad de realizar prácticas en laboratorios con equipos y herramientas para un aprendizaje que se complemente con los conocimientos teóricos adquiridos.

Uno de los laboratorios en el cual se realiza un considerable número de prácticas es el de hidráulica, y dentro de este uno de los equipos básicos para efectuar estas prácticas es el banco hidráulico.

El banco hidráulico es parte de un sistema de equipos y elementos necesarios para realizar prácticas en los principales temas tratados dentro de la parte teórica relacionados con la hidráulica.

Después de analizar brevemente el requerimiento de dicho equipo, se propuso el desarrollo de la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO PARA MEDICIONES DE CAUDAL”, para ayudar a profesores y estudiantes que efectúen prácticas en el laboratorio de hidráulica.

1.2 Justificación

Con la presente tesis se busca satisfacer las necesidades didácticas que tienen los estudiantes para justificar la parte teórica que reciben en los distintos temas relacionados con la hidráulica y permitir palpar lo que realmente sucede en un sistema hidráulico.

El banco hidráulico es un equipo que se complementará con otros para formar un sistema que ayudará a la realizar varias prácticas a desarrollarse en diferentes temas relacionados con la materia.

Los estudiantes, y docentes que realizarán las prácticas serán los más beneficiados, debido a como ya se dijo anteriormente, se podrá relacionar de una manera mas objetiva la parte real con la teórica.

1.3 Objetivos

General:

Diseño y construcción del Banco Hidráulico para mediciones de caudal.

Específicos:

- Desarrollar prácticas utilizando el sistema hidráulico del cual forma parte el banco.
- Obtener datos en forma manual y tabularlos para realizar cálculos de las distintas prácticas.
- Encontrar una ecuación de patronamiento para medición de caudal que rijan el comportamiento del banco hidráulico.
- Comparar los resultados obtenidos a partir de la ecuación de patronamiento, con los valores reales de caudal.

1.4 Metodología

Para el desarrollo de la tesis se utilizó una Investigación de tipo Bibliográfica, con la realización de consultas en diferentes textos, manuales y a través de documentación obtenida en Internet.

Además de la investigación bibliográfica se realizó una Investigación de Campo, con la cual se hizo observaciones de distintos equipos en varios lugares, tales como el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH,

laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato , donde se obtuvo importante información.

Estos dos tipos de investigación se llevaron a cabo, a través, del método científico, el cual define a la investigación como etapas que se realizan en forma ordenada y lógica.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.3 Planteamiento del problema

Los estudiantes que cursaron y los que siguen estudiando en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, y en especial la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, tienen la necesidad de realizar prácticas en laboratorios con equipos y herramientas para un aprendizaje que se complemente con los conocimientos teóricos adquiridos.

Uno de los laboratorios en el cual se realiza un considerable número de prácticas es el de hidráulica, y dentro de este uno de los equipos básicos para efectuar estas prácticas es el banco hidráulico.

El banco hidráulico es parte de un sistema de equipos y elementos necesarios para realizar prácticas en los principales temas tratados dentro de la parte teórica relacionados con la hidráulica.

Después de analizar brevemente el requerimiento de dicho equipo, se propuso el desarrollo de la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO PARA MEDICIONES DE CAUDAL”, para ayudar a profesores y estudiantes que efectúen prácticas en el laboratorio de hidráulica.

1.4 Justificación

Con la presente tesis se busca satisfacer las necesidades didácticas que tienen los estudiantes para justificar la parte teórica que reciben en los distintos temas relacionados con la hidráulica y permitir palpar lo que realmente sucede en un sistema hidráulico.

El banco hidráulico es un equipo que se complementará con otros para formar un sistema que ayudará a la realización de varias prácticas a desarrollarse en diferentes temas relacionados con la materia.

Los estudiantes, y docentes que realizarán las prácticas serán los más beneficiados, debido a como ya se dijo anteriormente, se podrá relacionar de una manera más objetiva la parte real con la teórica.

1.3 Objetivos

General:

Diseño y construcción del Banco Hidráulico para mediciones de caudal.

Específicos:

- Desarrollar prácticas utilizando el sistema hidráulico del cual forma parte el banco.

- Obtener datos en forma manual y tabularlos para realizar cálculos de las distintas prácticas.
- Encontrar una ecuación de patronamiento para medición de caudal que rijan el comportamiento del banco hidráulico.
- Comparar los resultados obtenidos a partir de la ecuación de patronamiento, con los valores reales de caudal.

1.4 Metodología

Para el desarrollo de la tesis se utilizó una Investigación de tipo Bibliográfica, con la realización de consultas en diferentes textos, manuales y a través de documentación obtenida en Internet.

Además de la investigación bibliográfica se realizó una Investigación de Campo, con la cual se hizo observaciones de distintos equipos en varios lugares, tales como el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato , donde se obtuvo importante información.

Estos dos tipos de investigación se llevaron a cabo, a través, del método científico, el cual define a la investigación como etapas que se realizan en forma ordenada y lógica.

CAPITULO II

CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

2.1 Fluidos

De acuerdo con el aspecto físico que tiene en la naturaleza, la materia se puede clasificar en tres estados: sólido, líquido y gaseoso, de los cuales los dos últimos se conocen como fluidos.

Desde los primeros intentos para llevar agua de un lugar a otro sin emplear recipientes, el hombre se interesó en la mecánica de fluidos (Estudio del comportamiento de los fluidos tanto en reposo como en movimiento).

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, (por pequeño que sea) . Un esfuerzo cortante es la componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie es el esfuerzo cortante sobre dicha superficie.

En la figura 2.1 se ha colocado una sustancia entre dos placas paralelas muy cercana, tan grandes que las condiciones en sus bordes pueden ser despreciadas. La placa inferior se fija y se aplica una fuerza F a la placa superior, la cual ejerce un esfuerzo cortante F/A sobre cualquier sustancia que se encuentre entre las dos placas. A es el área de la placa superior. Si la fuerza F hace que la placa superior se mueva con una velocidad

permanente (diferente de cero) si importar que tan pequeña sea la magnitud de F , la sustancia entre las dos placas es un fluido.

El fluido es el área $abcd$ fluye a una nueva posición $ab'c'd'$, cada una de las partículas de los fluidos se mueven paralelamente a la placa y la velocidad u varía uniformemente desde cero en la placa fija hasta U en la placa superior.

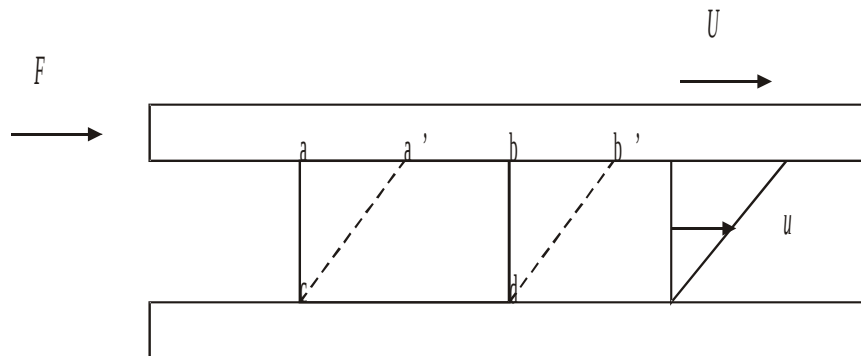


Fig. 2.1 Deformación resultante de la aplicación de una fuerza cortante.

Fluidos son *líquidos* y *gases*. Los líquidos se diferencian de los gases por la fluidez y menor movilidad de sus partículas y porque ocupan un volumen determinado, separándose del aire mediante una superficie plana.

Su comportamiento puede caracterizarse por su deformación ante la presencia de una fuerza.

Las características más importantes que las distinguen son: densidad, compresibilidad y el volumen que ocupan.

Un fluido se define como un elemento en estado líquido o gaseoso sometido a presión.

Sin embargo, por siglos sus conocimientos los obtuvo a base de observaciones, tediosos tanteos y empirismo, con soluciones muy restringidas.

A partir del siglo XVIII los matemáticos y fisicomatemáticos intentaron dar respuestas analíticas a muchos problemas del movimiento de los fluidos y llegaron a una serie de suposiciones simplificadoras; sin embargo, esto condujo al caso extremo de que los resultados tuvieran poca identidad con el fenómeno real. La omisión de algunas propiedades de los fluidos como la viscosidad dio lugar al llamado flujo ideal que formó una rama de la mecánica de fluidos la cual hoy en día se conoce como Hidrodinámica.

Hay infinidad de leyes físicas relativas al comportamiento de los fluidos, muchas de ellas son utilizadas con propósitos científicos o de experimentación.

2.2 Propiedades del agua

El agua es considerada como un fluido incomprensible, es decir que si un volumen de agua se somete a una fuerza externa, dicho volumen se mantiene constante, o bien su densidad no cambia bajo ninguna circunstancia.

El agua posee ciertas propiedades físicas que la distinguen de los otros elementos naturales y que se pueden cuantificar mediante el uso de parámetros. Estas propiedades son inherentes al líquido y se mantienen, aún si el agua se encuentra en movimiento o en reposo.

Entre las principales *propiedades físicas* del agua se encuentra las siguientes:

2.2.1 Densidad, (ρ). La densidad de un fluido, es la masa por unidad de volumen de dicho fluido.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

La unidades mas comunes para la densidad es: kg/m^3 ; g/cm^3 .

La densidad del agua es cercana a $1000 kg/m^3 = 1 g/cm^3$ (a $60^\circ F$ ó $15,6^\circ C$).

2.2.2 Viscosidad. Propiedad por la que el líquido ofrece resistencia a los esfuerzos tangenciales que tienden a deformarlo.

2.2.3 Compresibilidad. Propiedad por la cual los líquidos disminuyen su volumen al estar sometidos a incrementos de presión positivos. En los líquidos esta disminución es muy pequeña, es decir, son poco compresibles.

2.2.4 Tensión superficial. La tensión superficial es un fenómeno que aparece en todas las superficies de los líquidos y hace que éstas se encojan o contraigan. Como todas las moléculas de las superficies sienten una atracción hacia el líquido, forman una película o membrana parecida a la de un globo. Esta membrana se encoge, por eso el agua cae en forma de gota.

2.2.5 Tensión de vapor. Las moléculas de los líquidos se mueven en todas las direcciones y con todas las velocidades posibles.

Solo las moléculas que posean una energía cinética mayor que las fuerzas de atracción podrán escapar del líquido, produciéndose su evaporación. Las moléculas escapadas quedan sobre la superficie libre del líquido y contribuyen a aumentar la presión del gas exterior con una presión parcial que se denomina tensión de vapor.

2.2.6 Peso específico, (γ). Es el peso del agua en un volumen unitario.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (2.2)$$

Las unidades más comunes para el peso específico son: N/m^3 ; kgf/m^3 ; lbf/ft^3 .

El peso específico del agua es $9810 N/m^3 = 1000 kgf/m^3 = 62,4 lbf/ft^3$.

2.2.7 Viscosidad dinámica, (μ). Se llama viscosidad dinámica o simplemente viscosidad (μ) de un fluido a la resistencia que éste opone a su deformación, o dicho de otro modo, a que las láminas de fluido deslicen entre sus inmediatas.

Las unidades para la viscosidad dinámica son: Ns/m^2 ; $Kg/ms = 10 \text{Poise}$.

Donde:

N: Newton.

2.2.8 Viscosidad cinemática, (ν). Está definida como la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad absoluta del agua.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

Las unidades para la viscosidad cinemática son cm^2/s ; $m^2/s = 10^4 \text{Stoke}$.

Para el agua a una temperatura de 20 ° C la viscosidad cinemática es de 0.000001 m^2 / s ; (0,0101 stokes).

Normalmente, el agua en movimiento se mide en los conductos que la transportan. Estos conductos llamados hidráulicos pueden ser naturales, como por ejemplo las cauces de los ríos o artificiales como las tuberías y canales. La geometría de los conductos hidráulicos está definida por su longitud, diámetro, pendiente y el área de su sección transversal.

Cuando el agua circula por estos conductos, sus geometrías se relacionan con el agua y adquieren importancia otras características, como el radio hidráulico y el perímetro mojado del conducto.

Entre la principales **propiedades hidráulicas** tenemos:

2.2.5 Perímetro mojado, (Pm). Es la longitud de la sección transversal que se encuentra en contacto con el agua, como se muestra en la Fig. 2.2.

2.2.6 Radio hidráulico, (Rh). Es igual al área de la sección transversal del conducto dividida entre el perímetro mojado, sus unidades son de longitud (metros, centímetro, etc.).

$$Rh = \frac{\text{Área de la sección transversal}}{\text{Perímetro Mojado}} \quad (2.4)$$

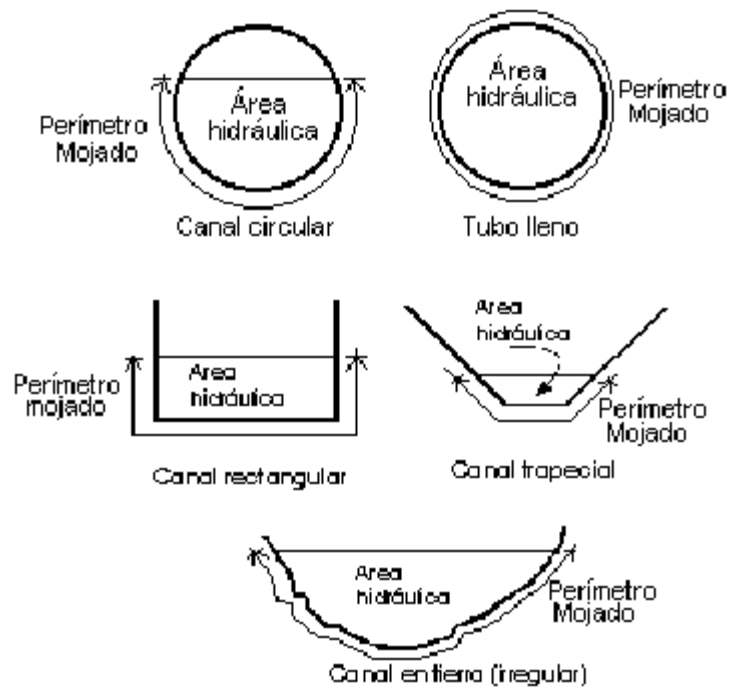


Fig. 2.2 Perímetro mojado y área hidráulica de varias formas

2.3 La Presión y otros parámetros del agua

Si se coloca agua en un recipiente abierto a la atmósfera, y se la mantiene en reposo, su peso ejercerá una serie de fuerzas sobre dicho recipiente; las fuerzas

cercanas a la superficie serán menores que las del fondo porque su peso va aumentando con la profundidad. Lo mismo ocurre si ahora se somete al agua a una fuerza adicional con un pistón (Fig. 2.3), solamente que en este caso las fuerzas serán mayores que las del propio peso e independientes de él.

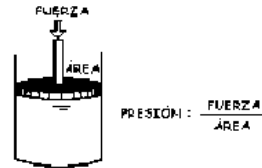


Fig.2.3 Presión

Entonces, **la Presión (P)**, interna del agua se define como la fuerza que ejerce el agua en cada punto de ella, por unidad de área. Si por convención la presión atmosférica se toma como referencia igual a cero, entonces se dice que la presión es manométrica, en caso contrario se habla de presión absoluta.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

Las unidades de la presión son: N/m^2 (*Pascal*) ; lbf/ pie^2 .

La presión hidrostática, debida a la columna de un fluido de altura h y de peso específico es,

$$p = h\gamma = h\rho g$$

por tanto la presión absoluta es,

$$p_{abs} = P_{atmosférica} + h\gamma \quad (2.6)$$

2.4 Velocidad y caudal

2.4.1 Velocidad

Es la velocidad media de las partículas del líquido en un punto determinado a la distancia media que las partículas recorren por unidad de tiempo. Se mide en metros por segundo o en metros por minuto.

2.4.2 Caudal

Es la cantidad de líquido que pasa por un punto, por unidad de tiempo.

Pueden expresarse en : gpm ; cm^3 / min ; lt/seg ; etc .

$$Q = A * v \quad (2.7)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} [cm^3 / \text{min}; lt / \text{seg}; gal / \text{min}]$$

$$A = \text{Area} [m^2; cm^2]$$

$$v = \text{Velocidad} [m / \text{seg}; m / \text{min}; cm / \text{seg}]$$

De ahí que la Hidráulica se puede establecer como una rama importante que estudia las leyes de equilibrio y movimiento de los fluidos incompresibles; especialmente los líquidos.

2.5 Leyes Fundamentales de la Hidráulica

2.5.1 Ley de Pascal

La ley de Pascal, establece que: *"La presión existente en un líquido confinado, actúa igualmente en todas direcciones, y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente¹".*

La figura 2.4. ilustra la Ley de Pascal. El fluido confinado en la sección de una tubería ejerce igual fuerza en todas direcciones, y perpendicularmente a las

¹ *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, McGraw-Hill, 1982 .*

paredes. La figura 2.5. muestra la sección transversal de un recipiente de forma irregular, que tiene paredes rígidas. El fluido confinado en él, ejerce la misma presión en todas las direcciones, tal como lo indican las flechas. Si las paredes fueran flexibles, la sección tomará una forma circular. Por ejemplo una manguera contra incendios cuando es conectada al suministro.

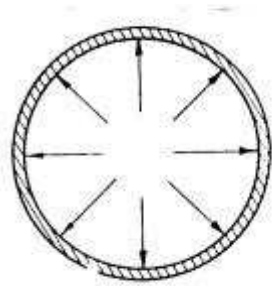


Fig. 2.4 Sección circular.

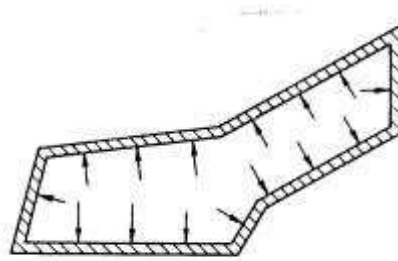


Figura 2.5 Sección irregular

2.5.2 Principios básicos de la hidráulica

- a) Conservación de masa o continuidad.

- b) Conservación de la energía.

- c) Conservación de la cantidad de movimiento .

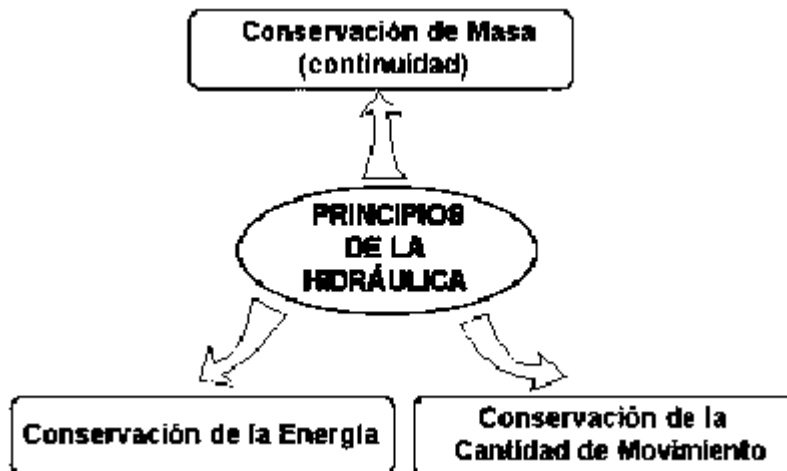


Fig. 2.6 Principios de la Hidráulica.

2.5.2.1 Conservación de masa o continuidad

Como se dijo, el agua es un fluido prácticamente incompresible. El principio de continuidad de un fluido, establece: la masa de un fluido incompresible que atraviesa a cualquier sección de un conducto en el tiempo, permanece constante (Fig. 2.7).

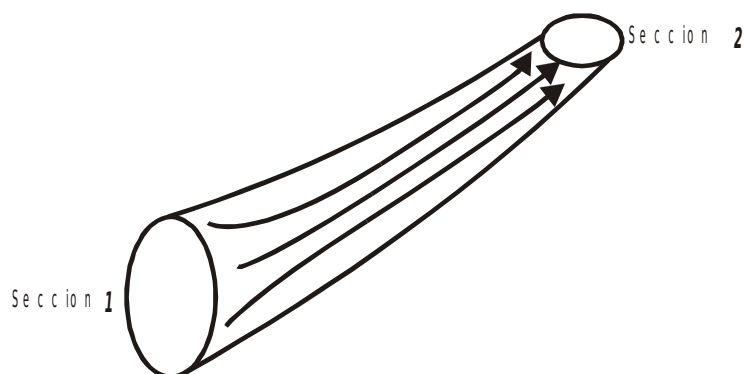


Fig. 2.7 Tubo de corriente .

Cantidad de masa que entra en sección 1 = Cantidad de masa que sale en sección 2

Sección 1. $Q_{m1} = \rho_1 v_1 A_1$

Sección 2. $Q_{m2} = \rho_2 v_2 A_2$

$$Q_{m1} = Q_{m2}$$

$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$ (Ecuación general para fluidos compresibles e incompresibles).

$\rho_1 = \rho_2$ (Fluidos incompresibles) , por tanto

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q_m \quad (2.8)$$

2.5.2.2 Principio de conservación de la energía hidráulica

El fluido hidráulico, es un sistema que contiene energía bajo tres formas: energía cinética que es dependiente de la velocidad y masa del fluido, energía potencial dependiente de su posición, y energía de presión dependiente de su compresión.

Daniel Bernoulli, un científico suizo, demostró que, en un sistema con caudal constante, la energía se transforma de una forma a otra cada vez que se modifica el área de la sección transversal de la tubería.

El principio de Bernoulli afirma que la suma de las energías cinética, potencial y de presión, en distintos puntos del sistema, debe ser constante. Al variar el diámetro de la tubería la velocidad cambia; así pues; la energía cinética aumenta o disminuye. Ahora bien, la energía no puede crearse ni destruirse. Por lo tanto la variación de energía cinética debe ser compensada por un aumento o disminución de la energía de compresión, es decir, la presión.

El principio de conservación de la energía postula que la energía no se crea ni se destruye, sólo tiene transformaciones. La energía contenida en el agua en reposo se denomina energía potencial y cuando están en movimiento se llama energía cinética. Las transformaciones de energía en el agua generan su movimiento y la conservan en la dirección de flujo. No obstante, es común describir a la energía que se transforma en calor o se utiliza para vencer obstáculos, como una pérdida en el sentido de que no se vuelve a utilizar en el movimiento del agua.

La energía por unidad de peso del agua, en cualquier punto de un sistema hidráulico está compuesta por tres partes:

- a) Carga piezométrica, h_p
- b) Carga de posición o elevación, h_y
- c) Carga de velocidad, h_v

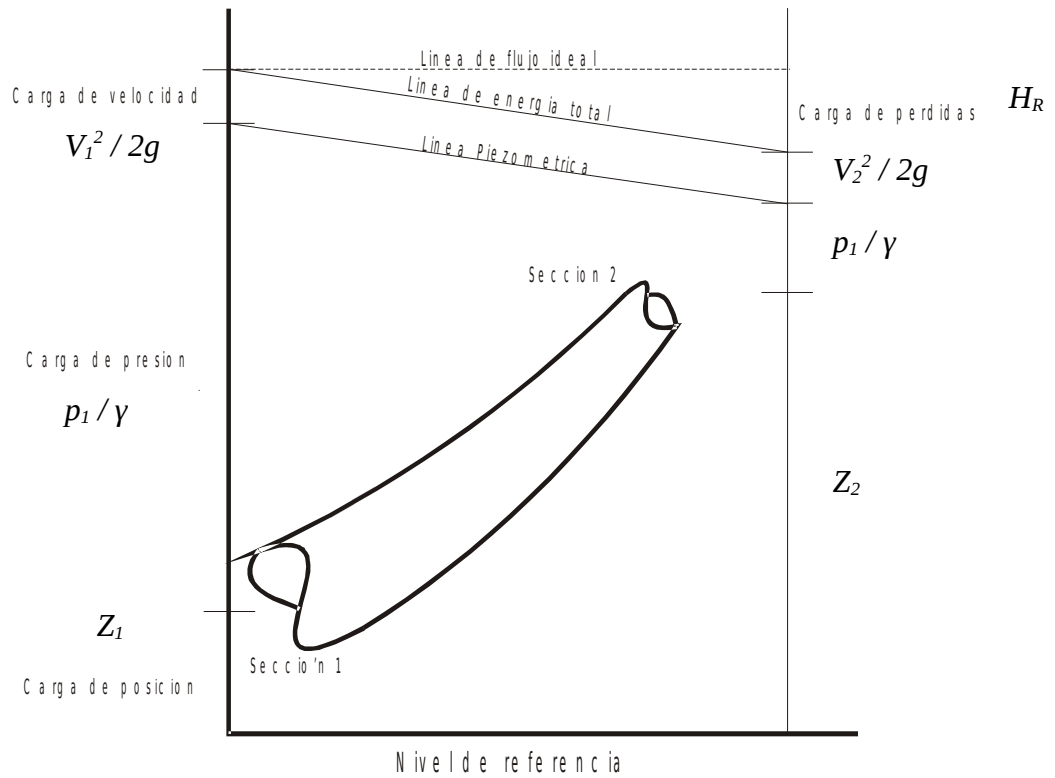


Fig. 2.8 Energía en un conducto.

Carga piezométrica, (h_p).

Si en un tubo lleno de agua sometido a presión se inserta una pequeña manguera transparente, se puede observar que el líquido sube hasta una determinada altura, denominada carga piezométrica, (Fig. 2.9) y se determina dividiendo la presión interna del agua, P , entre su peso específico, γ , es decir:

$$h_p = \frac{P}{\gamma} \tag{2.9}$$

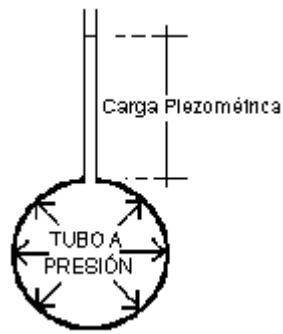


Fig. 2.9 Carga piezométrica.

Carga de velocidad (h_v).

Se mide también en unidades de longitud de columna de agua y se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

Donde g representa la aceleración de la gravedad, con un valor casi constante de 9.81 m/s^2 .

Carga de posición o elevación (h_y).

Como su nombre lo indica se refiere a la altura de las secciones a la que se encuentran respecto a un nivel de referencia.

En un canal a superficie libre, la carga de velocidad se determina igual que en una tubería a presión.

Líneas de corriente, son curvas imaginarias, a través, del fluido en movimiento y que indican la dirección del flujo para diferentes puntos del mismo, (Fig. 2.10).

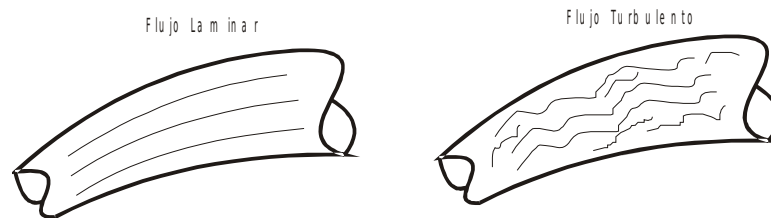


Fig. 2.10 Líneas de corriente laminar y turbulento.

Tubo de corriente, se llama tubo de corriente a la región parcial del tubo delimitado por líneas de corriente que lo confinan, las tangentes a cualquier punto del tubo de corriente determinan la dirección de la variación instantánea de la velocidad, como no existe ninguna componente normal a la línea de corriente se considera a las líneas de corriente como a los tubos de corriente superficie de frontera y no puede atravesar flujo a través de ella.

También, hay otro tipo de energía que puede ser adicionada al sistema (como la que impone una bomba), o energía removida debida a la viscosidad o algunos obstáculos al flujo. Estos cambios de energía, se nombran como pérdidas $(H_{f_{1-2}})$.

Ecuación de la Energía, (Ecuación de Bernoulli).

Para deducir la ecuación de Bernoulli, se realizará el análisis en el siguiente tubo de corriente, del cual se tomará un diferencial de masa (dM), para su desarrollo.

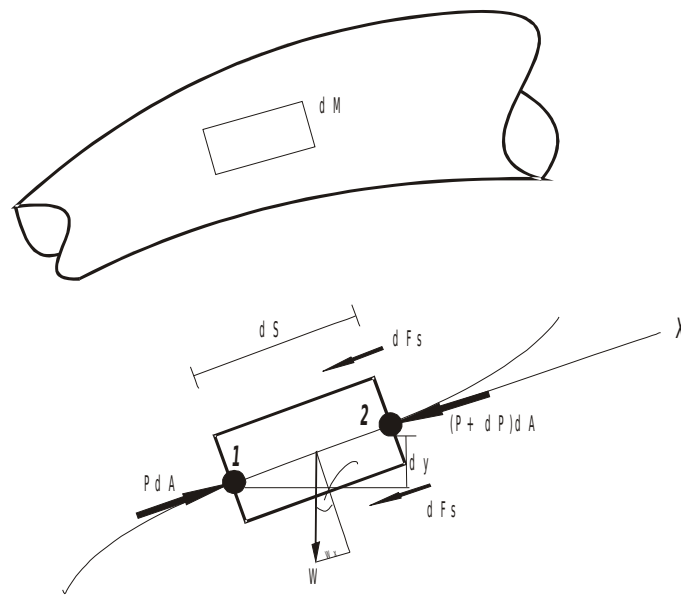


Fig. 2.11 Volumen de control diferencial para análisis de la ecuación de energía.

Donde:

ds : Diferencial de longitud.

dFs : Diferencial de fuerza de rozamiento.

PdA: Diferencial de fuerza ejercida en el punto 1.

W: Peso.

V: Volumen.

Como el peso es igual a :

$$W = \gamma V = \gamma ds dA$$

$$\sum F_x = ma$$

$$PdA - (P + dP)dA - W_x - dF_s = \frac{W}{g} \frac{dv}{dt}$$

$$PdA - (P + dP)dA - \gamma ds dA \text{Sen} \theta - dF_s = \frac{\gamma ds dA}{g} \frac{dv}{dt} \quad (\div \gamma dA)$$

$$\frac{P}{\gamma} - \frac{P + dP}{\gamma} - \frac{dP}{\gamma} - ds \text{Sen} \theta - \frac{dF_s}{\gamma dA} = \frac{ds}{g} \frac{dv}{dt} \quad \left(\frac{dF_s}{\gamma dA} = H_{r1-2} \right)$$

Como :

$$\frac{ds}{dt} = v$$

$$-\frac{dP}{\gamma} - dy - H_{r1-2} = \frac{v dv}{g}$$

Integrando entre sus límites correspondientes :

$$-\int_{p1}^{p2} \frac{dP}{\gamma} - \int_{y1}^{y2} dy - H_{r1-2} = \int_{v1}^{v2} \frac{v dv}{g}$$

Entonces la expresión general del balance de energía (**Ecuación de la Energía, Ecuación de Bernoulli**), a través, de dos puntos 1 y 2 (Fig. 2.11) en un sistema, separados a una cierta distancia L, de un *líquido real* (se incluyen pérdidas H_{r1-2}) es:

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (y_2 - y_1) + H_{r1-2} + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) = 0 \quad (2.11)$$

2.5.2.3 Principio de conservación de la cantidad de movimiento.

Muchas veces se observa que el agua en movimiento provoca un empuje sobre cualquier cuerpo que se oponga al escurrimiento. Por ejemplo cuando se coloca una hélice o turbina dentro del agua, entonces el dispositivo comienza a girar por la acción de este empuje dinámico.

Es precisamente este empuje dinámico o fuerza la que está relacionada con el principio de la cantidad en movimiento del agua.

La fuerza que actúa sobre el agua en escurrimiento, es igual al cambio de la cantidad de movimiento en el tiempo y se determina con la ecuación:

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{t}$$

Donde la masa m es igual a:

$$m = \frac{\gamma}{g} V$$

Entonces:

$$F = \frac{\gamma V}{g t} (v_2 - v_1) = \frac{\gamma}{g} Q (v_2 - v_1) \quad (2.12)$$

Donde :

F: es la fuerza necesaria para acelerar el agua de una sección a otra del conducto,

V: volumen.

v: velocidad.

2.6 Flujo en tuberías

2.6.1 Distribución de velocidades.

La velocidad del agua (V), en un conducto se define como la distancia, S , que recorren el líquido de un determinado tiempo, t .

$$v = \frac{S}{t} \quad (2.13)$$

Cuando una persona se sitúa en la orilla de un río o canal percibe a simple vista que el agua avanza a la misma velocidad en todo lo ancho de la superficie. Pero, una mirada más cuidadosa revelará que se tiene mayor velocidad al centro del

cauce que en las orillas. Esto se debe a que las paredes del río o canal frenan la corriente; mientras más se acerque a la orilla menos velocidad se tendrá. De hecho, se ha demostrado que existe una pequeña capa, de dimensiones microscópicas, que no se mueve.

De la misma manera si se pudiera observar la corriente en forma vertical, se notaría que también hay una variación o distribución de velocidades con la profundidad.

Si se dibujan las diferentes velocidades del agua dentro del conducto con flechas, cuyos tamaños representan la magnitud, (Fig. 2.12) .

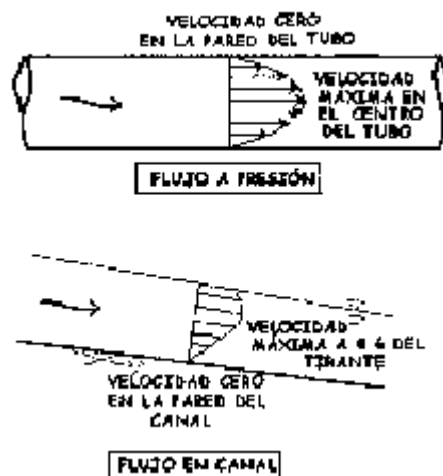


Fig. 2.12

En el canal, el problema será saber cuál es el valor de la velocidad media v_m , que caracteriza al flujo.

Este valor de la velocidad media es parecido al promedio de todas las velocidades que se presentan en el conducto. Se dice que es parecido, porque no es el valor que resulta de aplicar el promedio aritmético, sino aquel para el cual el área que se forma con la curva de distribución de velocidades, es equivalente a la que se forma con un rectángulo.

Experimentalmente se ha encontrado que si se mide la velocidad en canales a una profundidad del 60% (desde el nivel o tirante) se medirá con muy buena aproximación la velocidad media. O bien, si se mide a profundidades del 20% y 80%, y se saca el promedio, el resultado es un valor más preciso de velocidad media en dichos canales. En el caso de tuberías llenas la velocidad media se encuentra en el centro del conducto.

2.6.2 Tipos de flujos.

En el siglo XIX Osborne Reynolds realizó una serie de experimentos, con la finalidad de clasificar el flujo. De acuerdo con sus resultados, determinó que existen dos tipos de flujos de agua: 1) flujo laminar, y 2) flujo turbulento.

2.6.2.1 Flujo laminar, es aquel en el que sus líneas de corriente no se cruzan entre sí, (Fig. 2.13).



Fig. 2.13

2.6.2.2 Flujo turbulento, está caracterizado por la formación de remolinos dentro del flujo, que hace que las líneas de corriente se mezclen entre ellas.(Fig. 2.14).

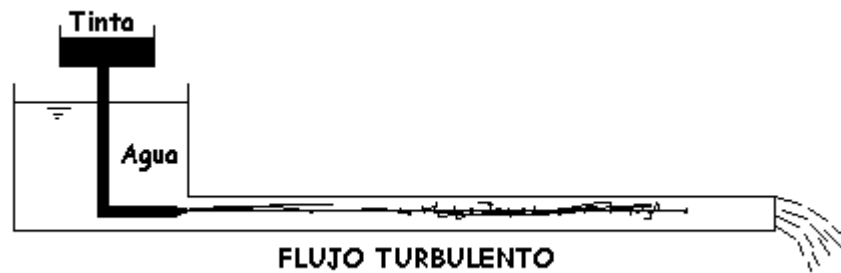


Fig.2.14

2.6.3 Número de Reynolds. Para clasificar si un flujo es laminar o turbulento, se usa el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{v * d}{\tau} \quad (2.14)$$

Donde d es el diámetro del conducto, τ es la viscosidad cinemática. Entonces, si R_e es menor de 2000 se trata de flujo laminar; R_e es mayor que 4000, el flujo es turbulento.

Si el número de Reynolds está entre 2000 y 4000 se trata de un flujo en transición.

2.7 Tuberías

Conducciones forzadas o tuberías a presión son aquellas que funcionan a plena sección y en las que el movimiento del líquido se debe a la presión reinante en el interior, pudiendo presentar, por tanto, pendientes y contrapendientes.

Una tubería es un conjunto de tubos y accesorios unidos mediante juntas para formar una conducción cerrada. Un *tubo* es un elemento de sección circular.

2.8 Accesorios

Los accesorios pueden ser:

- *Piezas especiales*: Unidades que posibilitan los empalmes, cambios de dirección (codos), derivaciones, variaciones de sección, etc.
- *Dispositivos auxiliares*: Aparatos que protegen y facilitan el buen funcionamiento de la red. Los más importantes son las *válvulas* y las *ventosas*.

Las *juntas* son unidades que se emplean para unir tubos entre sí y con los accesorios.

Una *red de distribución* es un conjunto de tuberías principales, secundarias, terciarias, etc.

2.9 Válvulas

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 140 Mpa y temperaturas desde las criogénicas hasta 815 °C (1500 °F). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

2.9.1 Tipos de válvulas

- *Válvula de Control.*

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Partes de la válvula de control:

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

- *Válvulas de compuerta.*

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

- *Válvulas de macho*

La válvula de macho es de $\frac{1}{4}$ de vuelta, que controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico que tiene un agujero en el centro, que se puede mover de la posición abierta a la cerrada mediante un giro de 90° .

- *Válvulas de globo.*

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

- *Válvulas de bola*

Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto .

- *Válvulas de mariposa.*

La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación.

- *Válvulas de diafragma.*

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación .

- *Válvulas de apriete.*

La válvula de apriete es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de uno o mas elementos flexibles, como diafragmas o tubos de caucho que se pueden apretar u oprimir entre si para cortar la circulación .

- *Válvulas de retención (check)*

La válvula de retención está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra..

- *Válvulas de desahogo (alivio)*

Una válvula de desahogo es de acción automática para tener regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio no comprimible y se abre con lentitud conforme aumenta la presión, para regularla.

- *Ventosas*

Son unas válvulas que permiten la salida del aire que se acumula en las conducciones de agua.

2.10 Selección de la válvula para el Banco Hidráulico.

La válvula seleccionada es de tipo globo (Fig. 2.15), porque:

- Permitirá un accionamiento frecuente
- Servirá con apertura o cierre total.
- La carrera del disco es corta y pocas vueltas para accionarlo, por lo que reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete.
- Permitirá un preciso control de la circulación.
- Es de bajo costo.

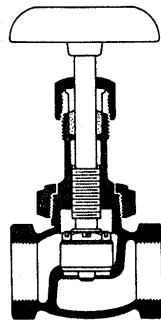


Fig.2.15 Válvula de globo.

CAPITULO III

BOMBAS

3.1 Concepto

Las bombas en un sistema hidráulico, son las encargadas de convertir la energía mecánica de rotación en energía hidráulica impulsando un fluido al sistema.

Es una máquina que añade energía a la corriente del fluido; siendo su fluido agua o lodo.

Todas las bombas funcionan según el mismo principio, generando un volumen que va aumentando en el lado de entrada y disminuyendo en el lado de salida; pero los distintos tipos de bombas varían mucho en métodos y sofisticación.

3.2 Objetivos de una bomba hidráulica

Una bomba hidráulica tiene que cumplir dos objetivos: mover líquido y obligarle a trabajar. Todas las bombas desplazan líquido, pero el desplazamiento puede ser *positivo o no positivo*. Las bombas hidráulicas producen un caudal de líquido, y además lo sostienen contra la resistencia opuesta a la circulación. O sea, que el líquido que sale de la boca de la bomba es apoyado por ésta, entonces el desplazamiento es positivo. Las bombas de los circuitos hidráulicos son positivas.

3.3 Desplazamiento

La capacidad de caudal de una bomba puede expresarse en, desplazamiento por revolución, o, caudal en gpm (l/min).

El desplazamiento es el volumen de líquido transferido en una revolución. Es igual al volumen de una cámara de bombeo multiplicado por el número de cámaras que pasan por el orificio de salida durante una revolución de la bomba. El desplazamiento se expresa en pulgadas cúbicas por revolución (Centímetros cúbicos por revolución).

3.4 Caudal en GPM (LPM)

Una bomba viene caracterizada por su caudal nominal en gpm (l/min); por ejemplo, 10 gpm (37.85 lpm). En realidad puede bombear más caudal en ausencia de carga y menos a su presión de funcionamiento nominal. Su desplazamiento es también proporcional a la velocidad de rotación.

3.5 Rendimiento volumétrico

En teoría, una bomba suministra una cantidad de flujo igual a su desplazamiento por ciclo o revolución. En realidad el desplazamiento efectivo es menor, debido a las fugas internas. A medida que aumenta la presión, las fugas desde la salida de la bomba hacia la entrada o al drenaje también aumentan y el rendimiento volumétrico disminuye.

El rendimiento volumétrico es igual al caudal real de la bomba dividido por el caudal teórico. Se expresa en forma de porcentaje.

$$\text{Rendimiento volumétrico} = \frac{\text{Caudal real}}{\text{Caudal teórico}} \quad (3.1)$$

3.6 Presión

Además de el caudal se debe conocer la presión máxima que es capaz de soportar la bomba entregando el caudal especificado. *Los fabricantes* dan también presiones de punta.

3.6.1 Valores nominales de la presión

Una bomba viene caracterizada por su presión máxima de funcionamiento y su caudal de salida a una velocidad de rotación dada.

La presión nominal de una bomba viene determinada por el fabricante y está basada en una duración razonable en condiciones de funcionamiento determinadas. Es importante observar que no existe un factor de seguridad normalizado correspondiente a esta estimación. Trabajando a presiones mas elevadas se puede reducir la duración de la bomba o causar daños serios.

3.7 Tipos de bombas

3.7.1 Bombas de desplazamiento no positivo

Este diseño de bomba se utiliza principalmente para transmitir fluidos donde la única resistencia que se encuentra es la creada por el peso del mismo fluido y el rozamiento.

La mayoría de las bombas de desplazamiento no positivo funcionan mediante la fuerza centrífuga, según la cual el fluido, al entrar por el centro del cuerpo de la bomba, es expulsado hacia el exterior por medio de un impulsor que gira rápidamente. No existe ninguna separación entre los orificios de entrada y de salida, y su capacidad de presión depende de la velocidad de rotación.

3.7.2 Bombas de desplazamiento positivo

La mayoría de las bombas utilizadas en los sistemas hidráulicos se clasifican como de desplazamiento positivo. Esto significa que, exceptuando los cambios de rendimiento, la salida de la bomba es constante, aislada de la entrada, de forma que cualquier cosa que entre se ve forzada a salir por el orificio de salida.

El único objeto de una bomba es dar caudal; la presión es originada por la resistencia al movimiento del fluido. Aunque existe la tendencia de culpar a la bomba por la pérdida de presión, con pocas excepciones, la presión puede perderse solamente cuando hay fugas que desvían todo el caudal procedente de la bomba.

Las bombas mas utilizadas en los sistemas hidráulicos son las desplazamiento positivo. Estas bombas suministran al sistema una cantidad determinada de fluido,

en cada carrera, revolución o ciclo. Este tipo de bomba se clasifica como un desplazamiento fijo o variable.

3.7.2.1 Bombas de desplazamiento fijo, tienen un desplazamiento que no pueden cambiarse sin cambiar ciertos componentes.

3.7.2.2 Bombas de desplazamiento variable, son bombas en la cuales es posible hacer variar el tamaño de la cámara de bombeo utilizando controles externos.

En ciertas bombas de paletas y de pistones, el desplazamiento puede variarse desde cero hasta el máximo.

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes, (Fig. 3.1): (1) la que toma en consideración las características de movimientos de líquidos y (2) la que se basa en el tipo o aplicación específica para los cuales se ha diseñado la bomba.

CLASE	TIPO
Centrífuga	Voluta
	Difusor
	Turbina regenerativa
	Turbina vertical
	Flujo mixto
	Flujo axial
Rotatoria	Engrane
	Alave
	Tornillo
	Lóbulo

	Bloque de vaivén
	Leva y pistón
Reciprocante	Acción directa
	Potencia
	Diafragma
	Rotatoria – Pistón

Tabla 3.1 Clasificación de Bombas

Hay tres clases de bombas de uso común al presente: *centrífuga*, *rotatoria* y *reciprocante*. Nótese que éstos términos se aplican solamente a la mecánica de movimiento de líquidos y no al servicio para el que se ha diseñado una bomba.

3.7.3 Bomba centrífuga

Son el tipo más corriente de bombas rotodinámicas, y se denomina así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Pueden estar proyectadas para impulsar caudales tan pequeños como 1 gal/min. o tan grandes como 4.000.000 gal/min, mientras que la cota generada puede variar desde algunos pies hasta 400. El rendimiento de las de mayor tamaño puede llegar al 90%.

El rodete consiste en cierto número de álabes curvados en dirección contraria al movimiento colocados entre dos discos metálicos. El agua entra por el centro u ojo del rodete y es arrastrada por los álabes y lanzada en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética. A la salida, el movimiento del fluido tiene componentes radial y transversal. Para que no haya una pérdida notable de energía, y por tanto de rendimiento, es esencial

transformar en la mayor medida posible la considerable cota cinemática a la salida del rodete en la más útil cota de presión. Normalmente, esto se consigue construyendo la carcasa en forma de espiral, con lo que la sección del flujo en la periferia del rodete va aumentando gradualmente.

3.7.3.1 Bombas de tipo voluta

Aquí el impulsor descarga en una caja espiral que se expande progresivamente, proporcionada en tal forma que la velocidad del líquido se reduce en forma gradual. Por este medio, parte de la energía de velocidad del líquido se convierte en presión estática.

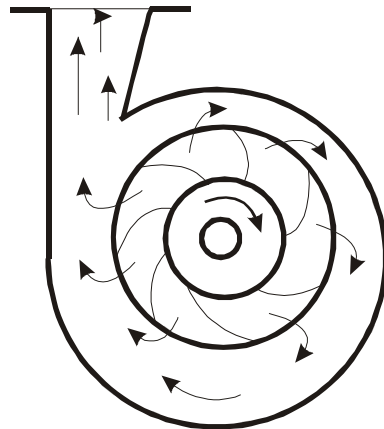


Fig. 3.1 La voluta de la bomba convierte la energía de la velocidad del líquido en presión estática.

3.7.3.2 Bombas de tipo difusor

Los álabes direccionales estacionarios rodean al rotor o impulsor en una bomba de tipo difusor. Estos pasajes con expansión gradual cambian la dirección del flujo del líquido y convierten la energía de velocidad a columna de presión.

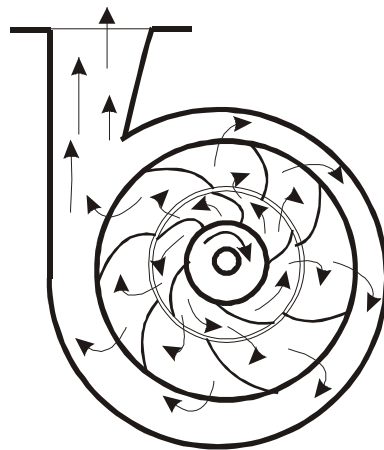


Fig. 3.2 El difusor cambia la dirección del flujo y contribuye a convertir la velocidad en presión.

3.7.3.3 Bombas de tipo turbina

También se conocen como bombas de vórtice, periféricas y regenerativas; en este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en el que gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía.

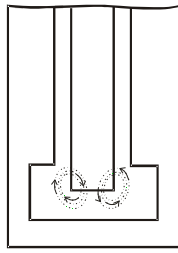


Fig. 3.3 La bomba turbina aumenta la energía del líquido con impulsos sucesivos.

3.7.3.4 Bombas de flujo mixto y de flujo axial

Las bombas de flujo mixto desarrollan su columna parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulsor de los álabes sobre el líquido. Las bombas de flujo axial desarrollan su columna por la acción del impulso o elevación de las paletas sobre el líquido.

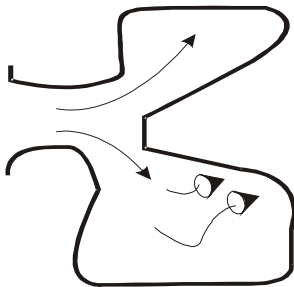


Fig. 3.4 Las bombas de flujo mixto usan tanto la fuerza centrífuga como el impulso de los álabes sobre el líquido

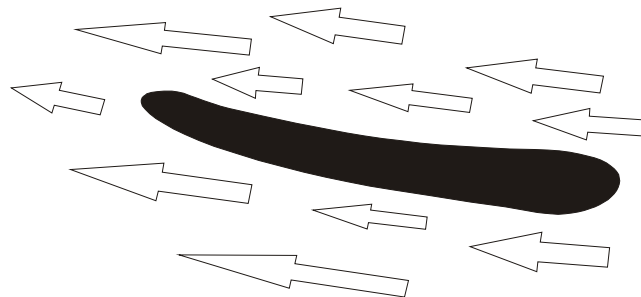


Fig. 3.5 Una bomba de flujo axial desarrolla la mayor parte de su columna por acción del álabe sobre el líquido

Existe, en los diversos campos de la tecnología, una inmensa variedad de maquinaria para transformar la energía hidráulica en energía mecánica y

viceversa. Las turbinas de vapor, gas e hidráulica, generan energía mecánica a partir de la energía cinética, de presión y potencial de los fluidos. Los ventiladores transfieren energía mecánica al aire

3.7.4 Bomba rotatorias

Las bombas rotatorias que generalmente son unidades de desplazamiento positivo, consisten de una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc., que operan con un claro mínimo. En lugar de “aventar” el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rotatoria lo atrapa, lo empuja contra la caja fija en forma muy similar a como lo hace el pistón de una bomba reciprocante.

Aunque generalmente se les considera como bombas para líquidos viscosos puede manejar casi cualquier líquido que éste libre de sólidos abrasivos.

3.7.4.1 Bombas de engranes

Estas constituyen el tipo rotatorio mas simple. Conforme los dientes de los engranes se separan en el lado de succión de la bomba el líquido llena el espacio entre ellos. Este se conduce en trayectoria circular hacia afuera y es exprimido al engranar nuevamente los dientes.

3.7.4.2 Bombas de leva y pistón

También se llaman bombas de émbolo rotatorio, y consisten de un excéntrico con un brazo ranurado en la parte superior. La rotación de la flecha hace que el excéntrico atrape el líquido contra la caja. Conforme continúa la rotación, el líquido se fuerza de la caja a través de la ranura a la salida de la bomba.

3.7.4.3 Bombas lobulares

Estas se asemejan a las bombas del tipo de engranes en su forma de acción, tienen dos o más rotores cortados con tres, cuatro, o más lóbulos en cada rotor. Los rotores se sincronizan para obtener una rotación positiva por medio de engranes externos.

3.7.4.4 Bombas de tornillos

Estas bombas tienen de uno a tres tornillos roscados convenientemente que giran en una caja fija. Existe un gran número de diseños apropiados para varias aplicaciones.

3.7.5 Bomba reciprocante

Las bombas reciprocantes son unidades de desplazamiento positivo descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera.

Existen básicamente dos tipos de bombas reciprocantes las de acción directa, movidas por vapor y las bombas de potencia. Existen muchas modificaciones de los diseños básicos, construidas para servicios específicos en diferentes campos.

3.7.5.1 Bombas de acción directa

En este tipo, una varilla común de pistón conecta un pistón de vapor y uno de líquido o émbolo. Las bombas de acción directa se construyen:

Simples, constan de un pistón de vapor y un pistón de líquido respectivamente.

Duplex, constan de dos pistones de vapor y dos de líquido.

Los extremos compuestos y de triple expansión, que fueron usados en alguna época no se fabrican ya como unidades normales.

Las bombas de acción directa horizontales simples y duplex, han sido por mucho tiempo muy apreciadas para diferentes servicios incluyendo alimentación de calderas en presiones de bajas a medianas, manejo de lodos, bombeo de aceite y agua y muchos otros.

Se caracterizan por la facilidad de ajuste de columna, velocidad y capacidad.

3.7.5.2 Bombas de potencia

Estas tienen un cigüeñal movido por una fuente externa generalmente un motor eléctrico, banda o cadena. Frecuentemente se usan engranes entre el motor y el cigüeñal para reducir la velocidad de salida de el elemento motor.

Cuando se mueve a velocidad constante, las bombas de potencia proporcionan un gasto casi constante para una amplia variación de columna.

Las bombas de potencia se clasifican como simples, duplex, tripex, multiplex, horizontales y verticales.

3.8 Términos y definiciones en la selección de bomba

En el diseño de un sistema de bombeo hay muchos elementos que deben considerarse, no importa la clase o tipo de bomba que finalmente se escoja para la instalación. Estos elementos incluyen: *columna, capacidad, naturaleza del líquido, tuberías, motores y economía.*

Presión

En el seleccionamiento de una bomba generalmente se considera tres tipos de presión: *absoluta, barométrica y de columna.* Se usa un cuarto término, *vacío*, cuando las instalaciones operan abajo de la presión atmosférica pero no es un término depresión en el mismo sentido que las tres primeras.

Presión absoluta, es la presión arriba del cero absoluto. Puede encontrarse arriba o debajo de la presión atmosférica existente en el punto de consideración.

Presión barométrica, es la presión atmosférica de la localidad y varía con las condiciones de altitud y clima.

Presión de columna, es la presión arriba de la atmosférica en la localidad en que se mide. Un *vacío* es una presión de columna negativa.

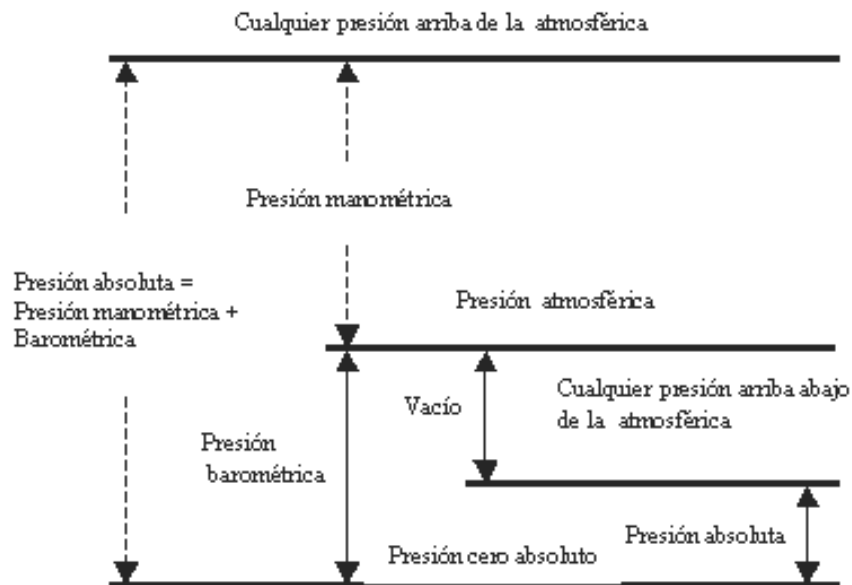


Fig. 3.6 Relación entre los diferentes términos de presión que se usan en bombeo

Columna

Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del

tubo. Esta presión puede expresarse en kilogramos por centímetro cuadrado kg/cm^2 , o como el número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como columna sobre la superficie. Nótese que el peso del líquido que actúa sobre la superficie es lo que produce la presión.

Así, columna y presión son términos intercambiables, siempre y cuando se expresen en sus unidades correctas. Para convertir una a la otra, úsese la fórmula:

$$\text{Columna líquida metros [metros]} = 10(\text{presión Kg/cm}^2) \quad (3.2)$$

Columna estática

En las aplicaciones de bombas de bombas, generalmente se le llama a la altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba, *columna estática* en la entrada o salida, y se expresa como un cierto número de metros de líquido.

Elevación Estática de Succión

Es la distancia vertical, en metros, del nivel de suministro de líquido al eje central de la bomba, encontrándose la bomba arriba del nivel de suministro. Las

distancias horizontales no se consideran como parte de la elevación de succión estática, por lo que respecta a la elevación .

Columna Estática de Succión

Cuando la bomba se encuentra más abajo del nivel de suministro de líquido existe una columna de succión estática. Numéricamente, es la distancia vertical en metros, entre el nivel de suministro de líquido y el eje central de la bomba.

Columna Estática de Descarga

Es la distancia vertical, en metros, del eje central de la bomba al punto de *entrega libre* del líquido . Debe tenerse cuidado que el punto de entrega libre se use cuando se calcula la columna de descarga. En algunos esquemas puede ser difícil determinar el punto exacto.

Columna Estática Total

Como se muestra en la , la columna estática total de una bomba, es la distancia vertical, en metros, entre el nivel de suministro y el nivel de descarga del líquido que se maneja.

Columna de fricción

Se mide en metros de líquido, y es la columna equivalente necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, válvulas y aditamentos del sistema de bombeo. La columna de fricción existe tanto en extremo de succión como el de descarga de una bomba, y varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo de tubo y naturaleza del líquido que se maneja.

Columna de velocidad

Un líquido que se mueve en un tubo a cualquier velocidad, posee una energía cinética debido a su movimiento. La columna de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiriera una velocidad dada, y viene dada en la fórmula $h_v = v^2/2g$, en donde h_v = a columna de velocidad, metros de líquido; v = velocidad del líquido, metros por segundo; g = aceleración de la gravedad.

Elevación de succión

Numéricamente es la suma de la elevación estática de succión, la columna de fricción de succión y las pérdidas de admisión en el tubo de succión.

Columna de descarga

Es la suma de la columna de descarga estática, la columna de fricción de descarga y la columna de velocidad de descarga.

Columna total

Es la suma de las columnas de elevación de succión y de descarga. Cuando hay una columna de succión, la columna total de la bomba es la diferencia entre las columnas de descarga y de succión.

El siguiente gráfico muestra la ubicación de las distintas columnas para diferentes ubicaciones de la bomba.

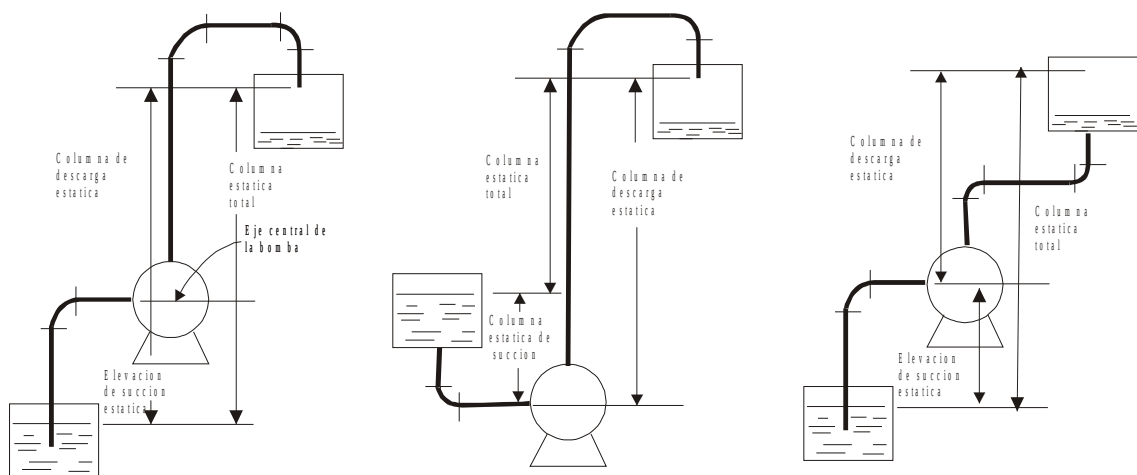


Fig. 3.7 Términos usados en bombeo, para las columnas.

Columna neta de succión positiva, (CSPN).

Se presentan mayor número de dificultades a la determinación de la columna de succión positiva neta (**cspn**) que de cualquier otra causa. Las dificultades con la **cspn** pueden reducir la capacidad y la eficiencia de la bomba, llegando a producir daños por cavitación. Pueden también causar problemas severos de operación, reduciendo la efectividad del sistema hidráulico.

Presión de vapor

Todo líquido, a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación, tiene una presión de vapor correspondiente que debe considerarse cuando se calcula un sistema de bombeo. Esta presión, conocida como *presión de vapor* del líquido, es función de la temperatura del líquido: mientras más alta sea la temperatura, mayor será la presión de vapor. La presión del vapor es un factor importante en las condiciones de succión de las bombas que manejan líquidos de todos los tipos. En cualquier sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, porque el líquido formará vapor que puede, parcial o totalmente hacer que cese el flujo del líquido en la bomba. La reducción de la presión en el tubo de succión de una bomba más abajo de la presión de vapor del líquido, puede causar vaporización, es decir, formación del vapor del líquido. Puesto que una bomba para líquidos de diseño ordinario no puede bombear únicamente vapor, el flujo del líquido a la bomba se interrumpe y se dice que la unidad se encuentra en “*vapor*”. El método más comúnmente usado para evitar esta condición es el dar suficiente columna a la succión de la bomba para que la presión en el tubo de succión sea siempre mayor que la presión de vapor líquido que se maneja. succión ejerce una presión debida a la deformación de vapor en la superficie libre.

3.8.2 CSPN disponible

Esta es una función del sistema: la columna de succión o elevación, columna de fricción, y la presión de vapor del líquido que se maneja. Dependiendo de las

condiciones de la aplicación, la cspn de que se dispone puede alterarse para conformarse con la que requiere la bomba para su operación satisfactoria, si pueden hacerse cambios en la tubería, nivel de suministro del líquido, etc. Así pues, alterando la disposición fija de una instalación, es posible controlar una fase de la cspn disponible. Pero la presión de vapor del líquido no puede cambiarse sin aumentar o disminuir la temperatura del líquido; y esto no es siempre factible. Por lo tanto, puede ser un obstáculo para la alteración de la cspn.

3.8.3 CSPN requerida

Esta es una función del diseño de la bomba y varía de una marca de bomba u otra, y entre diferentes modelos de una sola marca, así como con la capacidad y la velocidad de una bomba dada. Luego, aun cuando la cspn disponible es fácil de calcular para unas condiciones conocidas, la requerida para una bomba particular puede obtenerse del fabricante.

El fabricante puede suministrar gráficamente las características cspn para una bomba dada sobre una curva de operación.

Nótese que en ambos casos, *la cspn es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba.* Para uniformidad, la cspn viene dada en metros del líquido manejado equivalentes a las presiones en kilogramos por centímetro cuadrado requeridos para forzar el líquido de la bomba.

Los valores dados por el fabricante de la bomba se basan en pruebas y están corregidos regularmente al eje central de la bomba.

Cuando el nivel de suministro de líquido se encuentra arriba de la línea de centro de la bomba, y la superficie del líquido expuesto a la atmósfera, la cspn es la suma de la presión atmosférica barométrica más la columna de succión estática menos las pérdidas de columna de fricción en el tubo de succión y la presión de vapor del líquido; todos expresados en metros del líquido manejado. Cuando la alimentación de la succión se hace de un tanque o recipiente cerrado, hay que sustituir la presión del tanque por la presión barométrica (un vacío se expresa como presión negativa). La presión del tanque debe convertirse a metros de líquido manejado antes de que pueda intervenir en la ecuación de la cspn.

Cuando la alimentación del líquido debajo de la bomba en un tanque abierto a la atmósfera la cspn es la diferencia entre la presión barométrica y la suma de la elevación de succión estática más las pérdidas de columna de fricción en la tubería de succión más la presión del vapor del líquido. Todos se expresan en metros de líquido bombeado.

3.8.4 Pérdidas

Al circular el agua por una tubería, dado que lleva una cierta velocidad que es energía cinética, al rozar con las paredes de las tuberías pierde parte de la velocidad por la fricción que se produce entre el material líquido contra el sólido de las paredes. En tanto mayor es la velocidad mayor será el roce.

3.8.4.1 Pérdidas por longitud (fricción)

Se define como la pérdida de energía producto de la resistencia que la cañería opone al paso del agua. La formula general tiene la siguiente expresión:

$$H_f = J * L \quad (3.3)$$

donde:

H_f = Pérdida de energía o carga producto de la fricción (m)

J = Pérdidas de carga por cada metro de tubería (m/m)

L = Longitud de la cañería de conducción (m)

Las pérdidas por carga pueden calcularse utilizando la ecuación de Hazen y Williams.

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 * C)^{1.85} * D^{4.86}} \quad (3.4)$$

donde:

Q = Caudal a transportar (m³/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams , (Anexo A1).

3.8.4.2 Pérdidas localizadas (accesorios)

Las pérdidas de energía o cargas menores se producen cuando la tubería induce el agua a cambiar de dirección. Estas se pueden producir por codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta.

La ecuación para calcular estas pérdidas está dada por:

$$H_s = \sum \left(\frac{K * v^2}{2 * g} \right) \quad (3.5)$$

donde:

H_s = Pérdidas singulares o localizadas (m).

v = Velocidad de circulación del agua (m/s).

g = Aceleración de gravedad (9.8 m/s²).

K = Constante adimensional de coeficiente de resistencia que depende de los accesorios que se contemplan en el diseño, (Anexo A2).

CAPITULO IV

APARATO PARA MEDIR CAUDAL EN CANALES ABIERTOS

4.1 Medición de caudal por vertederos

Generalidades

En términos generales, un vertedero se puede definir como una obstrucción ubicada sobre el fondo de una canal (Fig. 4.1), sobre la cual debe pasar el flujo. Esto provee un método conveniente para determinar el caudal que está pasando por un canal con base en la medición de la profundidad.

En muchos casos resulta ventajoso empotrar una estructura o usar estructuras que ya existen para medir el flujo en un canal. Una geometría simple permite relacionar el caudal con la aceleración de la gravedad y la altura del agua pasando sobre la estructura vertedora, haciendo de esta manera que un vertedero sea una forma simple pero efectiva de medir el flujo en canales abiertos.

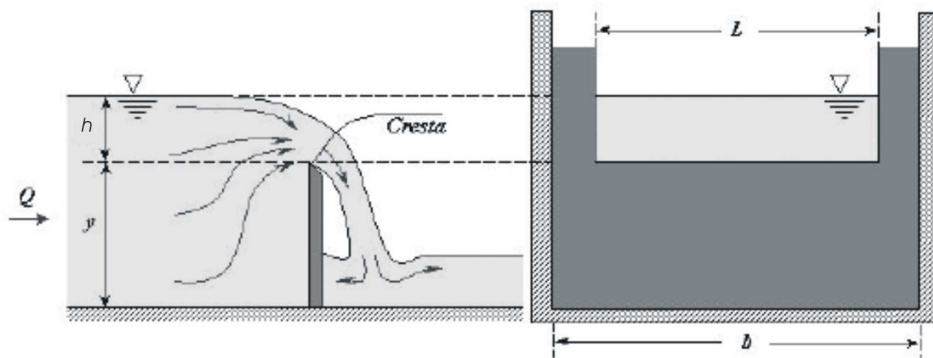


Fig. 4.1 Vertedero

Los vertederos tienen varios usos, entre ellos:

- Control de nivel en embalses, canales y depósitos en general (Vertederos de excedentes).
- Derivación de un determinado caudal.
- Medición o aforo caudales.

4.2 Clasificación de los vertederos

Los vertederos pueden ser una depresión practicada en uno de los lados de un depósito, un recipiente o un canal, o bien pueden ser una presa con un rebosadero u otra estructura semejante. De esta manera los vertederos se pueden clasificar con base en sus características de funcionamiento y geometría, de la siguiente manera.

4.2.1 Según el espesor de la cresta:

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero; éste puede presentar diferentes formas según las finalidades a que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda el vertedor se llama de **pared delgada**; por el contrario, cuando

el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de **pared gruesa**. Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones, pero el segundo puede emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforo en canales grandes, y no serán motivo de estudio .

4.2.1.1 Vertederos de pared o cresta delgada:

Este tipo de vertederos son los más usados, especialmente como aforadores, por ser estructuras de construcción e instalación muy sencilla. Debidamente calibrados o patronados se obtienen ecuaciones o curvas en las cuales el caudal es función de la única variable h , o sea, la **carga hidráulica** sobre la cresta.

Un vertedero de cresta delgada es esencialmente una lámina plana colocada en un canal de tal manera que el fluido debe pasar sobre ella y caer aguas debajo de la placa vertedora, como se muestra en la Figura 4.1. La forma específica del área de flujo pasando sobre la placa vertedora se usa para determinar el tipo de vertedero.

Las formas típicas de los vertederos incluyen secciones triangulares, trapezoidales, rectangulares, parabólicas, entre otros.

La naturaleza compleja del flujo sobre vertederos hace imposible la obtención de expresiones analíticas precisas para determinar el flujo como una función de otros parámetros, tales como la altura del vertedero (y), la carga hidráulica sobre la cresta (h), y la geometría del área de flujo.

Los principales mecanismos que gobiernan el flujo sobre un vertedero son la gravedad y la inercia. Desde un punto de vista muy simplificado, se puede decir que la gravedad acelera el flujo desde la superficie libre localizada aguas arriba del vertedero hasta alcanzar altas velocidades en su descenso por la napa. Aunque los efectos de la viscosidad y tensión superficial usualmente tienen una importancia secundaria, estos efectos no se pueden despreciar completamente, por lo cual, generalmente se determinan coeficientes experimentales que permiten considerarlos.

Utilizando teoría de flujo unidimensional y asumiendo que el perfil de velocidad de flujo aguas arriba del vertedero es uniforme, que la presión al interior de la napa es igual a la atmosférica y el fluido se mueve horizontalmente sobre el vertedero.

Considerando los puntos 1 y 2 mostrados en la Figura 4.2, donde $p_2 = 0$, la ecuación de Bernoulli para el flujo a lo largo de la línea de flujo arbitraria 1-2 se puede escribir como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = (h + y - h_1) + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.1)$$

donde:

h_1 : Es la distancia vertical desde la superficie hasta el punto 2

h : es la carga.

y : distancia a la que se encuentra la cresta.

v_i : velocidades uniformes.

z_i : alturas de los puntos.

Se considera vertederos de cresta delgada cuando cumple la siguiente condición:

si : $0.50e/h < 0.67$;

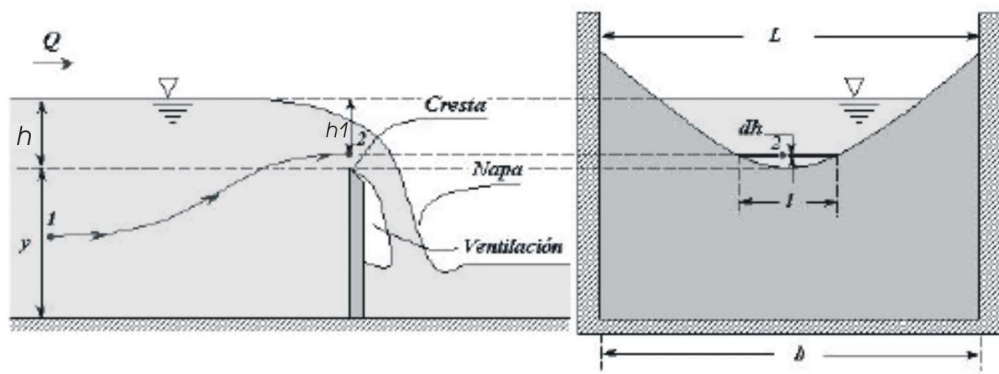


Fig. 4.2 Vertedero de cresta delgada

Esta cresta puede ser delgada o afilada en cuyo caso se le denomina vertedero de cresta delgada, a todos los demás vertederos se les clasifica como vertederos de cresta gruesa.

Siendo e el ancho o espesor de la cresta y h el nivel de agua o carga hidráulica sobre la cresta:

Según la altura de la lámina de agua, aguas abajo:

- a) Vertederos de descarga libre.
- b) Vertederos de descarga sumergida o ahogada.

Según la longitud de la cresta:

- a) Vertederos con contracciones laterales; sí: $b < B$.
- b) Vertederos sin contracciones laterales; sí: $b = B$.

Donde b es la longitud de la cresta y B es el ancho del canal.

Según su forma geométrica:

- a) Vertederos rectangulares.
- b) Vertederos triangulares.

- c) Vertederos trapezoidales.
- d) Vertederos circulares.
- e) Vertederos semicirculares.
- f) Vertederos parabólicos.
- g) Vertederos proporcionales, entre otros.

4.3 Fórmulas para los vertederos de cresta delgada

La fórmula general que expresa el caudal real que pasa por un vertedero cualquiera es la siguiente:

$$Q = Kh^m \quad (4.2)$$

Para la cual:

Q : es el caudal de descarga a través del vertedero.

K : la constante característica del vertedero.

h : la carga hidráulica sobre la cresta y (m) su exponente.

Según análisis teórico - matemático, esta expresión general toma formas particulares, teórico - prácticas, de acuerdo al tipo de vertederos y condiciones de funcionamiento así:

4.4 Requisitos de Instalación:

Los vertederos de cresta delgada sirven para medir caudales con muy buena precisión siempre que estén bien instalados y cumplan los siguientes requisitos:

1. Deben ubicarse en canales de sección uniforme y alineamiento recto aguas arriba, en una longitud mayor de $20h$.
2. La cresta del vertedero debe ser bien lisa y estar nivelada.
3. La pared aguas abajo del dique debe tener comunicación con la atmósfera con el fin de evitar que la lámina vertiente se adhiera a la pared.
4. Si la instalación del vertedero es permanente; debe dejarse un dispositivo de drenaje.
5. Para hacer la lectura de la carga h sobre la cresta, debe instalarse una regla graduada o limnómetro a una distancia aguas arriba del vertedor mayor de $5h$.
Siendo h la correspondiente al máximo caudal posible.

4.5 Selección del vertedero para el Banco Hidráulico.

El tipo de vertedero que se utilizará es el de pared delgada con descarga libre, y de geometría triangular.

4.5.1 Vertedero triangular.

Fórmula que rige este tipo de vertedero es:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) H^{(5/2)}$$

$$K = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \tan\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$m = \frac{5}{2}$$

Donde (ϕ) es el ángulo de la escotadura triangular y (C_d) el coeficiente de descarga (Anexo A3).

CAPITULO V

DISEÑO DEL BANCO HIDRÁULICO

5.1 Banco Hidráulico

El banco Hidráulico se usa para facilitar la ejecución de experimentos simples en la hidráulica, comparando la parte teórica recibida en las aulas con la experimentación real realizada en los laboratorios; demuestra la disposición de una unidad simple en la cual una pequeña bomba centrífuga abastece de agua; desde un tanque hacia un sistema básico o complejo de hidráulica.

Cabe mencionar que el sistema es un circuito cerrado, es decir que el fluido que circula a través de éste estará realimentándose constantemente por acción de la bomba..

Este sistema modular ha sido desarrollado para enseñar a los estudiantes los muchos y diferentes aspectos de la teoría de la hidráulica, se utilizara para desarrollar varios experimentos, acoplando a éste diferentes equipos complementarios.

5.2 Disposición del Banco Hidráulico

El Banco Hidráulico consta de dos tanques reservorios de agua (Anexo A8), para los cuales se realizará el análisis con el objetivo de calcular sus esfuerzos, determinar el espesor y tipo de material en el cual van ha ser construidos.

Para calcular sus esfuerzos, los tanques se diseñarán por medio de parámetros utilizados en el diseño de cilindros de pared delgada.

5.2.1 Parámetros para el diseño del Banco

- *Cilindros de pared delgada*, Cuando se trata de recipientes cilíndricos cuya pared tiene un espesor de 1/10 de su radio o menos, el elemento en cuestión se llama recipiente de pared delgada.

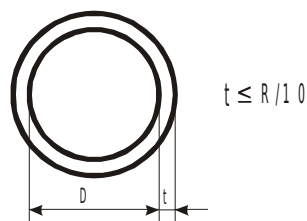


Fig. 5.1 Recipiente de pared delgada.

Un depósito cilíndrico que contenga un fluido a una presión p está sometido a fuerzas de tensión según sus secciones **transversales y longitudinales**.

- *Esfuerzo tangencial (σ_t)*, es el esfuerzo necesario para separar las dos mitades de un tramo de longitud del recipiente.

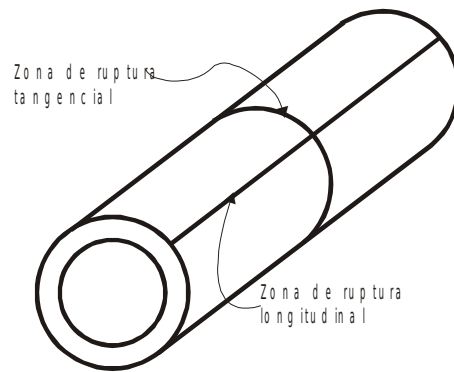


Fig. 5.2 Ruptura por esfuerzos tangencial y longitudinal

Si la presión del depósito se eleva hasta alcanzar el valor de ruptura, la falla del material tendrá lugar a lo largo de la sección transversal (Fig. 5.2).

La Fuerza que separa las dos mitades de un tramo, es la presión interna por el diámetro interno y por su longitud. $F = pDL$

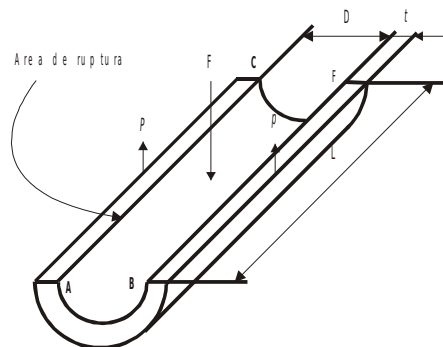


Fig. 5.3 Esfuerzo tangencial

$$P = \frac{F}{A_{ABCF}}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{de\ ruptura}}$$

reemplazando F;

$$\sigma_t = \frac{pDL}{2tL} ;$$

$$\sigma_t = \frac{pD}{2t} \quad (5.1)$$

en donde;

$$p = \text{Presión interna} ; \quad p = \rho gh + P_{atmosférica} ;$$

ρ = densidad

g = gravedad

$P_{atmosférica}$ = Presión atmosférica

D = Diámetro interno

t = Espesor

- *Esfuerzo longitudinal* (σ_l), esfuerzo debido a la presión ejercida sobre los fondos o cabezas del cuerpo del cilindro.

Si la presión del depósito se eleva hasta alcanzar el valor de ruptura, la falla del material tendrá lugar a lo largo de la sección longitudinal (Fig. 5.2).

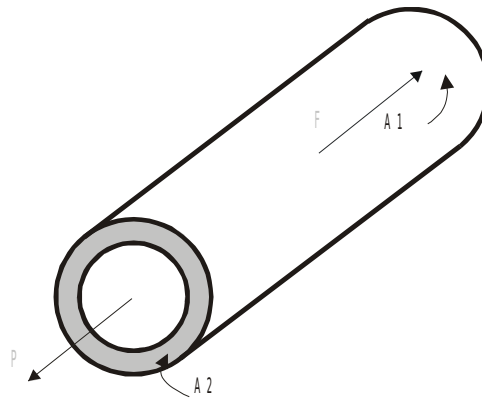


Fig. 5.4 Esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_l = \frac{P}{A_2}$$

$$A_2 = \pi Dt$$

$A_2 =$ Area de ruptura donde actua la fuerza P.

$$P = (\pi Dt)\sigma_l \quad (1)$$

$$p = \frac{F}{A_1}$$

$$A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$A_1 =$ Area donde actua la fuerza F

$$F = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (2)$$

$$(1) = (2)$$

$$(\pi Dt)\sigma_1 = \frac{\pi D^2}{4} p$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi D^2}{4\pi Dt} p$$

$$\sigma_1 = \frac{pD}{4t} \quad (5.2)$$

- *Factor de seguridad* (n_d), es la relación entre la resistencia y el esfuerzo, la resistencia puede ser algo que el diseñador elige como tal. Con frecuencia se utilizarán resistencias tales como las calificadas como mínima, de fluencia, última, de fatiga, etc., desde luego, el esfuerzo empleado debe corresponder en tipo y unidades a la resistencia.

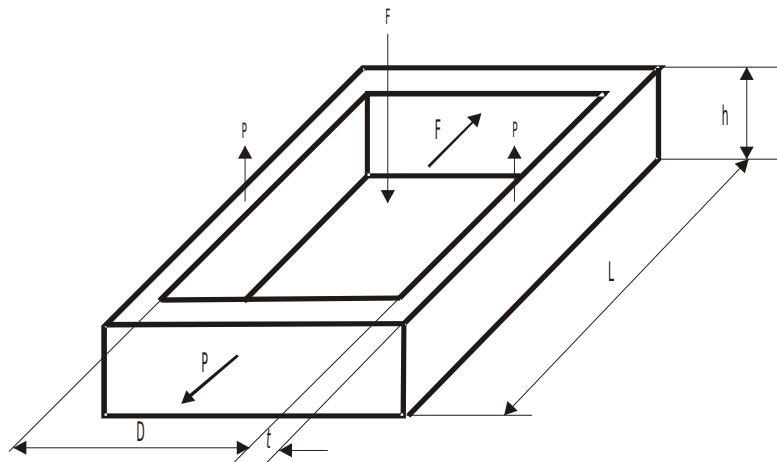
$$n_d = \frac{S}{\sigma} \quad (5.3)$$

5.3 Cálculo de Esfuerzos para el Banco Hidráulico

5.3.1 Tanque reservorio de carga. Este tanque básicamente es el encargado de recibir el flujo de agua proveniente del sistema hidráulico.

Cálculo del esfuerzo tangencial, esfuerzo longitudinal y factor de diseño .

La fórmula de esfuerzo tangencial de cilindros de pared delgada coincide con la fórmula desarrollada para el tanque .



$$\sigma_t = \frac{pD}{2t};$$

Los datos del tanque de carga son los siguientes:

Largo (L) = 98 cm.

Ancho (D) = 23.5 cm.

Alto (h) = 23cm.

Por lo tanto:

Cálculo del esfuerzo tangencial:

$$p = \rho gh + P_{\text{atmosférica}}$$

$$p = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.23\text{m} + 1.01 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 0.103 \text{ Mpa}$$

Asumiendo un espesor de $t = 3 \text{ mm}$, se tiene:

$$\sigma_t = \frac{0.103 * 10^6 * 0.235}{2 * 0.003}$$

$$\underline{\underline{\sigma_t = 4.03 \text{ Mpa}}}$$

Cálculo del esfuerzo longitudinal:

Para el esfuerzo longitudinal se procederá a deducir una fórmula a partir del análisis que se efectuó anteriormente en los cilindros de pared delgada.

$$F = LDp \quad (1)$$

$$A = 2ht + tD$$

$$P = A\sigma_l$$

$$P = (2ht + tD)\sigma_l$$

$$P = t(2h + D)\sigma_l \quad (2)$$

$$(1) = (2)$$

$$t(2h + D)\sigma_l = LDp$$

$$\sigma_l = \frac{pDL}{t(2h + D)}$$

$$\sigma_l = \frac{0.103 * 10^6 * 0.235 * 0.98}{0.003(2 * 0.23 + 0.235)}$$

$$\underline{\underline{\sigma_l = 11.4 \text{ MPa}}}$$

Cálculo del factor de seguridad:

Los tanques se construirán en fibra de vidrio, que presenta una resistencia a la tracción S , (Anexo A4).

$$n_d = \frac{S}{\sigma} = \frac{30}{11.4}$$

$$\underline{\underline{n_d = 2.6}}$$

5.3.2 Tanque reservorio de descarga. Este tanque básicamente es el encargado de entregar el flujo de agua al sistema hidráulico.

Cálculo del esfuerzo tangencial, esfuerzo longitudinal y factor de seguridad.

Los datos del tanque de descarga son :

Largo (L) = 58 cm.

Ancho (D) = 40 cm.

Alto (h) = 35 cm.

Por lo tanto:

Cálculo del esfuerzo tangencial:

$$p = \rho gh + P_{\text{atmosférica}}$$

$$p = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.35\text{m} + 1.01 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 0.104 \text{ Mpa}$$

Asumiendo un espesor de $t = 3 \text{ mm}$, se tiene:

$$\sigma_t = \frac{0.104 * 10^6 * 0.40}{2 * 0.003}$$

$$\underline{\underline{\sigma_t = 6.9 \text{ Mpa}}}$$

Cálculo del esfuerzo longitudinal:

$$\sigma_l = \frac{pDL}{t(2h + D)}$$

$$\sigma_l = \frac{0.104 * 10^6 * 0.40 * 0.58}{0.003 (2 * 0.35 + 0.40)}$$

$$\underline{\underline{\sigma_l = 7.3 \text{ MPa}}}$$

Cálculo del factor de seguridad:

$$n_d = \frac{S}{\sigma} = \frac{30}{7.3}$$

$$\underline{\underline{n_d = 4.1}}$$

Una vez determinados los factores de seguridad, el Banco Hidráulico tendrá una distribución de los tanques de acuerdo a los planos en el Anexo A8.

Luego de realizar los cálculos de esfuerzos y factor de seguridad para los tanques se llega a las siguientes conclusiones de diseño:

El material seleccionado para construir los tanques es **fibra de vidrio** porque:

- Es un material resistente a la acción corrosiva del agua.
- No se oxida con el paso del tiempo.
- El costo de la fibra de vidrio es bajo en comparación con otros.
- Presenta un acabado de buena calidad.

- Con el espesor asumido de fibra de vidrio en el diseño de los tanques se obtiene factores de seguridad que permitirán asegurar la resistencia para cargas con los que trabajará el banco hidráulico.
- La resistencia de cada tanque en el sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá, el Banco Hidráulico.

CAPITULO VI

CALCULO DE LA CSPN, POTENCIA DE LA BOMBA Y VERTEDERO

6.1 Cálculo de la columna de succión positiva neta disponible (cspn)

La cspn es la presión disponible o requerida (metros de líquido), para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de la bomba.

Para el cálculo se debe conocer varios datos los mismos que son suministrados por tablas dadas por el fabricante y otras, a través de textos.

Datos generales :

- Líquido a bombear: Agua.
- Viscosidad cinemática del agua a 20° C: $1,13 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$.
- La mayor parte de tubería en la succión, que se encuentra instalada en el Banco Hidráulico es PVC con diámetros que varían de $1\frac{1}{4}$ a 1 pulgada , además existe un pequeño tramo de tubería de caucho (hule) de 9,4 cm.

Para realizar la unión del tanque de carga o abastecimiento de agua, se necesita de diferentes accesorios tales como: válvula de pie, codos, uniones, reducciones, ampliaciones.

- Caudal máximo de la bomba de 10.5 gpm¹, a una altura de succión de 10 pulgadas; ($6,62 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ ó $0,66 \text{ lt} / \text{s}$), (Anexo 5).
- Altitud de trabajo de la bomba: 2577m sobre el nivel del mar, (UTA²).
- Para el cálculo de la potencia de la bomba se necesita la eficiencia de la misma, se asume 80%, se toma éste valor ya que ninguna bomba opera al 100% de eficiencia, al realizar el cálculo con dicho valor se obtiene resultados muy cercanos al real.
- Peso específico del agua (γ) $9810 \text{ N} / \text{m}^3$ ($1000 \text{ kgf} / \text{cm}^3$).

El esquema de la tubería de succión con sus accesorios se indican en el Anexo A9.

Desarrollo:

La velocidad máxima de circulación del agua es:

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{Q}{A} \quad (\text{Para caudal máximo})$$

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{\left(6,62 \times 10^{-4}\right) * 4}{\pi(0,03175)^2} = 0,84 \text{ m/s}$$

6.1.1 Pérdidas por Fricción en la succión

¹ Caudal dada por el fabricante de bombas centrífugas marca Myers.

² Página web de la Universidad Técnica de Ambato.

La pérdida por fricción (H_f), es la pérdida de energía producto de la resistencia que la cañería opone al paso del agua.

Para el tramo de PVC con diámetro de $1\frac{1}{4}$ de pulgada; (0,03175 m)

$$Hf_{pvc_1} = JL_{pvc}$$

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 * C_{pvc})^{1.85} * D^{4.86}}$$

$$C = 150; (\text{Anexo A1})$$

$$J = \frac{(6,62 \times 10^{-4})^{1.85}}{(0,28 * 150)^{1.85} * (0,03175)^{4,86}} = 2,5 \times 10^{-2}$$

$$Hf = 2,5 \times 10^{-2} * 0,49$$

$$\underline{Hf = 1,23 \times 10^{-2} \text{ m.}}$$

Para el tramo de PVC con diámetro de 1 pulgada

$$Hf_{pvc_2} = JL_{pvc}$$

$$J = \frac{(6,62 \times 10^{-4})^{1.85}}{(0,28 * 150)^{1.85} * (0,0254)^{4,86}} = 7,38 \times 10^{-2}$$

$$Hf = 7,38 \times 10^{-2} * 0,075$$

$$\underline{Hf = 5,53 \times 10^{-3} \text{ m.}}$$

Para el tramo con HULE (caucho)

$$Hf_{hule} = JL_{hule}$$

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 * C_{hule})^{1.85} * D^{4.86}}$$

$$J = \frac{(6,62 \times 10^{-4})^{1.85}}{(0,28 * 125)^{1.85} * (0,0254)^{4,86}} = 0,103$$

$$Hf = 0,103 * 0,094$$

$$\underline{Hf = 9,7 \times 10^{-3} \text{ m.}}$$

Por lo tanto las pérdidas totales por fricción son :

$$Hf_T = Hf_{pvc_1} + Hf_{pvc_2} + Hf_{hule}$$

$$Hf_T = 2,7 \times 10^{-2} \text{ m}$$

6.1.2 Pérdidas Localizadas (Accesorios)

Las pérdidas menores (H_s), o cargas menores se producen cuando la tubería induce el agua a cambiar de dirección. Estas se pueden producir por codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta.

$$Hs = k \frac{v^2}{2g}$$

Para la válvula de pie; $k = 2,50$ (Anexo A2)

$$Hs_1 = 2,50 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_1 = 8.78 \times 10^{-2} m}$$

Para la contracción brusca $1\frac{1}{2}"$ a $1\frac{1}{4}"$; $k = 0,42$ (Anexo A2)

$$Hs_2 = 0,42 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_2 = 1,47 \times 10^{-2} m}$$

Para el codo de 90° ; $k = 0,90$ (Anexo A2)

$$Hs_3 = 0,90 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_3 = 3,16 \times 10^{-2} m}$$

Para la contracción brusca $1\frac{1}{4}"$ a $1"$; $k = 0,42$ (Anexo A2)

$$Hs_4 = 0,42 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_4 = 1,47 \times 10^{-2} m}$$

Para la expansión brusca 1" a 1¼" ; $k = 0,92$ (Anexo A2)

$$Hs_5 = 0,92 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_5 = 3,23 \times 10^{-2} m}$$

Para la contracción brusca 1¼" a 1" ; $k = 0,42$ (Anexo A2)

$$Hs_6 = 0,42 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_6 = 1,47 \times 10^{-2} m}$$

Para la expansión brusca 1" a 1¼" ; $k = 0,92$ (Anexo A2)

$$Hs_7 = 0,92 \frac{(0,83)^2}{19.62}$$

$$\underline{Hs_7 = 3,23 \times 10^{-2} m}$$

Las pérdidas totales por accesorios son :

$$Hs_T = Hs_1 + Hs_2 + Hs_3 + Hs_4 + Hs_5 + Hs_6 + Hs_7 = 22,9 \times 10^{-2} m$$

La pérdida total en el sistema es :

$$H_{total} = Hf_T + Hs_T$$

$$H_{total} = 2,7 \times 10^{-2} + 22,9 \times 10^{-2} = \underline{\underline{25,6 \times 10^{-2} m.}}$$

Para el cálculo de la columna de succión neta se utiliza la siguiente fórmula:

$$cspn_d = pb \pm he - H_{total} - \frac{pv}{\rho g}$$

siendo:

p_b : Presión barométrica.

p_v : Presión de vapor.

h_e : columna de succión estática igual a 0.12m (distancia del eje de la bomba al nivel máximo del líquido).

La succión teórica máxima posible con agua a 2577 m sobre el nivel del mar es aproximadamente de 7,37m, (interpolando en Anexo A6). Sin embargo, el agua a 20 ° C tiene una densidad de 0,998 (Anexo A7), luego:

$$p_b = \frac{Stm}{densidad} = \frac{7,37m}{0,998} = 7,38m$$

La presión de vapor a 20 ° C es de 0,0239 Kg / cm² (0,239 mca) = 239Kg / m², (Anexo 7) por lo tanto:

$$cspn_d = 7,38 + 0,12 - 0,256 - \frac{239}{1000}$$
$$cspn_d = 7,01m$$

6.2 Potencia de la bomba

La potencia de la bomba está dada por la siguiente fórmula.

$$P_{bomba} = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta}$$

Siendo:

γ : Peso específico, (Agua: 1000 Kg/m³)

η : Eficiencia de la bomba

H : Altura Dinámica total:

$$H = Elevación_{carga_descarga} + Elevación_{reserva} + Hf + Hs$$

Elevación_(carga_descarga) = cota de llegada-distancia del eje de la bomba

Cota de llegada: Altura desde la base del tanque de descarga hasta la entrada del tanque de carga.

Elevación_{reserva} = Altura mínima del líquido para que la bomba se encuentre cebada

Por lo tanto:

$$H = 0,34m + 0,07m + 2,7 \times 10^{-2}m + 22,9 \times 10^{-2}m$$

$$H = 0,666m$$

$$P_{bomba} = \frac{1000 \times 6,62 \times 10^{-4} \times 0,666 \times 9,8}{0,80 \times 746} =$$

$$P_{bomba} = 0,01 \text{ hp}$$

Se escogió una bomba de 0,5 hp que se encontró en el mercado.

6.3 Dimensionamiento del vertedero triangular

Los parámetros que se van a calcular en el vertedero de cresta delgada de forma triangular con ángulo de 90° son, (Fig. 6.1):

B: Longitud de la carga para cada uno de los niveles.

w: Altura del vértice hasta la parte inferior del vertedero.

h: Define la altura medida desde el nivel del agua hasta el vértice del vertedero, (carga hidráulica).

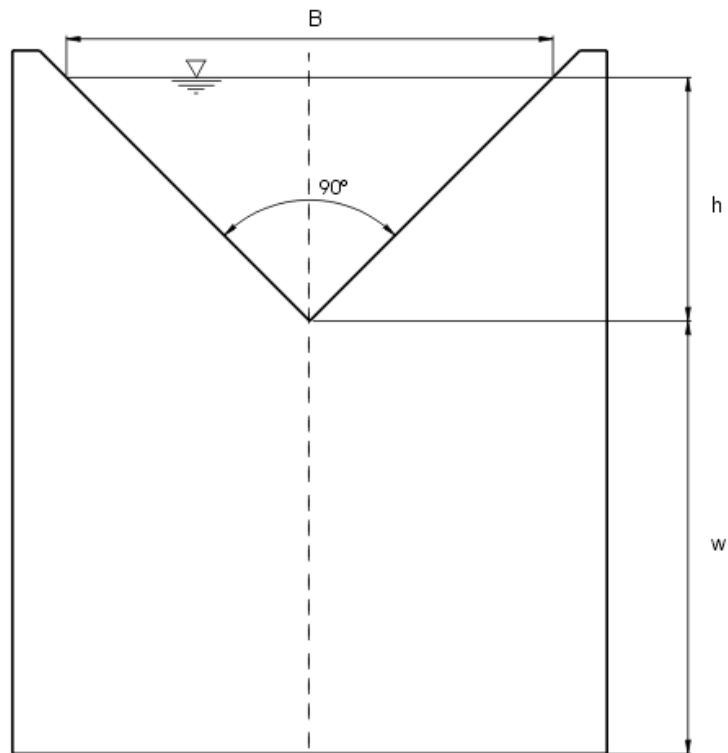


Fig. 6.1 Partes del vertedero

El vertedero se dimensionará a partir de la siguiente fórmula³, (Anexo A3):

$$Q = 1.42h^{5/2} \quad (6.1)$$

Válida para $\theta = 90^\circ$

Con cargas, (h) de $0.04m \leq h \leq 0.25m$ y $w \geq 3h$.

³ Barr (1909), fórmula para calcular Caudal en un vertedero triangular.

Para encontrar los parámetros del vertedero, se necesitará un caudal conocido, el mismo que se obtendrá en tablas dadas por el fabricante, (Anexo A5), que será el caudal de diseño.

Utilizando la ecuación (6.1)

$$6,62 * 10^{-4} = 1,42h^{5/2}$$

$$h^{5/2} = 4,66 * 10^{-4}$$

$$h = 0,046m$$

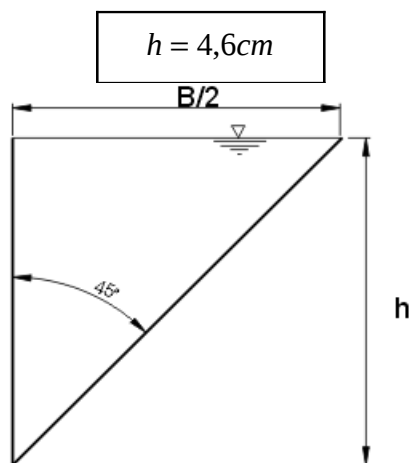


Fig. 6.2 Carga de Agua.

$h = 4,6 = B/2$; por triángulo rectángulo \therefore

$$B = 9,2cm$$

w es un parámetro que se asume.

$$w = 17cm$$

$$0.04m \leq 0,046m \leq 0.25m \quad y$$

$$17cm \geq 13,8cm$$

Los parámetros cumplen con los requerimientos de la fórmula.

Después de realizar los cálculos se determina que:

- Los vertederos triangulares son recomendables para medir gastos inferiores a 30 litros por segundo.
- Los vertederos triangulares tienen una precisión mejor que la de los vertederos rectangulares.
- El vertedero triangular es más sensible a cualquier cambio en la rugosidad de la placa y, también, requiere mayor exactitud en las mediciones de las cargas.
- Se utilizará como medidor de caudal un vertedero triangular, debido a que en las diferentes prácticas se utilizarán caudales pequeños.
- El instrumento utilizado para medir el caudal, será un vertedero de pared delgada de tipo triangular con ángulo de 90°.

- El vertedero será construido en plástico, por que es un material que permitirá ejecutar exactamente las dimensiones y requerimientos del vertedero triangular diseñado.
- El un costado del tanque de descarga será de vidrio, pues se requerirá observar las mediciones de altura para cada caudal específico.
- La unión del vidrio, y el vertedero al tanque de carga se lo realizará mediante una pega especial con nombre comercial *SIKAFLEX 252*; debido a que se deberá controlar en un 100 % las fugas que pudieran darse.

6.4 Datos y cálculos para la práctica.

DIMENSIONES DEL VETEDERO TRIANGULAR

Longitud = 220 mm.

Altura = 238 mm.

Altura de vértice de la cresta = 169 mm.

Angulo = 90°

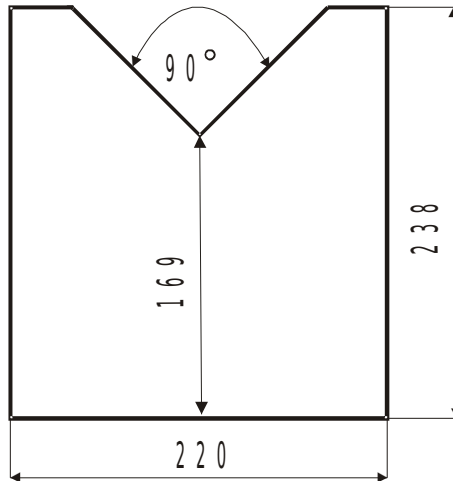


Fig. 6.3 Dimensiones del vertedero

Datos:

Datos registrados: ***h***. (carga hidráulica) , ***Q***.(Caudal real del agua para cada toma, observando en el caudalímetro), ***t*** (tiempo para cada medición de caudal).

- ***h*** = Altura total para cada medición de caudal – 169 mm.

Datos a calcular:

- Las constantes ***K*** y ***m***.
- Ecuación de patronamiento: $Q = Kh^m$.

Para el desarrollo de la práctica del laboratorio se seguirá los pasos dados en la **GUÍA DE LABORATORIO** descrito en el **ANEXO A10**.

6.5 Desarrollo de la práctica de laboratorio

En el cuadro No.1, registrar los siguientes valores: Número de ensayo, h (mm.), V (litros), t (segundos), Q (lt / seg.). Grafique las curva Caudal (Q) vs. Carga hidráulica (h).

Cuadro No 1.

Tema: Flujo sobre vertedero triangular de pared delgada. Cálculo de caudal (Q)

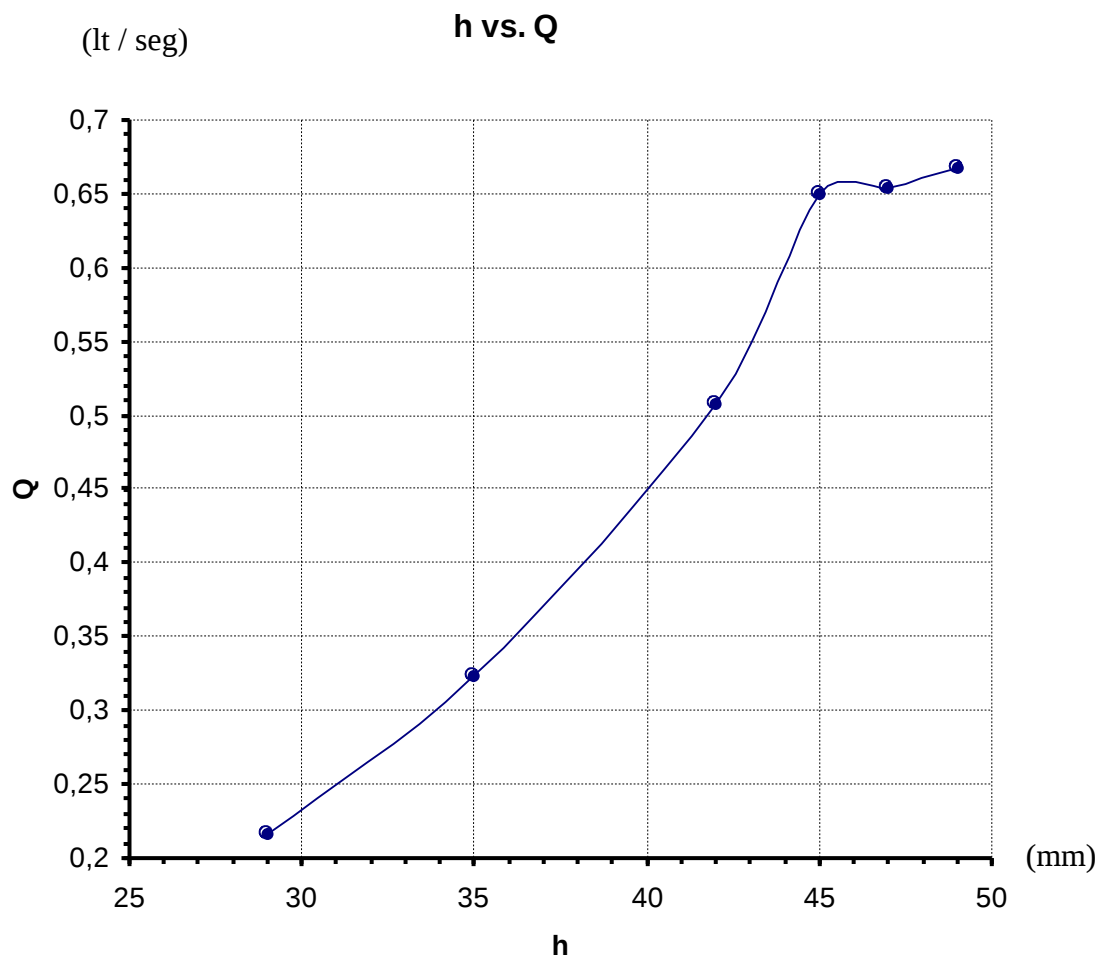
Calculado por : D.E. - V.G.

Ensayo No.	h(mm)	V (litros)	t (seg)	Q(lt/seg)
1	29	1	4,63	0,216
2	35	1	3,1	0,323
3	42	1	1,97	0,508
4	45	1	1,54	0,65
5	47	1	1,53	0,654
6	49	1	1,5	0,667

Grafico No. 1

Tema: Carga hidráulica (h) vs. Caudal (Q) .

Graficado por : D.E. - V.G.



En el cuadro No.2, Calcular los datos para realizar el ajuste de la curva, determinar los coeficientes K y m , encontrar la ecuación de patronamiento y graficar la misma.

Cuadro No 2.

Tema: Datos para ajuste de Curva.

Calculado por : D.E. - V.G.

Ensayo No.	x Log h	y Log Q	x²	x*y
1	1,462	-0,666	2,139	-0,973
2	1,544	-0,491	2,384	-0,758
3	1,623	-0,294	2,635	-0,477
4	1,653	-0,187	2,733	-0,309
5	1,672	-0,184	2,796	-0,308
6	1,690	-0,176	2,857	-0,297
Sumatoria	9,645	-1,998	15,543	-3,124

Para calcular las constantes de la ecuación utilizar el siguiente sistema de ecuaciones por mínimos cuadrados:

$$a_0 n + a_1 \sum x = \sum y$$

$$a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 = \sum xy$$

Reemplazando los valores correspondientes se tiene:

$$6a_0 + 9,645a_1 = -1,998$$

$$9,645a_0 + 15,543a_1 = -3,124$$

De donde los valores de las constantes son los siguientes:

$$a_0 = -3,983$$

$$a_1 = 2,271$$

Para las constantes de la ecuación se tiene:

$$K = 10^{a_0}$$

$$K = 10^{-3,983}$$

$$\underline{K = 1,040 * 10^{-4}}$$

$$m = a_1$$

$$\underline{m = 2,271}$$

Por lo tanto la Ecuación de patronamiento del vertedero triangular es la siguiente:

$$Q = Kh^m$$

$$\underline{\underline{Q = 1,040 * 10^{-4} h^{2,271} \quad (\text{lt} / \text{seg})}}$$

En el cuadro No.3, calcular los valores de **Qc** (Caudal obtenido a partir de la ecuación de patronamiento).

Cuadro No 3.

Tema: Caudales calculados a partir de la ecuación.

Calculado por : D.E. - V.G.

Ensayo No.	<i>h</i> (mm)	Qc (lt/seg)
1	29	0,216
2	35	0,334
3	42	0,505
4	45	0,591
5	47	0,654
6	49	0,717

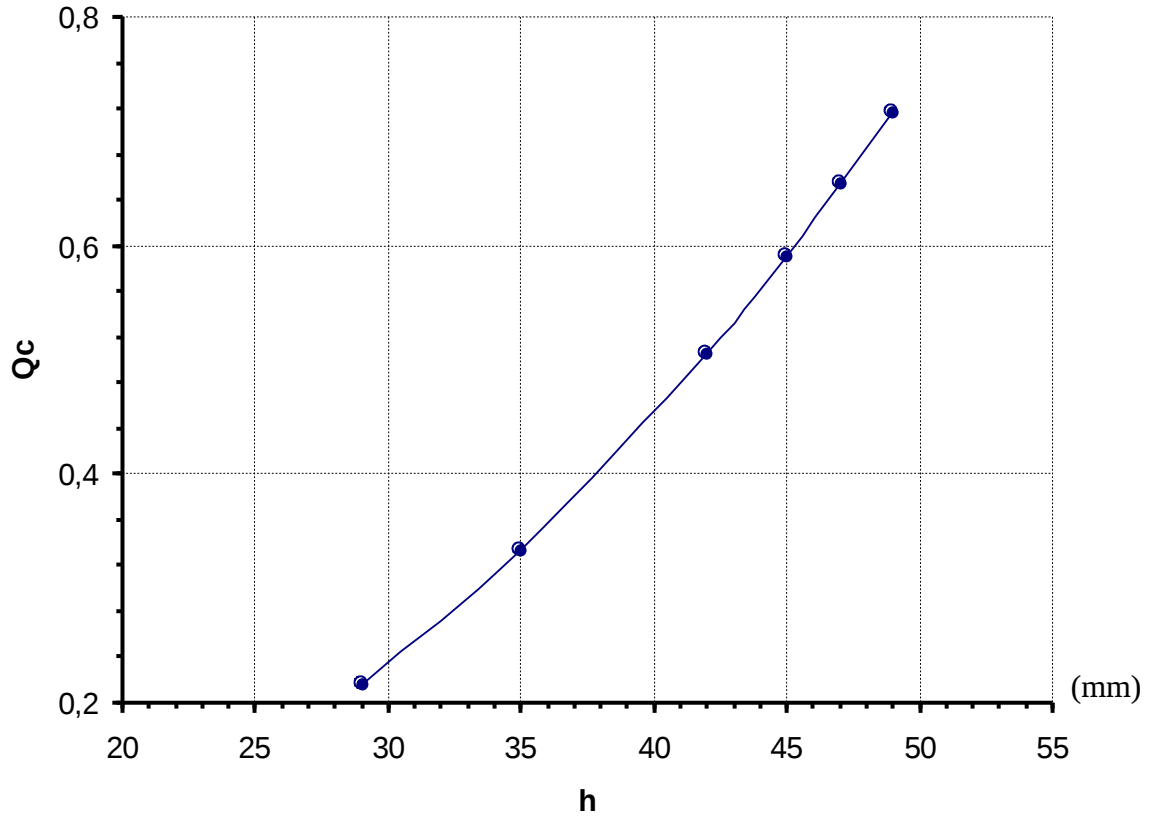
Grafico No. 2

Tema: Ecuación de patronamiento .

Graficado por : D.E. - V.G.

$$Q_c = 1,040 \cdot 10^{-4} h^{2,271} \text{ (lt / seg)}$$

(lt / seg)



CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El diseño y la construcción del banco hidráulico se logró finalizar con satisfacción.
- Con la construcción del banco se puede obtener datos en forma real y utilizarlos para realizar diferentes cálculos.
- Para la construcción de los tanques se escogió el material apropiado para el tipo de trabajo que se va a realizar.
- Por la facilidad que presta el vertedero de pared delgada, es mayormente aplicada en el aforamiento de caudales pequeños.
- La fibra de vidrio utilizado en el banco hidráulico satisface plenamente los requerimientos de esfuerzos y resistencia a la corrosión del agua.
- Las dimensiones de los tanques satisfacen con los requerimientos de agua para las prácticas que se realizan.

- A pesar de que la potencia de la bomba utilizada es sumamente mayor a la calculada no causa efectos en los resultados de las práctica.
- La principal dificultad que presenta el caso del vertedero triangular es que requiere un ángulo óptimo para obtener un calado confiable.
- La ecuación que se obtiene con el vertedero triangular de 90°, llega a valores de caudales con márgenes de error promedio en un rango de ± 3 a 4% que se obtuvo aplicando la fórmula $(\%E=(Q_R-Q_C) / Q_C)$, donde:

$\%E$: Porcentaje de error para cada medición

Q_R : Caudal real medido

Q_C : Caudal calculado con ecuación.

-

- Como conclusión después de realizar éste trabajo es necesario cerciorarse que en el mercado exista los materiales que se vayan ha utilizar en el banco hidráulico.

- Modelar una estructura básica y tratar de entenderla como actuará en la realidad para que cumpla con los requerimientos y especificaciones de diseño antes de que sea una estructura compleja con detalles; ya que se puede corregir mucho más fácilmente problemas en un sistema o modelo “simple”.

7.2 Recomendaciones

- Realizar periódicamente limpieza a los tanques.
- Utilizar agua con la menor cantidad de sedimentos posibles.
- Tener cuidado con el costado del tanque que es de vidrio pues es un material frágil.
- Poner como prioridad la seguridad cuando se este desarrollando la práctica con el sistema eléctrico, ya que el contacto de agua y electricidad se tiene una alto riesgo de accidentes.
- Adecuar un espacio suficientemente amplio para la colocación del Banco Hidráulico, que permita realizar la práctica de una manera cómoda, ya que

durante la realización de la práctica siempre existe agua que salpica lo que podría ocasionar daños a equipos que estén cercanos.

- Implementar un laboratorio específico para Hidráulica, en el que se complemente de manera funcional el banco hidráulico con los demás equipos de prácticas a realizarse.
- Al diseñar la estructura se debe considerar factores de seguridad que permitan obtener holgura a la carga máxima que pueden soportar.
- El laboratorio de Hidráulica deberá ser implementado con todas las herramientas necesarias para un desarrollo adecuado de los trabajos a realizarse en este.
- Se recomienda implementar un sistema automatizado para la medición de caudal por medio del vertedero.
- Para el desarrollo de la práctica se recomienda seguir la guía según el Anexo A10.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A1. Coeficiente de rugosidad¹ de Hazen-Williams para diferentes materiales.

MATERIAL	C
PVC	150
Acero	140
Asbesto Cemento	135
Hormigón Vibrado	130
Plástico Corrugado, Hule, Vidrio	125
Polietileno	120

ANEXO A2. Coeficientes de pérdida en accesorios².

Accesorio	Coeficiente K
Codo 90°	0.90
Válvula de pie	2.50
Llave de compuerta abierta 25%	24.00
Llave de compuerta abierta 50%	5.60
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula de no retorno	2.50
Contracción brusca	0.49
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.50	0.32
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.75	0.19
Expansión brusca	
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.25	0.92
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.50	0.56
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.75	0.19
Tee	1.80
Codo 45°	0.42
Codo cuadrado	1.80

¹⁻² Coeficientes C y K para pérdidas en tuberías y accesorios del texto Hidráulica de Tuberías del Dr. Jorge Lara (Universidad de Chile).

ANEXO A3. Formulas experimentales para determinar los coeficientes de gasto μ o C^3 , para vertederos triangulares con diferentes ángulos θ en el vértice. B representa el ancho del canal de llegada y w el desnivel entre el vértice del vertedero y el fondo de dicho canal. En cualquier caso, las formulas se expresan en el sistema MKS.

Autor	Formula	Límites de aplicación	Observaciones
Universidad de Chile	$C = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \mu K$	Vale para $15^0 \leq \theta \leq 120^0$ La Profundidad w no tiene influencia en el coeficiente de gasto	μ , coeficiente experimental que depende de h y θ según la Fig. 3.7. K es otro coeficiente que depende de B/h según la Fig. 3.8. y vale 1 si $B/h \geq 5$ para $\theta = 90^0$ y si $B/h \geq 2.75$ para $\theta = 45^0$
Gourley y Crimp	$C = \frac{1.32 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}{h^{0.03}}$	Vale para θ de $45^0, 60^0$ y 90^0 y para profundidad w grandes	Esta fórmula, sustituida en la ecuación 3.10b, conduce a la ecuación: $Q = 1.32 \tan(\theta/2) h^{2.48}$
Hegly (1921)	$\mu = \left[0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left\{ 1 + \left[\frac{h^2}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 90^0$ $0.10m \leq h \leq 0.25m$ y para profundidad w pequeñas	Es una formula, para vertederos con ángulo en el vértice $\theta = 90^0$.
Barr (1909)	$\mu = 0.565 + \frac{0.0087}{h^{0.05}}$	Vale para $\theta = 90^0$ con cargas $0.04m \leq h \leq 0.25m$ $w \geq 3h$	El valor medio $\mu = 0.593$ que resulta de esta fórmula corresponde bastante al resultado de Thompson (1861) y que sustituido en la Ec. $Q = 2,362 \mu h^{5/2}$, conduce a la ecuación $Q = 1.42h^{5/2}$
Koch (1923) Yarnall (1926)	$\mu = 0.58$	Vale para $\theta = 90^0$ con cargas muy grandes. $w \geq 3h$ $B \geq 8h$	No se limita con precisión el rango de validez

³ Tabla obtenida de: Hidráulica General de Sotelo, Gilberto.

ANEXO A4. Resistencia última a la tracción de distintos materiales⁴.

MATERIAL	Sut (Mpa)
Fibra de vidrio	30
Acrílico	34.47
Nylon	55.2
Silicones	5
Alquídicos	4
Fenólicos	5

⁴ Resistencias ultimas de varios materiales: Tutorial Wikipedia.

ANEXO A5. Capacidad en galones por minuto dadas por el fabricante de bombas Myers⁵.

QUICK DRAW™

½, ¾ & 1 Horsepower
Shallow and Deep Well
Quick Priming Jet Pumps

Shallow Well Selection Table

Pump Catalog No.	HP	Discharge Pressure, Lbs.	Capacity in U.S. Gallons Per Minute						Shut-Off Pressure
			Suction Lift						
			0'	5'	10'	15'	20'	25'	
QD50S	½	20	12.5	11.5	10.5	9	7.5	6	65 psi
		30	11	10	9.5	8	6.5	5	
		40	9	8	7.5	6	4.5	3	
		50	6.5	5.5	5	4	3	2	
QD75S	¾	20	20	18	16.5	15	13	10	65 psi
		30	19	17	15.5	14	12	9	
		40	16	14.5	12	11	9	8	
		50	9.5	8.5	7.5	6.5	4.5	3.5	
QD100S	1	20	26.5	24	22	19	16	13	62 psi
		30	25	23	21	18	15	11	
		40	20	18.5	16	13	10.5	7	
		50	12.5	11	9.5	7	5	---	

Deep Well Selection Table 20/40 PSI Pressure Switch Setting

Pump Cat. No.	HP	Average Regulator Setting	Jet Package Catalog Number			Vertical Distance in Feet from Pump to Low Water Level							
			Twin Type		Packer	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'
			4' Min. Well										
			Cast Iron	Bronze	2" Well	Capacity in U.S. Gallons Per Minute							
QD50D	½	22 psi	DW50-1	DW50	P50	10.5	9.5	8	6	5	4	2.5	---
QD75D	¾	26 psi	DW75-1	DW75	P75	16.5	13.5	10	8	7	6	4	3
QD100D	1	34 psi	DW100-1	DW100	P100	18	15.5	12.5	10	9	8	5.5	4.5

* Regulator not included

Deep Well Selection Table 30/50 PSI Pressure Switch Setting

Pump Cat. No.	HP	Average Regulator Setting	Jet Package Catalog Number			Vertical Distance in Feet from Pump to Low Water Level							
			Twin Type		Packer	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'
			4' Min. Well										
			Cast Iron	Bronze	2" Well	Capacity in U.S. Gallons Per Minute							
QD50D	½	22 psi	DW50-1	DW50	P50	9	8	7	5.5	4.5	3.5	---	---
QD75D	¾	26 psi	DW75-1	DW75	P75	15	12	10.5	7.5	6	5	3	2
QD100D	1	34 psi	DW100-1	DW100	P100	16.5	15	12	10	9	7.5	5	4

* Regulator not included

⁵ Tabla dada por el fabricante : Bombas hidráulicas Myers.

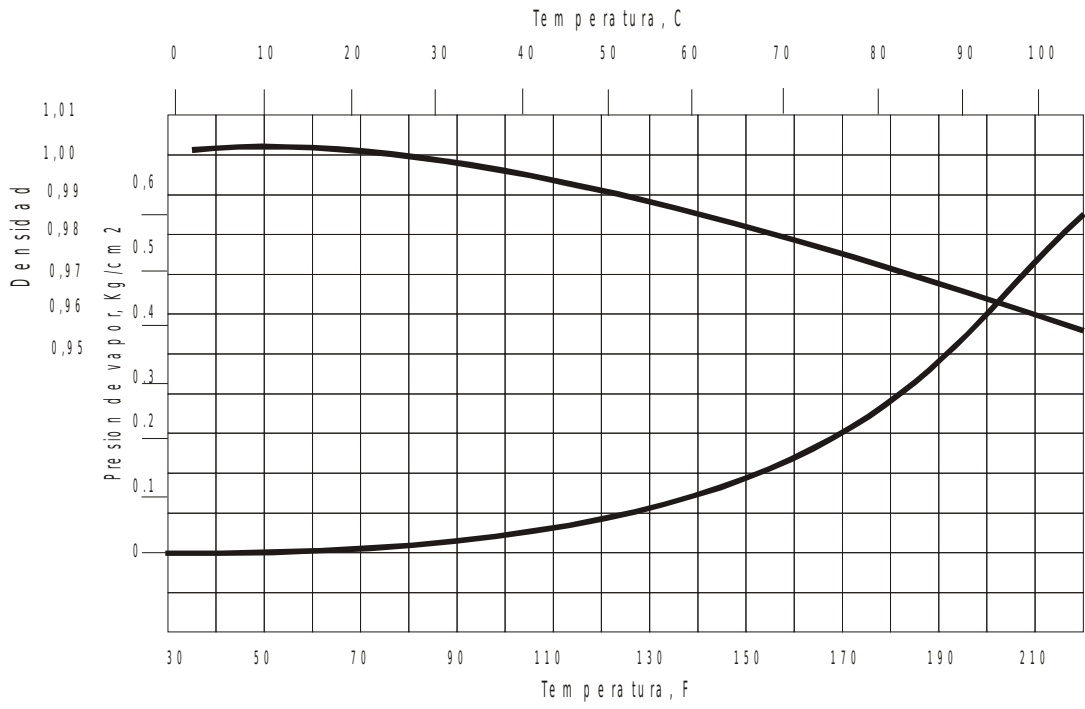
ANEXO A6. Succión teórica máxima a varias alturas⁶.

Altitud (m)	Presión barométrica (mca.)	Atmósferas (atm.)
-305	10.7	1.07
-152.5	10.5	1.05
0 (anm)	10.3	1.03
305	10.0	1.00
457.5	9.8	0.98
610	9,6	0.96
1220	8.9	0.89
1830	9.3	0.93
2440	7.7	0.77
3050	7.1	0.71
4575	5.8	0.58

ANEXO A7. Presión de vapor y densidad del agua a varias temperaturas⁷.

⁶ Tabla dada en texto: Bombas y su Aplicación de Tyler Hicks.

⁷ Diagrama de texto: Bombas y su Aplicación de Tyler Hicks.



ANEXO A10. Guía de laboratorio.

1. TEMA: Medición de caudal a través de un vertedero triangular.
2. INTRODUCCIÓN: (Conceptos, fórmulas, tablas)
3. OBJETIVOS:
 - Observar el comportamiento del agua a través del vertederos.
 - Registrar los datos para obtener las constantes de la ecuación: K y m .
 - Calcular la ecuación de patronamiento del vertedero en estudio: $Q = Kh^m$.
 - Comparar los valores reales de caudal con los obtenidos por la ecuación.
4. MATERIALES:
 - Banco hidráulico
 - Caudalímetro
 - Cronómetro

5. PROCEDIMIENTO:

- a) Revisar que el banco y todos sus accesorios estén correctamente instalados.
- b) Encender la bomba del banco y abrir la válvula ($\frac{1}{4}$ de vuelta), para abastecer de agua al tanque de carga.
- c) Hacer circular un caudal sobre el vertedero lo más pequeño posible y observar el comportamiento del chorro.
- d) Una vez que se estabilice el flujo, medir la carga h correspondiente usando la escala que se encuentra a un costado del tanque de carga.
- e) Medir el caudal real (volumen real / tiempo), usando el caudalímetro instalado en el banco y registrando el tiempo con el cronómetro.
- f) Aumentar el caudal (girar la válvula un poco), y repetir los pasos c) y d) para mas de cinco caudales.
- g) Anotar los resultados en el cuadro No.1. y graficar h vs. Q .

Cuadro No 1.

Tema: Flujo sobre vertedero triangular de pared delgada. Cálculo de caudal (**Q**)

Calculado por :

Ensayo No.	h(mm)	V (litros)	t (seg)	Q(lt/seg)

g) A partir de los valores (Q, h), obtenidos en el laboratorio, calcule las constantes K y m con el método de los mínimos cuadrados, anote los resultados en el cuadro No 2.

Cuadro No 2.

Tema: Datos para ajuste de Curva.

Calculado por :

Ensayo No.	x	y	x²	x*y
	Log h	Log Q		
Sumatoria				

h) Empleando la ecuación general $Q = Kh^m$ (Exponencial) , realizar el ajuste de curva, encontrar la ecuación de patronamiento y graficarla.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- http://www.es.wikipedia.org/wiki/fibra_de_vidrio

- <http://www.tecnoedu.com/tal.php>

- <http://www.fao.org/docrep/T08485/t088s06.html#vertederos>

- <http://www.tungurahua.gov.ec/tungurahua.php>

- http://es.wikipedia.org/wiki/fibra_de_vidrio

- <http://www.fmeyers/bombacentrifuga.html>