

CAPÍTULO 1

1. BANCO DE PRUEBAS HIDROSTATICAS

LABORATORIO 1.1

MEDICION DE DENSIDADES Y GRAVEDADES ESPECIFICAS

1.1.1 Introducción

La densidad representa la masa de fluido contenida en la unidad de volumen. Desde un punto de vista matemático, la densidad en un punto queda definido como unidad de masa sobre cantidad de volumen. Estrechamente asociado con la densidad esta el peso específico, que representa el peso de fluido por unidad de volumen.

1.1.2 Objetivos

- Determinar la densidad absoluta y relativa de algunos fluidos líquidos.
- Medir en forma directa la densidad absoluta de algunos fluidos utilizando el densímetro.
- Determinar la gravedad específica

1.1.3 Equipo

- Densímetros o Hidrómetro universal
- Probetas de 250 ml
- Fluidos de ensayo

1.1.4 Principios generales

La densidad específica o absoluta “ ρ ” representa la masa de un fluido contenida en la unidad de volumen.

$$\rho = \frac{\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \Delta m}{\Delta V} \quad [1.1.1]$$

Donde: ρ = densidad específica
 m = masa del fluido
 v = volumen del fluido.

La densidad de un líquido se mide con el densímetro, el cual consiste en un flotador lastrado de peso W , (ver figura 1) el cual se sumerge en una probeta llena de líquido, cuya densidad se quiere medir. Se basa en el principio de Arquímedes. El flotador se hundirá más en el líquido de menor densidad y desalojara más líquido.

La densidad absoluta depende de la temperatura y de la presión. La variación de la densidad de los fluidos es muy pequeña, salvo a muy altas presiones, lo cual permite que esta variación pueda despreciarse. La densidad del agua destilada a la presión atmosférica de 4°C es máxima e igual a:

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad [1.1.2]$$

Un fluido se puede considerar como un medio que posee continuidad en todas sus propiedades y ser estudiado bajo esta condición.

Se tiene, que: $p = \rho g V$ [1.1.3]

Como $p = W$, entonces:
$$\rho = \frac{W}{gV} = \frac{m}{V} \quad [1.1.4]$$

m es la masa del flotador, una constante del aparato, y V el volumen desalojado correspondiente a la división de la escala del flotador, que enrasa con el líquido, como m es constante, estas divisiones pueden estar graduadas directamente en densidades.

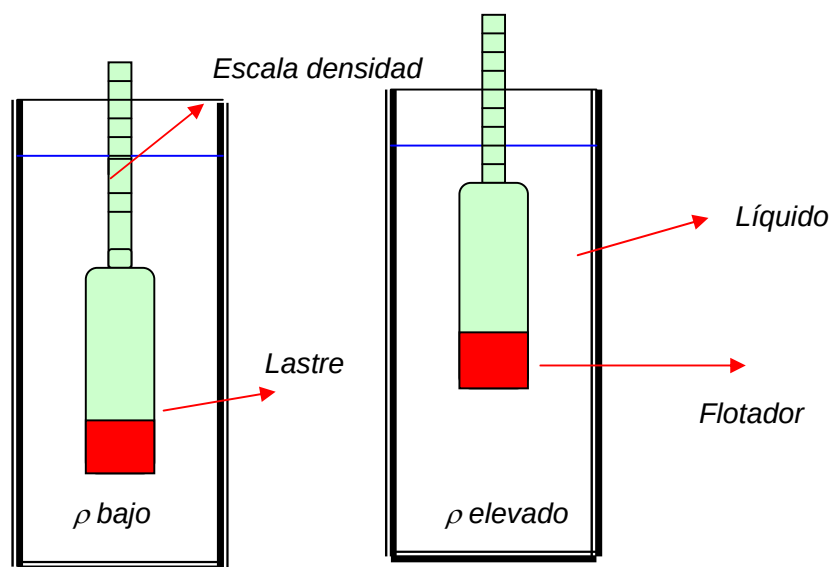


FIGURA 1 HIDROMETRO UNIVERSAL O DENSIMETRO

En los sistemas absoluto y gravitacional sus dimensiones son:

$$[\rho] = [M/L^3]$$

$$[\rho] = [F / (T^2 \cdot L^4)]$$

Las unidades respectivas son:

En el sistema cegesimal (CGS) : gr/cm^3

En el sistema métrico (MKS) : Kgr/m^3

En el sistema ingles: Lbs/pie^3

La gravedad específica o densidad relativa “S” de un cuerpo es adimensional que viene dado por la relación del peso del cuerpo entre el peso de un volumen igual de una sustancia que se toma como referencia. Los sólidos y líquidos utilizan como parámetro de referencia el peso específico del agua a una temperatura de 4°C. La densidad relativa esta en función de la temperatura y de la presión.

$$Peso\ específico = \frac{Densidad}{Densidad\ Del\ Agua} \quad [1.1.5]$$

1.1.5 Procedimiento

1. Llene una probeta de 250 ml de capacidad, con suficiente cantidad de agua de tal manera que el hidrómetro flote, y asegúrese que el nivel del agua alcance el nivel marcado en la escala.
2. Llene una probeta de 250 ml de capacidad, con cada uno de los líquidos sugeridos para ser examinados, de tal manera que el hidrómetro flote, y para cada líquido lea el valor correspondiente en la escala medida.
3. Calcule la densidad y la gravedad específica.

NOTA: Se sugiere que los fluidos utilizados sean el agua, aceite de motor, glicerina y aceite de resino, u otros fluidos.

1.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcule la densidad para cada uno de los líquidos mencionados, realizando un mínimo de tres lecturas para obtener un promedio con el uso del densímetro.
2. Calcule la gravedad específica “S” leída en escala con un mínimo de tres lecturas para obtener una media de estos datos.
3. Realice la lectura de los densímetros y consigne los datos en el cuadro 1.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.2

MEDICION DE LA VISCOSIDAD

1.2.1 Introducción

Se ha definido la viscosidad de un fluido como una medida de su resistencia a fluir, proveniente del resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. Se conocen dos tipos de viscosidad; la viscosidad dinámica que es función, principalmente, de la temperatura y la presión, y la viscosidad cinemática.

1.2.2 Objetivos

- Determinar la viscosidad de algunos fluidos, utilizando el método del viscosímetro de esferas.

1.2.3 Equipo

- Probetas de 250 ml
- Esferas de aleación, varios diámetros.
- Cronómetro, reglas, calibrador pie de rey.
- Distintos fluidos.

1.2.4 Principios generales

La viscosidad de un fluido es la propiedad que define la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes, debido a la cohesión entre moléculas. Al desplazarse unas moléculas con relación a las otras se produce una fricción.

Por otra parte, entre las moléculas del sólido existen fuerzas moleculares de adherencia. El coeficiente de fricción interna del fluido se denomina viscosidad, también se conoce como coeficiente de viscosidad absoluta o dinámica (μ).

El estudio de la viscosidad y de sus unidades se hace conveniente mediante la ley de Newton, que cumplen los fluidos newtonianos. Un líquido puede soportar esfuerzos de compresión, e igual esfuerzos cortantes o esfuerzos tangenciales, pero no de tracción. En los fluidos la deformación aumenta constantemente bajo la acción de esfuerzo cortante, por pequeño que este sea.

$$\tau = \frac{\mu}{dv/dy} \quad \frac{F}{A} = \tau \alpha \frac{dv}{dy} \quad \mu = \frac{\tau}{dv/dy} \quad [1.2.1]$$

Donde: μ = Coeficiente de viscosidad.

τ = Esfuerzo tangencial (tensión o esfuerzo cortante) F/A .

Unidades: Es muy corriente expresar la viscosidad dinámica en el sistema cegesimal (C.G.S).

$$1\mu = 1 \frac{\text{dina.sg}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm.sg}} = 1 \text{poise} \quad [1.2.2]$$

En hidrodinámica intervienen junto con las fuerzas debidas a la viscosidad las fuerzas de inercia en función de la densidad. La relación de la viscosidad dinámica, a la densidad del fluido, se denomina viscosidad cinemática, mide la resistencia de un fluido al fluir debido a su propio peso, y se expresa:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{sg}} = 1 \text{Stokes} \quad [1.2.3]$$

La viscosidad dinámica de los fluidos varía mucho con la temperatura, aumentando con la temperatura en los gases y disminuyendo en los líquidos; pero independiente de la

presión. En cambio, la viscosidad cinemática de los gases varía mucho con la presión y la temperatura, mientras que la de los líquidos solo varía con la temperatura.

Medición de la Viscosidad

La medición de la viscosidad se realiza por medio de aparatos denominados “Viscosímetros”, los cuales pueden ser básicamente de 3 tipos: Giratorios, De esfera y De tubo capilar. En estos aparatos se imparte al fluido un movimiento laminar, ya sea aplicándole una diferencia de presiones (Caso del viscosímetro de tubo capilar) o por el movimiento de un cuerpo (Viscosímetro de esfera) o de una superficie sólida (Viscosímetro giratorio).

En esta práctica de laboratorio se determinará la viscosidad de una sustancia cualquiera por medio del viscosímetro de esferas. En la siguiente figura se pueden apreciar las fuerzas que actúan cuando una esfera se suelta en el fluido, con una velocidad uniforme:

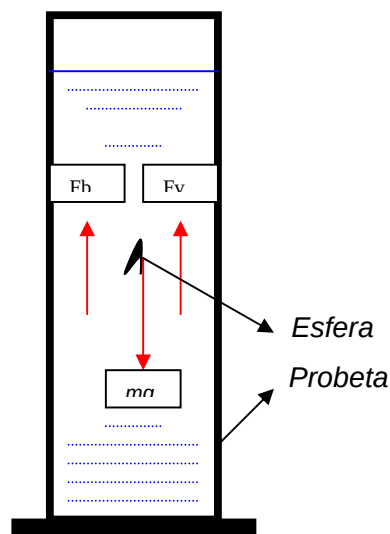


FIGURA 2 METODO DEL VISCOSÍMETRO DE ESFERAS

Se puede verificar la fuerza debido al peso de la esfera (mg) que es positiva, y otras dos fuerzas negativas, una de flotación o de empuje (F_b) y otra viscosa o de resistencia al movimiento (F_v), mediante la siguiente formula:

$$mg + Fb + Fv = 0 \quad [1.2.4]$$

Donde:

$$mg = \rho_1 * g * V$$

$$Fv = \rho_2 * g * V$$

$$Fv = 6 * \pi * \mu * r * vel \text{ (Según la Ley de Stokes)}.$$

Además:

ρ_1 = densidad del fluido de prueba.

ρ_2 = densidad del material de la esfera.

μ = coeficiente de viscosidad.

r = radio de la esfera

g = fuerza de gravedad.

Al sustituir valores en la ecuación [1.2.4] se tiene:

$$\rho_2 g V - \rho_1 g V - 6\pi\mu vel = 0 \quad [1.2.5]$$

Despejando el coeficiente de viscosidad, se tiene:

$$\mu = \left(\frac{2 * (\rho_2 - \rho_1) * g * r^2}{9 * vel} \right) \quad [1.2.6]$$

1.2.5 Procedimiento

1. Llene las probetas con liquido de prueba, y determine su densidad con el uso del densímetro.
2. Determine una distancia “d” en la probeta para medir el tiempo de caída de las esferas dentro del fluido.
3. Verifique el diámetro y peso de las esferas de prueba, calcule el volumen y densidad del material de las esferas.
4. Suelte una esfera en el líquido dentro de la probeta, y determine el tiempo que tarda en atravesar la distancia (d).
5. Repita los pasos anteriores para cada fluido de prueba y consigne los datos en el cuadro 2.

6. Basándose en los datos de densidad del fluido, de la densidad del material de la esfera y de su volumen, de la velocidad de caída de las esferas en el fluido, calcule el coeficiente de viscosidad absoluta (μ) y la viscosidad cinemática (γ).

1.2.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcule los tiempos de caída de las esferas realizando un mínimo de tres lecturas para obtener un promedio.
2. Calcule la velocidad de caída de las esferas.
3. Calcule la viscosidad absoluta y la viscosidad cinemática.
4. Consigne los datos en el cuadro 2.
5. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.3

MEDICION DE LA ELEVACIÓN CAPILAR

1.3.1 Introducción

Alrededor de cada partícula de un líquido que permanece en reposo se desarrollan fuerzas moleculares de cohesión, que actúan dentro de un pequeño campo de acción de radio determinado. Dentro de este líquido se producen fuerzas de cohesión. Estas fuerzas impulsan a las partículas inferiores a un movimiento en sentido ascendente que únicamente es posible al ejecutarse un trabajo por el movimiento de las partículas. Si un líquido está limitado por una pared sus moléculas son atraídas por las de la propia pared, si estas son mayores que las del líquido, éste se extenderá sobre el líquido, es decir, la moja. Si sucede lo contrario, el líquido repele a la pared se dice que no la moja, esta condición es conocida como ley de capilaridad.

1.3.2 Objetivos

- Medir la altura capilar en tubos de diferentes diámetros.

1.3.3 Equipo

- Aparato de tubos capilares.
- Calibrador o divisor.
- Un recipiente.

1.3.4 Principios generales

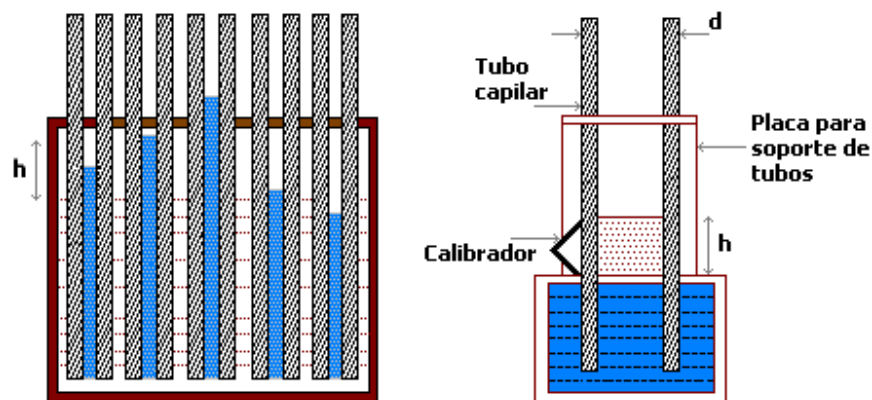


FIGURA 3 CORTES DEL APARATO DE TUBOS CAPILARES

Cuando un tubo de pequeño diámetro se sumerge en un líquido contenido en un recipiente, éste tiende a ascender o descender por el recipiente del tubo, arriba o abajo del nivel del líquido en el recipiente, dependiendo del ángulo de contacto entre la superficie del tubo y el líquido; a este fenómeno se le conoce como capilaridad.

La elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar se producen por la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido y de la adhesión entre el líquido y las paredes del tubo. Los líquidos ascienden en tubos que mojan (adhesión > cohesión) y desciende en tubos a los que no moja (cohesión > adhesión). La capilaridad es apreciable en tubos de diámetros aproximadamente menores a 10 mm, y depende del ángulo de contacto entre la superficie del tubo y el líquido.

La atracción capilar se origina por la acción combinada de la tensión superficial y el valor relativo de las fuerzas de adhesión entre el líquido y el sólido y fuerzas de cohesión en el líquido. En este caso, la tensión superficial ocasiona que el líquido suba a través de cualquier tubo vertical de diámetro pequeño que se encuentre parcialmente sumergido en el líquido.

En el caso de líquidos que no mojan al sólido, la tensión superficial tiende a abatir el menisco en un pequeño tubo vertical. Cuando no se conoce el ángulo de contacto entre el

líquido y el sólido, la elevación capilar se puede calcular asumiendo una determinada forma para el menisco.

Cuando el líquido moja perfectamente la pared del tubo, el ángulo es igual a cero, por lo tanto la altura efectiva que asciende el líquido se calcula mediante la siguiente expresión:

$$h = \frac{4 * \sigma}{\rho * g * d} \quad [1.3.1]$$

Donde: σ = tensión superficial del agua

ρ = densidad del líquido, para el ensayo utilizamos agua.

d = diámetro interno del tubo capilar.

NOTA: La tensión superficial del agua " σ " es igual a 0.074 N/m, a una temperatura de 20°C.

1.3.5 Procedimiento

1. Asegúrese que los tubos capilares estén perfectamente limpios. En el ensayo se utilizan 6 tubos de vidrio de una longitud de 157 mm, con los diámetros siguientes:

Diámetro	θ interno (mm)	θ externo (mm)
θ_1	0.50	5.50
θ_2	0.75	6.30
θ_3	1.85	8.00
θ_4	2.10	8.00
θ_5	2.40	8.80
θ_6	3.60	6.70

2. Llene el recipiente con agua hasta el nivel inferior del soporte de los tubos e introduzca los mismos.
3. Coloque una escala detrás de los tubos para medir la altura capilar.
4. Marque en la escala el nivel de agua en cada uno de los tubos.
5. Con un calibrador mida el valor de altura capilar en cada tubo.

1.3.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Defina el concepto de capilaridad.
2. Calcule la altura efectiva que asciende el líquido mediante la expresión [1.3.1] y consigne los datos para cada diámetro interno de los tubos antes mencionados.
3. Mida el valor de altura capilar con un calibrador y consigne los datos en el cuadro 3.
4. Calcule el porcentaje de error.
5. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.4

SUPERFICIE LIBRE DE UN LIQUIDO ESTATICO

1.4.1 Introducción

El ingeniero debe calcular las fuerzas ejercidas por los fluidos con el fin de poder diseñar correctamente las estructuras que los contienen.

En el análisis de su comportamiento se omite la naturaleza aleatoria de su distribución molecular, ya que se pueden considerar medios que poseen continuidad en todas sus propiedades y ser estudiados bajo esta suposición.

1.4.2 Objetivos

- Demostrar que la superficie libre de un líquido estático siempre es horizontal.

1.4.3 Equipo

- Recipiente de vidrio
- Tubos de vidrio, varias formas

1.4.4 Principios generales

El análisis riguroso del comportamiento de un fluido debería considerar la acción individual de cada molécula; sin embargo, en las aplicaciones propias de la ingeniería el centro de interés reside sobre las condiciones medias de velocidad, presión, temperatura, densidad, etc; de ahí que en lugar de estudiar por separado la conglomeración real de moléculas, se supone que el flujo es un medio continuo, es decir una distribución continua de materia sin espacios vacíos.

Por ello, es importante tener en cuenta que el nivel al que se encuentra la superficie libre de un líquido en un estado estático, es el mismo para recipientes de diferentes formas, en los que el fluido se encuentre teniendo como referencia un mismo nivel de partida.

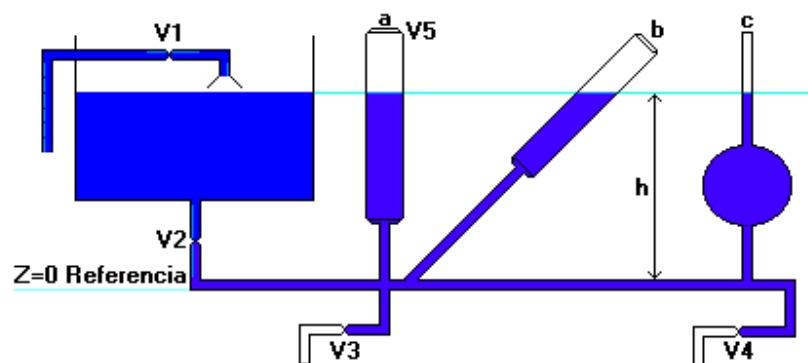


FIGURA 4 SUPERFICIE LIBRE DE UN LIQUIDO ESTATICO

1.4.5 Procedimiento

1. Asegúrese que Las válvulas “V2”, “V3” y “V4” estén cerradas.
2. Abra las válvulas “V2” y “V5”
3. Llene con agua el recipiente 1, hasta que el nivel del recipiente coincida con la primera línea horizontal, marcada en la escala.
4. Observe que el nivel en cada uno de los tres tubos es el mismo y coincide con el nivel del recipiente 1.
5. Repita los pasos 3. y 4., suministrando agua al recipiente 1 hasta que su nivel coincida con la segunda y tercera línea horizontal de la escala. Observe que el nivel del agua es el mismo para todos los tubos, independientemente de su tamaño o forma.

6. Extraiga agua del recipiente 1, abriendo la válvula “V3” y restablezca el nivel hasta la primera línea horizontal.
7. Cierre la válvula “V3” y asegúrese que la válvula “V1” este abierta, cierre también la válvula “V5”, localizada en la parte superior del tubo “a”.
8. Conduzca agua al recipiente 1, permita que el nivel en el recipiente 1 ascienda hasta la segunda y tercera línea horizontal en la escala. Observe que el nivel en el tubo “a” se encuentra por debajo de los niveles de los tubos “b” y “c”, mientras que en estos el nivel coincide con el nivel del recipiente 1.

1.4.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Defina el concepto de superficie libre horizontal
2. Que criterios hay que tener en cuenta para escoger el tipo de bomba adecuada para un proceso en el que es necesario aumentar la cabeza de presión.
3. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.5

EFECTO DE FLUJO EN LA SUPERFICIE LIBRE

1.5.1 Introducción

El conocimiento de las fuerzas ejercidas por los fluidos es de gran importancia, en el diseño y análisis en dispositivos tales como bombas, turbinas, cuerpos en movimiento, edificios y multitud de dispositivos hidráulicos. La experimentación que se realiza cada vez de una manera mas continua y extensa, proporciona nuevos datos para conocer las leyes de variación de los coeficientes fundamentales.

1.5.2 Objetivos

- Estudiar el efecto de flujo en la superficie libre.

1.5.3 Equipo

- Recipiente de vidrio.
- Tubos de vidrio, varias formas.

1.5.4 Principios generales

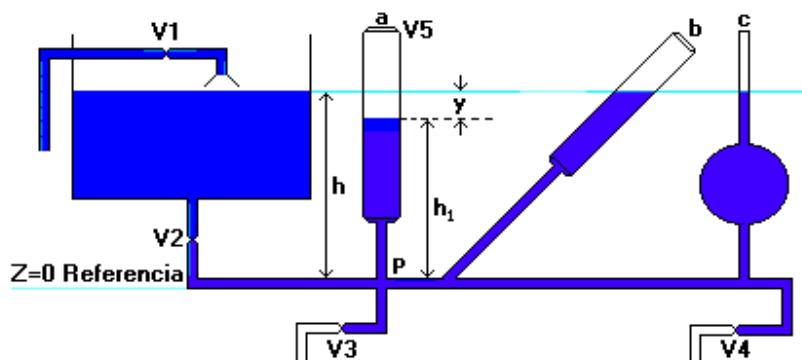


FIGURA 5 EFECTO DE UN FLUJO EN LA
SUPERFICIE LIBRE

Considerando la energía en la superficie libre del recipiente 1, y en el punto “P”, se deducen las consideraciones siguientes:

- a. La energía potencial de la superficie libre del líquido en el recipiente 1, con respecto a la referencia, es “h”.
- b. La energía en el punto “p”, tiene dos componentes que son:
 1. La energía de presión = $P / \rho g$
 2. La energía cinética específica = $V^2 / 2g$
- c. De la ley de conservación de la energía (La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma), se tiene los siguientes:

$$h = \frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} + \text{pérdidas} \quad [1.5.1]$$

Donde: h = energía potencial en la superficie libre del líquido.

P = presión en el punto “P”.

V = velocidad del flujo.

g = aceleración de la gravedad.

ρ = densidad del líquido.

- d. Por otro lado, las pérdidas pueden expresarse como:

$$\text{Pérdidas} = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad [1.5.2]$$

Donde: K = coeficiente de pérdidas por accesorios.

Sustituyendo la ecuación anterior, en la ecuación [1.5.1] y simplificando algebraicamente se obtiene la siguiente expresión:

$$h = \frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} * (1 + K) \quad [1.5.3]$$

También se puede expresar:

$$h_1 = h - \frac{V^2}{2 * g} * (1 + K) \quad [1.5.4]$$

Donde:

$$h_1 = \frac{P}{\rho * g} \quad [1.5.5]$$

$$y = \frac{V^2}{2 * g} * (1 + K) \quad [1.5.6]$$

Reemplazando las ecuaciones [1.5.5] y [1.5.6], en la ecuación [1.5.4], se obtiene:

$$h_1 = h - y \quad [1.5.7]$$

Para realizar el ensayo se parte de la siguiente información

- Volumen del recipiente (Vol) = 0.000002 m³
- Diámetro interno de la tubería = 0.0054 m
- Longitud recta tubería = 0.39 m
- Tiempo de llenado promedio (t), el cual resulta de varios aforos = 37.158 seg
- Sección de la tubería (A) = 0.0000229 m²

El caudal de salida y la velocidad de flujo respectivamente se obtienen reemplazando los valores anteriores necesarios, en las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad [1.5.8]$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad [1.5.9]$$

Las pérdidas por fricción se calculan con la siguiente ecuación:

$$f = 0.0985 * \frac{Q^{1.85}}{D^{4.866}} \quad [1.5.10]$$

$$hf = f * \frac{L * V^2}{2 * g * D} \quad [1.5.11]$$

Donde: f = coeficiente de pérdidas por fricción en mt/100mt.

hf = pérdidas por fricción.

L = longitud recta de la tubería en mts.

D = diámetro de la tubería en mts.

V = velocidad de flujo en m/seg.

g = aceleración de la gravedad en 9.81 m/seg².

Las pérdidas por accesorios “Hk”, se obtienen reemplazando los valores en la ecuación [1.5.2], para la cual el coeficiente de pérdidas para los tres accesorios “K”, tomado de tablas es igual a 0.5.

Pérdidas totales:

$$ht = hk + hf \quad [1.5.12]$$

El valor obtenido de las pérdidas totales lo comparamos con el valor leído en la escala por diferencia de alturas (hy). Calculamos el porcentaje de error:

$$\%E = \frac{hy - ht}{hy} * 100 \quad [1.5.13]$$

1.5.5 Procedimiento

1. Asegúrese que las válvulas “V2”, “V3” y “V4” estén cerradas.
2. Abra las válvulas “V1”, “V2” y “V5”.

3. Transfiera agua al recipiente 1, hasta que el nivel del líquido en el recipiente 1 coincida con la tercera línea horizontal marcada en la escala. (Observe que cuando el líquido está en estado de reposo, los niveles del líquido dentro de los tubos “a”, “b” y “c” coinciden con el nivel del recipiente).
4. Abra la válvula “V3” para drenar el sistema. Mediante el suministro de agua, permita que el nivel en el recipiente 1 permanezca constante.
5. Observe que el nivel de los tubos “a”, “b” y “c” se encuentra por debajo del nivel del recipiente 1. Esta pérdida de altura en la columna de agua se debe a la fricción ocasionada por el movimiento del líquido. Los tres tubos alcanzan el mismo nivel puesto que están conectados al mismo punto en el sistema, sin existir flujo del líquido entre ellos.
6. Cierre la válvula “V3” y abra la válvula “V4”, para evacuar el agua a través de la manguera y conducirla al drenaje. Mediante el suministro de agua, mantenga el nivel en el recipiente 1 constante.
7. Observe que los niveles en los tubos “a”, “b” y “c” están cada vez por debajo del nivel del recipiente 1, debido a las pérdidas por fricción ocasionadas por el movimiento del líquido a lo largo de la tubería. Las pérdidas en el tubo “a” son grandes en comparación con las pérdidas de los tubos “b” y “c”, debido a las longitudes relativas de los tramos de las tuberías.

1.5.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Explique para usted cual es el efecto de flujo en la superficie libre.
2. Defina a que se deben las pérdidas por accesorios en el ensayo y determínelas.
3. Defina a que se deben las pérdidas por fricción en el experimento y determínelas.
4. Como se obtiene las pérdidas totales y calcúlelas.
5. Calcule el porcentaje de error, entre la pérdida calculada y la experimental.
6. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.6

MEDICION DE LOS NIVELES DE LOS LIQUIDOS

1.6.1 Introducción

Para la medición del nivel al que se encuentra un cuerpo de un agua, se realizan lecturas con diferentes instrumentos a partir de un nivel de referencia; pero cuando se desea una mayor exactitud se emplean otro tipo de aparatos, como es el caso del calibrador de punta y gancho.

Este instrumento es empleado cuando se necesita precisión, de ahí la importancia de aprender su adecuada utilización.

1.6.2 Objetivos

- Medir los cambios en los niveles de los líquidos, utilizando el calibrador de punto y gancho.

1.6.3 Equipo

- Calibrador de gancho y punto.
- Recipiente de 600 ml.

1.6.4 Principios generales

Para medir el nivel de un líquido con mayor precisión, se emplea en muchas ocasiones un instrumento llamado "Calibrador de gancho y punta", el cual detecta cambios de niveles hasta de 0.10 milímetros.

El aparato consta de un tornillo acoplado al ajuste fino y otro tornillo conectado al vernier, una escala graduada para la toma de diferentes niveles de líquidos, y una punta de gancho que se conecta a la superficie libre del fluido.

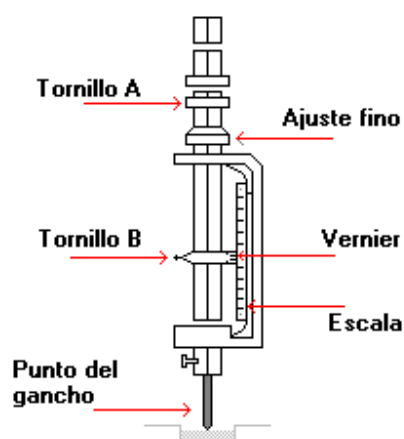


FIGURA 6 CALIBRADOR DE PUNTO Y GANCHO

1.6.5 Procedimiento

1. Asegúrese que las válvulas “V3” y “V4” estén cerradas, abra las válvulas “V1” y “V2”.
2. Suministre agua al recipiente 1.
3. Coloque el recipiente debajo del calibrador de punto y gancho.
4. Ajuste el punto del calibrador de punto y gancho, exactamente donde rompa la superficie libre del agua, cuando el gancho y su imagen se tocan. El ajuste se logra aflojando el tornillo “A” y bajando el gancho hasta ubicarlo cerca de la superficie libre; posteriormente, mediante el tornillo de ajuste fino ponga en contacto el gancho y su imagen.
5. Afloje el tornillo “B”, coloque el cero del vernier en un punto conveniente de la escala (podría ser el mismo cero), apriete el tornillo “B” y tome la lectura.
6. Suministre agua al recipiente para elevar el nivel del liquido.
7. Ajuste el calibrador de gancho exactamente donde rompa la nueva superficie libre, tal como se describe en el inciso (4).
8. Tome la nueva lectura en la escala.

9. Incremente el nivel del agua en el recipiente y realice nuevas lecturas.

10. Los resultados se muestran en el cuadro 4.

NOTA: Este tipo de aparato puede detectar cambios de niveles hasta de 0.1 mm.

1.6.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Explique en que consiste un calibrador de punto y gancho.
2. Que cambios observa al incrementar el nivel del agua en el recipiente y emplear el calibrador de punto y gancho.
3. Realice por lo menos 5 lecturas en el calibrador de gancho y recopile la información en el cuadro 4.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.7

BALANZA HIDROSTATICA

1.7.1 Introducción

Para la determinación del principio de Arquímedes se utiliza la balanza de palanca o hidrostática, tiene el inconveniente que su tamaño dificulta la realización de ensayos y la facilidad de lectura del instrumento, por lo tanto, en el laboratorio de la facultad de ingeniería se optó por construirla con dimensiones mas apropiadas. Lo esencial en este tipo de balanza es el eje de giro y los contrapesos.

Este aparato es el modelo ideal para determinar la densidad de cuerpos sólidos y el empuje hidrostático que reciben al ser sumergidos en el seno de un líquido.

1.7.2 Objetivos

- Determinar y verificar experimentalmente el principio de Arquímedes, determinando la magnitud de la fuerza hidrostática o empuje ejercida por el agua sobre cada émbolo sumergido.
- Comprobar experimentalmente que la pérdida aparente de peso de un cuerpo al sumergirlo en un líquido, depende de la densidad de este.
- Calcular el porcentaje de error entre los valores obtenidos tanto teórico como experimentalmente.

1.7.3 Equipo

- Balanza hidrostática, Figura 7.
- Recipiente con dispositivo de rebose
- Probeta graduada
- Juego de 6 pesas

- Recipientes metálicos
- Agua y aceite

1.7.4 Principios generales

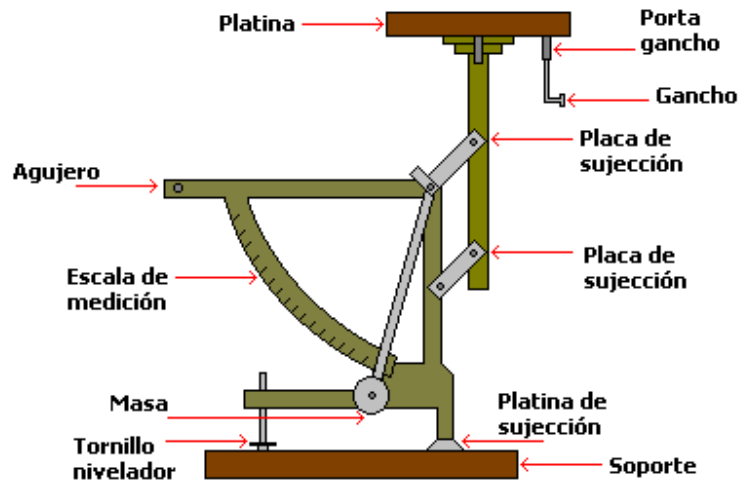


FIGURA 7 BALANZA HIDROSTATICA

La fuerza de flotación en un cuerpo sumergido es igual a la diferencia entre la presión que actúa verticalmente sobre su parte inferior y la fuerza de presión que actúa verticalmente sobre su parte superior.

Si todo el cuerpo se considera formado por un gran numero de prismas, entonces el empuje neto total en el cuerpo es:

$$Fb = \sum \Delta Fb = \sum (p_{11} * g * h_1 + p_{12} * g * h_2) * \Delta A \quad [1.7.1]$$

Donde: Fb= Empuje neto sobre todo el cuerpo.

ΔFb = Empuje neto sobre todo el prisma

Ph= Densidad del fluido i.

ΔA = Área de la sección transversal del prisma.

Además:

$\Sigma(h_1 \Delta A) = \text{Volumen del cuerpo sumergido en el fluido más ligero (} V_1 \text{)}.$

$\Sigma(h_2 \Delta A) = \text{Volumen del cuerpo sumergido en el fluido mas denso (} V_2 \text{)}.$

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se tiene:

$$F_b = p_{11} * g * V_1 + p_{12} * h * V_2 \quad [1.7.2]$$

Que es la fuerza gravitacional de la masa de fluido desplazado por el cuerpo.

Si analizamos la ecuación, se hará evidente que cuando un cuerpo está flotando libremente en un gas y un líquido, tales como aire y agua, ya que la densidad del gas en este caso aire, es despreciable comparada con la densidad del líquido, entonces la fuerza gravitacional de la masa de gas desplazada por el cuerpo será despreciable comparada con la fuerza gravitacional de la masa de líquido. Que es la fuerza gravitacional de la masa de líquido desplazado por el cuerpo.

Debe anotarse que el empuje simplemente es la fuerza vertical resultante debido al peso de fluido estático.

$$F_b = p_{12} * g * V_2 \quad [1.7.3]$$

El principio de Arquímedes señala que cuando un cuerpo está total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimentará un esfuerzo igual al peso de la masa de líquido desalojado por el mismo.

El peso de la cubeta y del cilindro en aire será:

$$m_1(g * m)$$

El peso de la cubeta con el cilindro inmerso en el líquido será:

$$m_2(g * m)$$

Por lo tanto el empuje sobre el cuerpo será:

$$Empuje = \frac{g(m_1 - m_2)}{10^3} \quad [1.7.4]$$

Peso de la cubeta = $m_3 * (g * m)$

Peso de la cubeta llena con agua = $m_4 * (g * m)$

Peso del agua = $m_4 - m_3$

La fuerza gravitacional de la masa de agua será:

$$F_{gravitacional} = \frac{g * (m_4 - m_3)}{10^3} \quad [1.7.5]$$

Del principio de Arquímedes, el empuje sobre el cuerpo es igual al peso del agua desalojada por el cilindro, es decir:

$$\frac{g * (m_1 - m_2)}{10^3} = \frac{g * (m_4 - m_3)}{10^3} \quad [1.7.6]$$

Simplificando algebraicamente esta igualdad obtenemos que:

$$m_1 - m_2 = m_4 - m_3 \quad [1.7.7]$$

Se tiene que el empuje teórico se calcula mediante la fórmula:

$$Fb = p_{11} * g * V \quad [1.7.8]$$

Donde: p_{11} = Peso específico del líquido

g = Aceleración de la gravedad

V = Volumen de líquido desplazado por el cuerpo.

Con este dato obtenido teóricamente y con los datos obtenidos experimentalmente podemos determinar el porcentaje de error del ensayo de la siguiente manera:

$$\%E = \frac{(Fb - (m_1 - m_2)) * 100}{Fb} \quad [1.7.9]$$

Si el valor de ($m_1 - m_2$) resulta mayor que el de Fb , entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$\%E = \frac{((m_4 - m_3) - Fb) * 100}{(m_4 - m_3)} \quad [1.7.10]$$

1.7.5 Procedimiento

1. Fijar la balanza para operar en un rango de 0 – 1000 gr, mediante el tornillo nivelador.
2. Suspenda la cubeta al alambre fino suspendido debajo del gancho del plato de la balanza y determine su peso m_3 .
3. Suspenda debajo de la cubeta el cilindro y determine su peso.
4. Sumerja completamente el cilindro en el recipiente con rebose lleno de agua hasta donde se indicó anteriormente y anote de nuevo las masas (m_2).
5. Determine el volumen V de líquido desplazado dado en la probeta graduada.
6. Llene la cubeta con el líquido contenido en la probeta y determine su masa (m_3).
7. Retire el cilindro y el recipiente con agua y mida la masa de la cubeta con el volumen V de agua.

1.7.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcular la magnitud de la fuerza gravitacional o empuje ejercido por el volumen de líquido desalojado por el cuerpo. Se determina también el valor experimental del empuje.

2. Se determinan los porcentajes de error una vez calculados los valores teóricos y experimentales.
3. Los anteriores valores calculados se colocan en el cuadro 6 de cálculos bajo su respectiva columna hasta completar con todos los ensayos que se realicen.
4. Se debe hacer un minucioso análisis de los resultados obtenidos. Se debe analizar tanto los valores teóricos como los experimentales y compararlos, lo mismo que los porcentajes de error obtenidos con estos valores.
5. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.8

APARATO DE ALTURA METACENTRICA

1.8.1 Introducción

Como su nombre lo indica, este aparato o modelo sirve para determinar la altura metacéntrica de cuerpos flotantes como son las embarcaciones. Por lo tanto, se dice, que cuando el centro de gravedad de un cuerpo esta situado debajo del centro de flotación, y el cuerpo esté sometido a algún cambio o desplazamiento angular por pequeño que sea, siempre existirá un momento a restaurar al cuerpo, llevándolo así a su posición original. Pero el equilibrio de cuerpos no esta limitado únicamente a estos casos sino que existen diversos casos en la práctica en donde el centro de gravedad esta por encima del centro de flotación. La estabilidad de un cuerpo se rige por la posición del punto llamado METACENTRO con relación al cuerpo de gravedad. Cuando el cuerpo esta en equilibrio estable, la distancia del centro de gravedad al metacentro o sea, la altura METACENTRICA tendrá siempre un valor positivo.

1.8.2 Objetivos

- Determinar la altura metacéntrica de un modelo, en este caso de un pontón.

1.8.3 Equipo

- Aparato de altura metacéntrica constituido por pontón, mástil, jinete ajustable, masa móvil, escalas, plomada, cubeta, Figura 8.

1.8.4 Principios generales

- **Equilibrio de Cuerpos Flotantes**

Un cuerpo que está flotando libremente deberá cumplir las siguientes condiciones para que se encuentre en equilibrio:

- El empuje deberá ser igual a la fuerza gravitacional actuante sobre el cuerpo.
- El centro de gravedad del cuerpo y su centro de flotación deberán estar sobre la misma línea vertical, además, se debe considerar que se pueden presentar efectos de desplazamiento lineal y angular del cuerpo.

El equilibrio de cuerpos flotantes no está limitado a aquellos casos en donde el centro de gravedad del cuerpo se encuentre situado por debajo del centro de flotación. Existen en la práctica un gran número de casos en los cuales el centro de gravedad está por encima del centro de flotación.

- Equilibrio Estable

Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio si por algún cambio de su posición original, por pequeño que este sea, existan fuerzas o momentos tendientes a restaurar el cuerpo a dicho punto.

Un cuerpo que se encuentre flotando sobre un líquido en reposo, posee una estabilidad de flotación en el sentido vertical.

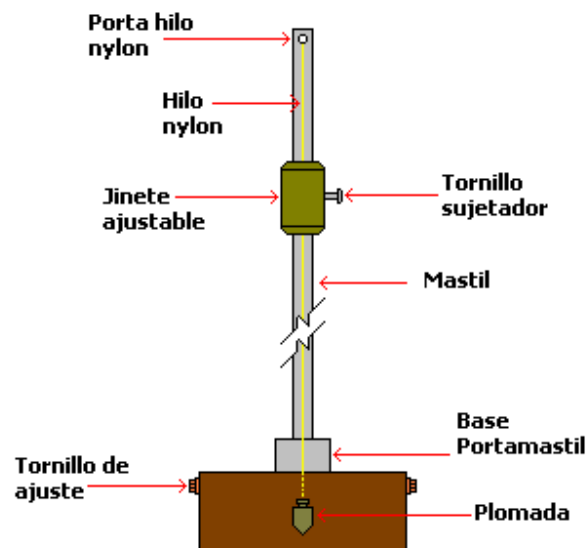


FIGURA 8 APARATO DE ALTURA METACENTRICA

- Estabilidad lineal

Es un tipo de estabilidad que presenta un cuerpo cuando al tener un pequeño desplazamiento lineal en cualquier dirección, se presentan fuerzas restauradoras que tienden a regresar al cuerpo a su posición original. Estas fuerzas actuarían únicamente en la misma dirección pero en sentido contrario.

- Estabilidad Rotacional

Es un caso mas complejo que el anterior en donde se presentan fuerzas restauradoras con pequeños desplazamientos angulares, por lo tanto, generando momentos estabilizantes en el cuerpo.

Un cuerpo completamente sumergido en un líquido, es rotacionalmente estable sólo cuando su centro de gravedad está por debajo de su centro de flotación.

- Equilibrio Inestable

Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio inestable cuando cualquier pequeño desplazamiento angular desarrolla un par de fuerzas que tenderá a incrementar el mismo.

Para el desarrollo del ensayo se realiza el siguiente análisis:

Se tiene que la altura metacéntrica:

$$GM = \left(\frac{\Delta m}{m} \right) * \left(\frac{X}{\text{Tag} \theta} \right) \quad [1.8.1]$$

Donde: Δm = Peso de la masa móvil, en Kgs.

θ = Angulo de inclinación, en grados.

X = Distancia desde el centro del pontón al peso movable, en mm.

m = Peso total del pontón, en Kgs.

Además, se tiene que:

$$BM = \frac{I}{V} \quad [1.8.2]$$

Donde: I = Segundo momento de área del plano de agua con respecto a los ejes longitudinales.

$$I = \frac{L * B^3}{12} \quad [1.8.3]$$

Donde: V = Volumen del agua desalojada.

BM = Distancia entre el centro de flotación y el metacentro.

Entonces se tiene:

$$GM = BM - BG \quad [1.8.4]$$

Con los datos obtenidos de GM experimental y GM teórico podemos encontrar el porcentaje de error del ensayo:

$$\%E = \frac{(GM_{teórico} - GM_{experimental}) * 100}{GM_{teórico}} \quad [1.8.5]$$

Si el valor de GM experimental resulta mayor que GM teórico entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$\%E = \frac{(GM_{experimental} - GM_{teórico}) * 100}{GM_{experimental}} \quad [1.8.6]$$

1.8.5 Procedimiento

1. Encuentre el peso de la masa desplazable.
2. Arme el modelo con el jinete ajustable en la parte superior del mástil. Obtenga el peso del modelo armado(m).
3. Determine la posición del centro de gravedad del modelo obteniendo el punto de balance (o de equilibrio) del modelo; esto se logra suspendiendo el modelo de un punto del mismo mediante una cuerda delgada (y).

4. Llene el recipiente en el que flotará el modelo, con agua.
5. Coloque el modelo con su masa móvil en la posición central dentro del líquido.
6. Desplace la masa hacia la derecha del centro del modelo en incrementos de distancia de 10 mm, hasta cubrir totalmente la escala graduada. Observe el desplazamiento angular del péndulo para cada posición de la masa móvil.
7. Repita el paso 6 desplazando la masa móvil a la izquierda del centro del modelo.
8. Repita los pasos 3,5,6 y 7 para diferentes posiciones del jinete ajustable, es decir, diferente centro de gravedad, anote los datos y resultados en los cuadros 7 y 8 respectivamente.

1.8.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcular la altura metacéntrica y la grafica de GM contra θ para comprobar el valor de GM cuando $\theta = 0^\circ$.
2. Determinar los porcentajes de error después de calcular los valores teóricos y prácticos.
3. Llenar las casillas correspondientes para el cuadro 8.
4. Realizar un análisis de los resultados obtenidos.
5. Determinar las posibles causa que llevaron a la obtención del porcentaje de error.
6. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.9

USO DEL MANÓMETRO DE MERCURIO DE UN TUBO EN “U” PARA MEDIR LA PRESION DEL AIRE

1.9.1 Introducción

La medida, la transmisión a distancia de la medida y el registro de presiones es muy frecuente en los laboratorios, para verificación de procesos industriales, para determinar junto con la temperatura el estado de un gas, a la entrada y salida de las máquinas de fluidos y como indicadores de seguridad de personas y equipos.

1.9.2 Objetivos

- Mediante la utilización de un manómetro de mercurio en “u”, determinar la presión de aire generado mediante una bomba de pistón.
- Calcular la presión manométrica ejercida por una bomba de pistón.

1.9.3 Equipo

- Tubo de vidrio, diámetro de 5 mm en forma de “u” o manómetro
- Líquido manométrico, mercurio.
- Bombín de pistón, válvulas y conductos

1.9.4 Principios generales

Los aparatos que sirven para medir las presiones se llaman manómetros y se pueden clasificar según el siguiente criterio (Mataix, 1982).

1. Según la naturaleza de la presión medida:

- Presión atmosférica P_{amb} : **barómetros**

- Presión relativa; P_e o presión con relación a la atmósfera: **manómetros** que miden las presiones positivas o sobrepresiones. Los **Vacuómetros** que miden las presiones negativas o depresiones.
- Medición de presión absoluta P_{abs} : **manómetro de presión absoluta**, se puede medir con un manómetro y un vacuómetro aplicando la siguiente ecuación:

$$P_{abs} = P_e + P_{amb} \quad [1.9.1]$$

- Instrumentos para medir diferencia de presiones: **manómetros diferenciales**.
- Instrumentos para medir presiones pequeñas: **micro manómetros**.

Tubos piezométricos

Es un tubo transparente de vidrio o plástico, recto o con codo, diámetro inferior a 5 milímetros para evitar efecto de capilaridad debido a la tensión superficial. Los tubos piezométricos sirven para medir la presión de un líquido, midiendo la altura de elevación (h) del mismo líquido en el tubo; de tal manera que la presión sería:

$$P = \rho * g * h \quad [1.9.2]$$

El principio de funcionamiento de un manómetro de tubo abierto o en “u”, con cierto líquido en su interior y utilizado para medición de presiones, se representa en las siguientes figuras:

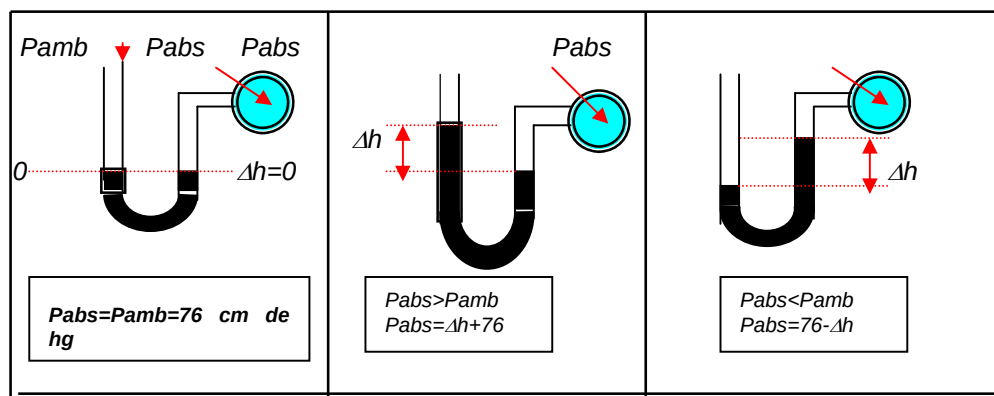


FIGURA 9 SUPERFICIE LIBRE DE UN LIQUIDO ESTATICO

1.9.5 Procedimiento

1. Cerrar la válvula V3 que comunica los manómetros de mercurio. Ver figura 10.
2. Conecte la bomba de pistón al acople del segundo manómetro
3. Presione el pistón de la bomba para generar presión y verifique el cambio en los tubos de los niveles de mercurio
4. Realice la lectura y calcule la presión para aire
5. Consigne los datos en el cuadro 9.

1.9.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Realizar el procedimiento anterior para un mínimo de 3 ensayos.
2. Tomar las lecturas y consignar los valores en el cuadro 9 de acuerdo a las unidades especificadas.
3. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.10

USO DEL MANÓMETRO DE MERCURIO DE UN TUBO EN “U” PARA DETERMINAR LA PRESION DIFERENCIAL

1.10.1 Introducción

Se han utilizado varios dispositivos para la medición de las presiones producidas por un líquido en reposo, llamados comúnmente manómetros. También se puede usar el barómetro para medir la presión atmosférica, es necesario frecuentemente medir la presión de otros fluidos. Para conseguirlo existen ciertos números de soluciones. Unos dispositivos algo mas complicados para la medida de presiones en los fluidos están constituidos por uno o varios tubos doblados que contienen uno o mas líquidos de densidades relativas diferentes.

1.10.2 Objetivos

- Mediante el uso del manómetro de mercurio en “u”, determinar y comparar la diferencia de presiones en un sistema de agua aire.

1.10.3 Equipo

- Dos manómetros de tubo en “U”, con mercurio
- Medidor de presión tipo Bourdon, rango de 0 a 60 PSI
- Calibrador de pesos muertos, con su respectivo pistón y cilindro
- Bombín de pistón, conductos y válvulas
- Calibrador de pesos muertos y varios pesos

1.10.4 Principios generales

Hay manómetros simples y manómetros diferenciales. Entre los manómetros simples, los mas importantes son el barómetro y el tubo piezometrico. El primero es un dispositivo para medir la presión atmosférica local; consiste en un tubo de vidrio lleno de mercurio, con un extremo cerrado y el otro abierto, sumergido dentro de un recipiente que contiene dicho elemento. El tubo piezometrico se emplea para medir presiones estáticas moderadas de un líquido que fluye dentro de una tubería; consiste en un tubo transparente de diámetro pequeño, conectado al interior de la tubería mediante un niple y con el otro extremo abierto a la superficie.

Los manómetros diferenciales, se dividen en abiertos y cerrados. Los manómetros abiertos consisten en un tubo transparente en forma de U, parcialmente lleno de un liquido pesado, comúnmente mercurio; uno de sus extremos se conecta de manera perpendicular a la pared que confina el flujo del recipiente que lo contiene, mientras que el otro extremo puede estar abierto a la atmósfera, en este caso se mide la diferencia de presiones entre dos puntos. Los manómetros cerrados, son provistos de un sistema mecánico de aguja y carátula graduada donde se leen directamente las presiones.

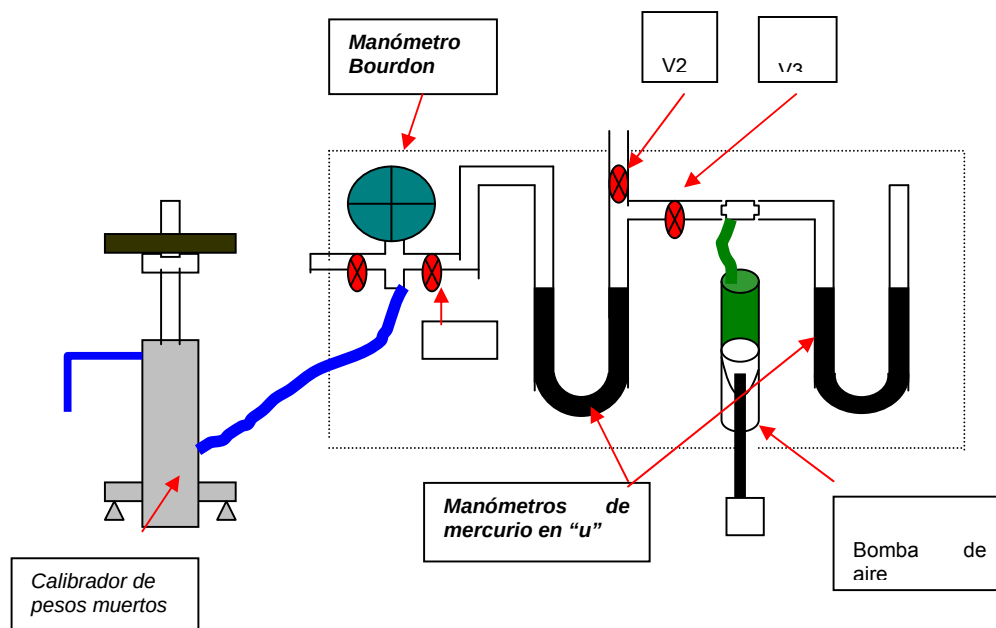


FIGURA 10 DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DE MANÓMETROS PARA DETERMINAR LA PRESIÓN DIFERENCIAL

1.10.5 Procedimiento

1. Cierre la válvula V3 y V1, luego abra la válvula V2
2. Nivele el calibrador de pesos muertos
3. Llene el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua e introduzca el pistón respectivo
4. Purgue el sistema con la válvula de ventilación adjunta al manómetro Bourdon
5. Reponga agua nuevamente en el cilindro del calibrador de pesos muertos e introduzca el pistón respectivo y abra la válvula V1, observe la diferencia en los niveles del primer manómetro de mercurio
6. Cerrar la válvula V2. Abra la válvula V3 e inicie a operar la bomba de pistón para generar aire a presión hasta que se vuelvan a nivelar las columnas de mercurio del primer manómetro y verifique la diferencia de niveles de mercurio en el segundo manómetro y la medida del manómetro Bourdon
7. Repita el paso anterior esta vez colocando masas conocidas sobre el pistón del calibrador de pesos muertos
8. Consigne los datos en la tabla y establezca las diferencias de presión para cada fluido analizado y estime el porcentaje de error
9. Calcule la presión generada en el primer manómetro debido a la fuerza del pistón sobre el área. Verifíquela y compárela con la medida en el Bourdon

1.10.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Realizar el procedimiento para un mínimo de 3 ensayos.
2. Anotar las lecturas tomadas en el manómetro y consignarlas en el cuadro
3. Calcular el porcentaje de error.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.11

USOS DEL MANOMETRO

1.11.1 Introducción

La presión se da comúnmente como presión absoluta o como presión manométrica. Las medidas de las presiones como presiones absolutas se refieren a la presión cero, que es la mínima presión alcanzable, es decir, al vacío absoluto. Las presiones manométricas están referidas a la presión atmosférica. Para diferenciar cuando una presión es manométrica o absoluta se añade detrás de la medida (man) o bien (ab); sino figura nada detrás de la medida se entiende, que es una presión manométrica.

1.11.2 Objetivos

- Visualizar la medida de la presión empleando el barómetro de mercurio.
- Realizar una calibración para un manómetro de presión tipo Bourdon.
- Obtener lecturas piezométricas con un manómetro de mercurio de tubo en “U” en agua.

1.11.3 Equipo

- Barómetro de mercurio
- Manómetro de mercurio de tubo en “U”
- Manómetro de presión tipo Bourdon
- Un recipiente abierto
- Calibrador de pesos muertos, varios pesos.

1.11.4 Principios generales

Barómetro de mercurio

El barómetro es un instrumento empleado para medir la presión atmosférica. Un barómetro sencillo está constituido por un tubo transparente de longitud superior a 762 mm hundido verticalmente por un extremo en un recipiente abierto que contiene mercurio; el tubo tiene cerrado su extremo superior y abierto el inferior, extremo por el que se introduce el mercurio por el interior del tubo. El mercurio asciende por el tubo hasta una altura aproximada de 762 mm al nivel del mar. Si el tubo es más largo de 762 mm existirá un vacío (presión próxima al cero absoluta). La presión que produce el ascenso del mercurio por el interior del tubo es la presión atmosférica; y, por supuesto, la altura alcanzada por el mercurio varía con la presión atmosférica reinante. El nivel alcanzado por el mercurio cambia las variaciones de la presión atmosférica; la lectura directa del nivel del mercurio proporciona la presión atmosférica como altura de presión (de mercurio) y, si se desea puede convertirse a unidades de presión.

Manómetro en “u” de líquido para medir presiones relativas

Mide presiones relativas positivas o sobrepresiones, negativas o depresiones, el líquido manométrico debe tener una viscosidad pequeña y bajo coeficiente de expansión térmica.

Manómetro de tubo Bourdon

En el interior del tubo elástico de Bourdon se ha hecho el vacío, la presión a medir actúa sobre el exterior del tubo. La sección del tubo es elíptica, bajo la influencia de la presión exterior la sección del tubo se deforma la cual se transmite a la aguja indicadora, para el caso de medición de presiones absolutas.

Para medir la presión relativa el principio de funcionamiento es el mismo del anterior a diferencia de que la presión a medir actúa ahora en el interior de la sección elíptica.

1.11.5 Procedimiento

Para la medición de la presión atmosférica empleando el barómetro de mercurio se sigue de la siguiente manera:

1. Hundir el barómetro por un extremo en un recipiente abierto que contiene mercurio.
2. El mercurio asciende por el tubo hasta una altura determinada.

3. Tomar la lectura

La medición de la presión manométrica con el manómetro de mercurio de tubo en “U” se determina así:

1. Cerrar la válvula que comunica los manómetros de mercurio
2. Conecte la bomba de pistón al acople del segundo manómetro
3. Generar presión a partir del empuje producido por el agua y verifique el cambio en los tubos de los niveles de mercurio
4. Realice la lectura y calcule la presión del agua

Para la calibración del manómetro tipo Bourdon se procede así:

1. Nivela el calibrador de pesos muertos
2. Llene el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua e introduzca el pistón respectivo
3. Purgue el sistema con la válvula de ventilación adjunta al manómetro Bourdon
4. Reponga agua nuevamente en el cilindro del calibrador de pesos muertos e introduzca el pistón respectivo y abra la válvula correspondiente, observe que no existe diferencia en los niveles del manómetro de mercurio. De ser así, inicie a operar la bomba de pistón para generar aire a presión hasta que se vuelvan a nivelar las columnas de mercurio del primer manómetro y verifique la diferencia de niveles de mercurio en el segundo manómetro y la medida del manómetro Bourdon.

1.11.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Realizar el procedimiento para un mínimo de 3 ensayos.
2. Anotar las lecturas tomadas en el manómetro y en el barómetro.
3. Recomendaciones y conclusiones.
4. Bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.12

CENTRO DE PRESION EN UNA SUPERFICIE PLANA

1.12.1 Introducción

La estática de fluidos estudia las condiciones de equilibrio de los fluidos en reposo, y cuando se trata solo de líquidos, se denomina hidrostática.

Para el ingeniero civil es importante tener en cuenta el estudio de los líquidos en reposo en sus diferentes ensayos.

1.12.2 Objetivos

- Determinar la posición del centro de presión en la cara frontal del toroide rectangular, triangular y trapezoidal.
- Calcular el porcentaje de error entre los valores teóricos y experimentales tanto de la fuerza de presión como del centro de presión.

1.12.3 Equipo

- Aparato de presión hidrostática.
- Toroides de diferentes formas geométricas.

1.12.4 Principios generales

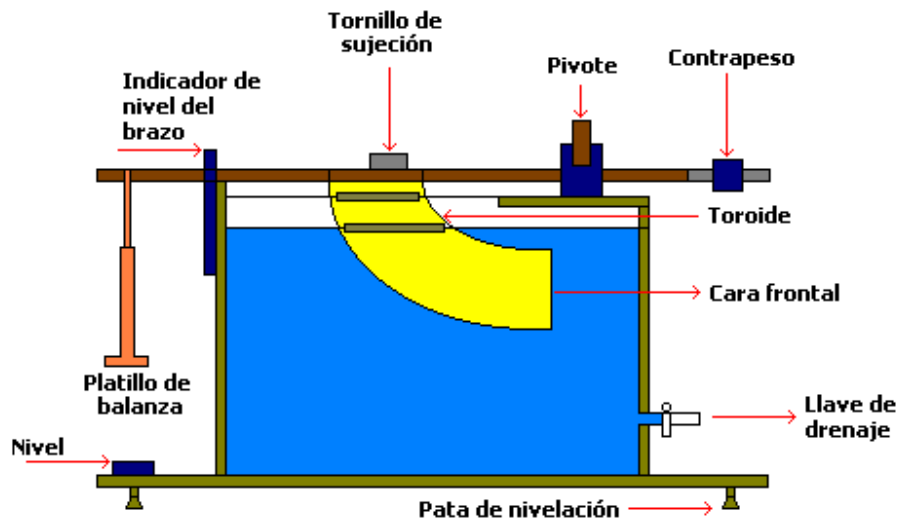


**FIGURA 11 APARATO DE PRESIÓN
HIDROSTATICA**

- Fuerza de presión hidrostática teórica (Ft)

La fuerza teórica (Ft) ejercida por un liquido sobre un área plana es igual al producto del peso especifico del liquido (Y) por la profundidad (Fb) del centro de gravedad de la superficie y por el área de la misma entonces la ecuación es:

$$F_t = Y * Y_b * A \quad [1.12.1]$$

Donde: Ft = Fuerza de presión hidrostática teórica

Y = Peso especifico del agua

A = Área de la sección sumergida

Yb = Profundidad al centro de gravedad de la sección sumergida:

$$Y_b = G_1 + H_1$$

G₁ = Profundidad al centro de gravedad

- Fuerza de presión hidrostática experimental (Fexp)

$$F_{exp} = \frac{P * Z}{R - D} \quad [1.12.2]$$

Donde: F_{exp} = Fuerza de presión hidráulica experimental, en gr.

W = Peso aplicado, en gr.

Z = Distancia a la que se colocan las pesas, en cm.

R = Radio del toroide, en cm.

G_2 = Distancia del centro de gravedad del diagrama de presiones.

- Porcentaje de error (E%)

$$\%E = \frac{F_t - F_{exp}}{F_t} * 100 \quad [1.12.3]$$

NOTA: Si el valor de “ F_{exp} ” es mayor que “ F_t ” se invierten los valores de la formula.

- Profundidad al centro de presión teórica (Y_p)

$$Y_p = \frac{I}{Y_b * A} + Y_b \quad [1.12.4]$$

Donde: I = Momento de inercia de la superficie, respecto al eje que pasa por el centro de gravedad.

- Centro de presión experimental (Y_{exp})

$$Y_{exp} = \frac{ht - (R - (W * Z))}{F_{exp}} \quad [1.12.5]$$

Donde: Y_{exp} = Altura del centro de presión experimental

ht = Altura total de la lamina del agua

$$\%E = \frac{Y_p - Y_{exp}}{Y_p} * 100 \quad [1.12.6]$$

Si “Yexp” es mayor que “Yp” se invierte la formula.

1.12.5 Procedimiento

1. Nivelar la cubeta, utilizando los tornillos de base.
2. Calibrar la barra oscilante, previamente montado el toroide a ella.
3. Llenar la cubeta con agua, hasta el borde inferior de cada toroide (Superficie de referencia). Ajustar el nonio en cero.
4. Colocar en un plato – balanza los pesos necesarios y agregar agua a la cubeta hasta nivelar la barra oscilante, medir la altura con el nonio.
5. Realizar mas ensayos repitiendo el procedimiento anterior, aumentando uniformemente el peso en el plato – balanza para una misma superficie.
6. Cambiar la sección de la superficie plana y repetir la calibración de la barra oscilante.

1.12.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Determinar la profundidad al centro de presión.
2. Hallar la altura del centro de presión experimental.
3. Calcular la fuerza de presión hidrostática teórica sobre la superficie plana.
4. Calcular la fuerza de presión hidrostática experimental.
5. Calcular el porcentaje de error en la presión experimental.
6. Repetir los pasos 1 al 5 para todas las formas geométricas expuestas en el laboratorio.
7. Consigne los datos en el cuadro 11.
8. Observaciones, recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada

LABORATORIO 1.13

MAGNITUD DE LA PRESIÓN DE LOS LIQUIDOS

1.13.1 Introducción

El termino presión se refiere a los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. La fuerza puede ejercerla un sólido, un liquido o un gas. Frecuentemente, la fuerza causante de una presión es simplemente el peso de un cuerpo o un material.

1.13.2 Objetivos

- Demostrar que la magnitud de la presión de un liquido solo depende de la profundidad.

1.13.3 Equipo

- Aparato de Pascal
- Bascula

1.13.4 Principios generales

La presión es una magnitud muy importante en los problemas de la mecánica de fluidos y de la hidráulica, la presión ejercida por un fluido varía directamente con la profundidad. De aquí que la presión en el fondo de una presa sea considerablemente mayor que en las zonas cercanas a la coronación de las mismas, y la presión que actúa sobre los submarinos es enorme en las grandes profundidades de los océanos.

La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa normalmente a cualquiera superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la

presión de un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diferentes formas. La presión manométrica representa el valor de la presión con relación a la presión atmosférica.

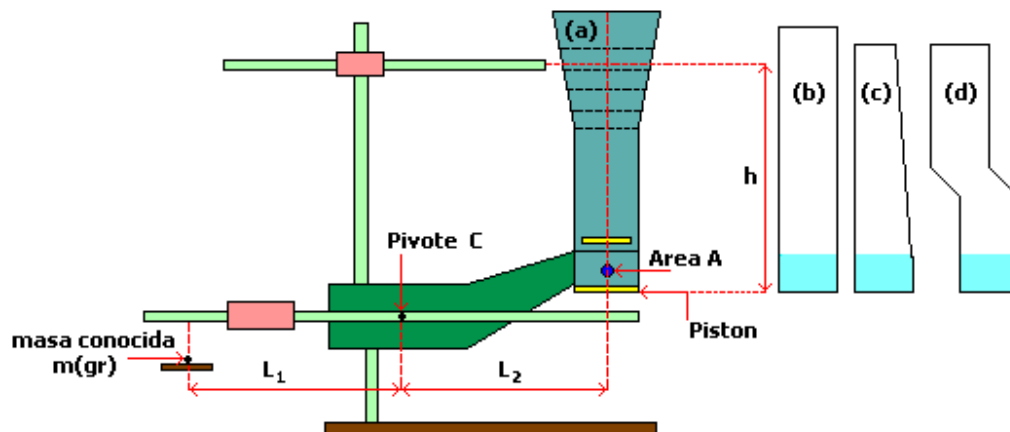


FIGURA 12 APARATO DE PASCAL

En la figura se puede observar que la fuerza provocada por la presión total del agua sobre el pistón será:

$$F = \rho_1 * g * A * h \quad [1.13.1]$$

Donde: F = Fuerza producida por la presión del agua

ρ_1 = Densidad del líquido. Para el ensayo agua.

g = Aceleración de la gravedad.

A = Área del pistón.

h = Altura a la cual se estabiliza el agua.

La masa colocada en el plato – balanza es “m”. El brazo giratorio estará perfectamente horizontal, cuando el momento producido por la fuerza generada por la presión total sobre el pistón con respecto al pivote “c” sea igual al momento producido por el peso de la masa

“m” con respecto al pivote, indicando de esta manera que el aparato esta en equilibrio, cumpliéndose la siguiente igualdad:

$$m * g * L_1 = \rho_1 * g * A * h * L_2 \quad [1.13.2]$$

Donde: m = Masa de las pesas utilizadas

L1 = Brazo de palanca entre el pivote y el plato balanza

L2 = Brazo de palanca entre el pivote y el pistón del aparato

Por otro lado la presión se expresa:

$$P = \frac{F}{A} = \rho_1 * g * h \quad [1.13.3]$$

Donde: P = Presión ejercida por el liquido.

Cuando se encuentre el punto de equilibrio utilizando el tubo “a”, marque en la escala del aparato la altura de la columna de agua. Posteriormente, utilice los tubos “b”, “c”, “d”, los cuales tienen diferente forma entre si y también respecto al tubo “a”, conservando la altura de la columna de agua, indicada en el tubo “a”. Como la presión de un liquido en reposo varía con la altura, se deduce que con cualquiera de los tubos mencionados el brazo alcanza una posición horizontal, indicando que el aparato esta en equilibrio.

1.13.5 Procedimiento

1. Ubique el aparato sobre la mesa.
2. Coloque una masa conocida sobre el plato balanza.
3. Acople el tubo “a” en el aparato y suministre agua dentro de el hasta alcanzar el punto de equilibrio del brazo giratorio (es decir hasta que el brazo se encuentre horizontal).
4. Marque con el indicador de la escala, el nivel de agua en el tubo “a”.

5. Repita los ensayos 3 y 4 con los tubos “b”, “c” y “d” y observe que el brazo se mantiene en equilibrio si los niveles en estos tubos coinciden con el nivel del tubo “a”.

1.13.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcular la fuerza producida por la presión del agua.
2. Calcular la presión ejercida por el líquido. Para el ensayo agua.
3. Consignar los datos en el cuadro 12.
4. Observaciones, recomendaciones y conclusiones.
5. Bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1

2. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE PERDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

LABORATORIO 2.1 DETERMINACION EXPERIMENTAL DE PERDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

2.1.1 Introducción

El estudio de las pérdidas de carga en tuberías, ha sido uno de los temas que ha recibido mayor importancia y al que gran número de investigadores le han dedicado gran parte de su tiempo, para lograr explicar y cuantificar las leyes que las rigen. Los avances aportados con sus investigaciones teórico-experimentales al desarrollo de la Hidráulica marcan etapas bien definidas.

El cálculo de las pérdidas de carga es labor cotidiana del ingeniero consultor, debido al amplio uso de las tuberías en acueductos, instalaciones hidráulicas, sistemas de aspiración e impulsión en bombas y sistemas a presión en general.

2.1.2 Objetivos

- Efectuar el aforo de caudal por los métodos de caída libre y volumétrico.
- Determinar experimentalmente los coeficientes de contracción (C_c), velocidad (C_v) y gasto (C_d), para una boquilla.

- Determinar experimentalmente la pérdida de carga por fricción ($h_{f \text{ exp}}$) y compararla con el valor teórico ($h_{f \text{ t}}$).
- Determinar experimentalmente el factor de fricción ($f \text{ exp}$) y compararlo con el valor teórico ($f \text{ t}$).
- Determinar experimentalmente el coeficiente de rugosidad relativa de Hazen Williams (C).
- Determinar experimentalmente la pérdida de carga en los siguientes accesorios: Entrada de Borda, válvula de compuerta y boquilla.
- Determinar experimentalmente el coeficiente de pérdida de carga en accesorios ($K \text{ exp}$).
- Dibujar las líneas de energía y piezométricas.

2.1.3 Equipo

El equipo consta de los siguientes elementos:

1. Depósito de agua, de 0.5 m^3 provisto de 3 niples de bronce.
2. Rebose un tubo vertical de PVC, diámetro 1 pulgada.
3. Estructura de apoyo del depósito de agua.
4. Tubería de hierro galvanizado de diámetro nominal de 1 pulgada que cuenta con una válvula de compuerta, unión universal y una boquilla.
5. Tubería de PVC de diámetro nominal $\frac{3}{4}$ de pulgada, RDE 21, cuenta con una válvula tipo globo y una boquilla.
6. Tubos piezométricos en manguera plástica transparente de $\frac{5}{16}$ de pulgada de diámetro.
7. Recipiente para aforo volumétrico en lámina galvanizada.
8. Dispositivo para aforo por coordenadas
9. Materiales para unión de niples con la tubería de hierro y PVC.
10. Tablero en acrílico.
11. Soporte realizados con platinas, ángulos, tubos metálicos, tornillos y tuercas.

2.1.4 Principios generales

Perdida de carga experimental por fricción (h_f exp): la figura 12, muestra una tubería horizontal de diámetro interno constante D , rugosidad ε y longitud L , por la que fluye agua con velocidad media V . En los puntos uno y dos se instalan dos piezómetros. El punto uno se toma de modo que la carga piezométrica no esté afectada por la acción de pérdidas locales.

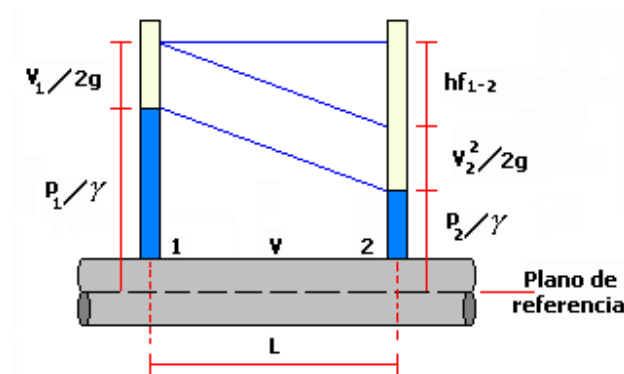


FIGURA 13 TUBERÍA HORIZONTAL DE DIÁMETRO CONSTANTE

Aplicando la ecuación de la energía entre dichos puntos y tomando como plano de referencia el horizontal que contiene al eje de la tubería se tiene:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

Donde p/γ es la energía de presión, z es la energía de posición o potencial, $V^2 / 2g$ es la energía cinética o de velocidad.

Para este caso $z_1 = z_2 = 0$ y como la sección transversal de la tubería es constante $V_1 = V_2$, entonces:

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \quad [2.1.1]$$

La ecuación [2.1.1] indica que la pérdida de carga por fricción entre dos puntos separados por una longitud L, en una tubería horizontal de diámetro constante, se puede obtener experimentalmente por la diferencia del nivel de agua leído en el piezómetro del punto uno y el nivel de agua leído en el piezómetro del punto dos.

- **Línea de alturas piezométricas (pl):** es aquella que une puntos de altura igual a $z + p/\gamma$ y su pendiente se denomina gradiente hidráulico (Gh).

- **Línea de energía (le):** es aquella que une puntos de altura igual a $z + p/\gamma + V^2/2g$ y su pendiente se denomina gradiente de energía.

- **Factor de fricción experimental (f exp):** Se puede obtener experimentalmente igualando la ecuación [2.1.1] a la de Darcy – Weisbach:

$$h_{f \text{ exp}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = f_{\text{exp}} * \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

$$f_{\text{exp}} = h_{f \text{ exp}} * \frac{D}{L} * \frac{2g}{V^2} \quad [2.1.2]$$

El valor de la velocidad media V, se obtiene a partir de cualquier método de aforo: volumétrico, caída libre, tubo pitot, etc.

- **Factor de fricción teórico (ft) :** Puede determinarse mediante el diagrama de Moody, conociendo los valores del número de Reynolds (Re) y rugosidad relativa.

- **Pérdida de carga teórica (hft):** Entre los puntos uno y dos de la figura 13, puede calcularse empleando la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$h_{ft} = f_t * \frac{LV^2}{D2g} \quad [2.1.3]$$

- **Coeficiente de rugosidad relativa de Hazens – Williams** ©: se obtiene a partir de la respectiva ecuación:

$$Sf = 10,643Q^{1.85}C^{-2.63}D^{-4.87} \quad [2.1.4]$$

Despejando el coeficiente C:

$$C = 3,59Sf^{-0.54}D^{-2.63}Q \quad [2.1.5]$$

Donde: Q = caudal, en m³/ s

D = diámetro interno, en mts.

Sf = pérdida de carga, en m/m

C = 130 HG y 150PVC

- **Aforo de caudal:** En esta práctica se utilizaran los siguientes métodos:

- Aforo volumétrico: consiste en llenar un recipiente de volumen conocido, durante un intervalo de tiempo t.

$$Q = Vol / t(m^3 / seg) \quad [2.1.6]$$

- Método de las coordenadas o de caída libre: con referencia a la figura 14, sea A el área hidráulica (área de la sección transversal ocupada por el líquido) a la salida del tubo.

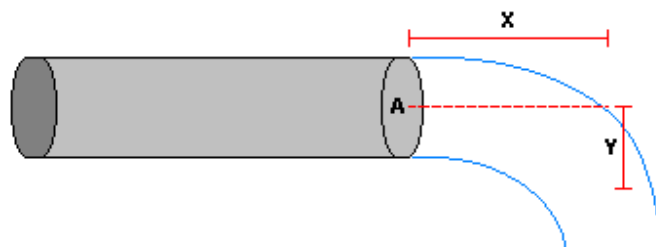


FIGURA 14 AFORO POR COORDENADAS

Se considera el movimiento que describen las partículas como parabólico. La componente horizontal de la velocidad (V_x) del flujo es constante y la única fuerza que actúa sobre las partículas es la gravitacional. Para un tiempo t , las partículas recorren las distancias X e Y , por lo tanto, $X = V_x \cdot t$, entonces:

$$t^2 = (X / V_x)^2 \quad [2.1.7]$$

Por otra parte,

$$y = 0.5gt^2 \quad [2.1.8]$$

Entonces:

$$t^2 = (2y / g)$$

Igualando la ecuación [2.1.7] a la [2.1.8] y despejando Y :

$$y = 0.5g \frac{X^2}{V_x^2} \quad [2.1.9]$$

Se verifica por lo tanto que la trayectoria es parabólica.

Despejando V_x de la ecuación [2.1.9]

$$V_x = \sqrt{\frac{gX^2}{2Y}} \quad [2.1.10]$$

- Determinación experimental de los coeficientes de contracción, velocidad y gasto para una boquilla: el coeficiente de velocidad (c_v), es la relación entre la velocidad media real en la sección recta de la corriente y la velocidad media ideal.

El coeficiente de contracción (C_c) es la relación entre el área de la sección recta contraída de una corriente y el área del orificio a través del cual circula el fluido.

EL coeficiente de descarga (C_d) es la relación entre el caudal real y el caudal ideal que pasa a través de un sección. También puede definirse como el producto de los dos coeficientes anteriores.

Estos coeficientes se calculan así:

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{D_b}{D_1}\right)^4 + \left(\frac{A_b}{Q_r}\right)^2 2gH}} \quad [2.1.11]$$

$$C_v = \frac{V_r}{\sqrt{\frac{2gH}{1 - C_d^2 \left(\frac{D_b}{D_1}\right)^4}}} \quad [2.1.12]$$

$$C_c = \frac{C_d}{C_v} \quad [2.1.13]$$

Donde: Q = caudal real obtenido por el método volumétrico, en m^3/seg .

H = carga piezométrico a inicio de la boquilla, en m.

D_b = diámetro interno al final de la boquilla, en m.

D = diámetro interno al inicio de la boquilla, en m.

V_r = velocidad real obtenido por el método de las coordenadas, en m.

A_b = Área a la salida de la boquilla, en m^2 .

Utilizando la velocidad obtenida por el método de las coordenadas, el caudal puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$Q = C_c * A_b * V_r \quad [2.1.14]$$

Pérdida de carga experimental en accesorios: En la figura 15 se muestra un accesorio instalado en una tubería por la que fluye agua. En los puntos uno, antes del accesorio y

dos, después del accesorio se colocan piezómetros. El punto dos se toma a una distancia comprendida entre los 50 y 75 diámetros aguas abajo del accesorio para que la pérdida local se lleve a cabo.

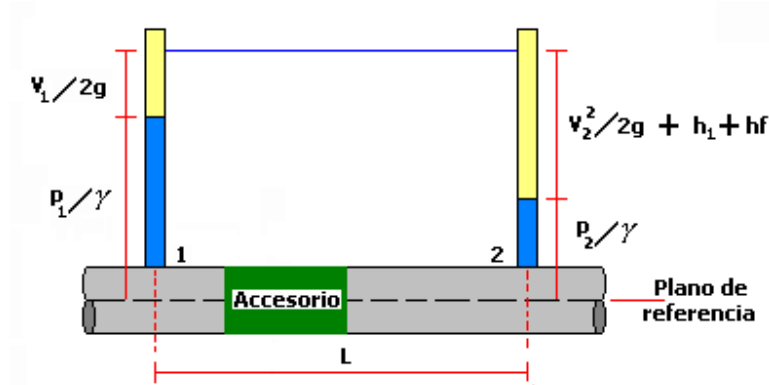


FIGURA 15 PERDIDA DE CARGA EN UN ACCESORIO

Aplicando la ecuación de la energía entre las secciones uno y dos, tomando como plano de referencia el horizontal que contiene al eje de la tubería y como presión de referencia la atmosférica local, se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf + hl \exp \quad [2.1.15]$$

- Para un válvula de compuerta ubicada en la tubería: si $Z_1 = Z_2$ y $V_1 = V_2$ reemplazando en la ecuación [2.1.14] estos valores y despejando el valor de $hl \exp$, se tiene:

$$hl \exp = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} - hf \quad [2.1.16]$$

- Para la entrada a una tubería:

Si $Z_1 = H$

Donde H, es la carga en el depósito por encima de la tubería.

$p_1 = 0$, la presión de referencia es la atmosférica local.

$V_1 = 0$, si el nivel del agua en el depósito es constante.

Reemplazando estos valores tengo:

$$h_{l \text{ exp}} = H - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad [2.1.17]$$

La ecuación [2.1.17] indica que la pérdida de carga por entrada a una tubería es igual a la carga piezométrica en el depósito menos la suma de la carga piezométrica en la sección dos, la carga de velocidad en la tubería y la pérdida de carga experimental por fricción entre el depósito y la sección dos.

- Para una boquilla, la pérdida de carga está dada por la siguiente expresión:

$$h_{l \text{ exp}} = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) * \frac{V_r^2}{2g} \quad [2.1.18]$$

Donde: C_v = coeficiente de contracción calculado mediante la ecuación [2.1.12]

V_r = velocidad real obtenida por el método de las coordenadas.

- **Coeficiente experimental de pérdida de carga en accesorios (K_{exp}):** se puede obtener experimentalmente aplicando la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.

$$K_{\text{exp}} = h_{l \text{ exp}} * \frac{2g}{V^2} \quad [2.1.19]$$

Se trabaja con la velocidad media cuando el accesorio no involucra cambio de sección y la velocidad en la sección menor en caso contrario.

- **Perdida de carga teórica en accesorios (hlt):** Se puede obtener aplicando la siguiente ecuación:

$$hlt = Kt * \frac{V^2}{2g} \quad [2.1.20]$$

Donde: Kt = coeficiente teórico de pérdida de carga en accesorios.

Los valores teóricos de este coeficiente, para los accesorios instalados en tuberías, se describen a continuación:

- Entrada de borda de la tubería de PVC, para una longitud 1 de tubería que penetra en el deposito de 0.02 m y para un espesor e de las paredes de la tubería de 0.0015 m, Kt = 0.5.
- Válvula de compuerta abierta, para D = ¾ pulg y para D = 1.00 pulg, los valores de kt son: 0.27 y 0.24, respectivamente.
- Boquilla, Kt = 0.041.

2.1.5 Procedimiento

2.1.5.1 Tubería de hierro galvanizado

1. Verifique que el origen de coordenadas, para el aforo por coordenadas, coincida con el centro de gravedad de la salida de la boquilla y que la regla vertical esté ortogonal a la horizontal.
2. Abra completamente la válvula de compuerta y al mismo tiempo la llave de alimentación al tanque hasta conseguir un nivel de agua constante para trabajar bajo condiciones de flujo permanente. El rebose facilita la obtención de un nivel constante.
3. Registre la carga en el tanque y las lecturas de los 13 piezómetros instalados a lo largo de esta tubería.

4. Mida el tiempo que transcurre desde el nivel del agua pasa frente a la primera marca hasta que pasa frente a la segunda marca del recipiente de aforo volumétrico.
5. Mida las coordenadas X e Y de tres puntos del eje del chorro.
6. Registre la temperatura del agua.
7. Para otras posiciones de la válvula, repite las instrucciones anteriores.

2.1.5.2 Tubería de PVC

1. Cierre la válvula de compuerta de la tubería de hierro galvanizado y abra completamente la de la tubería de PVC. Asegúrese de trabajar con un nivel de agua constante en el tanque.
2. Registre la carga en el tanque y las lecturas de los 11 piezómetros instalados a lo largo de esta tubería.
3. Mida el tiempo que transcurre desde el nivel de agua pasa frente a la primera marca hasta que pasa frente a la segunda marca del recipiente de aforo volumétrico.
4. Mida las coordenadas X e Y de tres puntos del eje del chorro.
5. Registre la temperatura del agua.
6. Para otras posiciones de la válvula repita las instrucciones anteriores.

2.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

Cálculos, para cada tubería y para cada una de las posiciones de la válvula:

1. Los gradientes piezométrico y de energía. Dibuje las líneas piezométrica y de energía. Para la tubería de hierro galvanizado, utilice las lecturas de los piezómetros No.4 al No. 11; para la tubería de PVC las lecturas de los piezómetros No.17 al No.20.
2. El caudal Q por el método volumétrico y la velocidad de salida por el método de las coordenadas aplicando las ecuaciones [2.1.6] y [2.1.10], respectivamente.

3. La velocidad de flujo utilizando el caudal obtenido por el método de aforo volumétrico.
4. El numero de Reynolds (Re) y clasifique el flujo.
5. El coeficiente de fricción f_t , por medio del diagrama de Moody.
6. La perdida de carga $h_{f \text{ exp}}$, aplicando la ecuación [2.1.1]. Para la tubería de hierro galvanizado, utilice las lecturas de los piezómetros No.4 al No.11 y para la de PVC, las lecturas de los piezómetros No.17 al No.20. En cada caso determina p_1/γ y p_2/γ por regresión lineal.
7. El factor de fricción experimental f_{exp} . Aplicando la ecuación [2.1.2].
8. La perdida de carga teórica $h_{f \text{ t.}}$, aplicando la ecuación [2.1.3].
9. El coeficiente experimental de rugosidad relativa de Hazen – Williams, aplicando la ecuación [2.1.5].
10. Los coeficientes de descarga (C_d), velocidad (C_v) y contracción (C_c), aplicando las ecuaciones [2.1.11], [2.1.12] y [2.1.13], respectivamente.
11. El caudal Q por el método de las coordenadas aplicando la ecuación [2.1.14].
12. La perdida de carga experimental, de los siguientes accesorios: de la válvula de compuerta, la entrada de Borda y la boquilla, aplicando las ecuaciones [2.1.16], [2.1.17] y [2.1.18], respectivamente.
 Para la válvula de compuerta de la tubería de hierro galvanizado, p_1/γ es la lectura del piezómetro No.1 y p_2/γ es la lectura del piezómetro No.4.
 Para la válvula de compuerta de la tubería de PVC, p_1/γ es la lectura del piezómetro No.20 y p_2/γ es la lectura del piezómetro No.24.
 Para la entrada de Borda de la tubería de PVC, p_2/γ es la lectura del piezómetro No.17
13. El coeficiente experimental de pérdida de carga en accesorios K_{exp} , aplicando la ecuación [2.1.19].
14. La pérdida de carga teórica en accesorios mediante la ecuación [2.1.20].
15. Analice y compare los resultados obtenidos.
16. Construye un gráfico que relacione $\epsilon / D - Re - f_{\text{exp}}$.
17. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1

3. VISUALIZACION DEL REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO

LABORATORIO 3.1 NUMERO DE REYNOLDS

3.1.1 Introducción

Osborne Reynolds, después de sus investigaciones teóricas y experimentales concluyo que el mejor criterio para determinar el tipo de movimiento en una tubería no se limita exclusivamente al valor de la velocidad y si al valor de una expresión adimensional, en la cual se considera también la viscosidad del fluido.

3.1.2 Objetivos

- Visualizar la diferencia entre régimen laminar y turbulento.
- Calcular el numero de Reynolds y entender su uso y explicación.
- Visualizar la distribución de velocidades a través del área de flujo.

3.1.3 Equipo

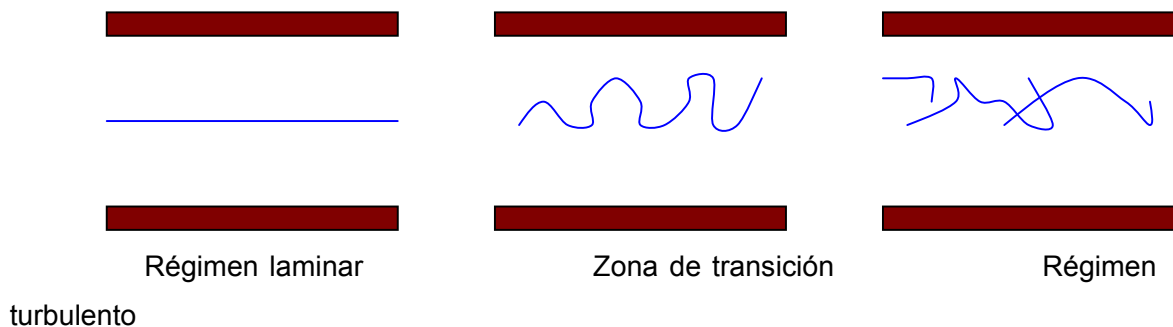
- Aparato de Osborne Reynolds para la visualización del régimen laminar y turbulento.
- Cubeta graduada
- Cronometro

- Termómetro
- Agua y tinta

3.1.4 Principios generales

La instalación consta de un recipiente, de donde se derramará el líquido del depósito por el tubo transparente, al ir abriendo la válvula respectiva. Sobre la superficie libre del líquido en el recipiente se sitúa un depósito complementario con un líquido coloreado que puede descender por un tubo fino, cuya punta se introduce en el tubo de vidrio. Al abrir lentamente la válvula, el flujo en el tubo de cristal se mueve con pequeña velocidad. Si en el flujo se deja escurrir el líquido coloreado, su chorro avanza sin confundirse con la masa de líquido no coloreado. Si se sigue abriendo paulatinamente la válvula, el régimen laminar se conserva hasta un límite determinado. La velocidad media con la cual se altera el régimen laminar del líquido se denomina velocidad crítica, correspondiendo a una zona de transición.

La apertura de la válvula y el aumento de la velocidad media por encima del valor crítico conduce a la quebradura del chorro coloreado, adquiriendo un carácter desordenado. Tal movimiento fue llamado por Reynolds, turbulento.



El carácter del régimen de movimiento de un líquido depende considerablemente también de la correlación de las fuerzas que actúan sobre las partículas del líquido, predominan las fuerzas de viscosidad, es característico del régimen laminar por ejemplo en el aceite. Si predominan las fuerzas de inercia, entonces el régimen característico del movimiento del flujo es turbulento.

- Numero de Reynolds

Permite evaluar la preponderancia de las fuerzas viscosas sobre las de inercia.

En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el numero de Reynolds se define así:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad [3.1.1]$$

Donde: V = Velocidad media

D = Diámetro del conducto

ν = Viscosidad cinemática del fluido

Para el calculo de la viscosidad absoluta del agua, en base a la temperatura, se aplica la siguiente formula:

$$\mu = \frac{0.001779534}{1 + 0.0337T + 0.00022T^2} = \frac{N - S}{m^2}$$

Reynolds encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando Re ha rebasado un valor critico, para tornarse después en turbulento. De acuerdo con diferentes investigadores el numero critico de Reynolds adquiere valores muy distintos que van desde 2000 (determinado por el mismo Reynolds) hasta 40000 (calculado por Eckman) de ellos se deduce que dicho valor en mucho de los disturbios iniciales y define además un cierto limite, abajo del cual estos se amortiguan, estabilizando el flujo laminar.

Es interesante observar que, tanto el flujo laminar como el turbulento resultan propiamente de la viscosidad del fluido por lo que, en ausencia de la misma, no habría distinción entre ambos. Es mas, aun en flujo turbulento el esfuerzo tangencial o de fricción, producido por el intercambio en la cantidad de movimiento entre partículas que fluctúan lateralmente, en cierto modo es resultado de los efectos viscosos.

- Flujo Laminar

En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven según trayectorias paralela, formando el conjunto de ellas, capas o laminas. Los módulos de las velocidades de capas adyacentes no tienen el mismo valor. El flujo laminar esta gobernado por la ley que

relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular, es decir, la tensión cortante es igual al producto de la viscosidad del fluido por el gradiente de las velocidades. La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia. El flujo se considera laminar cuando el numero de Reynolds gira alrededor de un valor aproximado a 2000.

- Flujo turbulento

En éste, las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente. Cuando se tienen valores muy altos en el numero de Reynolds, se dice que el flujo es turbulento.

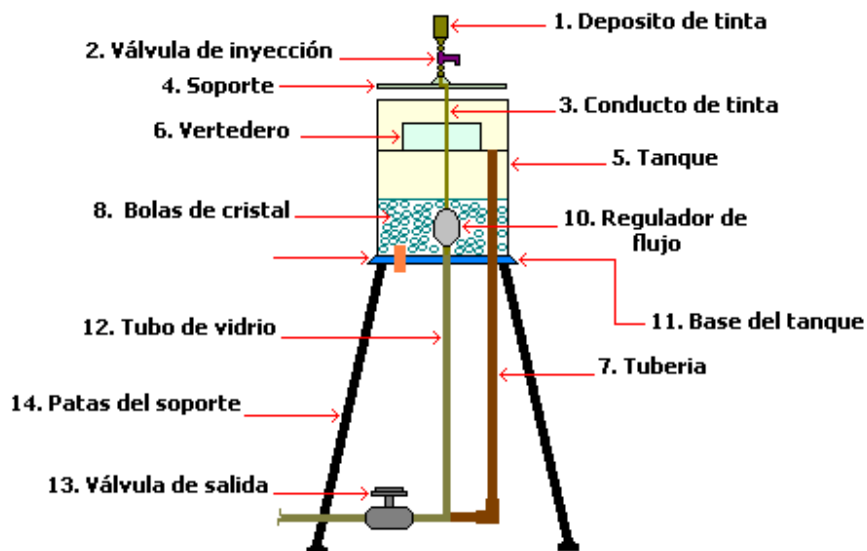


FIGURA 16 ESQUEMA GENERAL DEL APARATO DE REYNOLDS

3.1.5 Procedimiento

1. Asegúrese de mantener una cabeza constante de agua en el tanque (5), para ello se necesita ajustar la válvula de alimentación del aparato con la válvula de salida (13) parcialmente abierta de tal modo que el agua se derrame por el vertedero (6). Esto para mantener las condiciones de flujo uniforme, o en su defecto graduar la corriente de agua de tal manera que el nivel de agua en el tanque se mantenga constante.

2. Tome la temperatura del agua y calcule la viscosidad.
3. Abra la válvula de inyección de la tinta (2) y deje que pase por el centro del tubo. El flujo podrá ser bien definido “Laminar”, disperso “Turbulento” o en estado de transición.
4. Mida el volumen evacuado durante un determinado tiempo para obtener el caudal que esta pasando. Con este dato proceda a calcular el numero de Reynolds.
5. Abra la válvula de salida de la tubería de vidrio para aumentar el caudal (13). Incremente también el flujo de alimentación del tanque para mantener un nivel constante de agua, repita los pasos 2 y 4. Repita este procedimiento 6 veces.
6. Encuentre el numero de Reynolds critico abriendo o cerrando la válvula de salida del tubo de vidrio (13).
7. Suspnda por un tiempo el flujo de salida de agua (13), deje que la tinta fluya un poco y vuelva a abrir la primera. Podrá observar la distribución de velocidades a través del tubo de vidrio (12) definiéndose para esta observación el numero de Reynolds.

3.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Presentación tabulada de resultados.
2. Indicación del numero de Reynolds y su significado.
3. Dibujo de la distribución de velocidades observada, clasificando al tipo de régimen al que pertenece y comprobando con el numero de Reynolds previamente calculado.
4. Demostración analítica del porque en régimen laminar, las fuerzas viscosas prevalecen sobre las de inercia y porque en el régimen turbulento sucede lo contrario.
5. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 2

1. BOMBAS INDIVIDUALES, EN SERIE Y EN PARALELO

LABORATORIO 1.1

OBTENCION DE CURVAS CAUDAL - ALTURA

1.1.1 Introducción

La curva de capacidad de carga para un velocidad constante de la bomba, representa las diferentes cantidades de agua suministrada por dicha bomba al vaciar la carga.

La altura de elevación que ha de vencer una bomba suele componerse de una parte estática y otra dinámica. La altura estática de elevación viene dada por la diferencia de las cotas de los niveles aguas arriba y aguas abajo, la altura dinámica de elevación es igual a las pérdidas de altura en la tubería; varían proporcionalmente al cuadrado de la velocidad de un modo aproximado.

1.1.2 Objetivos

- Obtener los diferentes puntos para cada una de las curvas y compararlas con las curvas dadas en el modelo.

1.1.3 Equipo

- Dos motobombas centrífugas.
- Un tanque con cámara de aquietamiento y vertedero triangular.
- Tubería PVC, válvulas de control, y accesorios PVC.

- Dos reóstatos y dos manómetros tipo Bourdon.

1.1.4 Principios generales

Para trabajar a una velocidad determinada las bombas se controlan por medio de un reóstato. La variación del caudal se logra utilizando una válvula de compuerta abierta en la tubería de impulsión, y la medición del caudal se hace en la escala del vertedero.

Como el gasto es proporcional a la velocidad en la tubería, la relación altura dinámica – caudal da una curva semejante a una parábola que se designa como curva característica de la tubería.

El punto de intercepción de esta curva con la curva caudal – altura, caracteriza el estado instantáneo de funcionamiento de la bomba.

Para la obtención de esta curva, se plantea el teorema de Bernoulli entre el punto A o H y F así:

$$\frac{P_a}{\tau} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_f}{\tau} + \frac{V_f^2}{2g} + Z_f - H_b + H_t \quad [3.1.1]$$

$$H_b = \frac{(P_f - P_a)}{\tau} + \frac{(V_f^2 - V_a^2)}{2g} + (Z_f - Z_a) + H_t \quad [3.1.2]$$

Donde: H_b = altura de elevación de la bomba.

$(V_f^2 - V_a^2)/2g$ = Diferencia de velocidad entre A y F.

$(P_f - P_a)/\tau$ = Diferencia de presión entre A y F.

$(Z_f - Z_a)$ = Diferencia de altura entre los puntos A y F.

H_t = Pérdida de presión por fricción y accesorios en los puntos A y F.

Para hallar la diferencia de presión entre los puntos A o H y F, se lee la altura de presión en los piezómetros (puntos A y H) y en el manómetro de escala 0 a 60 psi (punto F). Este método se utiliza para obtener las curvas de los sistemas de bombas individuales. Para el sistema en serie y en paralelo se utilizan los métodos gráficos.

Para el sistema en paralelo se parte de las curvas características individuales de las bombas 1 y 2; se determina para una misma altura de elevación H, los valores de caudal correspondientes a cada una; por lo tanto un punto de la curva combinada se obtiene sumando los dos caudales ($Q_1 + Q_2$), proyectándolo en la gráfica con el H mencionado. Repitiendo esta operación se obtienen los demás puntos de la curva.

Para la obtención de la curva característica de la tubería se hacen funcionar las dos bombas hasta que se estabilicen, leyendo h en la escala del vertedero para determinar el caudal circulante, se divide el caudal total entre dos y con este se calculan las pérdidas correspondientes de cada bomba, las cuales sumadas representan las pérdidas totales del sistema.

Para el sistema en serie, se determina para un valor de Q el correspondiente valor de H en las curvas características de las bombas 1 y 2, y se suman para obtener H_t .

Para la construcción de la curva característica de la tubería se asumió un valor de altura estática total de 3.4m. El procedimiento de cálculo es igual al utilizado para bombas en paralelo.

1.1.5 Procedimiento

1. Cierre las válvulas 2, 4, 5 para trabajar con la bomba 1; y las válvulas 1,3 para trabajar con la bomba 2; las válvulas 2 y 3 para sistema en serie y la válvula 4 para sistema en paralelo.
2. Acciones la(s) bomba(s) hasta que se estabilice(n).
3. Determine las revoluciones a las cuales va a trabajar el motor.
4. Con el(los) reóstatos(s) gradúe el voltaje para mantener las revoluciones constantes.

5. Con la válvula totalmente abierta (Q_{max}) haga la lectura en la reglilla del vertedero para determinar el caudal (Ver curva de patronamiento de vertederos. Figura 17).
6. Lea las presiones en los manómetros correspondientes, anote los resultados en el cuadro 20.
7. Cerrando paulatinamente la(s) válvula(s) halle otros valores de caudal y repita el procedimiento.

1.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1.1.6.1 Parte I

1. Para cada caudal determine los parámetros de la ecuación de Bernoulli entre los puntos A y F del sistema y halle la altura de elevación correspondiente, (H_b). Tome como nivel de referencia el piso. Ver figura anexa. Figura 18.
2. Dibuje la curva caudal – altura de las bombas 1 y 2 y compárelas con las dadas en el modelo.
3. Con la altura estática correspondiente dibuje las curvas características de la tubería y halle el punto de operación de la bomba.

1.1.6.2 Parte II

Aplicando el método gráfico construya la curva combinada de las bombas en paralelo y repita la parte I. Anote los datos y resultados en el cuadro 21.

1.1.6.3 Parte III

1. Aplicando el método gráfico construya la curva combinada de las bombas en serie y repita la parte 1. Asuma curvas iguales para cada bomba. Anote los datos y resultados en el cuadro 22.
2. Explique brevemente en que ocasiones es recomendable el uso de las bombas en serie y en paralelo.
3. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

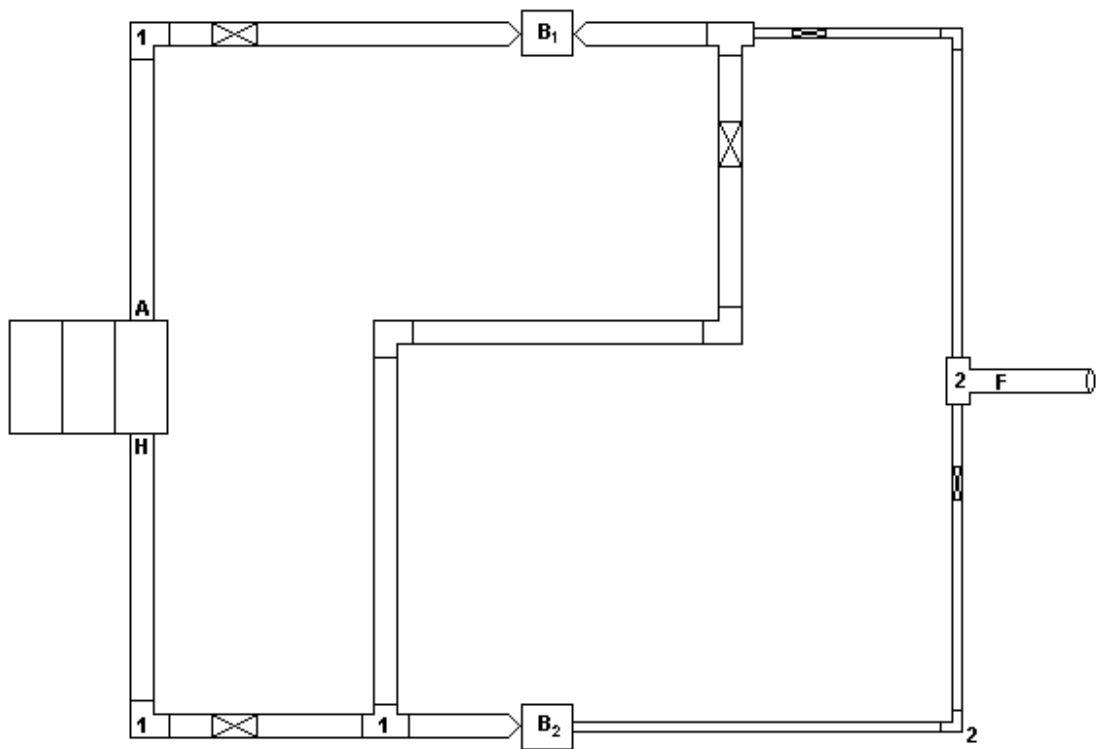


FIGURA 18 MONTAJE GENERAL DEL SISTEMA DE BOMBAS INDIVIDUALES,
EN SERIE Y EN PARALELO

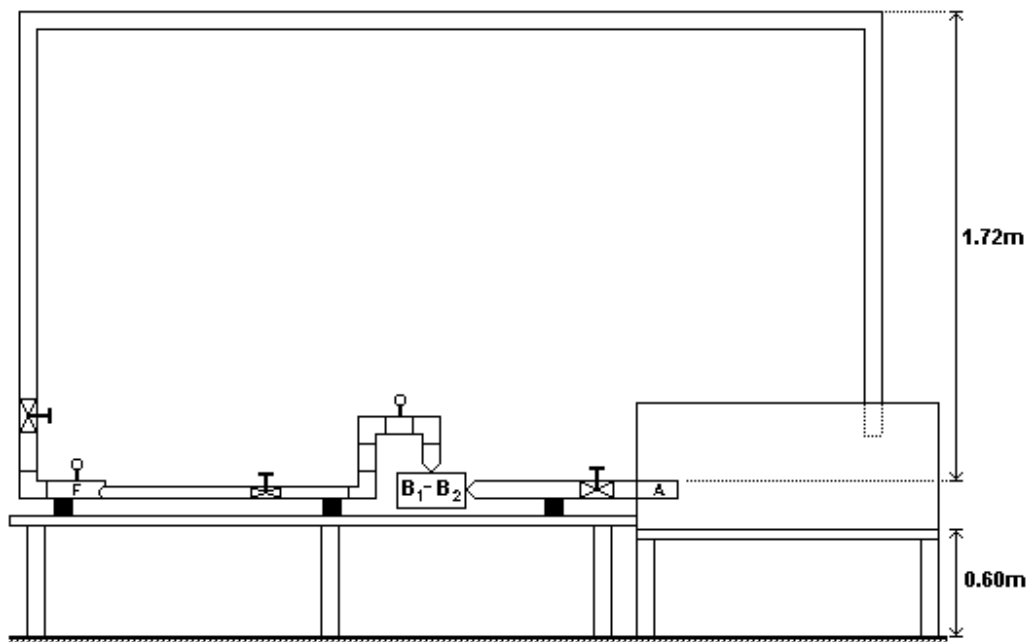


FIGURA 18 CORTE

LABORATORIO 1.2

OBTENCION DE CURVAS POTENCIA – EFICIENCIA Vs CAUDAL

1.2.1 Introducción

Mediante las curvas características se puede estudiar el funcionamiento de las diferentes bombas y así comparar unas con otras.

La curva de potencia muestra la cantidad de fuerza o energía necesaria para accionar la unidad. La curva de eficiencia señala la cantidad de trabajo aprovechable de la unidad suministrada al eje de la unidad.

1.2.2 Objetivos

- Determinar las curvas de potencia, eficiencia de una bomba centrífuga.

1.2.3 Equipo

- Un wattímetro.
- Un reóstato.
- Tanque de carga, con cámara de aquietamiento y vertedero.
- Un voltímetro y un amperímetro.
- Tubería y válvulas de control.

1.2.4 Principios generales

La curva de potencia muestra la cantidad de fuerza o energía necesaria para accionar la unidad. La curva de eficiencia señala la cantidad de trabajo aprovechable de la unidad suministrada al eje de la unidad.

La potencia útil en HP de una bomba centrífuga, es el producto del peso específico del fluido por la altura real o altura manométrica desarrollada por la bomba y por el caudal que bombea y todo esto dividido por 75, es decir:

$$P = \frac{(\tau * Q * H)}{75} \quad [1.2.1]$$

La ecuación anterior representa la potencia requerida para accionar una bomba. La potencia absorbida es la potencia entregada por el motor. Para calcular esta potencia se mide los kilowatios consumidos por el mismo.

Para la construcción de la curva potencia absorbida vs. Caudal, se utiliza un wattímetro para medir los wattios consumidos por el motor, un reóstato para mantener las revoluciones constantes y se mide el caudal. Para la potencia útil se utiliza un manómetro a la salida de la bomba para medir las alturas y se mide el caudal.

La relación entre potencia útil y potencia absorbida es la eficiencia.

Para expresar la potencia útil en wattios se aplica el siguiente factor de conversión:

$$P = (\tau * Q * H) * 9.81 \quad [1.2.2]$$

Donde: Q = caudal en m³/seg

H = altura en metros.

τ = Peso específico en kg/m³

1.2.5 Procedimiento

Instale el wattímetro o los téster de la siguiente manera:

1. Con el reóstato fije el voltaje para mantener las revoluciones constantes.
2. Para cada valor de Q lea los wattios y amperios, anote los valores en el cuadro 23.

1.2.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Defina los conceptos de potencia útil y potencia absorbida.
2. Con los datos del wattímetro calcule la potencia al freno o potencia absorbida.
3. Construya la curva de potencia al freno vs. caudal .
4. Calcule la potencia útil (use la curva característica de la bomba) para los valores de Q anteriores.
5. Calcule la eficiencia basándose en la potencia útil y la potencia absorbida y construya la curva eficiencia vs caudal.
6. A que valores de Q, H, potencia y eficiencia pondría Ud. a trabajar a esta bomba ?.
7. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 1.3

LINEAS DE ENERGÍA

1.3.1 Introducción

Los conceptos de línea de altura piezométrico y altura total son útiles en el análisis de problemas complejo de flujo.

La línea de energía o línea de alturas totales es la representación grafica de la línea total de cada punto de la tubería a partir del nivel de referencia.

1.3.2 Objetivos

- El objeto de esta experiencia es observar los diferentes cambios que se producen en la energía de un sistema. Los diferentes tipos de aditamentos y dispositivos mecánicos (bombas) a los largo de la conducción.

1.3.3 Equipo

- Sistema de tuberías.
- Manómetros tipo Bourdon (0 a 60 PSI).
- Tanque con vertedero.

1.3.4 Principios generales

La representación de la energía total de manera grafica de cualquier punto de una tubería respecto a un nivel de referencia, se denomina línea de energía o línea de alturas totales, es decir:

$$\frac{P}{\tau} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad [1.3.1]$$

La anterior ecuación representa la energía total en un punto de una tubería respecto a un nivel de referencia.

Con base en el Q máx. se construyen las curvas para las bombas 1 y 2 independientes y cuando funcionan en serie, entre los puntos A o H y F; como nivel de referencia se toma el piso del laboratorio, se determina las líneas de cargas totales y piezométricas en los puntos señalados, teniendo en cuenta las secciones donde hay pérdidas o aumento de presión.

1.3.5 Procedimiento

1. Accione la bomba hasta que se estabilice.
2. Lea la altura de presión a la entrada del sistema.
3. Para cada uno de los puntos calcule las pérdidas por fricción y aditamentos.
4. Repita el procedimiento para otros valores de Q.
5. Tome como nivel de referencia el piso.

1.3.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcule la presión en cada uno de los puntos.
2. Dibuje la línea de energía en papel milimetrado.
3. Dibuje la línea piezométrica.
4. Diga que diferencia hay entre los efectos ocasionados por una bomba y un aditamento (codos, tees, válvulas, reducciones).
5. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

NOTA: antes de iniciar cualquier laboratorio tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a. Asegurar que el nivel del agua en el tanque este en 0.05 m en la reglilla demarcatoria que se encuentra dentro de este.
- b. Tener presente no cerrar completamente las válvulas ubicadas detrás de los manómetros.

CAPÍTULO 2

2. ORIFICIOS Y BOQUILLAS

LABORATORIO 2.1

ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE ORIFICIOS Y BOQUILLAS

2.1.1 Introducción

Consideremos un orificio como una abertura hecha en las paredes de depósitos, tanque, canales o desde el punto de vista hidráulico, tuberías por debajo de la superficie libre del líquido que contiene.

Los orificios se utilizan en la práctica para las derivaciones de caudal y para medir el caudal que sale de un recipiente o tubería, lo que comúnmente se conoce como aforo.

2.1.2 Objetivos

- Calcular el coeficiente de descarga de un orificio para diferentes valores de caudales y alturas dispuestas en el laboratorio.
- A partir de la determinación de la constante k obtener la curva de patronamiento para un orificio y boquilla.
- Determinar el coeficiente de pérdida de carga para el orificio, a partir del coeficiente de velocidad.

2.1.3 Equipo

- Tanque de descarga libre.
- Dispositivo de rebose.
- Tubería de desagüe.
- Accesorio de medición para descarga libre.
- Orificios y boquillas, varios diámetros.

2.1.4 Principios generales

Veamos unos conceptos generales sobre los orificios y boquillas:

Clasificación de los orificios:

1. Según el espesor de la pared:

- Orificios de pared delgada si $e < 1.5d$
- Orificios de pared gruesa si $1.5 \leq e \leq 2d$
- Boquillas si $2d \leq e < 3d$

Cuando la pared es demasiado gruesa talque $e \geq 3d$ el orificio funciona como tubería.

Donde: e = espesor de la pared

d = altura del orificio

2. Según la forma. Los mas comunes son:

- Orificios circulares
- Orificios rectangulares
- Orificios cuadrados

3. Según sus dimensiones relativas:

- Orificios pequeños si $d < 1/3 (H)$
- Orificios grandes si $d > 1/3h$

Donde: h = Profundidad del agua hasta el borde superior del orificio
 d = Diámetro de altura del orificio.

4. Según su funcionamiento:

- a. Orificio con descarga libre
- b. Orificio con descarga ahogada
- c. Orificio con velocidad de llegada
- d. Orificio sin velocidad de llegada si su área es menor que $1/10$ del área de la superficie libre del depósito.

- Orificio de pared delgada y descarga libre

Estos orificios son los mas usados como medidores del caudal y pueden estar ubicados tanto en las paredes laterales o en el fondo del deposito y generalmente son de forma circular. Los orificios de aforo deben calibrarse cuidadosamente con el fin de obtener una curva o gráfica para el caudal en función únicamente de la carga hidráulica (H), medida desde el centro del orificio hasta la superficie libre. Para tener la mayor precisión en las mediciones deben tenerse en cuenta algunos requisitos de instalación

- Requisitos de instalación

1. La distancia de los cantos del orificio a las fronteras del recipiente: fondo, paredes laterales, y superficie libre debe ser por lo menos $3d$ para orificios circulares o $3a$ para rectangulares.

Donde: d : Diámetro del orificio

a : La menor dimensión

2. Los orificios se deben construir en placas delgadas. Si el espesor de la placa es mayor que la altura del orificio ($e > d$) los bordes deben cortarse en bisel.

- Formulas para los orificios

El caudal que pasa a través de un orificio de cualquier tipo, esta dado por la siguiente ecuación general:

$$Q = K * H^m \quad [2.1.1]$$

Donde: Q = caudal de descarga

K = constante característica del orificio

H = Carga hidráulica medida desde la superficie libre hasta el centro del orificio

m = Exponente

Puesto que las líneas de corriente, al aproximarse al orificio deben cambiar bruscamente su dirección, al salir el chorro a la atmósfera se contrae progresivamente y luego se ensancha nuevamente.

La sección donde el chorro presenta la mayor contracción (a una distancia aproximada de 1.5d) se llama “ Sección contracta “. En esta sección las líneas de corriente son paralelas y el chorro esta sometido a la presión atmosférica. Ver figura 19:

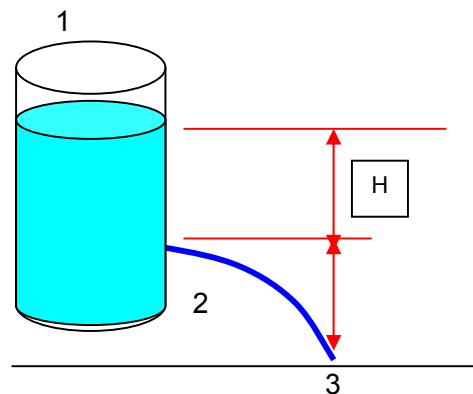


FIGURA 19 ORIFICIO DE DESCARGA LIBRE

- Velocidad teórica

En condiciones teórica, sin tener en cuenta las pérdidas, la ecuación de la energía entre la superficie libre (1) y la sección contracta (2) de acuerdo a la figura 19 es:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} \quad [2.1.2]$$

Considerando despreciable la velocidad de llegada V_1 y teniendo en cuenta que $Z_1 - Z_2 = H$:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{y} \quad V_2 = \sqrt{2 * g * H} \quad [2.1.3]$$

Como se han despreciado las perdidas, la velocidad obtenida es la teórica, o sea que $V_2 = V_t$.

El caudal teórico es:

$$Q_t = A_c * \sqrt{2 * g * H} \quad [2.1.4]$$

Donde: A_c = Área del chorro en la sección “ Contracta “ (2).

- Velocidad real

Considerando las perdidas al pasar el agua por el orificio, se tiene que la velocidad real en (2) esta dada por:

$$V_r = \sqrt{2g(H - hf)} \quad [2.1.5]$$

Esta velocidad, como se puede ver comparando las ecuaciones [2.1.3] y [2.1.5] es menor que la velocidad teórica y se puede establecer que:

$$V_r = C_v * V_t = C_v \sqrt{2 * g * H} \quad [2.1.6]$$

Donde: C_v = coeficiente de velocidad que debe calcularse experimentalmente para lo cual se usan varios métodos.

- Caudal Real

El caudal que sale por el orificio conocida el área de la sección “ Contracta “ y la velocidad real en esta sección, se calcula por:

$$Q_r = A_c * V_r = A_c * C_v * \sqrt{2 * g * H} \quad [2.1.7]$$

El área de la sección contracta A_c se puede expresar en función del área total del orificio A_o , y del coeficiente de contracción (C_c), así:

$$A_c = C_c * A_o$$

Reemplazando: $Q_r = C_c * C_v * A_o \sqrt{2 * g * H}$ [2.1.8]

Sustituyendo: $C_d = C_c * C_v$ se tiene:

$$Q_r = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * H} \quad [2.1.9]$$

- Ecuación de Patronamiento

Para un orificio dado, A_o y $\sqrt{(2g)}$ son constantes. Si además si el coeficiente de descarga C_d se mantiene constante aproximadamente, para ciertos valores de (Q) y (H) se tendrá una expresión para el caudal real en función únicamente de la carga (H). Esta función constituye la ecuación teórica practica de patronamiento del orificio, que será valida para las condiciones limitantes de (Q) y (H) para los cuales el C_d puede considerarse constante.

$$Q = K * H^{1/2} \quad [2.1.10]$$

Donde: K = Constante característica del orificio. Su valor numérico depende de C_d ,

A_o ,

$\sqrt{2g}$ y de las unidades elegidas para Q , H y g .

$$K = C_d * A_o * \sqrt{2 * g} \quad [2.1.11]$$

Si la ecuación de patronamiento se dibuja en coordenadas rectangulares se obtiene una curva de patronamiento correspondiente.

- Determinación del coeficiente de descarga

1. Método directo. Por experimentaciones, midiendo el caudal Q y la carga H correspondiente, se obtiene el coeficiente C_d de la ecuación [2.1.9].

$$C_d = \frac{Q_r}{A_o \sqrt{2 * g * H}} \quad [2.1.12]$$

Haciendo observaciones para diferentes caudales Q y cargas H se puede conocer como varía el coeficiente C_d ; si la variación no es muy grande se puede tomar un valor promedio como constante para el orificio.

2. Método indirecto. Si se conocen los coeficientes de velocidad C_v y de contracción C_c , el coeficiente de descarga, se calcula por:

$$C_d = C_v * C_c \quad [2.1.13]$$

Este método tiene el conveniente que es muy difícil la determinación del coeficiente de contracción y solamente se podría emplear para el caso que no existiera contracción, o sea, $C_c = 1$ como ocurre en la salida del chorro por una tubería a tubo lleno o por boquillas con $C_c = 1$. En este caso $C_d = C_v$.

- Determinación del Coeficiente de Velocidad (C_v)

Método de la trayectoria del chorro. Si se desprecia la resistencia del aire, se puede calcular la velocidad real del chorro en función de las coordenadas rectangulares X, Y .

Al despreciar la resistencia del aire, la velocidad horizontal del chorro en cualquier punto de su trayectoria permanece constante y será:

$$V_h = \frac{X}{t} \quad [2.1.14]$$

Donde: X = Distancia horizontal del punto a partir de la salida

t = Tiempo que tarda la partícula en desplazarse.

La distancia Y vertical recorrida por la partícula bajo la acción de la gravedad en el mismo tiempo t y sin velocidad inicial es:

$$Y = g * \frac{t^2}{2} \quad [2.1.15]$$

Reemplazando y teniendo en cuenta que $V_h = V_R$: (Velocidad real horizontal).

$$V_r = \frac{X}{\sqrt{2Y/g}} \quad [2.1.16]$$

La velocidad teórica y según la ecuación [2.1.3] es:

$$V_t = \sqrt{2 * g * h} \quad [2.1.17]$$

Como:

$$V_r = C_v * C_t : C_v = \frac{V_r}{dt} = \frac{X}{\sqrt{4 * Y * H}} = \frac{X}{2 * \sqrt{Y * H}} \quad [2.1.18]$$

Haciendo varias observaciones , para cada cual se mide H , X , Y y se calcula el C_v correspondiente. Si la variación de C_v no es muy grande, se puede tomar el valor promedio como constante para el orificio.

- Calculo de la Perdida de Carga

Estableciendo la ecuación de la energía entre (1) y (2), de la figura 19, se tiene que:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} + hf \quad [2.1.19]$$

$$\text{Despejando:} \quad Z_1 - Z_2 = H = \frac{(V_2)^2}{2g} + hf \quad hf = H - \frac{(V_2)^2}{2g} \quad [2.1.19a]$$

Conociendo la formula del coeficiente de velocidad, se tiene que.

$$hf = \frac{(V_2)^2}{2g} * \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) = K * \frac{(V_2)^2}{2g} \quad [2.1.20]$$

Donde el coeficiente de perdida por orificio esta dado por la ecuación siguiente:

$$K = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \quad [2.1.21]$$

2.1.5 Procedimiento

1. Establecer las características geométricas del orificio y boquilla que se va ensayar.
2. Establecer una carga (H) pequeña y esperar que se estabilice.
3. Aforar el caudal.
4. Medir la carga H sobre el centro del orificio o boquilla.
5. Medir para el chorro la longitud de avance X y la altura de caída Y respecto a su centro.
6. Aumentar la carga H y repetir los puntos 3 al 5. Hacerlo para diez cargas diferentes.
7. Hacer lo mismo desde el punto 2 en adelante para la boquilla.
8. Anote los resultados en el cuadro 24.

2.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Calcule para cada par de valores (Q,H) el coeficiente de descarga (C_{di}) por la ecuación [2.1.12] , analice los resultados y determine el coeficiente de descarga C_d del orificio.
2. Calcule por la ecuación [2.1.11] la constante K de la ecuación de patronamiento [2.1.10] y con base en ella dibuje la curva de patronamiento en papel milimetrado y escala conveniente.

3. Ubique en el grafico anterior los puntos reales (Q, H).
4. Calcule para cada caudal el coeficiente de velocidad C_{vi} de la ecuación [2.1.18] .
Analice los resultados y determine el C_v del orificio.
5. Para cada caudal, calcule la perdida de carga h_p por la ecuación [2.1.19a] .
6. Con el coeficiente C_v del orificio determinado en el punto 4 calcule el coeficiente de perdida de carga para el orificio K por la ecuación [2.1.21] .
7. Hacer lo mismo desde el punto 1 al punto 6 para la boquilla.
8. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.
9. Resuma los resultados en el cuadro 19.

CAPÍTULO 2

3. VERTEDEROS

LABORATORIO 3.1

ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE VERTEDEROS

3.1.1 Introducción

Se denomina vertedero a un muro interpuesto en el curso de una corriente que al remansar el flujo causa una elevación del nivel del agua. hacía arriba y por encima del cual fluye el agua, hacía abajo

Los vertederos son empleados, usualmente como aforadores por ser instalaciones muy simples. Debidamente calibrados o patronados se obtienen ecuaciones o curvas en las cuales el caudal es función de la carga hidráulica sobre la cresta.

3.1.2 Objetivos

- Obtener la curva de patronamiento experimental.
- Obtener la curva de patronamiento teórico experimental.
- A partir de la obtención de las constantes establecidas, definir la ecuación de patronamiento experimental, y con base en esta, dibujar la curva de patronamiento.

3.1.3 Equipo

- Tanque de carga y canal respectivo.

- Vertederos a descarga de diferentes formas geométricas, rectangular, triangular, etc.
- Recipiente de aforo volumétrico.

3.1.4 Principios generales

Los vertederos tienen varios usos entre ellos, esta el control de nivel en embalses, canales y depósitos en general, la derivación de un determinado caudal y la medición o aforo de caudales.

- Tipos de vertederos

1. Según el espesor de la cresta

- a. Vertederos de cresta delgada si: $e/H < 0.5$
- b. Vertedero de cresta ancha si: $0.5 \leq e/H < 3$
- c. Vertedero de cresta muy ancha si: $3 \leq e/H < 10$

Cuando la cresta es demasiado ancha, tal que: $e/H \geq 10$, el vertedero funciona como canal.

Donde: e = ancho o espesor de la cresta

H = Carga hidráulica sobre la cresta

2. Según la forma los mas comunes son:

Vertederos rectangulares, Vertederos trapezoidales, Vertederos triangulares, Vertederos circulares, Vertederos parabólicos, Vertederos proporcionales.

3. Según su funcionamiento

Con descarga libre, Con descarga ahogada, Con contracciones, Sin contracciones, Con velocidad de llegada (Si la velocidad antes del vertedero es alta), Sin velocidad de llegada.

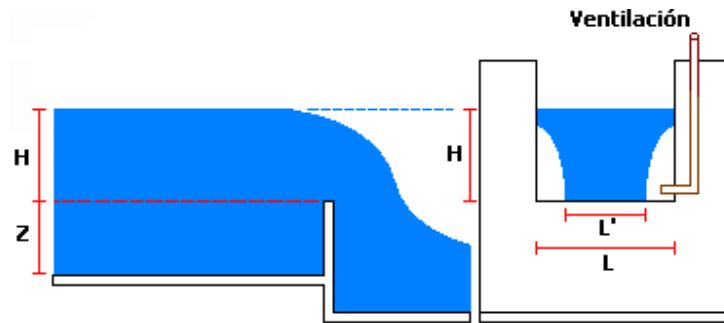


FIGURA 20 **VERTEDERO CON DESCARGA LIBRE,
RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES**

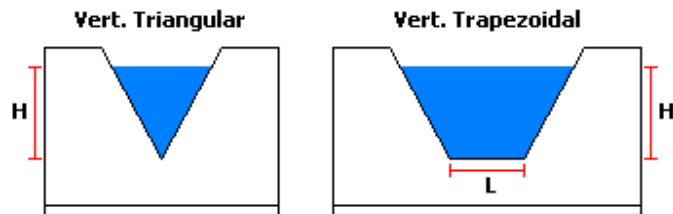


FIGURA 21 **VERTEDEROS**

- Vertederos de Cresta Delgada

Este tipo de vertederos son los mas usados, especialmente como aforadores por ser estructuras de construcción e instalación muy sencillas. 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.

- Vertederos de Cresta Ancha

Los vertederos de cresta ancha tienen una mayor capacidad de descarga y su uso mas frecuente es como estructuras de control de nivel, caudal o régimen.

- Formulas para los Vertederos de Cresta Delgada

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

$$Q = K * H^m \quad [3.1.1]$$

Donde: Q = Caudal de descarga a través del vertedero

K = Constante característica del vertedero.

H = Carga hidráulica sobre la cresta.

m = Exponente.

Según análisis teórico matemáticos, esta expresión general toma formas particulares, teórico practicas, de acuerdo al tipo de vertedero y condiciones de funcionamiento así:

1. Vertedero Rectangular Sin Contracción

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * Cd * L * H^{\frac{3}{2}} \quad [3.1.2]$$

Siendo:

$$K = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * Cd * L \quad [3.1.3]$$

Donde: L = Longitud de la cresta

g = Aceleración de la gravedad

Cd = Coeficiente de descarga

m = 3/2

2. Vertedero Rectangular Con Contracciones

Cuando la longitud de la cresta del vertedero L, es menor que el ancho b del canal en el cual se instala, la lamina vertiente sufre una contracción.

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * Cd * L' * H^{\frac{3}{2}} \quad [3.1.4]$$

Donde: L' = Ancho del chorro al pasar por la cresta del vertedero.

Este ancho efectivo del chorro se puede calcular por la ecuación teórico siguiente:

$$L' = L - n * (0.1 * H) \quad [3.1.5]$$

Donde: n = Numero de contracciones laterales.

Para patronamiento de este tipo de vertederos, el efecto de las contracciones laterales se puede incluir en el coeficiente C_d y usar la misma ecuación (3.1.2), o sea:

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g * C_d' * X * L * H^{\frac{3}{2}}} \quad [3.1.6]$$

Donde: C_d' = Coeficiente de descarga para vertederos rectangulares con n contracciones laterales.

$$K = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * C_d' * L \quad [3.1.7]$$

3. Vertedero Triangular

$$Q = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * C_d * Tg\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}} \quad [3.1.8]$$

$$K = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * C_d * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad [3.1.9]$$

Donde: Φ = Angulo de la escotadura triangular

C_d = Coeficiente de descarga

$m = 5/2$

4. Vertedero Trapezoidal

La descarga en este tipo de vertederos, es la suma del caudal que pasa por un vertedero rectangular y el de un vertedero triangular.

Cuando la inclinación de los taludes laterales es de $1 : m = 1 : 0.25$, el vertedero recibe el nombre de CIPOLLETI en honor a su inventor, quien dedujo que tal inclinación de los lados asegura una descarga por la parte triangular que compensa aproximadamente a la reducción en el caudal para un vertedero rectangular de igual longitud de cresta. Es decir:

Vertedero Cipolletti = Vertedero Rectangular Sin Contracciones

Para cualquier vertedero trapezoidal el caudal puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * Cd1 * LH^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * Cd2 * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}} \quad [3.1.10]$$

Donde: Cd1 = Coeficiente de descarga para vertedero rectangular con contracciones

Cd2 = Coeficiente de descarga para vertedero triangular.

L = Longitud de la cresta igual a la base del trapecio

$\Theta/2$ = Angulo de inclinación de los lados respecto a la vertical.

La ecuación (3.1.10) puede transformarse en la siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * \left[Cd1 + \frac{4H}{5L} * Cd2 * Tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] * L * H^{\frac{3}{2}} \quad [3.1.11]$$

Y esta a su vez en:

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * Cd * L * H^{\frac{3}{2}} \quad [3.1.12]$$

Donde: C_d = Coeficiente de descarga que se encuentra experimentalmente.

$$K = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * C_d * L \quad [3.1.13]$$

3.1.5 Procedimiento

1. Determinar las características geométricas del vertedero que se va a ensayar.
2. Instalarlo en el sistema de acople localizado al final del canal, utilice el marco de fijación.
3. Colocar el canal con pendiente horizontal, utilice el dispositivo de regulación.
4. Izar la compuerta de Guillotina en el tanque de carga, en su totalidad, con el fin de permitir la libre circulación del flujo.
5. Abrir la válvula de carga, y hacer circular un caudal hasta obtener la carga mínima en el vertedero a patronar.
6. Una vez que se estabilice el flujo, aforar el caudal y medir la carga H correspondiente, con el medidor vertical de tirantes.
7. Aumentar el caudal, logrando incrementos de carga de 0.005m. Repetir este proceso para más de 10 caudales.
8. Instalar otros vertederos y sin hacer mediciones, observar su funcionamiento.
9. Anote los resultados en el cuadro 26.

3.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Empleando la ecuación general [3.1.1] y el método de los mínimos cuadrados:

A partir de los valores (Q, H) obtenidos en el laboratorio, calcule las constantes K y m , de la ecuación [3.1.3], mediante regresión.

Con los valores obtenidos para las constantes K y m defina la ecuación de patronamiento experimental y con base en ella dibuje la curva de patronamiento

correspondiente en papel milimetrado y a escala conveniente. Ubique en el mismo gráfico los puntos reales (Q, H).

A partir del valor de K obtenido y su ecuación correspondiente según el vertedero que este patronando, calcule el C_d .

Resuma los resultados en el cuadro 25.

2. Utilizando la ecuación teórico – práctica del tipo de vertedero de su ensayo.

Calcule para cada par de valores (Q_i, H_i) obtenidos en el laboratorio, el coeficiente de descarga C_{di} .

De acuerdo al método teórico – práctico calcule el C_d del vertedero por la ecuación [3.1.2].

Defina la ecuación de patronamiento teórico – práctica y con base en ella dibuje la curva de patronamiento. En el mismo gráfico ubique los puntos reales (Q, H).

Resuma los resultados en el cuadro 26.

3. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 3.2

EFICIENCIA DE VERTEDEROS

3.2.1 Introducción

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. Este puede presentar diferentes formas según la finalidad a que se destine.

Estos dispositivos pueden utilizarse como aparatos de aforo en laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones y algunos pueden emplearse como obras de control o excedencia en presas.

3.2.2 Objetivos

- Capacitar al estudiante para que mediante las observaciones y discusión adquiriera criterio para la aplicación adecuada de los coeficientes empíricos.
- Mediante el cálculo de los coeficientes de gasto para tres tipos diferentes de vertederos se debe deducir la eficiencia de los mismos.
- Fomentar el interés por la experimentación y la investigación.

3.2.3 Equipo

- Canal de lecho ajustable.
- Vertederos a descarga de diferentes formas geométricas.
- Accesorio de desagüe.

3.2.4 Principios generales

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o placa y a superficie libre, la Estructura Hidráulica en que ocurre se llama vertedor. Este puede presentar

diferentes formas según las finalidades a que se destine; dichos vertedores pueden utilizarse como dispositivos de aforo en laboratorio en canales de pequeñas dimensiones u obras de control de excedencias según el tipo.

El punto o arista más bajo de la pared en contacto con la lámina vertiente se conoce como cresta del vertedor y el desnivel entre la superficie libre aguas arriba del vertedor y su cresta se conoce como carga.

Formula general del gasto:

$$Q = K * H^m \quad [3.2.1]$$

Donde: Q = caudal

K = coeficiente de gasto.

H = carga sobre la cresta aguas arriba del vertedor.

m = exponente que es característica de cada tipo de vertedor.

1) Vertedor de pared delgada: Se considera de pared delgada si $e/H < 0.67$ donde e = espesor. Sotelo afirma que en un vertedor de pared su espesor no debe ser mayor de 2 mm.

Considere un vertedor de pared delgada de sección geométrica conocida cuya cresta se encuentra a una altura w medida desde el fondo del canal; el nivel entre la superficie inalterada antes del agua antes del vertedor y la cresta es H.

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * \mu * b * H^{\frac{2}{3}} \quad [3.2.2]$$

Donde: b = ancho del canal

$$Cd = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu$$

μ = coeficiente de gasto

g = aceleración de la gravedad

Según Rehbock el coeficiente de gasto, se puede calcular con el uso de la siguiente formula:

$$\mu = \left\{ 0.6035 + 0.0813 \left[\frac{(h + 0.00110)}{W} \right] \right\} \left\{ 1 + \left[\frac{0.0011}{h} \right] \right\}^{\frac{2}{3}} \quad [3.2.3]$$

Fórmula válida solo para vertedores rectangulares de pared delgada sin contracciones laterales y siguientes limites de aplicación:

$$0.01\text{m} \leq h \leq 0.08 \text{ m}$$

$$w \geq 0.06 \text{ m}$$

$$h/w \leq 1.00 \text{ m}$$

2) Vertedor de cresta ancha: Un vertedor se considera de cresta ancha si $e/h > 0.67$ y es por definición una estructura hidráulica con una cresta horizontal sobre el cual la presión del flujo se puede considerar hidrostática.

Su uso mas frecuente es como estructura de control de nivel de caudal o régimen.

La ecuación general del gasto al realizar el análisis teórico – matemático, la ecuación del gasto será:

$$Q = \frac{2}{3} * E1 * \mu * \sqrt{2g} * b * H^{\frac{2}{3}} \quad [3.2.4]$$

donde μ coeficiente del gasto para un vertedor de pared delgada.

$E1$ = coeficiente de corrección para el caso que $e/h > 3.0$ según la formula de Gibson.

$$E1 = 0.75 + \frac{0.1h}{e} \quad [3.2.5]$$

Si se cumple la condición $e/h > 3$ se establece sobre la plataforma del vertedor condiciones de flujo con luces de corriente paralelas a ella y la distribución de presiones, se consideran hidrostáticas.

3) Vertedor de Cimaceo: Los vertedores de cimaceo tienen una sección con forma de S, cuya curva se hace ajustar al perfil inferior de una lámina de agua con ventilación cayendo de un vertedor de pared delgada. La lámina de agua se adhiere al parámetro del perfil evitando el acceso del aire a la cara inferior de la lámina. Figura 24.

El perfil en la parte que sigue a la curva superior del Cimaceo se continua en tangente a lo largo de un talud para soportar la lámina de agua sobre una superficie de derrame y al final una curva desvía el agua.

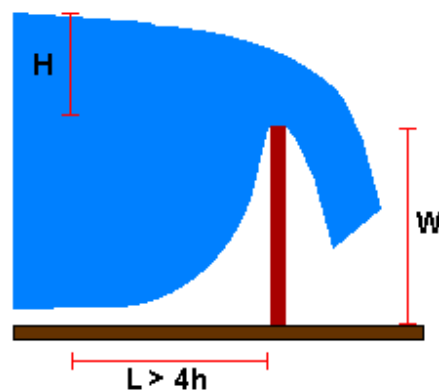


FIGURA 22 VERTEDORES DE PARED DELGADA

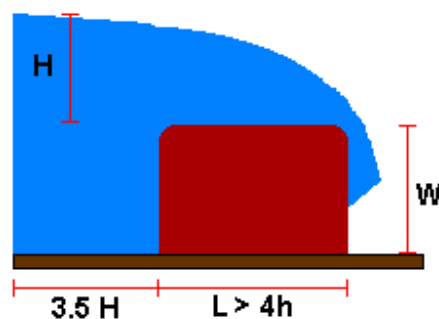


FIGURA 23 VERTEDORES DE PARED GRUESA

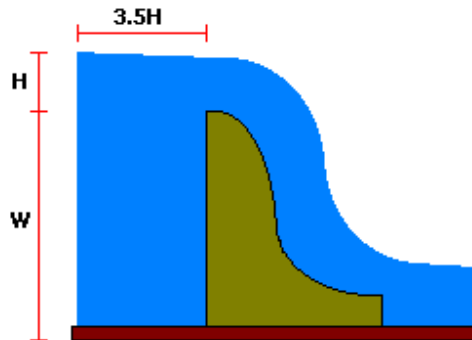


FIGURA 24 VERTEDORES DE CIMACEO

Debido a su alta eficiencia, la sección de Cimaceo es la que se usa en la gran mayoría de demasías.

La descarga sobre un vertedor de Cimaceo puede calcularse por la ecuación de la formula general:

$$Q = Cd * b * H^{\frac{3}{2}} \quad [3.2.6]$$

Donde Cd es un coeficiente de descarga particular para un vertedor de Cimaceo. Según referencia Ven T. Chow $Cd = 2.21$.

3.2.5 Procedimiento

1. Determine las características de los vertedores que se va a utilizar para la experiencia.
2. Con la varilla de punta roscada introduzca los vertedores en el centro del canal asegurándose que estén bien instalados; se recomienda se humedezcan antes de la introducción para evitar obstrucciones y lograr mejor deslizamiento.
3. Con la válvula de control de gasto, ajuste un caudal adecuado (15 – 50 LPM).
4. Para la lectura de la carga H sobre la cresta del vertedor se debe instalar la regla graduada a una distancia aguas arriba del vertedor según las condiciones que se muestran en las gráficas de la base teórica.

5. Registre la lectura de la carga H para cada uno de los vertedores; asegúrese de mantener el caudal constante.
6. Puede hacer una variación del caudal con la válvula de compuerta y repita la experiencia por lo menos 15 veces.
7. Registre los datos obtenidos en el cuadro 27.

3.2.6 Informe de laboratorio

1. Nombre, objetivo y descripción detallada de la práctica.
2. A partir de los valores de caudal Q (cm^3/seg) de la carga H (cms) obtenidos en la experiencia, calcule los coeficientes de descarga para cada uno de los vertedores.
3. De acuerdo al método teórico práctico calcule el coeficiente de descarga con las ecuaciones que se dan en las referencias teóricas y compare con los coeficientes obtenidos.
4. Resuma los resultados en el cuadro correspondiente.
5. Según el valor promedio de cada coeficiente de gasto, defina qué vertedero es más eficiente y deduzca su utilización para casos prácticos.
6. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 3.3

COEFICIENTE DE GASTO A TRAVES DE UNA COMPUERTA PLANA VERTICAL

3.3.1 Introducción

Una compuerta consiste en una placa móvil, plana o curva que al levantarse permite graduar la altura del orificio; recordando que las compuertas tienen las mismas propiedades hidráulicas de los orificios.

3.3.2 Objetivos

- Calcular los diferentes gastos de la experiencia, considerando un coeficiente de velocidad dependiendo de el coeficiente de descarga y el de contracción.
- Estudiar los coeficientes de carga C_d y de contracción C_c , en una compuerta vertical plana cuando se mantiene una abertura constante.

3.3.3 Equipo

- Canal de lecho ajustable.
- Válvula de control de gasto.
- Aforador de caudal.
- Tubos piezometricos para observar la distribución de caudales.

3.3.4 Principios generales

Una compuerta consiste en una placa móvil, plana o curva que al levantarse permite graduar la altura del orificio; para calcular el gasto, se hace a partir del Teorema de Bernoulli.

$$H = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = (C_c * a) + \frac{V_2^2}{2g} \quad [3.3.1]$$

Ver la figura 25:

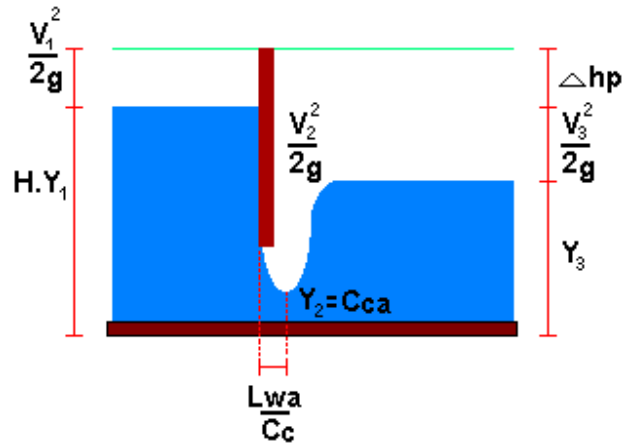


FIGURA 25 COMPUERTA PLANA

Y de la ecuación de Continuidad se tiene:

$$Q = b y_1 * V_1 = b * C_c * a * V_2 \quad [3.3.2]$$

Reemplazando y operando tenemos:

$$Q = \frac{C_c * C_v * b * a}{\sqrt{1 + \left(C_c * \frac{a}{Y_1} \right)}} * \sqrt{2g * Y_1} \quad [3.3.3]$$

$$Q = C_d * b * a * \sqrt{2g * Y_1} \quad [3.3.4]$$

Donde:

$$Cd = \frac{Cc * Cv}{\sqrt{1 + \left(Cc * \frac{a}{Y_1} \right)}} \quad [3.3.5]$$

Siendo: Cc = Coeficiente de contracción

Cv = Coeficiente de velocidad

Cd = Coeficiente de descarga

La siguiente figura relaciona Cd vs Yi/a; válido solo para compuertas verticales planas con descarga libre.

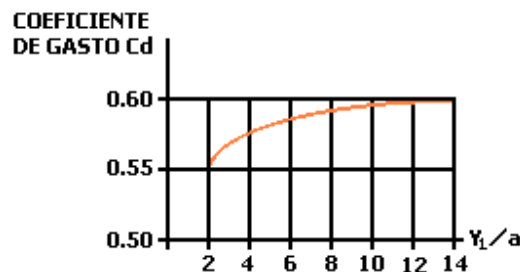


FIGURA 26 COEFICIENTE DE GASTO PARA COMPUERTA PLANA HORIZONTAL CON DESCARGA LIBRE

3.3.5 Procedimiento

1. Para medir la carga sobre una compuerta se toma la diferencia de nivel de aguas arriba y el nivel de aguas abajo.

Es de anotar que el coeficiente de velocidad es algo difícil de determinar y en algunos experimentos se toma un valor de $C_v = 1$; Sotelo propone una formula de fácil aplicación para su determinación en función de la relación a/Y_1 así:

$$C_v = 0.96 + 0.0979 * \left(\frac{a}{Y_1} \right) \quad [3.3.6]$$

El coeficiente de gasto se puede determinar en la figura que se consigna en los principios generales.

2. Determine el caudal por aforo volumétrico.
3. Repita el mismo procedimiento (por lo menos 10 veces) variando el caudal con la válvula de control de gasto y diferentes relaciones $a/Y1$.
4. En una de las mediciones, determine el perfil de flujo.
5. Coloque tubos piezometricos en una profundidad media y en el fondo del canal para que observe la distribución de presiones.
6. Registre los datos obtenidos en el cuadro 28.

3.3.6 Informe de laboratorio

1. Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.
2. Calcule el coeficiente de descarga y de contracción para los diferentes gastos de la experiencia, considerando un coeficiente de velocidad $C_v = 1$ y luego realice los promedios correspondientes.
3. Calcular teóricamente el coeficiente C_v según la formula [3.3.6] y compruebe que su valor oscila entre 0.96 y 1.00; cabe anotar que este valor es de difícil obtención para condiciones de laboratorio.
4. Localice de acuerdo con los resultados obtenidos la posición aproximada de la vena contraída.
5. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 2

4. CANALES

LABORATORIO 4.1

ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN CANALES

4.1.1 Introducción

Es importante en el análisis de canales de cualquier forma geométrica, conocer las diferentes variables y constantes que conforman su naturaleza, y conocer, que dependiendo de este conocimiento, el flujo que circula a través de él tendrá condiciones diferentes a medida que estas cambian.

4.1.2 Objetivos

- Calcular los coeficientes de rugosidad de un canal experimental de acuerdo a las diferentes expresiones de C y con base en mediciones reales del caudal y parámetros hidráulicos del canal.

4.1.3 Equipo

- Canal con especificaciones geométricas determinadas.
- Medidor vertical de tirantes, termómetro.
- Dispositivo de aforo de caudales.
- Dispositivo de regulación de pendientes.

4.1.4 Principios generales

Canal es un conducto abierto, por el cual circula un fluido líquido generalmente agua, por gravedad y por flujo libre.

- Características del flujo libre

1. Presenta una superficie del líquido en contacto con la atmósfera, llamada superficie libre.
2. La superficie libre coincide con la línea piezométrica.
3. El flujo puede ser uniforme o variado acelerado o retardado..
4. Cuando el fluido es agua a temperatura ambiente, el régimen de flujo es normalmente turbulento.

- Características del flujo libre uniforme

1. La profundidad de la lámina de agua es constante a lo largo del canal.
2. Las líneas correspondientes a la solera del canal, superficie libre y de altura totales son paralelas y sus pendientes iguales.

$$G.P = I = S_o$$

Donde: G.P = Gradiente piezométrico

I = Gradiente hidráulico

S_o = Pendiente de la solera.

3. Las pérdidas de carga por fricción para un tramo dado son iguales al decremento en la cota de la solera.
4. Se presenta para pendientes pequeñas de la solera.

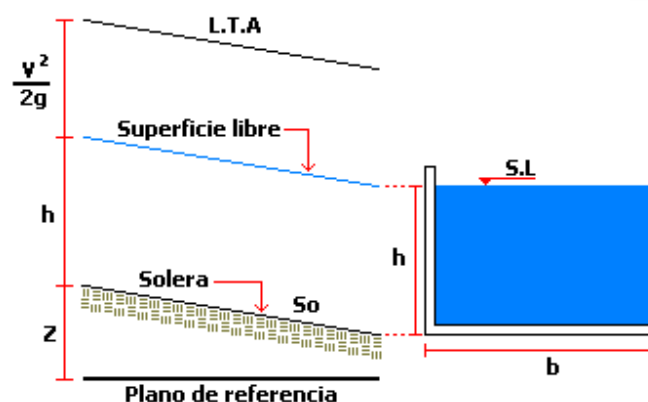


FIGURA 27 FLUJO LIBRE EN CANALES

- Ecuaciones de la velocidad

El movimiento permanente uniforme a flujo libre se rige por la ley general que expresa que la velocidad media es función del producto del radio hidráulico del conducto por la pendiente del mismo.

Con base en la ley anterior Chezy, dedujo la primera ecuación para el movimiento del agua en conductos con flujo libre, conocida como Ecuación de Chezy.

$$V = C * \sqrt{R * S_o} \quad [4.1.1]$$

Donde: C = Coeficiente de velocidad que depende de las condiciones del lecho del canal.

Para canales de lecho no erosionables, las expresiones para C más comunes son las siguientes:

- Formula de Kutter – Ganguillet

Propusieron una expresión para C en función de la rugosidad del lecho del canal (n), la pendiente de la solera (S_o) y el radio hidráulico de la sección (R_h), aplicable a canales de sección rectangular y trapezoidal.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S_o}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S_o} \right) * \frac{n}{\sqrt{R_h}}} \quad (\sqrt{m} / seg) \quad [4.1.2]$$

- Formula de Kutter

Simplifica la expresión anterior y es válida para S_o > 0.0005.

Para sistema de unidades técnico o MKS: R_h expresado en metros.

$$C = \frac{100 * \sqrt{R_h}}{m + \sqrt{R_h}} \quad (\sqrt{m} / seg) \quad [4.1.3]$$

Donde: m = Coeficiente que depende de la rugosidad del lecho.

- **Formula de Manning:** No tiene limitaciones en su uso.

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \quad \left(\sqrt{m} / \text{seg} \right) \quad [4.1.4]$$

Donde: n = Coeficiente de rugosidad del lecho del canal. Este coeficiente es el

mismo de la formula de Kutter – Ganguillet.

- **Formula de Bazin:** Bazin considera, al igual que la expresión modificada de Kutter, que el mencionado coeficiente de Chezy es función del radio hidráulico y no del la pendiente.

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{Rh}}} \quad \left(\sqrt{m} / \text{seg} \right) \quad [4.1.5]$$

Donde: m = Coeficiente de fricción de Bazin.

- **Formula Logarítmica**

Esta fórmula tiene en cuenta el comportamiento hidráulico del conducto liso o rugoso, lo cual depende la relación entre las rugosidades absolutas del lecho (ϵ) y del espesor de la capa laminar (δ).

La expresión para C es la siguiente: Rh y a en metros.

$$C = 18 * \log \left(\frac{6 * Rh}{a} \right) \quad \left(\sqrt{m} / \text{seg} \right) \quad [4.1.6]$$

Donde: a = Coeficiente de rugosidad.

a = $\delta/7$ si conducto hidráulicamente rugoso ($\delta < \epsilon$)

$$\delta = \frac{11 * \gamma}{\sqrt{g * Rh * So}} \quad [4.1.7]$$

Para flujo en canales, a no ser que el conducto sea físicamente liso ($\epsilon = 0$), el comportamiento hidráulico es generalmente rugoso y $a = \epsilon/2$.

Reemplazando las anteriores expresiones para C en la ecuación de Chezy se obtiene las ecuaciones para la velocidad media.

La ecuación más usada en nuestro medio es la de Manning que toma la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}} \quad (m/seg) \quad [4.1.8]$$

$$Q = \frac{A}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}} \quad (m^3/seg) \quad [4.1.9]$$

Donde: A = Área de la sección hidráulica del canal, en m².

Rh = Radio hidráulico, en mts.

4.1.5 Procedimiento

1. Medir las variables geométricas del canal: base, forma de la sección recta, taludes laterales, longitud.
2. Mediante el dispositivo de regulación de pendientes, establecer una pequeña diferencia de niveles entre los extremos del canal, dicha pendiente se evalúa dividiendo la lectura tomada de la escala para la regulación de pendientes, entre 2.60 metros.
3. Ubicar termómetro en un sitio adecuado del canal.
4. Establecer un caudal pequeño y después de que se estabilice, aforarlo. Utilizar el dispositivo de aforo o método de aforo que se utilice en el laboratorio. Deben hacerse varios aforos para mayor exactitud del caudal.

5. Elegir una sección representativa y medir la profundidad de la lámina de agua (h) utilizar el medidor vertical de tirantes.
6. Incrementar el caudal, esperar que se estabilice y aforarlo.
7. En la misma sección elegida en (S) medir la profundidad de la lámina de agua (h).
8. Incrementar el caudal y repetir el proceso a partir de (4) el mayor número de veces posible.
9. Leer la temperatura del agua que marca el termómetro.
10. Con los datos anteriores llenar el cuadro correspondiente.

4.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada caudal experimental calcular la velocidad media de flujo por la expresión $V = Q/A$ donde el área se calcula en función de las variables geométricas de la sección y la profundidad h correspondiente.
2. A partir de la ecuación de Chezy [4.1.1], calcular el coeficiente C para cada caudal experimental y radio hidráulico correspondiente.
3. Para cada caudal y radio hidráulico correspondiente calcular los coeficientes de rugosidad de cada expresión para C , ecuaciones [4.1.2] a [4.1.6].
4. Calcular el espesor de la capa laminar para cada caudal experimental, mediante la ecuación [4.1.7].
5. Por la formula logarítmica para C calcular el valor de a y compararlo con $\delta/7$: si $a > \delta/7$ el conducto se comporta como hidráulicamente rugoso y $a = \epsilon/2$ y por lo tanto $\epsilon = 2a$.
6. Calcule los valores medios de los coeficientes de rugosidad y de la rugosidad absoluta (ϵ).
7. Llenar con los valores calculados el cuadro 30.
8. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 4.2

ESTUDIO DE LA ENERGIA ESPECIFICA EN UN CANAL RECTANGULAR

4.2.1 Introducción

A medida que atravesamos un canal, la energía específica cambia a medida que las condiciones del flujo varían, como es el caso de la profundidad y la velocidad del flujo a través de este.

4.2.2 Objetivos

- A partir de los datos de caudal, ancho de base de caudal, graficar la ecuación de la energía específica en un canal rectangular.
- Calcular la profundidad crítica y la energía específica mínima para un canal de estas características.
- Determinar el número de Froude y clasificar el flujo de acuerdo a su valor.

4.2.3 Equipo

- Canal de pendiente variable y sección rectangular
- Válvula de regulación

4.2.4 Principios generales

Para cualquier sección de un canal, se llama energía específica a la energía por unidad de peso del líquido en movimiento con relación a la solera. Esto es:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \quad [4.2.1]$$

Donde: E = Energía específica.

y = Profundidad de la lámina del líquido.

V = Velocidad media de flujo.

G = Aceleración de la gravedad.

En función del caudal se tiene:

$$E = Y + \frac{Q^2}{A^2 2g} \quad [4.2.2]$$

Donde: A = Área de la sección hidráulica.

Para canal rectangular $A = b \cdot y$. Donde: b = Ancho de la base.

Reemplazando, y haciendo $Q/b = q$ = caudal por unidad de ancho se tiene:

$$E = y + \frac{q^2}{2g \cdot Y^2} \quad [4.2.3]$$

Para caudal constante la energía específica es función únicamente de la profundidad de flujo. Su variación se muestra en la siguiente figura:

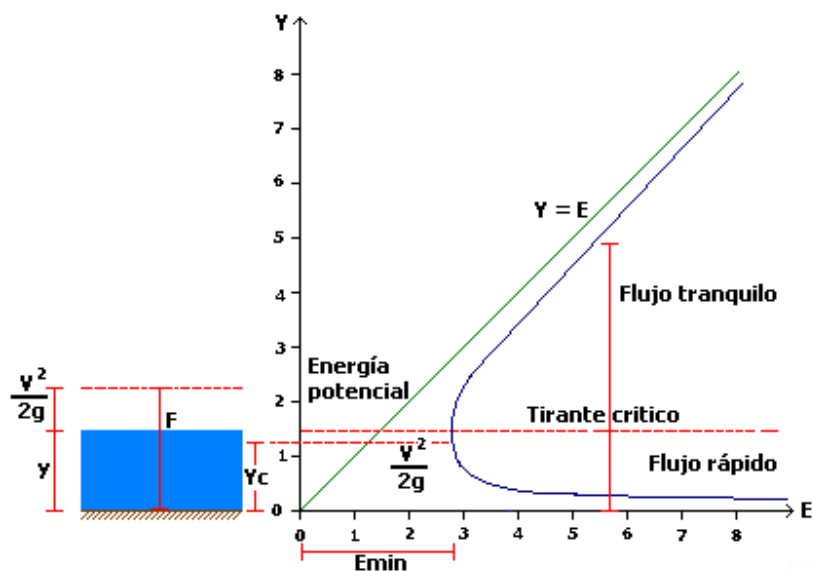


FIGURA 28

VARIACIÓN DE LA ENERGIA ESPECIFICA
PARA CAUDAL CONSTANTE

Según la figura 28 se presenta un valor mínimo de la energía específica para una única profundidad, llamada profundidad crítica (Y_c). Para valores de $E > E$ (mínima) el flujo se puede realizar con dos profundidades diferentes $Y_1 < Y_c$ ó $Y_2 > Y_c$.

- CLASIFICACION DEL FLUJO

De acuerdo a lo anterior se tienen los siguientes tipos de flujo:

1. Flujo lento o subcritico si $Y > Y_c$; $V < V_c$; $Fr < 1$
2. Flujo critico si $Y = Y_c$; $V = V_c$; $Fr = 1$
3. Flujo rápido o supercrítico si $Y < Y_c$; $V > V_c$; $Fr > 1$

La expresión para el numero de Froude (Fr) es la siguiente:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Y_h}} \quad [4.2.4]$$

Donde: V = Velocidad de flujo = Q/A

Y_h = Profundidad hidráulica = A/B

B = Ancho de la superficie libre

Para canal rectangular $B = b$, $Y_h = Y$.

Para calcular la profundidad critica en un canal rectangular, la expresión es:

$$Y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [4.2.5]$$

La energía específica mínima en un canal rectangular es:

$$E_{\min} = Y_c + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{3}{2} * Y_c \quad [4.2.6]$$

Si se mantiene constante la energía específica, y se despeja el caudal se tiene:

$$Q = A * \sqrt{2 * g * (E - Y)} \quad [4.2.7]$$

Para canal rectangular:

$$q = \frac{Q}{b} = Y * \sqrt{2 * g * (E - Y)} \quad [4.2.8]$$

Estas ecuaciones muestran que el caudal para $E = \text{cte}$ es función de la profundidad. La variación del caudal se muestra en la figura 4.2.2:

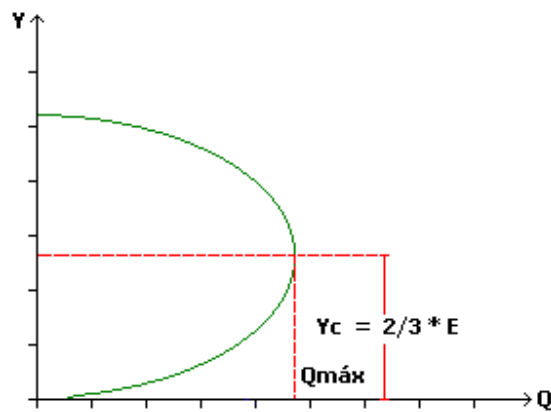


**FIGURA 29 VARIACIÓN DEL CAUDAL
PARA ENERGIA CONSTANTE**

Esta figura muestra que el caudal es máximo para la profundidad crítica, propiedad muy útil en el diseño de secciones de máxima descarga como vertederos, salidas de depósitos y otros.

4.2.5 Procedimiento

1. Mida la base de la sección del canal.
2. Incline el canal con una pendiente horizontal. Compruébela midiendo una cota Z_1 en la cabecera del canal y otra $Z_2 = Z_1$ al final.

3. Abra lentamente la válvula de regulación del canal hasta obtener la mayor profundidad posible.
4. Espere a que se establezca el flujo y aforo el caudal.
5. Elija una sección y mida la profundidad del agua (Y).
6. Varíe muy poco la pendiente del canal. Mida Z_1 y Z_2 y la distancia L entre las secciones 1 y 2 y calcule la pendiente S_o .
7. Mida la profundidad en la misma sección anteriormente elegida en el numeral 5.
8. Repita el proceso desde el numeral 6 el mayor número de veces posible.
9. Anote los datos experimentales obtenidos en el cuadro 31 de datos.

4.2.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para los datos de caudal, ancho de base del canal, obtenidos para el experimento. Grafique la ecuación [4.2.3], tomando incrementos de la profundidad (Y) de 0.5 cm. Use una escala conveniente. Utilice el cuadro 32.
2. Calcule la profundidad crítica (Y_c) y la energía específica mínima por las ecuaciones [4.2.5] y [4.2.6].
3. Para cada profundidad medida en el laboratorio calcule la velocidad y la energía específica y ubique los puntos (E, Y) en la gráfica anterior.
4. Para cada profundidad experimental calcule el número de Froude y de acuerdo a su valor clasifique el flujo.
5. Observaciones:
 - a. Compare los valores de Y_c , E_{min} de la gráfica teórica con los valores obtenidos en el experimento.
 - b. Analice las variaciones de la profundidad de flujo (Y), la velocidad y el número de Froude cuando se aumenta la pendiente.
6. Resuma los resultados en el cuadro 32 de resultados.
7. Observaciones, recomendaciones y conclusiones.

LABORATORIO 4.3

CONTROL IMPUESTO POR EL FLUJO CRITICO Y ENERGIA ESPECIFICA

4.3.1 Introducción

En el estudio de los canales, es una gran herramienta el conocimiento de sus condiciones a través de graficas que describan su comportamiento a medida que su curso avanza.

4.3.2 Objetivos

- Calcular la profundidad critica teóricamente y experimentalmente para un caudal determinado.
- Graficar las curvas que relacionan a la energía con la profundidad para los valores del ensayo.

4.3.3 Equipo

- Canal de pendiente variable y sección rectangular
- Válvula de control de gasto
- Medidor de aguja
- Nivel
- Pitómetros

4.3.4 Principios generales

La energía especifica se define como la energía por unidad de peso del liquido en movimiento en cualquier sección del canal, medida con referencia a la solera, esto es:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \quad [4.3.1]$$

Donde: E = Energía específica

Y = Profundidad de la lámina del líquido

V = Velocidad media del flujo

g = Aceleración de la gravedad

En función del caudal se tiene:

$$E = Y + \frac{Q^2}{A^2 * 2 * g} \quad [4.3.2]$$

Siendo A = Área de la sección hidráulica.

Para un canal rectangular A = b; donde: b = Ancho del canal

Reemplazando en la ecuación [4.3.2] y haciendo Q/b = q = caudal por unidad de ancho, se tiene:

$$E = Y + \frac{q^2}{2 * g * y^2} \quad [4.3.3]$$

Para un caudal constante la energía específica es función únicamente de la profundidad del flujo; su variación se muestra en la figura [30].

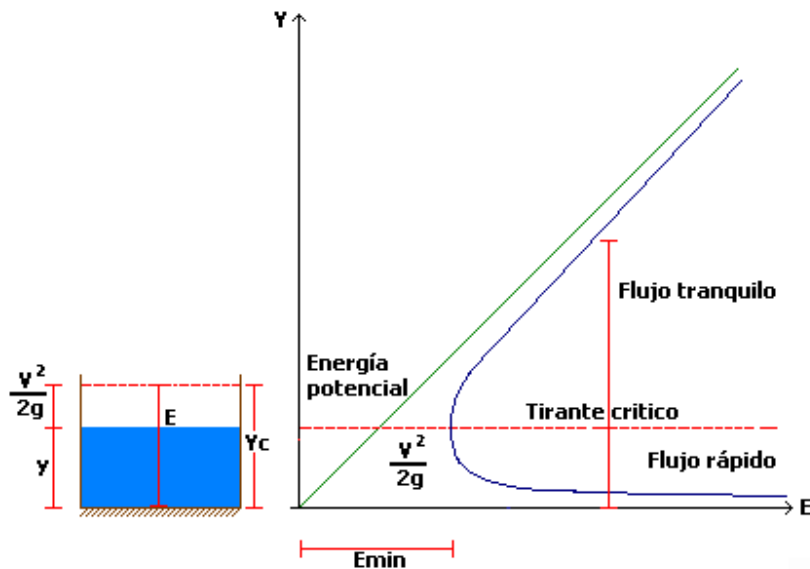


FIGURA 30 VARIACIÓN DE LA ENERGÍA ESPECÍFICA PARA UN CAUDAL CONSTANTE

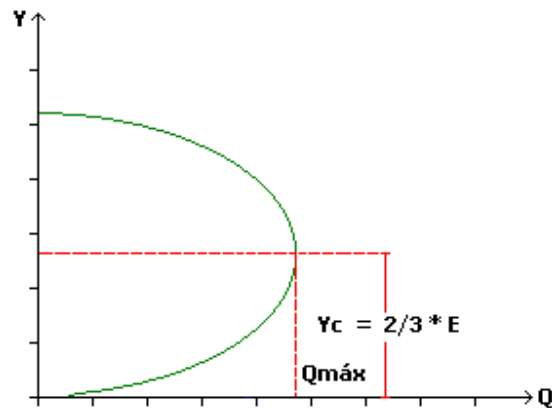


FIGURA 31 VARIACIÓN DEL CAUDAL PARA UNA ENERGÍA CONSTANTE

Según la figura [30] se presenta un valor mínimo de la energía específica para una única profundidad, llamada profundidad crítica (Y_c) para valores de $E > E_{min}$ el flujo se puede presentar con dos profundidades diferentes:

$$Y_1 < Y_c \quad \text{ó} \quad Y_2 > Y_c$$

Teniendo en cuenta que para un caudal constante la velocidad varía inversamente con la profundidad, las velocidades correspondientes a profundidades $Y_1 < Y_c$ son mayores que las correspondientes a profundidades $Y_2 > Y_c$.

Clasificación del flujo: De acuerdo a lo anterior se entiende los siguientes tipos de flujo:

1. Flujo lento o subcrítico sí $Y > Y_c$; $V < V_c$; $FR < 1$
2. Flujo crítico sí $Y = Y_c$; $V = V_c$; $FR = 1$
3. Flujo rápido o supercrítico sí $Y < Y_c$; $V > V_c$; $FR > 1$

FR = Número de Froude cuya expresión de cálculo es:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Yh}} \quad [4.3.4]$$

Donde: V = Velocidad de flujo = Q/A

Y_h = Profundidad Hidráulica = A/B

B = Ancho de la superficie libre

Para un caudal rectangular $B = b$; $Y_h = Y$

Para calcular la profundidad crítica en un canal rectangular la expresión es:

$$Y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [4.3.5]$$

La energía específica mínima en canal rectangular es:

$$E_{\min} = Y_c + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{3}{2} * Y_c \quad [4.3.6]$$

Si se mantiene constante la energía específica y se despeja el caudal se tiene:

$$Q = A * \sqrt{2 * g * (E - Y)} \quad [4.3.7]$$

Para un canal rectangular:

$$q = \frac{Q}{b} = Y * \sqrt{2 * g * (E - Y)} \quad [4.3.7.1]$$

Estas ecuaciones muestran que el caudal para $E = \text{cte}$, es función de la profundidad. La variación del caudal se muestra en la figura [30].

La figura [31] muestra que el caudal es máximo para la profundidad crítica, propiedad muy útil para el diseño de secciones de máxima descarga como de vertederos, salida de depósitos y otros.

Cuando en un canal se tiene un flujo lento y por lo tanto la profundidad del agua mayor que la profundidad crítica, cualquier perturbación que se haga al final del canal repercute aguas arriba.

Así si mediante una compuerta se aumenta la profundidad del agua al final del canal, las profundidades aguas arriba también aumentan y viceversa.

Pero si aguas arriba de la compuerta de control existe una sección con profundidad crítica, la compuerta deja de tener influencia hacía aguas arriba y el control pasa a ejercerlo la sección de profundidad crítica.

4.3.5 Procedimiento

Para el desarrollo del ensayo de laboratorio se siguen los siguientes pasos:

1. Mida el ancho del canal (b) y ajuste el lecho del canal para $Z = 0$ en todas las secciones. Asegúrese que el canal este bien nivelado.
2. Levantar la compuerta aguas abajo hasta 3.50 cms.
3. Mediante la válvula de control de gasto, haga circular un caudal tal que $Y_1 = 10.00$ cms aproximadamente.
4. Una vez estabilizado el flujo lea el caudal en el medidor, o emplee aforo volumétrico.
5. Mueva la compuerta de cola, manteniendo el caudal constante y compruebe la variación de la profundidad aguas arriba.
6. Vuelva a colocar la compuerta levantada 3.50 cms.
7. Levante la parte control del lecho, con incrementos Z_2 de 5.00 ó 10.00 mm según el cuadro 33, manteniendo siempre el caudal constante.

8. Para cada posición de Z_2 del lecho mida en las secciones 1, 2 y 3 las profundidades del agua Y_1 , Y_2 y Y_3 .
9. Introduzca los pitómetros hasta el centro de cada sección y lea las alturas piezométricas H_1 , H_2 y H_3 .
10. Para cada posición de Z_2 del lecho vaya calculando para las tres secciones las energías específicas así:
 Para las secciones (1) y (3) $E_1 = H_1$, puesto que $Z_1 = 0$ para la sección (2) $E_2 = H_2 - Z_2$.
 A medida que se incrementa Z_2 observe como varía la profundidad del agua en las secciones (1) y (2).
11. Vaya observando la disminución de E_2 a medida que incrementa Z_2 .
12. Obsérvese cuando E_2 empieza a ser constante. La profundidad Y_2 habrá alcanzado su valor crítico que seguirá constante. Anote esta condición para $Y_2 = Y_c$.
13. Siga incrementando Z_2 y mueva la compuerta de cola y observe como varía Y_1 y Y_2 .
14. Anote los datos y observaciones en el cuadro 33.

4.3.6 Informe de laboratorio, conclusiones y recomendaciones

Nombre, objetivo y descripción detallada de la práctica.

1. Calcule la profundidad crítica para el caudal medido por la ecuación [4.3.5]; compare este valor con el obtenido en el ensayo.
2. Dibuje en papel milimetrado y a escala conveniente las curvas E_1 vs Z_2 y E_2 vs Z_2 con los valores obtenidos en el ensayo.
3. Las E_1 vs Z_2 y E_2 vs Z_2 , presentan un punto donde cambia su pendiente. Analice qué significan las coordenadas (E , Z) correspondiente a esos puntos.
4. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 4.4

ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

4.4.1 Introducción

Cuando en un canal con flujo permanente uniforme se presentan causas que retardan o aceleran la corriente, el flujo pasa a condiciones variadas que se manifiestan por un aumento o disminución de la profundidad de flujo respectivamente.

4.4.2 Objetivos

- Comparar los resultados que se obtienen por métodos teóricos con los obtenidos experimentalmente en el laboratorio.
- Calcular el coeficiente “n” del lecho, usando la expresión de Manning.
- Dibujar los perfiles teóricos con los resultados de cada método.

4.4.3 Equipo

- Canal rectangular de pendiente variable
- Un dique
- Aforador de caudal

4.4.4 Principios generales

Para la realización de esta práctica, debemos tener en cuenta ciertas consideraciones:

- Flujo Variado Retardado

Algunas causas que retardan el flujo son: Disminución brusca de la pendiente del canal; interposición de obstáculos en el lecho del canal como pequeños diques, vertederos, compuertas de control.

Para condiciones iniciales de flujo uniforme lento, se tendrá un flujo gradualmente variado. Pero para uniforme gradualmente variado rápido se presentará un resalto hidráulico. Figura 32.a.

- Flujo Variado Acelerado

Se presenta cuando la pendiente del canal aumenta bruscamente. En este caso la pérdida de carga por fricción es menor que la disminución de la energía potencial debida a la pendiente y el flujo se acelera. Ver figura 32.b

- Métodos de calculo

Para conocer la variación de la profundidad del flujo variado, en relación con la longitud, aguas abajo, del canal, se emplean métodos teóricos aproximados entre los cuales los mas usados son: El método tramo a tramo y el de integración numérica.

1. Método tramo a tramo (Figura 33)

Se basa en la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \frac{E_1 - E_2}{I_m - S_o} \quad [4.4.1]$$

Donde: ΔL = Longitud de cada tramo.

E_1 = Energía específica para la sección inicial del tramo.

E_2 = Energía específica para la sección final del tramo. (Aguas abajo).

S_o = Pendiente del canal en tanto por unos (m/m, cm/cm)

I_m = Gradiente hidráulico medio del tramo. Se calcula para la profundidad media del tramo dada por:

$$Y_m = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \quad [4.4.2]$$

Donde: Y_1 = Profundidad del agua en la sección inicial del tramo.

Y_2 = Profundidad del agua en la sección final del tramo.

$$Im = \left(\frac{Q * n}{Am * Rm^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (\text{MKS}) \quad [4.4.3]$$

$$Im = \left(\frac{Q * n}{4.64 * Am * Rm^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (\text{CGS}) \quad [4.4.3.a]$$

Donde: Am = Área de la sección media de profundidad Ym .

Rm = Radio hidráulico de la sección media de profundidad Ym .

Q = Caudal de flujo.

n = Coeficiente de rugosidad del canal según Manning.

Para aplicar este método se debe conocer la profundidad de la sección inicial y la clase de variación. Tomando incrementos o decrementos ΔY , la profundidad siguiente será: $Y_2 = Y_1 \pm \Delta Y$

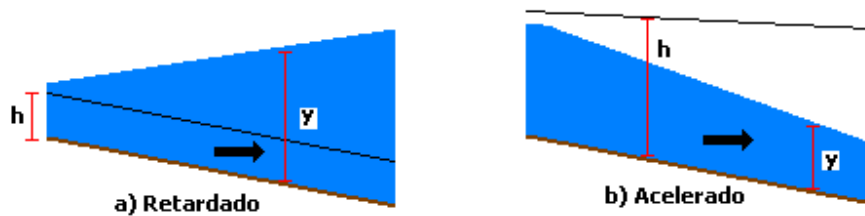


FIGURA 32 FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

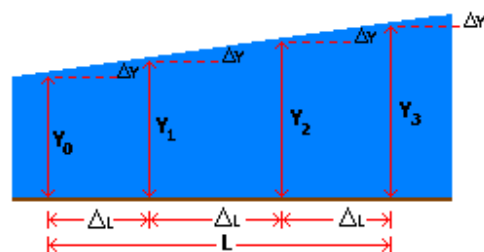


FIGURA 33 METODO TRAMO A TRAMO

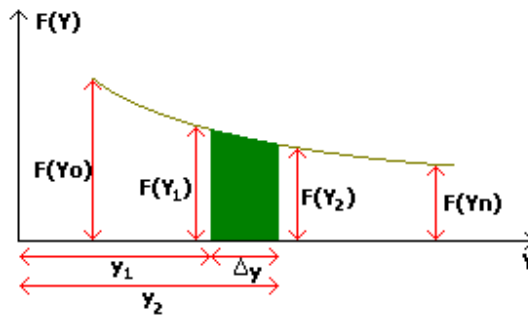


FIGURA 34 METODO DE INTEGRACIÓN NUMÉRICA

Tomando el signo (+) si la variación es retardada hacia aguas abajo y el signo (-) si es acelerada. El valor de ΔY puede ser cualquiera, pero entre mas pequeño sea, es mayor la exactitud del método.

2. Método de Integración Numérica

El método tiene como base la siguiente expresión diferencial, cuya deducción teórica se analiza en un curso de hidráulica.

$$\frac{dl}{dy} = \frac{1 - \frac{Q^2 * B}{g * A^3}}{So - 1} \quad [4.4.4]$$

Esta ecuación relaciona la longitud con la profundidad del agua en cada sección del canal. Las variables que intervienen son:

Q = Caudal de flujo

B = Ancho de la superficie libre en cada sección

A = Área de la sección hidráulica

g = Aceleración de la gravedad

So = Pendiente del canal en tanto por uno (m/m, cm/cm)

Y = Gradiente hidráulico de cada sección

$$I = \left(\frac{Q * n}{A * R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (\text{MKS}) [4.4.5]$$

$$I = \left(\frac{Q * n}{4.64 * A * R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (\text{CGS}) [4.4.5.a]$$

Donde: R = Radio hidráulico

n = Coeficiente de rugosidad según Manning

Como las variables A, B, R, I son función de la profundidad, la ecuación [4.4.4] puede expresarse como:

$$\frac{dl}{dy} = F(y)$$

De donde:
$$L = \int_{y_0}^{y_n} F(y) dy [4.4.6]$$

Puesto que esta expresión no es integrable directamente, se debe recurrir a otros métodos aproximados como el de la integración numérica.

Si se grafica en coordenadas rectangulares la función:

$$F(y) = \frac{1 - \frac{Q^2 * B}{g * A^3}}{S_o - I} \quad [4.4.7]$$

Se tiene una curva, según la figura 4.4.3 limitada por F(y₀) y F(y_n). El área bajo la curva corresponde a la integral de la ecuación [4.4.6], o sea a la longitud entre las secciones de profundidades Y₀ y Y_n.

Para encontrar esta área numérica, se procede así:

- Se divide el área en trapecios de base F(y₁) y F(y₂) y altura Δy = Y₂ – Y₁.

- El área de cada trapecio $\Delta A = \Delta L = (F(y_1) + F(y_2) * \Delta y) / 2 = F(y)m * \Delta y$

La longitud total $L = \Sigma \Delta L$

Como en el método anterior, se parte de una sección de profundidad conocida y se debe conocer también la clase de variación, según la cual se suma o resta Δy . Entre mas pequeño sea Δy se tendrá mayor exactitud.

4.4.5 Procedimiento

1. Mida las variables geométricas de la sección del canal.
2. Coloque el canal con una pendiente cualquiera y ubique un dique en el extremo final.
3. Haga circular un caudal sin que se rebose el agua.
4. Mire la variación del perfil del agua. Si es bien notoria continúe con el paso siguiente; de lo contrario modifique la pendiente del canal y el caudal hasta lograr visualizar bien la variación del perfil.
5. Quite el dique para que se establezca el flujo normal. Una vez que se estabilice mida la profundidad (h) del agua y afore el caudal.
6. Mida la cota inicial (Z_1) y final (Z_2) y la longitud del canal y con estos datos calcule la pendiente (S_o).
7. Coloque nuevamente el dique al final del canal manteniendo constante el caudal.
8. A partir de una sección inicial en el extremo aguas arriba del canal mida las profundidades del agua (Y) cada 20 cm, tome los valores de los limnímetros.
9. Anote los datos experimentales en el cuadro 34.

4.4.6 Informe de laboratorio, conclusiones y recomendaciones

Nombre, objetivo y descripción detallada de la práctica.

1. Con los datos de flujo uniforme: Q , H , S_o , calcule el coeficiente “ n ” del lecho usando la expresión de Manning para el sistema de unidades que vaya a usar. Empleando las ecuaciones [4.1.7] y [4.1.8].
2. Tome como profundidad inicial la misma de la práctica en el laboratorio para $L = 0$, y con incrementos Δy , calcule las distancias ΔL entre secciones y la distancia total L desde la inicial para cada una de las profundidades siguientes.
 - a. Empleando el método tramo a tramo.
 - b. Empleando el método de integración numérica.
3. Dibuje los perfiles teóricos (Y vs L) con los resultados de cada método.
4. En el mismo gráfico, ubique los puntos experimentales medidos en el laboratorio (L , Y).
5. Observaciones, recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 4.5

ESTUDIO DEL SALTO HIDRÁULICO EN CANALES HORIZONTALES

4.5.1 Introducción

El flujo en canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por un contorno sólido. En el flujo de canales abiertos, el líquido que fluye tiene superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica. El flujo en canales abiertos también tiene lugar en la naturaleza como en ríos, arroyos, etc., si bien, en general, con secciones rectas del cauce irregulares. De forma artificial tiene lugar en los canales, acequias y canales de desagüe.

4.5.2 Objetivos

- Realizar el estudio de las características básicas que definen el salto hidráulico en canales horizontales, de manera experimental. Visualizar el fenómeno.

4.5.3 Equipo

- Canal rectangular de pendiente variable
- Aforador de caudal
- Piezómetro

4.5.4 Principios generales

En un canal horizontal rectangular, para flujo supercrítico, la energía de flujo está disipada a través de resistencia friccional a lo largo de un canal, y como consecuencia de esto, se

presenta una disminución en la velocidad y un aumento de la profundidad de dirección del flujo. Un salto hidráulico se formará en un canal si el número de Froude F_1 del flujo, la profundidad del flujo Y_1 y una profundidad aguas abajo Y_2 , satisfacen una ecuación que relacione la profundidad inicial y la profundidad siguiente de un salto hidráulico sobre un piso horizontal en un canal rectangular.

Así, las fuerzas externas de fricción y el efecto del peso del agua en el salto hidráulico sobre un piso horizontal, son despreciables, puesto que el salto tiene lugar en una distancia relativamente corta y el ángulo de la pendiente del piso horizontal es cero. Las fuerzas específicas antes y después del salto, pueden ser consideradas iguales, es decir:

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right] \quad [4.5.1]$$

En esta ecuación hay tres variables independientes y dos de ellas deben conocerse antes de que pueda estimar el valor de la tercera.

- Características básicas del salto hidráulico

- a. Pérdida de energía: En la mayoría de aplicaciones del salto, la principal función es la disipación de energía. En un canal horizontal, el cambio de la energía cercana al salto es igual a la diferencia entre las energías específicas antes y después del salto.
- b. Eficiencia: La relación de la energía específica después del salto a aquella antes del salto se define como la eficiencia del salto, es una función adimensional, dependiendo solamente del número de Froude del flujo aproximante.
- c. Altura del salto hidráulico: Se denomina como altura del salto hidráulico (h_s), a la diferencia entre las profundidades después y antes del salto.

$$h_s = Y_2 - Y_1 \quad [4.5.2]$$

Expresando cada término como una relación con respecto a la energía específica inicial, se tiene:

$$\frac{hs}{E_1} = \frac{Y_2}{E_1} - \frac{Y_1}{E_1} \quad [4.5.3]$$

Donde: hs/E_1 = Altura relativa.

Y_1/E_1 = Profundidad relativa inicial.

Y_2/E_1 = Profundidad relativa seciente.

Todas estas relaciones, se pueden demostrar que son funciones adimensionadas de F_1 , ya que la pérdida relativa, eficiencia, altura relativa y profundidades relativa inicial y seciente, son funciones de F_1 . Así por ejemplo:

$$\frac{hs}{E_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 3}{F_1^2 + 2} \quad [4.5.4]$$

d. Longitud del salto hidráulico (L_s): Se define como la distancia que hay desde la cara frontal del salto hasta un punto inmediato sobre la superficie aguas debajo de la ola asociada con el salto. Esta longitud no puede ser determinada fácilmente por la teoría. Se ha desarrollado una ecuación tomando como base la curva realizada experimentalmente de la relación F_1 y L_s/Y_2 , para determinar este parámetro:

$$\frac{L_s}{Y_1} = 9.75 * (F_1 - 1)^{1.01} \quad [4.5.5]$$

El flujo de agua en un conducto puede ser escurrimiento en conducto abierto o canal, y en conducto cerrado o cañería. Estos dos tipos de flujo tienen muchas características en común, la diferencia radica en que en el flujo en canales existe una superficie libre sobre la que actúa la superficie atmosférica en forma constante. En el escurrimiento en cañerías solo actúa la presión atmosférica. Las condiciones de flujo en canales abiertos son complicadas por el hecho de que la posición de la superficie libre cambia en función del tiempo y el espacio. Además, hay una interrelación entre la profundidad de flujo, geometría, material del canal, pendientes del fondo y la superficie libre. Por esta razón, es difícil obtener datos experimentales confiables, sobre el escurrimiento en canales abiertos.

4.5.5 Procedimiento

1. Mida las características geométricas del canal y mediante el dispositivo de regulación de pendientes, coloque el mismo con pendiente horizontal.
2. Abra completamente la compuerta.
3. Mediante la válvula de control, establezca el nivel en el tanque de carga hasta que el piezómetro señale la marca amarilla.
4. Mediante el sistema de aforo, realice la medición del caudal.
5. Instale en el dispositivo de acople, la compuerta de persiana.
6. Cierre lentamente la compuerta en el tanque de carga, y maniobre la válvula de entrada, hasta estabilizar el nivel en el mismo. Tenga cuidado de no sobrepasar la marca amarilla en el vástago de izado.
7. Mediante la regulación de la abertura de las compuertas en el tanque de carga y de persiana en el dispositivo de acople, establezca el salto hidráulico. Inicie el proceso con una mínima abertura en la compuerta.
8. Observe si el salto obtenido presenta una diferencia apreciable entre los tirantes inicial y seciente; de lo contrario maniobre nuevamente las compuertas hasta lograr esta condición.
9. Establezca el salto.
10. Proceda a medir el tirante seciente y la longitud del salto.

4.5.6 Informe de laboratorio, conclusiones y recomendaciones

Nombre, objetivo y descripción detallada de la práctica.

Con los datos de laboratorio, calcule:

1. Calcular el tirante inicial (Y_1).
2. Evaluar el número de Froude para el flujo aproximadamente, y clasifique el salto.
3. Calcule la longitud del resalto.
4. Calcular las características básicas del salto hidráulico.
5. Consigne los datos en el cuadro 35.
6. Observe, analice y concluya sobre los resultados obtenidos.
7. Bibliografía consultada.

LABORATORIO

4.6 RESALTO HIDRAULICO

4.6.1 Introducción

El resalto hidráulico sucede cuando una corriente poco profunda se mueve a alta velocidad o sea un flujo supercrítico y se encuentra aguas abajo un tirante alto o sea un flujo subcrítico.

4.6.2 Objetivos

- El objetivo de esta práctica es estudiar experimentalmente en un canal rectangular hidráulico. Determinar gráficamente la disipación de la energía en el mismo, verificar las ecuaciones teóricas del caso; con la medición de los tirantes anterior y seciente.

4.6.3 Equipo

- Canal de pendiente variable y sección rectangular
- Válvula de control de gasto
- Medidor de aguja
- Nivel
- Reglas graduadas

4.6.4 Principios generales

Existen varios tipos de resalto como puede observarse en la figura [35]. En ellos se ve que el resalto hidráulico se caracteriza por el aumento brusco de la profundidad en la

región del impacto; acompañado de una inestabilidad en la superficie y una continua mezcla de aire y agua que le da un aspecto espumoso a toda la masa de agua contenida en dicha región.

El resalto hidráulico tiene muchos usos en la ingeniería como son:

- Sirve como disipador de energía previendo la erosión de la estructura aguas abajo.
- Para recobrar el nivel de agua, después de una canaleta de aforo, para mantener así un nivel de aguas para irrigación y distribución de aguas.
- Para mezclar elementos químicos.
- Para airear el agua.

El resalto hidráulico es un ejemplo del flujo permanente no uniforme donde la energía cinética se convierte en energía potencial y térmica. Siendo mayor la pérdida de energía mecánica mientras más alto sea el resalto; para pequeñas alturas la forma del resalto cambia convirtiéndose en una ola estacionaria.

El resalto hidráulico es un excelente ejemplo del teorema de la cantidad de movimiento en el análisis de los problemas de flujo; como se ve a continuación; por continuidad.

$$V_1 * Y_2 = V_2 * Y_1 \quad [4.6.1]$$

La ecuación de la cantidad de movimiento se deduce de la figura [36].

Por continuidad:

$$\frac{\gamma * Y_1^2}{2} - \frac{\gamma * Y_2^2}{2} = \frac{\gamma * V_1 * Y_1}{g} * (V_2 - V_1) \quad [4.6.2]$$

A partir de ello se encuentra que:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \pm \frac{1}{2} * \sqrt{\left[\left(\frac{Y_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{2 * V_1^2 * Y_1}{g}\right)\right]} \quad [4.6.3]$$

ó expresado en función del numero de Froude la ecuación de profundidades conjugadas queda:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} * \left[\sqrt{1 + (8 * F_1^2)} - 1 \right] \quad [4.6.4]$$

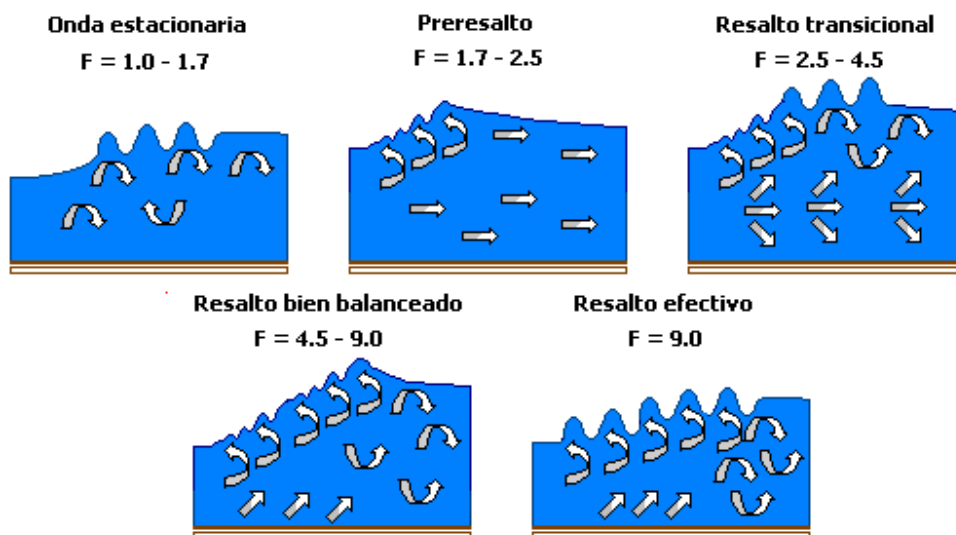


FIGURA 35 VARIOS TIPOS DE RESALTO HIDRÁULICO

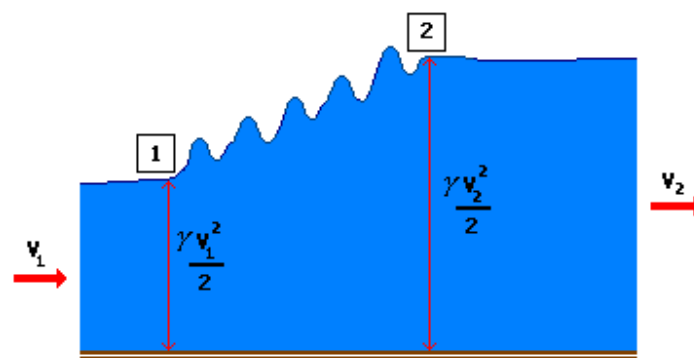


FIGURA 36 RESALTO HIDRÁULICO EN UN CANAL RECTANGULAR HORIZONTAL

Donde:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * Y}} \quad [4.6.5]$$

Siendo Y2 y Y1 las profundidades conjugadas y su relación queda determinada por el número de Froude de la ecuación [4.6.5] y de la ecuación de la energía, llegamos a la pérdida de carga en el resalto, así:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = \frac{V_1^2}{2g} + Y_1 - \frac{V_2^2}{2g} - Y_2 \quad [4.6.6]$$

Reemplazando y operando tenemos:

$$\Delta E = \frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4 * Y_1 * Y_2} \quad [4.6.7]$$

Donde ΔE es la pérdida de energía debida al resalto.

A partir de la ecuación de profundidades conjugadas obtenemos que:

$$F_2 = \left[\frac{8 * F_1}{\sqrt{(1 + 8 * F_1)} - 1} \right]^3 \quad [4.6.8]$$

El número de Froude antes del resalto es mayor que la unidad y después del resalto es siempre menor.

El Bureau of reclamation de los Estados Unidos ha clasificado los resaltos hidráulicos desde el punto de vista de la disipación de energía en función del número de Froude, así:

$F_1 = 1$ a 1.7 Onda estacionaria, donde el resalto es casi inapreciable.

$F1 = 1.7$ a 2.5 , preresalto; la superficie después del resalto es completamente lisa y la pérdida de energía en el resalto es baja.

$F1 = 2.5$ a 4.5 , Transicional; el resalto se traslada de posición con facilidad.

$F1 = 4.5$ a 9.0 , Bien Balanceado; el resalto está equilibrado y la acción es la deseada siendo la absorción de energía del 45% al 70%.

$F1 = 9.0$ o más grande, efectiva; resalto de buen rendimiento pero con producción de mucho oleaje. La disipación de energía alcanza un 85%.

4.6.5 Procedimiento

1. Mediante la válvula de control de caudal establezca un gasto cualquiera; preferiblemente entre los rangos de 30 – 70 LPM.
2. Cierre lentamente la compuerta de entrada a la sección de trabajo de tal manera que la abertura de la compuerta este es un rango de 0.50 a 2.50 cms.
3. Mediante la compuerta de cola en la salida del canal, estabilice el resalto hidráulico.
4. Observe el resalto formado y la diferencia entre los tirantes inicial y seciente; de lo contrario maniobre la compuerta de salida hasta estabilizar completamente el salto.
5. Proceda a medir el tirante inicial $Y1$ al iniciar el salto y el tirante seciente $Y2$ al terminar el mismo, haciendo uso de las reglas graduadas.
6. Mida la perdida en el resalto con los pitómetros antes y después del salto.
7. Repita el procedimiento para diferentes caudales y diferentes aberturas de la compuerta de entrada al canal.
8. Consigne los datos en el formato de la tabla 36.

4.6.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la practica.

1. Deduzca analíticamente la ecuación que relaciona las profundidades conjugadas.
2. Deduzca analíticamente la ecuación de perdida de energía en el resalto.

3. Calcule el número de Froude 1 al inicio del salto F_1 y clasifique de acuerdo a la Bureau of reclamation
4. Calcule el número de Froude 2 (F_2) de acuerdo a la ecuación [4.6.8].
5. Calcule el tirante secante Y_2 de acuerdo a la ecuación [4.6.4] y compruébelo con el medido en la práctica.
6. Calcule la pérdida de energía con la ecuación [4.6.7] y compruébelo con la pérdida de carga medida en los tubos pitométricos.
7. Observaciones, recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 2

5. MODELO HIDRÁULICO TURBO GENERADOR PELTON

LABORATORIO 5.1

DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA TURBINA PELTON

5.1.1 Introducción

La técnica hidráulica no es mas que la copia en pequeño, de lo que hace la naturaleza. El sol es un gran generador hidráulico, una bomba poderosa que eleva hasta las nubes el agua de los mares. En efecto, al paso de los ríos y en los aliviaderos de los pantanos ponemos motores hidráulicos para domesticar su impulso y adaptarlo a nuestras necesidades. Los generadores hidráulicos o bombas realizan la función inversa de los motores, movidos por una fuerza mecánica exterior aumentan la energía potencial o cinética de una corriente de agua al elevarla de nivel o de velocidad.

5.1.2 Objetivos

- Observar el proceso de conversión de la energía hidráulica en energía mecánica de la turbina Pelton.
- Observar las relaciones entre los diferentes parámetros que intervienen tanto en el funcionamiento como en el trazado de la curva de rendimiento.

5.1.3 Equipo

- Motor eléctrico de revoluciones variables.
- Bomba centrífuga.
- Turbina Pelton con su respectiva boquilla.
- Manómetro.
- Generador.
- Freno de disco.
- Sistema cerrado de circulación de agua.

5.1.4 Principios generales

- Rueda Pelton

Las turbinas tangenciales o ruedas Pelton son las turbinas de chorro libre que mejor se acomodan a la utilización de saltos de agua con mucho desnivel y caudales relativamente pequeños. La turbina Pelton debe su nombre a Lester Allan Pelton (1829-1908) quien concibió la idea de una rueda con cucharas periféricas que aprovechará la energía cinética de un chorro proveniente de una tubería de presión, incidiendo tangencialmente sobre la misma. Ensayó diversas formas de álabes hasta alcanzar una patente de la rueda en 1880, desde cuya fecha ha tenido gran desarrollo y aplicación.

En la turbina Pelton actual la energía cinética del agua, en forma de chorro libre, se genera en una tobera colocada al final de una tubería de presión. El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua, produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección.

El elemento constructivo más importante de las ruedas tangenciales es la paleta en forma de doble cuchara, representada en cierto modo como una doble paleta, que recibe el chorro exactamente en la arista media, donde se divide en dos, circulando por la cavidad de la paleta en filetes de pequeña sección que recorren cada uno un arco casi de 180 grados, contrarrestando mutuamente los empujes axiales por cambio de dirección de los dos chorros. El agua después que sale de la paleta, cae enteramente libre cierta altura pasando al canal inferior.

A medida que se realiza el recorrido del agua, se obtiene la igualdad:

$$\text{Altura estática} = \text{altura de velocidad} + \text{altura dinámica}$$

O referido nuevamente a la unidad de peso del agua ($q = 1 \text{ kg}$):

$$\text{Energía total} = \text{energía cinética} + \text{energía potencial}$$

Se puede concluir, que se confirma una vez mas, el principio de la “Conservación de la energía”, ya que lo que aparentemente se pierde en energía potencial se vuelve a encontrar en energía cinética, o ha sido utilizado para vencer ciertas resistencias y por tanto empleado en producir un trabajo.

Al entrar el agua en los canales del fondo del depósito, se produce en seguida una súbita aceleración con la consiguiente disminución de la presión dinámica.

- Regulación de la velocidad y potencia de las ruedas Pelton

Casi siempre se requiere que las turbinas hidráulicas acopladas de ordinario a generadores que suministran energía eléctrica a la industria, giren a velocidad constante, independientemente de las variaciones de carga y de potencia producida. Aunque cualquier válvula de estrangulación colocada en el tubo de entrada puede servir para regular a voluntad la corriente de alimentación, resultaría inadmisibles tal procedimiento, a menos que no hubiera que tener en cuenta la cantidad de agua desaprovechada. En primer lugar, la reducción de la corriente por estrangulación supone una disipación directa de energía; la válvula no puede reducir el gasto sin rebajar al mismo tiempo la carga; en segundo lugar, la carga reducida en el inyector puede dar ocasión a una menor velocidad del chorro, alterando la razón de velocidades y aumentando así la energía cinética perdida en el socaz.

El medio mas eficaz empleado hoy en día para reducir la corriente en la turbina sin perder energía; es en la cual por dentro del inyector se mueve a lo largo de su eje una aguja o punzón, con su cabeza o punta en forma currentilínea; a medida que avanza esta aguja, va penetrando cada vez más en la abertura de la boca del inyector y reduciendo más y más el espacio anular por donde pasa el agua, siempre con la misma velocidad y siempre en forma de chorro circular. El resultado de esta regulación es simplemente la variación del diámetro del chorro.

- Rendimiento de las turbinas Pelton

Se ha supuesto que , en general , las turbinas consideradas trabajan en condiciones invariables de salto, velocidad y potencia. Como tal constancia se da muy raramente en la práctica, es preciso estudiar el efecto que sobre el rendimiento producen las variaciones de aquellos elementos.

- a. La altura de carga sobre la turbina puede variar, y con ellas la potencia desarrollada, pero puede regularse convenientemente la velocidad de modo que no se altere el rendimiento, permaneciendo constante la abertura de la compuerta.
- b. Pueden ser constantes la altura de carga y la velocidad y variarse la potencia moviendo las directrices o el punzón regulador. Estas son las condiciones normales de funcionamiento en casi todas las turbinas.
- C. Para una carga hidráulica y una abertura de directrices dadas, puede variarse la velocidad regulando la potencia de la turbina.

Al comparar rendimientos de turbinas de potencia y velocidad diferentes, que trabajan bajo cargas distintas, resulta práctico calcular la potencia que desarrollarían si la carga fuera de 1 metro, regulando la velocidad para que el rendimiento no se altere. Aunque los resultados han sido deducidos del estudio de una turbina Francis, son aplicables a todas las clases de turbinas, por lo cual pueden sentarse las conclusiones generales siguientes:

- a. Para reducir el rendimiento de una turbina que trabaja con una carga, a las condiciones que impone de carga de unidad, deben reducirse todas las velocidades.
- b. Una turbina que trabaje con cierta abertura de directrices, funciona exactamente como un orificio, en cuanto a la relación entre carga, velocidad y gasto se refiere.
- c. La velocidad unidad de una turbina, expresada en numero de revoluciones por minuto, es igual al numero de revoluciones efectivo dividido por la raíz de la carga hidráulica.

5.1.5 Procedimiento

1. Colocar los manómetros en ceros y proceder a encender el motor de la bomba quien simula la caída de agua.
2. Regular la presión de inyección de agua a través del manómetro colocado en el sistema.

3. Efectuar las lecturas del caudal suministrado para ese instante registrando también las R.P.M a las cuales esta girando el motor, y por consiguiente la turbina.
4. Efectuar las lecturas registradas en el dinamómetro instalado allí cuyas unidades se encuentran expresadas en Gr-fuerza, para determinar el torque respectivo.
5. La carga se mantiene constante y se varía la abertura de la válvula correspondiente al caudal en dos posiciones, es decir, al 50% de abertura y al 100% de abertura.
6. Este procedimiento corresponde a una sola lectura y será necesario repetir el mismo procedimiento variando la carga sobre la turbina para realizar varias mediciones y poder así dibujar las curvas respectivas y rendimientos.

5.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Describa el comportamiento del modelo turbo generador de Peltón.
2. Llene el cuadro 37 de resultados con los cálculos realizados.
3. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 2

6. ARIETE HIDRAULICO

LABORATORIO 6.1

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES POR MINUTO

6.1.1 Introducción

El Ariete Hidráulico es un ingenioso aparato cuya función es bombear parte del caudal de una presa, de un río o cualquier desnivel que lo alimenta hasta una altura superior a la hidrostática, utilizando la misma energía hidráulica, sin requerir ningún otro tipo de energía externa.

6.1.2 Objetivos

- Con este laboratorio se pretende demostrar que existe un número de golpes por minuto en donde se tiene la máxima eficiencia (R) del Ariete Hidráulico, manteniendo una relación de alturas (h/H) constante.

6.1.3 Equipo

- Instalación completa del Ariete hidráulico (Tanque, conducción, Ariete y descarga)
- 2 cronómetros (aproximación 1/100 seg)
- 1 probeta graduada de 1000 ml (1 litro)

6.1.4 Principios generales

El Ariete hidráulico es un dispositivo simple que utiliza la energía del agua procedente de una pequeña caída para obligar a una porción del caudal a elevarse a una mayor altura de la fuente original.

Para que el Ariete funcione se necesitan, principalmente, dos cosas: Agua en cantidades suficientes para impulsar el Ariete y suficiente altura de caída del agua por la tubería de alimentación, la cual debe ser de por lo menos 1 metro, bajo estas condiciones el Ariete está en capacidad de elevar el agua entre 10 y 12 veces la altura de alimentación, aunque la relación entre el agua desperdiciada y la bombeada varía entre 2:1 y 6:1

Una pequeña cantidad de agua con una gran caída bombeará tanta agua como una gran cantidad de líquido con poca caída y tanto mayor sea la altura a la que se deba elevar el agua, tanto menor será la cantidad de agua bombeada.

El Ariete puede ser considerado como un motor hidráulico y en su versión convencional funciona al mismo tiempo como bomba.

Para un acercamiento fácil y práctico al cálculo general de este aparato, es más cómodo compararlo con el funcionamiento de un transformador eléctrico. El transformador eléctrico recibe un voltaje bajo (voltios), con una corriente eléctrica relativamente alta (amperios) y lo transforma en un régimen de mayor voltaje y menor intensidad de corriente.

Análogamente ocurre a nivel hidráulico en una instalación con un Ariete. El aparato recibe un gran caudal con una altura moderadamente baja y lo transforma en un régimen de menor caudal a mayor altura de presión.

6.1.5 Procedimiento

1. Se deja llenar el tanque de alimentación hasta conseguir una altura de alimentación superior a 1 metro.
2. Se coloca la tuerca de ajuste del resorte en la posición más baja en el eje, donde el resorte presenta su menor compresión, con ello se logra obtener el mayor número de golpes por minuto de la válvula de impulso.
3. Se abre la llave de paso y se permite que el agua llegue hasta el Ariete, asegurándose de que la altura (H) en el tanque de alimentación permanezca constante durante la realización del laboratorio.
4. Se pone a funcionar el Ariete hasta que el flujo de entrega se estabilice a un ritmo constante.
5. Se determina la altura de elevación (h) mediante la lectura sobre el dial del manómetro, haciendo la conversión necesaria a metros de columna de agua (1 *psi* equivale a 0.70 *metros* de columna de agua; 1 *bar* equivale a 10 *metros* de columna de agua).
6. Encontramos la relación h/H, la cual se mantiene constante durante todo el laboratorio.
7. Se realiza el conteo del número de golpes del émbolo de la válvula de impulso durante 1 minuto, con la ayuda del cronómetro No. 1, eso debe hacerse por lo menos en 3 ocasiones y el valor que se registra es el promedio aritmético de los diferentes conteos.
8. Se afora el caudal de salida tomando con el cronómetro No. 2 el tiempo que tarda en llenarse 1 litro de agua en la probeta, se calcula el caudal de acuerdo con la expresión[6.1.1], igualmente deben hacerse por lo menos tres mediciones para obtener el promedio aritmético de las mismas.

$$q(LPM) = \frac{1(lt) * 60(seg / min)}{Tiempo(seg)} \quad [6.1.1]$$

9. Se suspende la entrada de agua al tanque de alimentación y se deja que el ariete siga funcionando, se toma el tiempo que se demora el agua en descender entre dos marcas volumétricas consecutivas ($\Delta Vol = 5$ litros) con el cronómetro No. 1, se realiza una segunda lectura en para la siguiente marca utilizando el cronómetro No.2. (el descenso

del agua se observa en el piezómetro que trae el tanque). Se calcula el caudal de entrada para cada lectura utilizando la expresión [6.1.2], deben hacerse dos mediciones para obtener el promedio aritmético de las mismas.

$$Q(LPM) = \frac{5(lt) * 60(seg / min)}{Tiempo(seg)} \quad [6.1.2]$$

10. Con los datos anteriores (Q = caudal de entrada, q = caudal de salida, H = altura de alimentación, h = altura de elevación) se calcula la eficiencia en porcentaje (R) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R = \frac{q * h}{Q * H} * 100\% \quad [6.1.3]$$

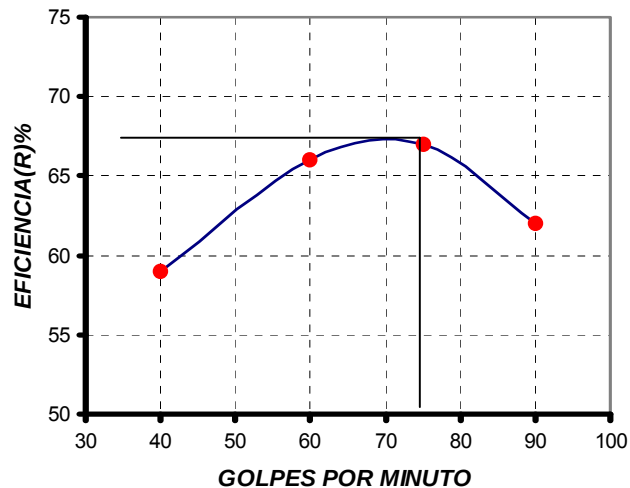
11. Se cierra la llave de paso del ariete, y se permite que el tanque de alimentación se llene hasta alcanzar la misma altura de alimentación (H) conseguida en el paso 1.

12. Se varia el numero de golpes por minuto en la válvula de impulso, llevando la tuerca de ajuste a una nueva posición, (teniendo en cuenta que se deben obtener por lo menos cuatro posiciones diferentes)aproximadamente a la mitad de la rosca del eje de la válvula, con esto se disminuye el número de golpes por minuto.

13. Se repiten los pasos desde el 3 hasta el 12, por tres veces más para así obtener cuatro valores de eficiencia (R) en función de los golpes por minuto (G/M),

14. Estos pares de valores conseguidos en los pasos anteriores (*Golpes por minuto vs Eficiencia*) deben ser registrados en la siguiente gráfica.

GOLPES POR MINUTO vs EFICIENCIA



15. Por interpolación se puede determinar a que número de golpes por minuto debe funcionar el aparato para obtener el máximo rendimiento, para una relación de alturas (h/H) constante.

6.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Realizar la lectura de " h " con el dial del manómetro.
2. Hallar la relación h/H.
3. Realizar el conteo del numero de golpes en un minuto, realizarlo varias veces para obtener el promedio.
4. Aforar el caudal de salida.
5. Determinar el tiempo que demora en que ΔVol se evacue.
6. Calcular el caudal de entrada y la eficiencia en porcentaje.
7. Registrar los datos anteriores variando el numero de golpes en la válvula de impulso, un mínimo de tres veces.

8. Realizar la grafica con los valores de eficiencia en función del numero de golpes por minuto.
9. Obtener el numero de golpes por minuto a que debe funcionar el aparato para un máximo rendimiento.
10. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

LABORATORIO 6.2

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE ALTURAS

6.2.1 Introducción

El sistema se basa en el fenómeno conocido en la hidráulica como golpe de ariete, el cual se produce cuando una masa de agua en movimiento es detenida en forma repentina, la energía cinética que trae el agua en movimiento se transforma en energía de presión; con el Ariete hidráulico se producen continuamente estos golpes en el tubo de alimentación y se aprovechan los aumentos de presión para elevar el agua al sitio de almacenamiento.

6.2.2 Objetivos

- Determinar la eficiencia variando la relación entre la altura de entrada y la altura de elevación que se conoce como relación de alturas, manteniendo un ritmo regular de la válvula de impulso (numero de golpes por minuto constante).

6.2.3 Equipo

- Instalación completa del Ariete hidráulico (Tanque, conducción, Ariete y descarga)
- 2 cronómetros (aproximación 1/100 seg)
- 1 probeta graduada de 1000 ml (1 litro)

6.2.4 Principios generales

El Ariete funciona de acuerdo con principios simples. El agua comienza a descender desde la captación o fuente de almacenamiento por el tubo de alimentación hasta la caja de válvulas del ariete.

(Ver figura 37).

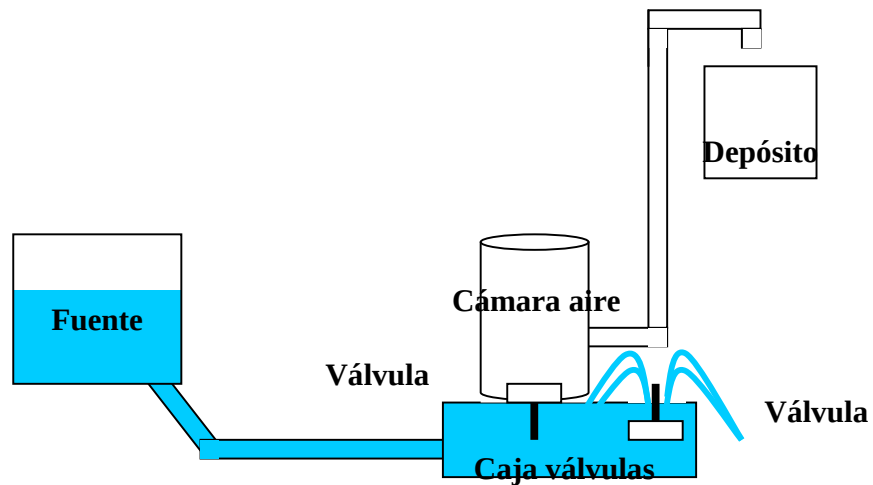


Figura 37 Llegada del agua de la fuente a la caja de válvulas

La velocidad del flujo se va incrementando cada vez más hasta que la fuerza inercial obliga a cerrar bruscamente el émbolo de la válvula de impulso en sentido ascendente. El peso del agua en movimiento detenida en forma repentina, crea una presión muy alta (principio del golpe de ariete) y obliga a cierta cantidad de agua a pasar por la válvula de retención hasta la cámara de aire (Figura 38).

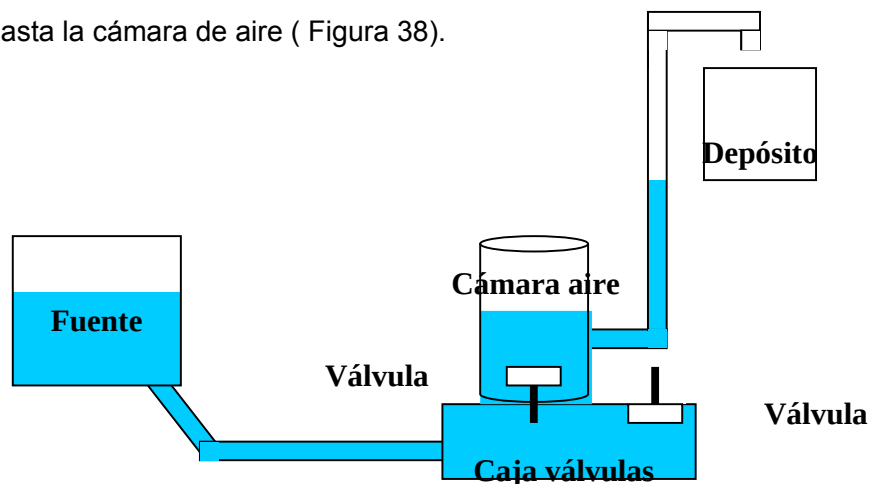


Figura 38 Cierre de la válvula de impulso y apertura de la válvula de retención

Cuando la onda de presión negativa regresa del depósito, la válvula de retención se cierra automáticamente en forma descendente y se abre la válvula de impulso (Figura 39).

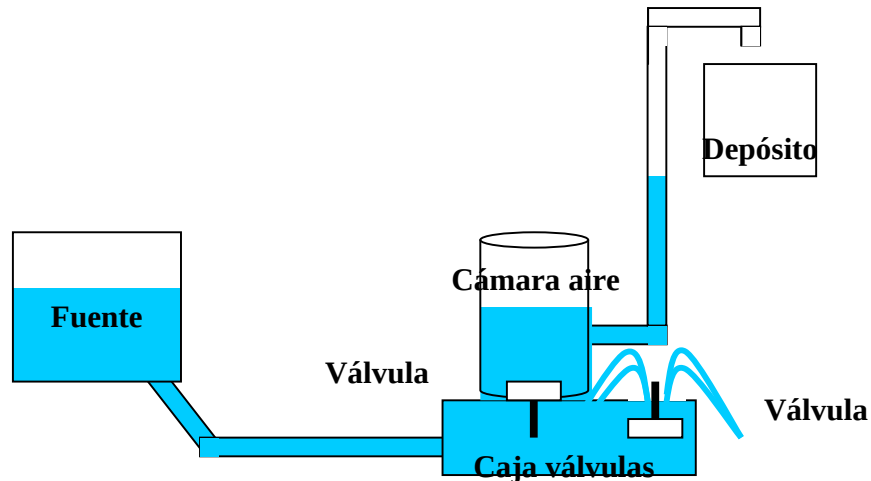


Figura 39 Apertura de la válvula de impulso y cierre de la válvula de retención

Se presenta nuevamente un flujo gradualmente acelerado por esta última válvula hasta que la fuerza neta ejercida hacia arriba excede al peso de la válvula y la cierra automáticamente para iniciar así un nuevo ciclo, mientras exista un caudal suficiente desde la fuente. En la cámara el aire se va comprimiendo cada vez más, hasta que se suministra la energía necesaria para impulsar el agua a través de la tubería de elevación hasta el depósito de almacenamiento, (este aire comprimido actúa como resorte) (Figura 40).

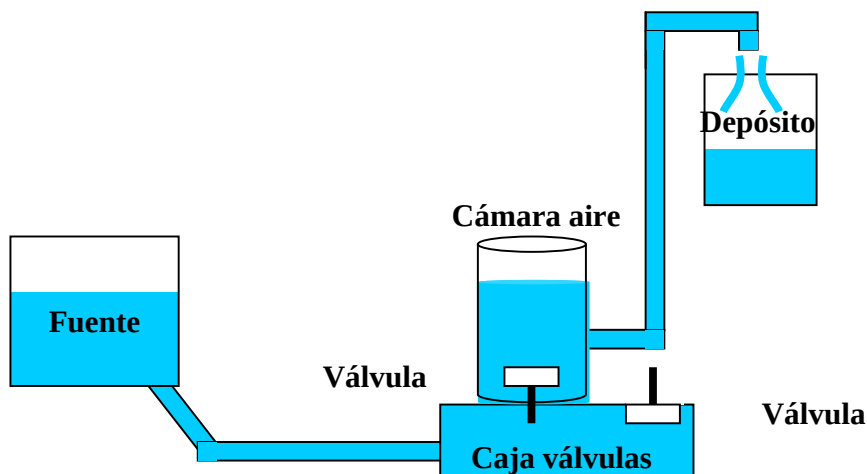


Figura 40 Llegada del agua hasta el depósito de almacenamiento

6.2.5 Procedimiento

1. Se deja llenar el tanque de alimentación hasta conseguir una altura de alimentación superior a 1 metro.
2. Se coloca la tuerca de ajuste del resorte de la válvula de impulso en la posición más optima en el eje (entre 50 y 70 golpes por minuto), el conteo se realiza con ayuda del cronometro No 1, este valor debe ser constante durante todo el laboratorio.
3. Se abre la llave de paso y se permite que el agua llegue hasta el Ariete, asegurándose también que la altura (H) en el tanque de alimentación permanezca constante durante la realización del laboratorio.
4. Se pone a funcionar el Ariete hasta que el flujo de entrega se estabilice a un ritmo constante.
5. Se deja la llave de salida del ariete totalmente abierta, Se determina la altura de elevación (h) mediante la lectura sobre el dial del manómetro, haciendo la conversión necesaria a metros de columna de agua (1 *psi* equivale a 0.70 *metros* de columna de agua; 1 *bar* equivale a 10 *metros* de columna de agua).
6. Procedemos a calcular la relación de alturas (h/H).
7. Se afora el caudal de salida tomando con el cronómetro No. 2 el tiempo que tarda en llenarse 1 litro de agua en la probeta, se calcula el caudal de acuerdo con la expresión [6.2.1], deben hacerse por lo menos tres mediciones para obtener el promedio aritmético de las mismas.

$$q(LPM) = \frac{1(lt) * 60(seg / min)}{Tiempo(seg)} \quad [6.2.1]$$

8. Se suspende la entrada de agua al tanque de alimentación y se deja que el ariete siga funcionando, se toma el tiempo que se demora el agua en descender entre dos marcas volumétricas consecutivas ($\Delta Vol = 5$ litros) con el cronómetro No. 1, se realiza una segunda lectura en para la siguiente marca utilizando el cronómetro No.2. (el descenso del agua se observa en el piezómetro que trae el tanque). Se calcula el

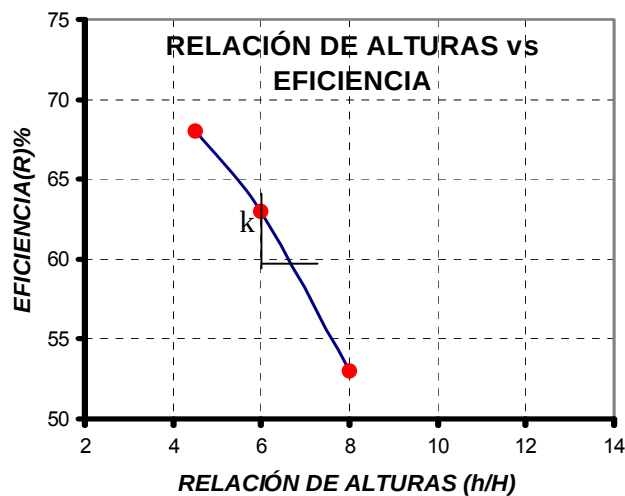
caudal de entrada para cada lectura utilizando la expresión [6.2.2]. deben hacerse dos mediciones para obtener el promedio aritmético de las mismas.

$$Q(LPM) = \frac{5(lt) * 60(seg / min)}{Tiempo(seg)} \quad [6.2.2]$$

9. Con los datos anteriores (Q = caudal de entrada, q = caudal de salida, H = altura de alimentación, h = altura de elevación) se calcula la eficiencia en porcentaje (R) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R = \frac{q * h}{Q * H} * 100\% \quad [6.2.3]$$

10. Se cierra la llave de paso del ariete, y se permite que el tanque de alimentación se llene hasta alcanzar la misma altura de alimentación (H) conseguida en el paso 1.
11. Se abre la llave de paso de la entrada y se permite que el agua llegue hasta el Ariete, mientras este sigue funcionando se cierra totalmente la válvula de salida y se deja que se acumule una cierta cantidad de presión en la cámara de aire, registrada en el manómetro (teniendo en cuenta que por lo menos se deben tener dos alturas más).
12. Se permite el paso del flujo de bombeo abriendo parcialmente la llave de salida, aproximada mente a 10°, y se espera que el manómetro se estabilice.
13. Se repiten los pasos desde el 3 hasta el 12, por dos veces más para así obtener tres valores de eficiencia (R) en función de la relación de alturas (h/H),
14. Estos pares de valores conseguidos en los pasos anteriores (*Relación de Alturas vs Eficiencia*) deben ser registrados en la siguiente gráfica.



1. Al representar estos puntos mediante una gráfica se puede observar una relación casi lineal, donde a mayor relación de alturas (h/H) menor es la eficiencia (R), pudiéndose determinar la pendiente (k) de la recta para un número de golpes por minuto constante.

6.2.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Realizar el conteo del numero de golpes por minuto con ayuda del cronometro.
2. Calculo la relación h/H .
3. Registrar el caudal de salida realizando un mínimo de tres mediciones para obtener un promedio aritmético.
4. Calculo el caudal de entrada tomando el tiempo en que desciende ΔVol .
5. Anotar la eficiencia en porcentaje.
6. Repetir los anteriores dos veces mas, para obtener nuevos valores de eficiencia que se registran en la grafica de relación de altura en función de la eficiencia.

7. Determinar la pendiente de la recta para un numero de golpes por minuto constante.
8. Observaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 2

7. GOLPE DE ARIETE

LABORATORIO 7.1

VISUALIZACION Y CALCULO DE LA SOBREPRESION DEBIDA AL GOLPE DE ARIETE

7.1.1 Introducción

En el estudio de este fenómeno hay que abandonar las dos hipótesis normalmente utilizadas: fluido incompresible, régimen permanente. El golpe de ariete es un fenómeno transitorio y por tanto de régimen variable, en que la tubería ya no es rígida y el líquido es compresible.

Se denomina golpe de ariete a la variación de la presión, por arriba y por debajo del valor de funcionamiento normal de los conductos a presión, como consecuencia de los cambios en las velocidades del agua, consecuentes de las operaciones de las válvulas de regulación de los caudales.

7.1.2 Objetivos

- Visualizar el golpe de ariete debido a la variación gradual o súbita de la velocidad en régimen.
- Calcular la presión en metros de columna de agua que tiene el líquido al manipular las diferentes variables que pueden alterar la presión provocada por la acción del golpe de ariete,

7.1.3 Equipo

- Equipo para la determinación del golpe de ariete
- Cronometro

7.1.4 Principios generales

En este laboratorio tendremos en cuenta la visualización de la sobrepresión medida en el manómetro, se debe tener presente que el equipo cuenta con las siguientes especificaciones:

El rango de presión en el interior de la tubería debe estar comprendidos entre 1 a 5 bar.

1 bar = 14.28 psi = 1.00 kg/cm² = 10.00 metros de columna de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el se observa la presión en metros de columna de agua que tiene el liquido y al manipular la llave de manera rápida se mira el aumento de presión que se provoca por la acción del golpe de ariete. Al maniobrar las válvulas de control en forma rápida en cualquier sistema de tuberías a presión, estas se ven sometidas a grandes presiones, en le caso de tuberías mas grandes que transportan un caudal considerable estas sobrepresiones son muy peligrosas, ya que, puede fallar la tubería por el aumento considerable de presión, o por la succión producida por la acción del golpe de ariete. Se debe tener en cuenta que los caudales con los que se trabaja en el equipo son pequeños y esto influye directamente con la velocidad con la que el liquido se transporte dentro de la tubería.

Para el calculo de la sobrepresión máxima se debe tener en cuneta el caudal que circula por la tubería, el cual, se obtendrá mediante aforos, teniendo en cuenta las siguientes formulas:

$$V = \frac{Q}{A} \quad [7.1.1]$$

Donde: V = Velocidad en m/seg

Q = Caudal en litros/seg

A = Área en cm²

Luego se realiza el calculo de la celeridad (velocidad de onda del agua):

$$a = \frac{9800}{\sqrt{48.3 + K * \left(\frac{D}{e}\right)}} \quad [7.1.2]$$

Donde: K = Valor que depende del material de la tubería, para este caso como el tubo es de cobre, K = 1.5.

D = Diámetro interior del tubo en metros.

e = Espesor de la tubería en metros.

Con esto se procede a calcular la sobrepresión que se origina en la tubería, para lo cual, se utiliza la siguiente formula:

$$h = \frac{C * V}{g} \quad [7.1.3]$$

Donde: h = Sobrepresión en metros de columna de agua.

C = Velocidad de la onda en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad.

De otro lado se debe tener en cuenta las perdidas que se producen en la tubería a lo largo del recorrido, para esto se utiliza la ecuación de William Hazen y se procede a calcular la longitud exacta de la tubería, se empieza por calcular las longitudes equivalentes de los distintos accesorios

Accesorios	Diámetro (pulg)	Longitud equivalente (mts)
Codo de bronce	1/2"	0,3
Adaptador	3/8"	6,0
Llave de paso	3/8"	4,8
Unión de bronce	1/2"	0,3
Tee de bronce	1/2"	2,4
Cheque bronce	1/2"	1,8

Con esto se procede a calcular la sobrepresión que se origina en el interior de la tubería. Cabe anotar algunas constantes con las cuales trabaja el equipo:

Area= 0.000127 m²

D = 1.27 cms

Longitud total = 60 mts

e = 0.80 mls

Longitud equivalente de accesorios = 15.60 mts

En el manómetro se registra la presión del líquido y al maniobrar las llaves se puede observar que esta presión inicial se incrementa alrededor de un 300% pero dependiendo, también, del caudal.

7.1.5 Procedimiento

1. Aforar el caudal con una probeta varias veces y obtenemos el promedio del volumen y el tiempo, con lo cual obtenemos el caudal y la velocidad promedio con la aplicación de las formulas anteriores.
2. Calcular la velocidad de onda.
3. Calcular la sobrepresión producida por el golpe de ariete
4. Visualizar los efectos de acuerdo a la longitud de tubería aguas abajo para lo cual se coloca una manguera en la parte de la salida del equipo y se maniobra con las llaves.

7.1.6 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada volumen de agua experimental calcular la velocidad media de flujo y el tiempo medio y anotar los respectivos valores en la tabla indicada para ese propósito.
2. Anotar la sobrepresión obtenida para cada caudal de agua experimental.
3. Recomendaciones y conclusiones de los efectos observados de acuerdo a la longitud de tubería aguas abajo.
4. Bibliografía consultada.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES

GENERALIDADES DEL EQUIPO HACH COLORIMETRO DR 700

DESCRIPCIÓN DEL COLORIMETRO PORTÁTIL MODELO DR-700

Especificaciones

Porcentaje de transmitancia 0.00 a 200.00 %T

Absorbancia –0.300 a 2.000 Abs

Detector: Fotocelda de silicón

Temperatura de operación: 0 a 50°C

Lámpara: Tungsteno 100,000 test

Peso: 454 gramos

Alimentación: 4 pilas alcalinas

Descripción general

El modelo marca HACH DR/700, colorímetro portátil digital usa módulos de filtros con calibración preprogramada para varias mediciones.

El modo de operación incluye concentración, absorbancia y porcentaje de transmitancia.

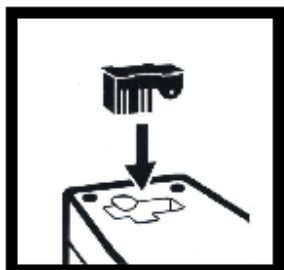
Diez diferentes filtros modulares que incluyen una longitud de onda desde 420, 450, 480, 500, 525, 550, 610, 690 y 810 nanómetros, permite realizar según la longitud de onda un parámetro determinado dentro de ese rango de medición, para análisis de aguas residuales, agua potable y agua de mar.

La manera de realizar los ensayos es bien sencilla, pero se requiere, de seguir los procedimientos que se indican en el presente manual, además, para cada ensayo se requieren de reactivos que ya vienen preparados por el fabricante en la dosis adecuada.

Es necesario tener en cuenta las normas de seguridad al realizar cualquier ensayo, especialmente cuando se trabaja directamente en el sitio de muestreo.

En base al procedimiento general de operación del equipo se anexa el procedimiento típico.

USO DEL COLORIMETRO DR/700



1. Inserte el módulo de filtro apropiado en el DR/700. Los módulos de filtro son numerados según la longitud de onda. Los primeros dos dígitos de la longitud onda, seguidos por ".01" indican el número de módulo de filtro.



2. Después de 2 seg. la pantalla mostrará un número de programa, las unidades de concentración y solicitará el cero. De ser necesario, pulse la tecla con flecha ascendente hasta que la parte baja de la pantalla muestre el número correcto. Para el método de rango bajo para manganeso, este número será: 55.08.1



3. Prepare la muestra para análisis en la forma descrita en el procedimiento deseado. Si el blanco de reactivo necesita también tratamiento, hágalo ahora.



4. Coloque el blanco de reactivo en una celda para muestra de 25 ml, y está en el portacelda. Bajo una luz intensa debe usarse una celda de 10 ml y cerrar la tapa del compartimento para muestras.



5. Pulse: **ZERO**
La pantalla hará una cuenta regresiva a cero. Luego mostrará un valor de concentración de 0.00 y se apagará la solicitud por el cero.



6. Coloque la muestra preparada en una celda para muestra de 25 ml, y ésta en el portacelda. Bajo una luz intensa debe usarse una celda de 10 ml y cerrar la tapa del compartimento para muestras.



7. Pulse: **READ**

La pantalla hará una cuenta regresiva a cero. Luego mostrará el resultado en unidades de concentración.

Operación del colorímetro DR/700

Antes de iniciar la respectiva operación del colorímetro HACH DR/700 por favor, lea y observe las siguientes reglas:

- Siempre tape la celda de muestras para evitar derrames.
- Cuando tome una lectura con el colorímetro debe ser sobre una superficie firme y nivelada.
- Extrema turbiedad y color en la muestra pueden afectar la lectura del colorímetro.
- Si se esta operando en directo a la luz solar el compartimiento de la celda deberá taparse, cuando se estén tomando lecturas.
- No deje la celda de muestra en el compartimiento por largos periodos.
- Vacíe la celda de compartimiento y remueva las pilas del colorímetro cuando almacene por un tiempo largo.
- No permita que el modulo de filtro llegue a mojarse o ensuciarse, almacénelo en el respectivo estuche.
- Las celdas de muestra deben estar siempre limpias y libres de rasguños.
- Marque las celdas de muestra con una marca de referencia y otras con los respectivos blancos.

Ajuste de la intensidad de la lámpara

Antes de realizar algún test con el colorímetro e instalado un nuevo filtro modular, la intensidad de la lámpara de tungsteno deberá ajustarse. Este ajuste debe realizarse con el instrumento sobre una superficie firme y con una celda de muestra que contenga agua limpia

o destilada en la celda de compartimiento. El procedimiento implica seguir los siguientes pasos:

1. Con el colorímetro apagado, presione y sostenga la tecla READ, hasta que aparezca en la pantalla “---L”. En este punto suelte la tecla, la lámpara mostrará un conteo regresivo de 20 a 0, la lámpara centellará para ajustarse automáticamente a un valor cuyo rango óptimo está entre 2000 y 3300.
2. Si el valor mostrado en la pantalla está en el rango adecuado presione la tecla PROGRAM para adoptar este valor, el colorímetro retornará a operación normal. Bajo estas condiciones la lámpara está con el nuevo voltaje establecido y almacenado en este módulo.

Usando programas de pre-calibrado:

Cada módulo de filtro está con programas y pre-programas con entrada de calibración de fábrica, dependiendo del ensayo o parámetro a realizar se especificará la respectiva longitud de onda.

Recomendaciones generales sobre el trabajo en el laboratorio

A continuación se presentan una serie de recomendaciones, las cuales si se siguen contribuirán en el desarrollo de cada una de las prácticas que el capítulo contempla. Estas están orientadas hacia el uso y manejo de material y equipo, adecuada utilización de reactivos. Esto nos ayudará a evitar daños, pérdidas de tiempo y accidentes indeseados, en el manejo del equipo colorímetro HACH DR/700, Conductímetro HACH CO 150, Ph metro portátil HACH EC 10, Turbidímetro DRT-100B Hf Cientific.

Sobre el Equipo:

Con el fin de evitar daños graves o pérdida total de equipos se recomienda al usuario:

1. Preste el máximo cuidado en el manejo y empleo de los equipos siguiendo las instrucciones dadas por el profesor, o personal encargado.
2. Frene su curiosidad ante equipos nuevos y no manipule controles si desconoce su manejo.
3. Deje ordenado y limpio el equipo empleado.

Sobre Reactivos:

Ante la gravedad que reviste una mala utilización de los reactivos químicos, que en su gran mayoría son altamente tóxicos, ácidos o bases fuertes y volátiles nocivos, se recomienda:

1. Siga al pie de la letra las indicaciones que se presentan en las guías de laboratorio y las orientaciones dadas por el profesor sobre el manejo, uso y cuidado de los reactivos químicos.
2. Lea con atención las etiquetas de los frascos que contienen los reactivos y de este manera no usar los reactivos equivocados lo cual demanda pérdidas en dinero y tiempo.
3. No emplee cantidades distintas a las estipuladas para cada práctica.
4. Siga el orden de la adición de cada reactivo para evitar accidentes o pérdida de pruebas.
5. Estandarice las soluciones diluidas que se emplean para titulaciones.

Sobre el material de vidrio:

Por su fragilidad, el material de vidrio tiende a desaparecer pronto por falta de cuidado en su manipulación y la generación de accidentes. Se recomienda:

1. Sea cuidadoso en el manipuleo de la vidriería tanto en la etapa de lavado como en el momento de utilización.
2. Lave todo el material de vidrio con detergente, enjuague con abundante agua y lave con porciones de agua destilada tanto al inicio como al final de la práctica.
3. El material de vidrio que aparezca roto sin responsable aparente será cargado a todo el grupo usuario del laboratorio en esa fecha.

Filtrado de muestras

Por medio de la filtración se eliminan de la muestra partículas, usando un medio, generalmente papel de filtro, para retener las partículas, dejando pasar la solución. Este es especialmente útil cuando la turbidez de la muestra interfiere con su análisis colorimétrico. Dos métodos de hacer el filtrado son la gravedad y el vacío. La filtración por gravedad usa de esta fuerza para que la muestra pase a través del papel filtro. La filtración por vacío crea una diferencia de presión por medio de una aspiradora o una bomba de vacío, además de la fuerza de la gravedad, para mover la muestra a través del filtro.

Practique en la forma siguiente:

1. Ponga un papel de filtro en el portafiltro

2. Coloque el conjunto portafiltro en el matraz para filtrado y humecte el filtro con agua desionizada para que se adhiera bien al portafiltro
3. Instale la cubierta del embudo encima del conjunto del portafiltro
4. Mientras aplica vacío al matraz de filtrado, vierta la muestra en el aparato
5. Interrumpa lentamente el vacío al matraz de filtrado y pase la muestra filtrada a otro recipiente

Aparatos requeridos

- Filtro de disco de fibra de vidrio
- Portafiltro membrana
- Matraz para filtrado de 500 ml

Muchos de los procedimientos de este manual pueden ejecutarse usando filtración por gravedad. Los únicos suministros necesarios son papel de filtro, un embudo cónico y un matraz receptor.

La filtración por gravedad ofrece mejor retención de las partículas mas finas. Para lograr un progreso mas parejo viene con la solución las tres cuartas partes del cono de papel en el embudo; nunca lo llene en su totalidad. Haga el filtrado de gravedad de la manera siguiente:

1. Ponga un papel de filtro dentro del embudo
2. Humecte el papel con agua desionizada para que se pegue al embudo
3. Inserte el embudo en la boca de un matraz Erlenmeyer o de un cilindro graduado
4. Vierta la muestra en el embudo

Aparatos requeridos

- Cilindro graduado, 100 ml
- Embudo, polietileno, 65 ml
- Papel de filtro, 12,5 cm
- Matraz, Erlenmeyer, 125 ml

La determinación de metales requiere ácido y calor en el pre-tratamiento de la muestra. Puesto que el papel de filtro se desintegra en estas condiciones, se recomienda la filtración al vacío con filtro de disco al vacío. Además, los discos de fibra de vidrio no requieren colores como lo hace el papel de filtro.

Blanco del reactivo

El “ Blanco del reactivo “ se refiere a aquella porción del resultado de la prueba que es contribución del reactivo solamente, y no de la muestra. Esta contribución representa un error positivo. En ciertas pruebas, el blanco del reactivo es de tal magnitud, que se debe hacer una compensación cada vez que se ejecute la prueba. Esto se hace ajustando a cero el instrumento con una muestra en blanco constituida de agua desionizada y los reactivos.

En la mayoría de los casos, el blanco del reactivo es tan reducido, que el ajuste a cero se hace con una porción sin tratar de la misma muestra, o con agua desionizada sola. Esto se hace en forma rutinaria sin pérdida apreciable en exactitud, a menos que se analicen cantidades muy pequeñas de un compuesto. En este caso es mejor determinar el blanco del reactivo haciendo la prueba con una muestra de agua desionizada de alta calidad y libre de turbidez. Es necesario determinar el blanco del reactivo únicamente con el primer uso, con intervalos de varios meses, a menos que sospeche que ha ocurrido contaminación.

Seguridad

La seguridad es la responsabilidad del analista cuando practica procedimientos de prueba, y es su obligación desarrollar y mantener hábitos de trabajo seguros. Muchos de los procedimientos de este manual requieren el uso de sustancias y aparatos potencialmente peligrosos, por lo que resulta vital que el individuo que los utiliza reduzca en lo posible los accidentes, practicando buenas técnicas de laboratorio. Se aplican ciertas reglas generales al análisis de agua, tanto en el campo como en el laboratorio.

Lea cuidadosamente todas las etiquetas. La etiqueta de cada reactivo debe ser leída con cuidado, prestando atención especial a las precauciones. Nunca retire la etiqueta de un recipiente con reactivo mientras contenga algo de este reactivo. Se debe emplear los resguardos que se incluyen como equipo operativo en el reactor DQO (COD). Cerciórese que los resguardos estén instalados adecuadamente durante el trabajo y observe las precauciones que se recomiendan.

Vista ropa de protección. La ropa protectora se debe llevar puesta siempre que se manejen sustancias capaces de causar irritación o quemaduras. La protección de los ojos, en particular, es de rigor cuando se manipulen materiales cáusticos, para protegerlos de derrames o salpicaduras accidentales.

Use tenazas o dedos cuando toque objetos calientes.

Use pipetas mecánicas. Nunca llene la pipeta aspirando con la boca. Esta práctica podrá causar la ingestión accidental de una sustancia peligrosa. Acostúmbrese a usar utensilios mecánicos para llenar las pipetas, y así evitar accidentes graves.

Ponga cuidado especial con aparatos o sustancias peligrosas. Siga los pasos del procedimiento de análisis cuidadosamente.

Observando todos los avisos de precaución. Use el equipo de seguridad, tal como las bombas para pipetas, ropa protectora y campanas de ventilación indicados para la prueba que se ejecuta. Limpie prontamente todos los derrames. No fume ni coma en sitios que están en uso sustancias peligrosas. Utilice los reactivos y aparatos solamente para el uso para el que fueron destinados, y solamente en la forma especificada en el procedimiento particular que se practica. No usar equipo o utensilios en mal estado.

Si ocurriera contacto accidental de productos peligrosos sobre la piel, enjuague con agua la parte afectada durante quince minutos. Llame al médico si fuera necesario. Una hoja de datos sobre la seguridad del producto (MSDS Material Safety Data Sheet) se incluye en el primer envío de todos los productos.

Técnicas para diluir muestras

El volumen especificado para la mayor parte de las pruebas colorímetricas es de 25 ml. Sin embargo, en algunas muestras, el color desarrollado puede ser demasiado intenso para la medición. En otros casos pueden aparecer colores inesperados. En los dos casos, es necesario diluir la muestra o determinar si hay presentes sustancias de interferencia.

Para alcanzar convenientemente la dilución de la muestra, transfiera con pipeta la porción elegida de la muestra a un cilindro graduado (o un matraz volumétrico limpio para resultados mas exactos) y llenar el cilindro (o matraz) hasta la marca final deseada con agua desionizada. Mezcle bien. Use la dilución de la muestra para hacer la nueva prueba.

Como una guía el siguiente cuadro muestra la cantidad de muestra tomada, la cantidad de agua desionizada que se añade para llevar el volumen a los 25 ml y el factor de multiplicación:

Diluciones de muestras		
Volumen de la muestra (ml)	Agua desionizada (ml) para elevar volumen a 25ml	Factor de Multiplicación
25.00	0.00	1.00
12.50	12.50	2.00
10.00	15.00	2.50
5.00	20.00	5.00
2.50	22.50	10.00

1.00	24.00	25.00
0.25	24.75	100.00

Para muestras de 10ml o menos, se debe usar una pipeta para medir la muestra que se pone en el Cilindro graduado o el matraz volumétrico.

La concentración de la muestra es igual a la lectura de la muestra diluida multiplicada por el factor de multiplicación.

Por ejemplo: Una porción de 2.50 ml de la muestra se mezcló con 22.50 ml de agua desionizada. La lectura del resultado fue una concentración de 0.35 mg/L. Cuál es la concentración de la muestra?

$$0.35 * 10 = 3.50 \text{ mg/L}$$

Se pueden hacer diluciones mas exactas usando una pipeta y un matraz volumétrico de 100 ml. Pase con la pipeta la porción de muestra, y diluya hasta la marca con agua desionizada. Revuelva para mezclar.

**Factores de multiplicación a usar
Cuando la dilución de la muestra se
Hace en un matraz de 100 ml**

Volumen de muestra (ml)	Factor de multiplicación
1.00	100
2.00	50
5.00	20
10.00	10
25.00	4
50.00	2

La dilución de la muestra también influye sobre el nivel al que puede inferir una sustancia. El efecto de la interferencia declina al declinar el tamaño de la muestra. Por ello, el efecto de la interferencia que se describe en las notas del procedimiento declinan al disminuir el tamaño de la muestra. En otras palabras, pueden presentarse niveles mas altos de una sustancia de interferencia si se diluye la muestra.

Por ejemplo: El cobre no interfiere al nivel de 100 mg/L o por debajo de el, en muestras de 25ml en un procedimiento si se diluye un volumen de muestra con un volumen igual de agua. Cuál es el nuevo nivel al que el cobre no interferirá?

$$\frac{\text{Volumen total}}{\text{Volumen de la muestra}} = \text{Factor de dilución}$$

$$25 / 12.5 = 2$$

$$\text{Nivel de interferencia} * \text{Factor de dilución} = \text{Nivel de interferencia en la muestra}$$

$$100 * 2 = 200 \text{ mg/L}$$

El nivel al que el cobre no interferirá en la muestra es 200 mg/L o menos.

Consideraciones respecto a la temperatura

Para mejores resultados, las pruebas descritas en este manual deben efectuarse con la muestra a una temperatura entre 20°C (68°F) y 25°C(77°F). En caso que ciertas pruebas requieran un control mas estrecho de la temperatura, tal requisito será expresado en las notas que siguen al procedimiento.

Uso de Pipetas y Cilindros Graduados

Cuando se usan cantidades pequeñas de muestra, la exactitud de las mediciones se torna mas importante, así como la forma adecuada de interpretar el nivel de la muestra o del menisco que forma el líquido al mojar el interior de las paredes de cilindros y pipetas.

Enjuague la pipeta o cilindro dos o tres veces con la muestra que se analiza, antes de llenar. Use un aspirador o llenador para pipeta para aspirar la muestra dentro de la pipeta. Nunca aspire con la boca muestras o reactivos. Al llenar la pipeta mantenga su punta debajo del nivel del líquido.

Uso de reactivos en almohadillas PermaChem

Para obtener los mejores resultados, golpee lentamente la almohadilla en una superficie firme, para que el reactivo en polvo se concentre en el fondo. Y luego:

1. Rasgue a través de la almohadilla, mientras apunta la abertura en dirección opuesta a su cara.
2. Usando ambas manos, acerque las dos esquinas, para formar un pico de verter.
3. Vierta el contenido de la almohadilla en la celda de muestra y continúe el procedimiento según las instrucciones.

Exactitud en la medición del volumen

La celda para muestras que viene con el espectofotómetro están marcadas para indicar aproximadamente 25 ml. En la mayoría de las pruebas es suficiente llenar con muestras hasta la marca. En otras en que el volumen es mas critico, el procedimiento especifica el método apropiado.

Si fuera necesario diluir una muestra. Use una pipeta para medir los volúmenes. La exactitud es importante, pues un pequeño descuido al medir una muestra pequeña puede dar un error substancial en el resultado final. Por ejemplo, si se varía en 0.10 ml al medir una muestra de 1.00 ml, se puede errar en un 10% en el resultado final.

Muestreo y almacenamiento

El muestreo y almacenamiento correcto son críticos para la exactitud de una prueba. Esta exactitud demanda eliminar toda posibilidad de contaminación en el aparato usado para tomar la muestra, retirar los residuos de las muestras anteriores del recipiente para las muestras, y preservar adecuadamente la muestra, si fuera necesario.

Toma de muestras de agua

Al tomar las muestras para análisis, debe tomarse el mayor cuidado de que la muestra obtenida es la mas representativa posible. Por lo general, se las debe obtener cerca del centro del recipiente o conducto, y por debajo de la superficie del liquido. Use solamente recipientes limpios (vasos de precipitados, botellas) para las muestras. Enjuague al comienzo el recipiente varias veces con el agua que esta muestreando.

Tome las muestras tan cerca de la fuente de suministro como sea posible, para reducir los efectos del sistema de distribución. Permita que el agua corra durante un tiempo suficiente para que el sistema este enjuagado. El recipiente de la muestra debe admitir un flujo suave de agua, para que no se forme turbulencia ni burbujas. Colecte las muestras de agua procedentes de pozos hasta que la bomba haya funcionado suficiente tiempo para que el agua que entrega sea representativa del manto de agua que alimenta el pozo.

Es difícil obtener una muestra realmente representativa de las aguas superficiales. Los mejores resultados se obtienen ejecutando serie de pruebas con muestras de varios lugares y profundidades, y a distintas horas. Los resultados se pueden usar para establecer modalidades aplicables a ese cuerpo de agua en particular.

Generalmente, se debe dejar pasar el menor tiempo posible entre la toma de la muestra y su análisis.

Según la naturaleza de la prueba que se intenta, puede hacer falta precauciones especiales para prevenir la aparición de interferencia naturales, tales como el desarrollo de organismos, o el escape de gases que se desean analizar, en cada descubrimiento se describen preservativos de muestras y técnicas para su alimentación en caso que haya que retrasar su análisis.

Almacenamiento y preservación

Los recipientes para muestras mas eficientes en cuanto al costo son los hechos de polipropileno o polietileno. Los mejores y mas costosos son los hechos de cuarzo o TFE (Tetra fluor etileno o teflón) evite los utensilios de vidrio blando para determinar metales en el rango de microgramos por litro.

Los métodos de preservación generalmente se limitan a controlar el pH, adición de sustancias químicas, refrigeración y congelación. El siguiente cuadro da la preservación que se recomienda para varios constituyentes. Otra información que aparece en ese cuadro es el tipo de recipiente sugerido y el periodo máximo de almacenamiento para muestras preparadas adecuadamente.

Se pueden preservar muestras de aluminio, cadmio, Zinc, cobalto, cobre, cromo, fósforo, hierro, níquel, plata, plomo y potasio por lo menos 24 horas con la adición de una almohadilla de solución de ácido nítrico 1:1(Numero de cat. 2540-98) por litro de muestra. Verifique el pH con papel indicador o con medidor de pH para cerciorarse de que el pH es 2 o menos.

Adiciones Volumétricas, Su Corrección

Cuando se añaden cantidades significativas de preservativos, debe hacerse una corrección del volumen de la muestra. Esto deberá compensar por el ácido que se añade para bajar el pH, y por la base que se pone para volver a ajustar el pH al rango del análisis. Esta corrección se debe hacer como sigue:

1. Determine el volumen total inicial de la muestra, el del ácido y el de la base
2. Divida el volumen total por el volumen inicial
3. Multiplique el resultado por el valor obtenido en (2)

Por ejemplo, se preservó una muestra de 1 litro con dos ml de ácido nítrico, se neutralizó con 5 ml de hidróxido de sodio 6N. El resultado del procedimiento de análisis fue 10 mg/L,. Cuales son el factor de corrección y el resultado correcto?

1. Volumen total = 1000ml + 2ml + 5ml = 1007
2. $1000 / 1007 = 0.993$ = Factor de corrección del volumen
3. $10.00\text{mg/L} * 0.993 = 9.93\text{ mg/L}$ = Resultado correcto

No es necesario hacer corrección por la adición de una almohadilla de carbonato de sodio en polvo.

Antes de pasar a los procedimientos, es importante que el analista lea el manual de su instrumento para familiarizarse con sus propiedades y su operación.

Cuadro. Recipientes requeridos, técnicas de preservación y periodo de almacenamiento

Nombre del parámetro	Recipiente (2)	Preservación (3,4)	Tiempo máximo (5)
Cuadro 1A-Pruebas Bacterianas			
1-4 Coliformes fecales y totales	P.V	Frío 4°C 0,008% Na ₂ S ₂ O ₃ (5)	6 horas
5. Estreptococos fecales	P.V	Frío 4°C 0,008% Na ₂ S ₂ O ₃ (5)	6 horas
Cuadro 1B-Pruebas Inorgánicas			
2. Alcalinidad	P.V	Frío 4°C	14 días
4. Amoníaco	P.V	Frío 4°C H ₂ SO ₄	28 días
9. Demanda bioquímica de oxígeno	P.V	Frío 4°C	48 horas
15. Demanda química de oxígeno	P.V	Frío 4°C H ₂ SO ₄	28 días
17. Cloro, total residual	P.V	No se requiere	Analice de inmediato
27. Dureza	P.V	HNO ₃ a pH < 2, H ₂ SO ₄ a pH < 2	6 meses
31. Nitrógeno Kjehl y metales de nitrógeno orgánico (6)	P.V	Frío 4°C H ₂ SO ₄ a pH<2	28 días
38. Nitrato	P.V	Frío 4°C	48 horas
39. Nitrato-Nitrito (4)	P.V	Frío 4°C H ₂ SO ₄ a pH<2	28 días
40. Nitrito	P.V	Frío 4°C	48 horas
50. Fósforo total	P.V	Frío 4°C H ₂ SO ₄ a pH<2	28 días
61. Sílice	P.V	Frío 4°C	28 días
65. Sulfato	P.V	Frío 4°C	28 días
73. Turbides	P.V	Frío 4°C	48 horas

(2) Polietileno (P) o vidrio (V)

(3) La preservación de la muestra debe iniciarse inmediatamente que se la colecta. Para muestras químicas compuestas, cada alícuota debe preservarse al momento de su colección. Cuando la utilización de un muestreador automático hace imposible la preservación individual de cada alícuota, las muestras químicas pueden conservarse manteniéndolas a 4°C hasta que se ha completado la composición y división de las muestras.

(4) Generalmente se debe dejar pasar el menor tiempo posible entre la toma de la muestra y su análisis. El periodo que se menciona es el tiempo máximo que se puede conservar una muestra y que se la considera todavía valido. Las muestras se podrán mantener por mas tiempo solamente si quien recibe los permisos, o el laboratorio regulador posee datos archivados que prueban que los tipos específicos de muestras bajo estudio permanecen estables por el periodo extendido, y se ha recibido una variante de la administración regional. Ciertas muestras pueden ser inestables antes que pase el periodo máximo que se da en el cuadro. Una persona licenciada o el laboratorio regulador, están en la obligación de conservar la muestra durante un periodo mas breve si hay información que indique que un lapso mas corto es necesario para mantener la estabilidad de la muestra.

(5) Debe usarse solamente en presencia de cloro residual.

(6) Filtrar las muestras inmediatamente en el sitio, antes de agregar el preservativo para metales disueltos.

Uso del titulador digital



1. Seleccione el volumen de la muestra y el cartucho que corresponde a la concentración esperada de la muestra, partiendo del cuadro que se da para cada procedimiento. Si no hay una buena suposición de la concentración, comience con uno de los volúmenes de la muestra, y determine la concentración aproximada. Luego haga la prueba con la muestra del tamaño apropiado.



2. Quite la tapa de polietileno e inserte un tubo de suministro de color rojo, en el extremo del cartucho. Utilice un tubo recto con la punta en forma de garfio para las titulaciones hechas a mano.



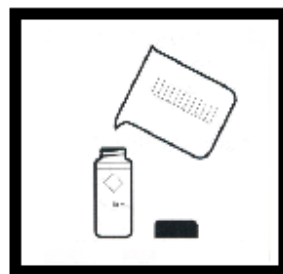
3. Para titulaciones efectuadas en instalaciones permanentes use el titulador con abrazadera para fijar el titulador al soporte del laboratorio.



4. Introduzca el cartucho en el receptáculo del titulador y asegúrelo con una media vuelta.



5. Para iniciar el flujo del titulador y mojar con solución el interior del tubo de suministro, oriente hacia arriba la punta del conjunto. Haga girar la perilla de suministro hasta que el aire salga del tubo y aparezcan gotas de la solución en la punta. Cuando uno hace girar la perilla, las estrías empujan un pistón contra el sello flexible del cartucho, forzando el líquido por el tubo. Use la perilla



6. Use un cilindro graduado o una pipeta para medir el volumen de la muestra en base al cuadro apropiado. Transfiera la muestra a un matraz erlenmeyer de 125ml o 250ml. De ser necesario, diluya con el volumen indicado de agua desionizada.

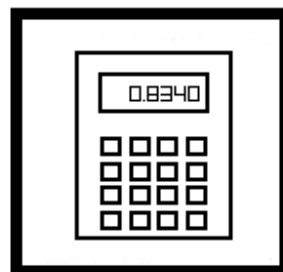
que retrocede el contador a cero y limpie la punta del tubo. Se puede enjuagarla con agua desionizada.



7. Agregue a la muestra la sustancia indicadora y revuelva para mezclar.



8. Sumerja el tubo de suministro en la solución, usando para revolver durante la titulación. Titule haciendo girar la perilla de suministro, continúe suministrando reactivo titulador y revolviendo la muestra hasta alcanzar el punto final o de valoración. Anote los dígitos que aparecen en la ventanilla del Contador.



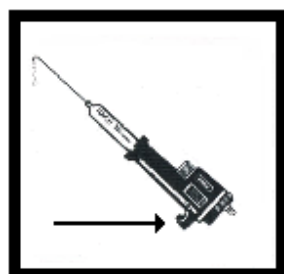
9. Calcule la concentración de su muestra por medio de la fórmula siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Dígitos} \quad * \quad \text{Multiplicador} \\ \text{requeridos} \quad \text{digital} \\ = \text{Concentración de} \\ \text{la muestra} \end{array}$$

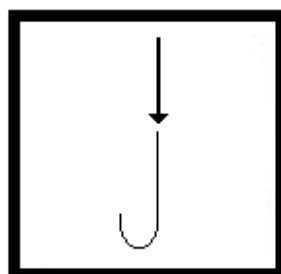
De donde:

Dígitos requeridos = cifra que aparece en la ventanilla del contador digital del paso(8).

Multiplicador digital = cifra tomada del cuadro del procedimiento, y que toma en cuenta la dilución de la muestra y la concentración del titulador.



10. Pulse el botón que destraba el pistón y retráctelo manualmente dentro del cuerpo del titulador. Quite el



11. Si fuera necesario limpiar el tubo de suministro inmediatamente después de usarlo, fuerce agua a presión y luego aire a

cartucho. Quite el tubo de suministro, y selle el cartucho de nuevo con su tapa de polietileno.

través de el, por medio de una jeringa o un tubo mas angosto.

PARÁMETROS FISICOS

1.1 pH

1.1.1 Introducción

La medición del pH es una de las pruebas más importantes y utilizada con más frecuencia en los análisis de la calidad del agua. El pH influye en las concentraciones de equilibrio de muchos compuestos en el agua; por consiguiente, la medición y el control del pH son componentes importantes en la purificación del agua, en el tratamiento de las aguas residuales, en la producción de alimentos, en la fabricación de productos, en platinados mediante electrolisis y en muchos procesos más.

1.1.2 Objetivos

- Determinar las distintas formas de pH de aguas naturales y aguas de desecho utilizando procedimientos de medición directa.

1.1.3 Equipo

- Matraces Erlenmeyer de 250ml
- pHmetro portátil EC10 modelo 50050 HACH
- Breakers de 250 ml
- Electrodo o sonda pH y sonda de temperatura
- Botella lavadora

1.1.4 Reactivos

- Solución Buffer pH 4.01, pH 7.00 y pH 10.0
- Agua desmineralizada

1.1.5 Principios generales

El pH es una medida de la capacidad para reaccionar en una base fuerte a un pH dado. El valor medido puede variar significativamente con el punto final usado en la titulación. El pH puede ser interpretado en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición de la muestra. El pH del agua se debe a ácidos minerales fuertes, ácidos débiles como el carbónico y el acético y sales de ácidos fuertes y bases débiles como las sales de hierro o sulfato de aluminio.

El CO₂ disuelto es el compuesto ácido mas común en las aguas naturales superficiales, ya que estas lo toman de la atmosfera cuando su presión parcial en el agua es menor que en la atmósfera, de acuerdo con la ley de Henry. Otra fuente de CO₂ es la oxidación biológica de la materia orgánica, particularmente en aguas contaminadas. En algunos casos, cuando la actividad fotosintética es limitada, la presión parcial del CO₂ puede exceder la de la atmósfera, por lo que se escapara el CO₂ del agua. Se concluye, entonces que existe un constante cambio de CO₂ entre la superficie de un cuerpo de agua y la atmósfera, a fin de mantener un equilibrio.

1.1.6 Resumen del método

Los iones hidrógeno presentes en una muestra son el resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos, los cuales se neutralizan por titulación con un compuesto básico.

En titulaciones rutinarias, de control o estimación preliminar de la acidez, el cambio de color de un indicador puede ser utilizado como punto final. Idealmente el punto final de la titulación de la acidez correspondería al punto de equivalencia estequiométrico de la titulación de los ácidos presentes. El pH en el punto de equivalencia dependerá del tipo de muestra, de la escogencia entre los puntos múltiples de inflexión y del uso que de los datos se pretende hacer.

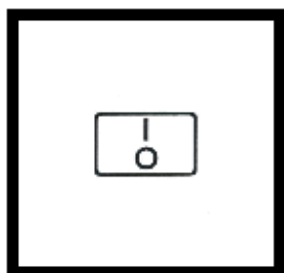
1.1.7 Muestreo y almacenamiento

Las muestras se deben tomar en botellas de polietileno o de boro silicato (cristal pirex o similar) y almacenar a baja temperatura. Llene las botellas completamente y tape con buen ajuste. Debido a que las muestras pueden estar sujetas a acción microbial y a pérdidas o ganancias de CO₂ u otros gases cuando se exponen al aire, analice lo mas pronto posible,

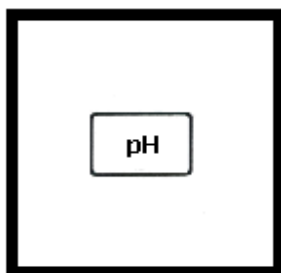
de preferencia el mismo día que se tomo la muestra. Si la actividad biológica es evidente analice dentro de las 6 horas siguientes al muestreo.

Evite la agitación de la muestra y la exposición prolongada al aire.

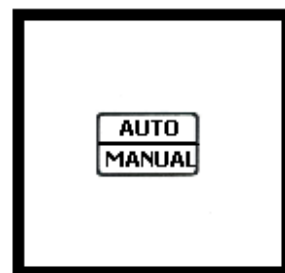
1.1.8 Procedimiento



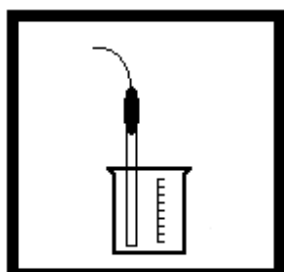
1. Pulse la tecla de energía. La pantalla se encenderá.



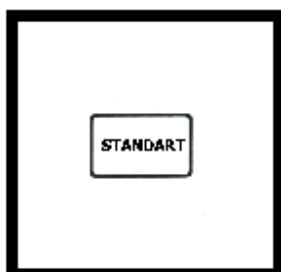
2. Pulse la tecla **pH**



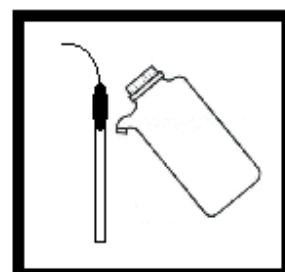
3. Pulse la tecla: **AUTO/MANUAL**. Se encenderá el indicador de AUTO. Titilarán los indicadores de S1 y de pH. Aparecerán ceros en la pantalla.



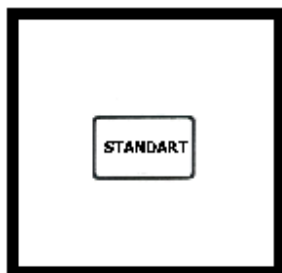
4. Sumerja el electrodo en una solución amortiguadora de pH 4.01 y deprima el botón de suministro de solución electrolítica. Para mas exactitud, deje pasar 30 segundos antes de ejecutar el paso 5. La pantalla mostrará la temperatura de esta solución, en caso de estar conectado el sensor de temperatura.



5. Pulse la tecla **STANDART** y espere hasta que el indicador de pH deje de titilar. Entonces empezará a titilar el indicador S2. Aparecerá un valor de pH, pero se basa en el ajuste regular de fábrica, o en la última lectura. No lo tome en cuenta.



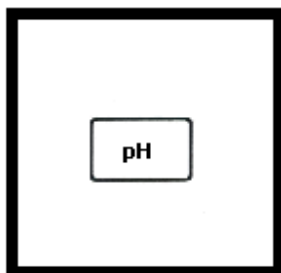
6. Enjuague el electrodo con agua desionizada y séquelo con una toalla de papel. Coloque el electrodo en otra solución amortiguadora de pH 7.00. Pulse el botón de suministro de solución electrolítica. Para mayor exactitud, espere 30 segundos antes de ejecutar el paso 7.



7. Pulse la tecla **STANDART**. S2 dejará de titular. Espere hasta que el indicador de pH deje

en

de titular. El valor efectivo del pH aparecerá en la pantalla, y se basará en el ajuste regular de fábrica, o en la última lectura. No lo tome en cuenta.



8. Pulse la tecla pH. Enjuague el electrodo con agua desionizada o con una parte de la muestra que se a-

naliza. Séquelo con una servilleta de papel. Inserte el electrodo en la muestra y presione el botón de suministro de solución electrolítica. El aparato ahora mide el pH.



9. Para revisar, pulse la tecla REVIEW y aparecerá el voltaje en la parte superior de la pantalla y la curva del electrodo

la inferior. Vuelva a pulsar la tecla REVIEW, y el aparato volverá a indicar pH. En el modo de reconocimiento automático del amortiguador, se usan tres soluciones, de pH 4.01, PH 7.00, y pH 10.00, en cualquier orden.

1.1.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar el pH mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.2 CONDUCTIVIDAD

1.2.1 Introducción

La conductividad representa la concentración de sales en aguas naturales, permite descubrir las variaciones de los sólidos disueltos en las descargas; facilita el trabajo de laboratorio, pues, se emplea para cualquier dilución y controla la calidad en otras pruebas, en la industria se emplea para conocer el grado de corrosión del agua en las calderas, así como la eficiencia de las mismas.

1.2.2 Objetivos

- Determinar la conductividad de aguas de diferente procedencia, e ilustrar el uso de las mediciones de conductividad en el análisis de aguas con el uso del equipo conductímetro HACH CO150, aplicación del método 8160, USEPA, de medición directa.

1.2.3 Equipo

- Termómetro con graduaciones de un décimo de grado centígrado.
- Conductímetro HACH modelo CO 150
- Electrodo o celda de conductividad

1.2.4 Reactivos

- Muestras de agua
- Solución patrón de cloruro de sodio, varias concentraciones
- Solución patrón de cloruro de potasio (KCl) 0.1 M

1.2.5 Principios generales

La habilidad de los iones para moverse a través de una solución y la propiedad de una solución para conducir el flujo de corriente eléctrica se llama CONDUCTIVIDAD. La

conductancia de una solución es el recíproco de su resistencia y se da en Mohs (recíproca de Ohms). La mayoría de los ácidos, bases y sales inorgánicas (tales como HCl, Na₂CO₃, NaCl) son mejores conductores que las moléculas de compuestos orgánicos (como la sacarosa y el benceno).

La conductancia específica (Ks) de una solución es la concentración de Lcc. De solución entre dos electrodos de 1 cm² de área, separados 1 cm y tiene como unidades Mohs/cm. Las mediciones de conductividad se hacen en una celda de igual número, con un puente de Wheatstone que trabaja con corriente alterna para evitar cambios en la composición de los electrodos (realmente lo que se mide es la resistencia, pero la lectura que se hace en el instrumento ya está convertida a conductancia). Cuando la celda utilizada no tiene electrodos de 1 cm² de área transversal y/o estos no están especificados 1 cm, se debe hacer la corrección utilizando la constante de la celda.

Para el cálculo de la conductividad se procede de la siguiente forma:

- a. Cuando se mide la resistencia de la muestra, la conductividad (G) a 25°C es:

$$G = \frac{1000000(C)}{R_m * [1 + 0.0191 * (t - 25)]}$$

Donde: G = Conductividad en micromhos/cm

C = Constante de la celda en cm⁻¹

R_m = Resistencia medida de la muestra en Ohms.

t = Temperatura de la medición en °C.

- b. Cuando se mide la conductividad de la muestra, entonces:

$$G = \frac{1000000(km)(C)}{1 + 0.0191 * (t - 25)}$$

Donde: Km = Conductividad medida en Mohs a t°C.

NOTA: Si la lectura de conductividad es micromhos/cm anule el factor 1000000 en el numerador.

1.2.6 Resumen del método

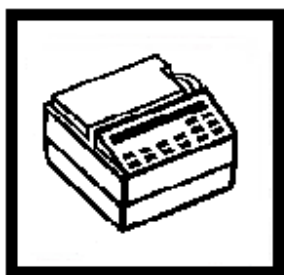
En los conductímetros que se emplean rutinariamente se deben revisar las celdas continuamente y asegurarse que el revestimiento de platino se encuentra intacto, que las placas no se encuentren cubiertas con materia suspendida y que no estén dobladas, desalineadas o distorsionadas.

Luego se procede al calculo de la constante de la celda para después, determinar la medición de la conductividad de la muestra.

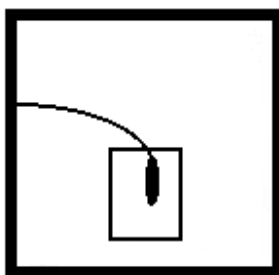
1.2.7 Muestreo y almacenamiento

La conductividad debe determinarse in situ, es decir en el lugar de muestreo. Si no se dispone del equipo portátil, se recomienda que el volumen de muestra sea mayor que 100 ml, pudiéndose almacenar en recipientes de vidrio o plástico por un tiempo menor de 24 horas y a 4°C. Al momento de efectuar el análisis la temperatura debe ajustarse a 25°C o el equipo de medición debe contar un compensador de temperatura.

1.2.8 Procedimiento



1. Prepare el medidor de conductividad para operación según las instrucciones de su manual del instrumento. Ajuste el control de RANGE al rango mas alto.



2. Sumerja la sonda en el vaso de precipitados que contiene la solución de la muestra. Varíe la profundidad y golpee suavemente la sonda en la pared del vaso, para eliminar del electrodo las burbujas de aires.



3. Seleccione el rango debido, comenzando con el mas alto, y procediendo hacia abajo. Lea la conductividad de la muestra.



4. Después de cada medición, enjuague minuciosamente la sonda con agua des-mineralizada.

1.2.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar la conductividad mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Recomendaciones, conclusiones y revisión bibliografica.

1.3 TURBIEDAD

1.3.1 Introducción

La turbidez de un líquido es importante debido a muchas razones, según sea su utilización. La turbidez esta causada por sólidos suspendidos incluyendo limos, arcillas, algas y demás plancton, microbios, materia orgánica y otras partículas delgadas insolubles en los medios de muestra. Las partículas hacen que la muestra tome un aspecto indefinido o turbio. En el agua potable, ciertos organismos perjudiciales o las partículas que los protegen de los procesos de desinfección afectan en forma adversa la calidad del agua. Para asegurar un suministro de agua potable seguro, se requieren por ley plantas de tratamiento de agua para mantener una turbidez baja y uniforme del producto terminado.

En otros líquidos, la turbidez puede ser causada por partículas perjudiciales para uso final o quizás por partículas que son el ingrediente vital de un producto. En ambos casos, la turbidez es una medición del control de calidad para monitorear la eficiencia del tratamiento o del proceso de fabricación.

1.3.2 Objetivos

- Medir la concentración de las partículas coloidales y suspendidas en un líquido.
- Determinar el grado de turbiedad en una muestra de agua dada, mediante el uso del turbidímetro, modelo DRT-100B, marca HF Cientific, NC.

1.3.3 Equipo

- Turbidímetro DRT-100B. Rango de medición de 0 a 1000 NTU $\pm$ 0.1 NTU
- Patrón estandarizado. 0.02 NTU
- Celdas de vidrio, diámetro 28 mm

1.3.4 Principios generales

Se define como el fenómeno óptico relacionado con la dispersión y absorción de la luz, debido a la presencia de partículas que pueden ser de dos tipos: antropogenicos como los

residuos sólidos como materia orgánica, papel, basura y residuos producidos por el hombre, y de tipo natural como las arcillas, arenas, limos, presencia de silicatos hidratados de aluminio o hierro, y suelos arrastrados.

Esta presencia de turbiedad genera problemas, como un aumento de tiempo en su tratamiento, también hace ver un aspecto poco agradable a la vista humana, y además genera taponamiento en redes de distribución para consumo humano cuando no se realizado un tratamiento previo.

La escala de medida de la turbiedad varía de la siguiente forma:

- 000 – 9.99: Agua Poco Turbia
- 000 – 99.9: Agua Medianamente Turbia.
- 000 – 999: Agua Muy Turbia.

1.3.5 Resumen del método

La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad (UT). La unidad de turbiedad es una cantidad empírica que se basa en el turbidímetro de bujía Jackson, y es la producida al agregar 1mg de sílice a un litro de agua destilada. En la actualidad se ha generalizado el empleo de los turbidímetros basados en el principio nefelométrico y la preparación de patrones de turbiedad con suspensiones de polímero de formacina; en este caso, la turbiedad se expresa en unidades nefelométricas (UTN), y el patrón es preparado con la mezcla de soluciones de sulfato de hidracina y hexametilentetramina.

La turbiedad se determina en laboratorio por medio de unos aparatos llamados turbidímetros o por comparación visual mediante el empleo de patrones.

1.3.6 Muestreo y almacenamiento

Para la toma de la muestra a la cual se le va a realizar el ensayo para la determinación de la turbidez, es necesario realizarla IN SITU, mediante un envase de plástico o vidrio; no siendo necesario la realización del ensayo inmediatamente después de el muestreo.

Para su almacenamiento no exige condiciones especiales mas que tener el envase bien tapado.

1.3.7 Procedimiento

1. Prepare el medidor de turbiedad, instale a la red eléctrica con sistema de protección de sobrevoltaje. Coloque en posición de ON el interruptor.
2. Coloque la solución patrón de 0.02 NTU dentro del compartimentos de celdas.
3. Seleccione el interruptor a posición "NORM", mientras gire la perilla de ajuste hasta indicar en la pantalla del equipo el valor del patrón 0.02 NTU, pase el interruptor a posición de "SET" para almacenar el valor del patrón.
4. Prepare la celda con la muestra analizada, colóquela en el compartimiento y ajuste la perilla a la posición "NORM" y espere a que el quipo realice la lectura de la muestra de agua.

NOTA: Valores altos de turbiedad, cambiar con la perilla de rango de NTU de 0-1 de 0-10, de 0-100 y de 0-1000 NTU.

1.3.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la turbiedad media mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.4 COLOR

1.4.1 Introducción

A pesar de estar íntimamente ligado a la turbiedad, puede presentarse como una característica independiente. El color incide sobre el aspecto estético del agua, quitándole la transparencia.

Aunque se han realizado extensos estudios sobre la estructura química fundamental de las moléculas responsables del color, es materia de contradicción. Se mencionan como causas del color los taninos, la lignina, el ácido húmico, los polisacáridos y los ácidos grasos, entre otros; no obstante lo complejo del tema, se acepta que el color del agua, excluyendo el resultado de descargas industriales, proviene de la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal vivo, de la solución de compuestos resultantes de la descomposición de la materia, de la solución de materia orgánica del suelo y de la presencia de hierro, manganeso, y otros compuestos metálicos.

1.4.2 Objetivos

- Determinar el tipo de color presente en una muestra de agua debido a la materia orgánica disuelta y suspendida, con el colorímetro HACH DR-700 método 8025 platino cobalto APHA.
- Evaluar, dependiendo del tipo de agua; el método de desinfección que se debe utilizar.

1.4.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR 700
- Modelo de filtro HACH 0.450 mm
- Aspirador al vacío
- Soporte de filtro
- Membrana de filtro de diámetro de 47 mm
- Tubo de filtrado
- Par de celdas de muestra de 25 ml
- Tapón No.7 de un orificio
- Manguera de goma

1.4.4 Reactivos

- Agua desionizada
- Solución patrón de color de 500 unidades platino – cobalto

1.4.5 Principios generales

Se define como la interferencia óptica debida a la presencia de material coloidal (Fase Intermedia: Liquido – sólido: Gelatinos).

Hay colores característicos del agua:

- Café: Debido a la presencia de materia orgánica como hojas, palos, arcillas y se produce a la presencia de hierro.
- Verde: Indica presencia de algas, fitoplancton, zooplancton y hongos.
- Rojo: Determina presencia de silicatos. Este color es muy común y se debe a la presencia de este elemento.

En el análisis de laboratorio se presenta dos tipos de colores: - Aparente: Es el color propiamente del agua, y un color: - Verdadero: Se debe someter el agua a centrifugación en el laboratorio.

Las partículas causantes del color son:

- Ácidos fulmicos
- Ácidos humicos
- Ácidos himatomelánicos: Primera capa vegetal de un suelo.
- Carbón humico.

El color se mide en unidades de color: U.C, y su escala varía entre 0 y 50 generalmente.

1.4.6 Resumen del método

Se puede expresar el color como color “aparente” o “verdadero”. El color aparente incluye el color de materias disueltas más el color de las sustancias en suspensión. Se puede determinar el color verdadero filtrando o centrifugando las sustancias en suspensión. El procedimiento describe el análisis del color verdadero. Si se desea el color aparente, éste se determina midiendo una muestra de agua sin filtrar. El programa almacenado se utiliza para los dos tipos de color.

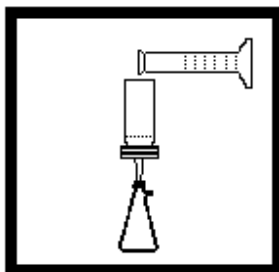
1.4.7 Muestreo y almacenamiento

Recoja las muestras en botellas limpias de plástico o vidrio. Analice las muestras lo antes posible después de la recolección para obtener mejores resultados. Cuando no sea posible un análisis rápido, llene completamente las botellas y tápelas para que queden bien cerradas. Evite la agitación excesiva o el contacto prolongado con el aire. Las muestras se pueden almacenar durante 48 horas enfriándolas a 4°C. Caliente a temperatura ambiente antes de realizar la prueba.

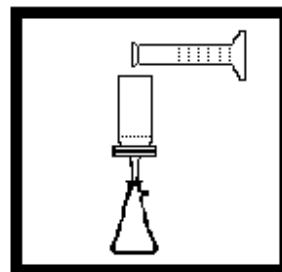
1.4.8 Procedimiento



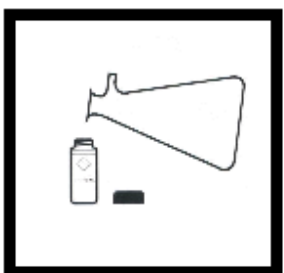
1. Armar el aparato de filtrado (filtro de membrana, soporte del filtro, tubo del filtro y Aspirador).



2. Enjuagar el filtro vertiendo alrededor de 50 ml de agua desionizada a través del filtro. Desechar el Agua del enjuague.



3. Verter otros 50 ml de agua desionizada a través del filtro. Guardarlo para el paso 4.



4. Llenar una celda de muestra (el blanco) con 25 ml de agua desionizada filtrada. Desechar el

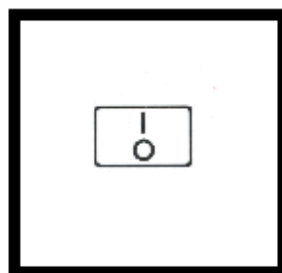


5. Instale el módulo:

45.01

En el DR 700

La pantalla mostrará:
Fijar nm para 455

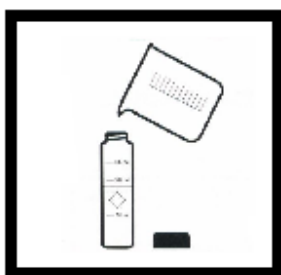


6. Presione: **I/O**

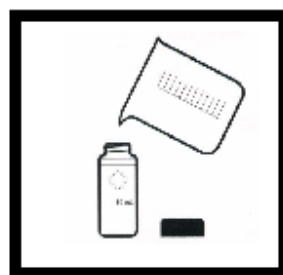
la pantalla pequeña muestre:
450 nm
y el numero del modulo:
45.01



7. Después de 2 segundos la pantalla mostrará el número del programa, las unidades de concentración, y el cero. Si es necesario presione la llave UP ARROW hasta que la parte baja de la pantalla muestre el número del programa:
45.03.1



8. Coloque alrededor de 50 ml de muestra a través del filtro.



9. Llene una segunda celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con la muestra filtrada.



10. Coloque el blanco en la celda.



11. Presionar: **ZERO**
La pantalla mostrará:
Puesta a cero...



12. Coloque la muestra preparada en el contenedor de la celda y presione la tecla **READ** para la respectiva lectura.

1.4.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar el grado de color mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.5 TEMPERATURA

1.5.1 Introducción

El factor temperatura es importante porque actúa como elemento que acelera o retarda la actividad biológica, la absorción de oxígeno y bióxido de carbono de la atmósfera por el agua, influye en la proliferación de algas y en la precipitación de compuestos. Además, afecta los procesos de tratamiento como la desinfección con cloro, y por tener influencia sobre la viscosidad del agua, incide también indirectamente en los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, y filtración.

1.5.2 Objetivos

- Determinar la temperatura de una fuente de agua mediante el empleo de termómetros.
- Teniendo en cuenta la temperatura del agua, concluir sobre los efectos en las actividades biológicas que se llevan a cabo.

1.5.3 Equipo

- Termómetro de mercurio de escala centígrada, de 0° a 100° con precisión de décima de grado.

1.5.4 Principios generales

El agua fresca es generalmente mas agradable que al agua caliente. La elevada temperatura favorece la proliferación de microorganismos y puede agravar los problemas de olor, sabor, color y corrosión.

El término temperatura se define como:

1. El estado de calor de un cuerpo. Es una expresión numérica cuyos oscilaciones se miden por las oscilaciones del líquido contenido en los termómetros, según diversas escalas.

2. Variable termodinámica que determina el estado térmico de los cuerpos. Cuando dos o mas sistemas se hayan en equilibrio térmico se dicen que tienen la misma temperatura. Desde el punto de vista microscópico la temperatura resulta ser proporcional a la energía cinética media de las moléculas. Para determinar la temperatura de un cierto número de sistemas, se elige uno de ellos para indicar el equilibrio térmico entre el y los restantes. Tal sistema recibe el nombre de **termómetro**. Una vez elegida una relación entre la magnitud que varía en un termómetro y la temperatura, puede definirse una escala termométrica fijando arbitrariamente uno o dos puntos a los que se les atribuya una temperatura determinada.

Escalas de temperatura:

1. Escala Celsius o centígrado: Emplea un grado de igual magnitud que la escala Kelvin, pero su cero esta desplazado. El punto triple del agua es 0.01°C .
2. Escala Rankine: La temperatura en grados de Rankine esta ligada a la Kelvin.
3. Escala Fahrenheit: El grado Fahrenheit tiene el mismo valor que el Rankine pero el cero de la escala esta desplazado.
4. Escala Kelvin
5. Escala Reamur

1.5.5 Resumen del método

La determinación de la temperatura de un cuerpo de agua, se realiza IN SITU no requiriendo de mas elementos que de un termómetro, para tal efecto, se introduce en el cuerpo de agua y se toma la lectura de acuerdo a la escala que se vaya a emplear.

1.5.6 Muestreo y almacenamiento

En la elaboración de este laboratorio no es necesario la toma de muestras, ya que el ensayo se realiza IN SITU.

1.5.7 Procedimiento

1. Introducir en una funda terminada en un pequeño depósito a fin de evitar que la temperatura varíe entre el instante en que el instrumento se retire del agua y el momento de la lectura.
2. Introducir el termómetro en el cuerpo de agua a una profundidad media y dejarlo por 20 segundos aproximadamente.
3. Extraer el termómetro y obtener la lectura correspondiente a la fracción más cercana de un grado centígrado de acuerdo a la precisión del termómetro.
4. Registrar las lecturas efectuadas.

1.5.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Determinar la temperatura de un cuerpo de agua mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Conclusiones y recomendaciones de acuerdo a las lecturas registradas.
3. Bibliografía consultada.

1.6 OXIGENO DISUELTO

1.6.1 Introducción

Todo organismo vivo necesita del oxígeno, en una u otra forma, para mantener su proceso metabólico, del cual obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción.

El oxígeno está clasificado como un gas poco soluble y como no reacciona químicamente con el agua, su solubilidad depende de sus presiones parciales de vapor saturado y de la temperatura del agua. Tres factores afectan la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua natural: Presión atmosférica, Temperatura y Salinidad o contenido de sólidos disueltos.

La mayoría de las condiciones críticas relacionada con la eficiencia de oxígeno disuelto ocurren durante los meses de verano, cuando la temperatura es alta, por eso se deben considerar niveles mínimos de oxígeno disuelto durante estas épocas.

1.6.2 Objetivos

- Determinar la concentración de oxígeno disuelto en aguas de diferentes procedencias. Demostrar el efecto de la salinidad y la temperatura sobre la solubilidad del oxígeno.
- Aplicar el método 8332 usando botellas Winkler de 60 ml para la determinación de oxígeno disuelto.

1.6.3 Equipo

- Frasco de Winkler de 60 ml
- Probeta de 50 ml
- Titulador digital Titrator
- Erlenmeyer de 250 ml

1.6.4 Reactivos

- Oxígeno disuelto 1 HACH
- Oxígeno disuelto 2 HACH
- Oxígeno disuelto 3 HACH

- Tiosulfato de sodio 0.2000 N - cartucho

1.6.5 Principios generales

Este parámetro permite determinar el grado de contaminación y polución en la que se encuentra una muestra de agua, es un parámetro muy importante porque así se observa a simple vista el grado de tratamiento al que se debe someter el agua, para hacer posible su consumo humano. Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno es uno de los más importante en cuanto a la dinámica y a la caracterización de ecosistemas acuáticos concierne. Las principales fuentes de oxígeno en la naturaleza se encuentran en la atmósfera y en la fotosíntesis de las plantas. Cuando se incrementa la cantidad de oxígeno en el agua por diferentes métodos, este va disminuyendo paulatinamente debido a la descomposición de materia orgánica, y oxidación de iones metálicos como el hierro y el magnesio. El grado de solubilidad de oxígeno en el agua depende de la temperatura, presión y cantidad de sales disueltas.

1.6.6 Resumen del método

Se puede ver que las mediciones de oxígeno disuelto son vitales para conocer las condiciones aerobia o anaerobia de las aguas naturales que reciben materia de desecho. Por eso, una meta de cualquier programa de control de la contaminación del recurso hídrico es poder garantizar un mínimo de oxígeno disuelto en el agua, según el uso que se le asigne a esta.

El método es un procedimiento de titulación basado en la propiedad oxidante del oxígeno disuelto, sigue siendo el mas preciso y confiable procedimiento volumétrico para análisis del oxígeno disuelto.

1.6.7 Muestreo y almacenamiento

La muestra se debe recolectar cuidadosamente, teniendo en cuenta que los métodos de muestreo son altamente dependientes de la fuente al ser muestrada y, en cierta medida, del método de análisis. No se debe dejar que la muestra haga contacto con el aire, o sea agitada, pues, estas condiciones ocasionan cambios en su contenido gaseoso. Además muestras para cualquier profundidad, de corrientes, lagos y reservorios, al igual que muestras de aguas de caldera, necesitan precauciones especiales para eliminar cambios en presión y temperatura.

Recolectar las muestras de agua superficial en botellas de 60ml especiales para DBO (Frasco Winkler), evitando la entrada o disolución del oxígeno atmosférico. En el muestreo de una tubería a presión, conectar un tubo de vidrio o de caucho a la llave y extenderlo hasta el fondo de la botella. Deje que la botella desaloje 2 o 3 veces su volumen y tápela de nuevo para evitar la entrada de burbujas de aire. Se debe medir la temperatura inmediatamente y efectuar la fijación del oxígeno en el campo, para evitar pérdidas por acción biológica.

1.6.8 Procedimiento

Para la ejecución de este laboratorio se recibe el frasco de Winkler 1 día antes del laboratorio, se toman 3 frascos muy pequeños de 5 cms de alto y unos 2 cms de diámetro para llevarlos al sitio de muestreo, ya que gran parte de este se hace In Situ, se procede así:



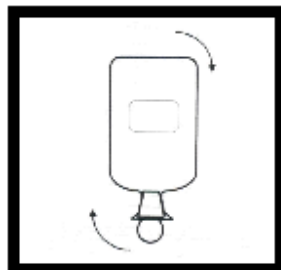
1. Coloque una muestra de agua en una botella de vidrio para el ensayo de DBO.



2. Adicione el contenido y disuelva una almohada de polvo de reactivo Oxígeno 1 y una almohada de polvo de reactivo Oxígeno 2.



3. Inmediatamente inserte la tapa para que no quede aire atrapado en la botella. Invierta la botella para que se mezcle.



4. Espere hasta que el Floc en la solución se ha establecido y la cima de la mitad esta



5. Remueva la tapa y adicione el contenido de el contenido de una almohada de polvo de



6. Con precisión mida 20 ml de muestra preparada y transfírala a frasco erlenmeyer de 250 ml.

clara. Otra vez invierta la botella hasta que el Floc se ha establecido.

reactivo de oxígeno disuelto 3. Vuelva a colocar la tapa sin permitir la entrada de aire e invierta la botella un momento para mezclar.



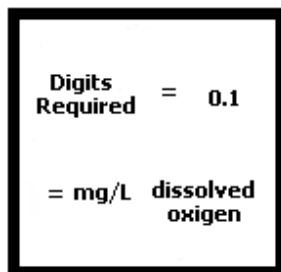
7. Ate un tubo de entrega de tallo recto limpio con un cartucho de tiosulfato de sodio 0.2000N Titration. Enrollar el cartucho del cuerpo del Titrator. Mire la descripción general para las instrucciones de ensamble si es necesario.



8. Vacíe el bulto de entrega para arrojar unas gotas de Titrant. Resete el contador a cero y limpie el contador.



9. Titrate la solución preparada con tiosulfato de sodio 0.2000N hasta que la muestra cambie de amarillo a descolorido. Registre el número de dígitos.



10. Calcule:

Dígitos requeridos * 0.1 =
mg/L de oxígeno disuelto.

1.6.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para la muestra experimental, calcular la cantidad de oxígeno disuelto presentes en el agua , mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada para el ensayo.

PARÁMETROS QUÍMICOS

1.7 ALCALINIDAD

1.7.1 Introducción

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para reaccionar con ácidos fuertes a un pH determinado, esto es, una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y se debe principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles, contribuyendo también las bases débiles y fuertes.

La alcalinidad es una medida de las propiedades de los agregados del agua y solamente puede ser interpretada en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra.

1.7.2 Objetivos

- Determinar las distintas formas de alcalinidad en aguas naturales y aguas de desecho, con aplicación del método 8203, método de fenotaleína y total, usando ácido sulfúrico, rango de 10 a 400 mg/L como CaCO_3 .

1.7.3 Equipo

- Titulador digital
- Frasco de erlenmeyer de 250 ml

1.7.4 Reactivos

- Bolsas de polvo rojo de metil verde de bromocresol
- Bolsas de polvo de fenoltaleína.
- Agua desmineralizada
- Cartucho de titulación de ácido sulfúrico de 1.600 N
- Cartucho de titulación de ácido sulfúrico de 0.1600 N

1.7.5 Principios generales

La alcalinidad del agua se define como la capacidad que esta tiene de neutralizar, o sea de aceptar protones. Se cuantifica por medio de una titulación con una solución diluida de un ácido mineral fuerte como el H_2SO_4 y el HCl hasta lograr los diferentes puntos de equivalencia; esto se manifiesta por el cambio de un indicador interno o por medidas electrométricas.

Este parámetro se define como la capacidad de una sustancia de neutralizar ácidos, y puede ser:

- a. Natural: Son poco común las aguas alcalinas de origen natural, y se encuentran en sitios como acuíferos o depósitos subterráneos.
- b. Antropogénica: Se debe a los elementos depositados por el hombre como el caso de jabones, ya que estos poseen hidróxidos (OH).

Además, en el agua se da por la presencia de hidróxidos como carbonatos, y HCO_3 , y en aguas de tipo natural, por la combinación con los suelo que tienen: CaCO_3 , MgCO_3 , SO_4 , PO_4 .

Este valor oscila entre 20 y 30 mg/litro.

Para el calculo de la alcalinidad se aplica la siguiente forma:

$$\text{Alcalinidad} = V \cdot N \cdot e \cdot 1000 / \text{ml muestra}$$

1.7.6 Resumen del método

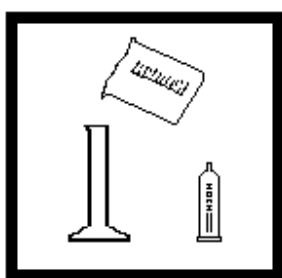
La muestra se titula con ácido sulfúrico hasta un punto final colorimétrico correspondiente a un pH específico. La alcalinidad de la fenoftalina se determina por medio de la titulación a un pH de 8.3, como o muestra el del hidróxido total y de una mitad del carbonato. La alcalinidad M (metil naranja) o T (total) se determina por medio de la titulación a un pH entre 3.7 y 5.1 e incluye el carbonato, bicarbonato e hidróxido.

1.7.7 Muestreo y almacenamiento

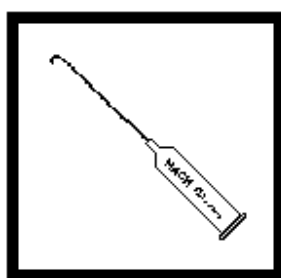
Acopie las muestras en botellas de plástico o vidrio limpias. Llénelas completamente y ajuste bien la tapa. Evite una agitación excesiva o una exposición prolongada al aire. Las muestras deben analizarse lo antes posible después del acopio pero se pueden almacenar durante un mínimo de 24 horas enfriándolas a 4°C (39°F) o temperaturas inferiores.

Calíentelas a temperatura ambiente antes de analizarlas.

1.7.8 Procedimiento



1. Seleccionar el volumen de la muestra y el cartucho de titulación del ácido sulfúrico (H_2SO_4) correspondiente a la concentración de alcalinidad esperada como mg/l carbonato de calcio (CaCO_3). Ver tabla siguiente.



2. Insertar un tubo de alimentación limpio en el cartucho de titulación. Ajustar el cartucho al cuerpo del titulador.



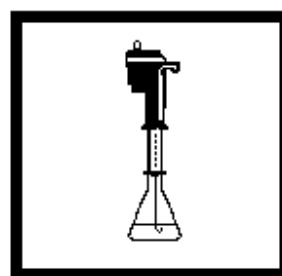
3. Girar la perilla de descarga para expulsar unas gotas del titulante. Reiniciar el contador a cero y limpiar la punta.



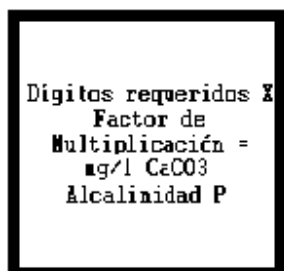
4. Utilizar una probeta para determinar el volumen de la muestra. Transferir la muestra a un frasco de erlenmeyer limpio de 250 ml. Diluir hasta la marca de 100 ml aproximadamente con agua desmineralizada, si es necesario.



5. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo indicador de fenolftalina y remover para mezclar.



6. Si la solución se torna rosa, titular en un punto final incoloro y remover el frasco mientras se titula con ácido sulfúrico. Registrar el número de dígitos requeridos. sulfúrico.

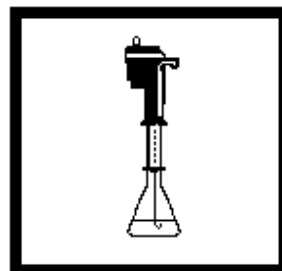


7. Calcular:

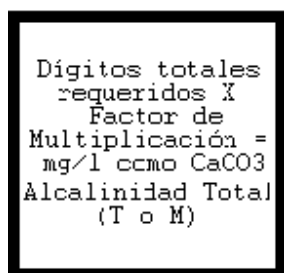
Dígitos requeridos X
Factor de Multiplicación =
mg/l CaCO₃ Alcalinidad



8. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo de indicador rojo de metil verde de bromocresol al frasco y girar para mezclar.



9. Continuar la titulación con ácido sulfúrico hasta un color gris azulado verdoso claro (pH 5.1), un gris violáceo claro (pH 4.8) o rosa claro (pH 4.5), según lo requiera la composición de la muestra. Registrar los números de los dígitos requeridos.



10. Calcular:

Dígitos totales requeridos X
Factor de Multiplicación =
mg/l como CaCO₃
Alcalinidad Total (T o M)

Rango (mg/L como CaCO ₃)	Volumen de la muestra (ml)	Cartucho de titulación (H ₂ SO ₄)	Numero de catalogo	Factor de multiplicación
10 a 40	100	0,1600	14388-01	0,1
40 a 160	25	0,1600	14388-01	0,4
100 a 400	100	1,600	14389-01	1,0
200 a 800	50	1,600	14389-01	2,0
500 a 2000	20	1,600	14389-01	5,0
1000 a 4000	10	1,600	14389-01	10,0

1.7.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para una muestra de agua y una de agua de desecho, calcular el grado de alcalinidad mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.8 DUREZA

1.8.1 Introducción

Originalmente el término dureza se entendió como una medida de la capacidad del agua para precipitar el jabón. Químicamente la dureza del agua es una propiedad causada por la presencia de cationes metálicos polivalentes y se manifiesta por su reacción con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones para formar incrustaciones. La dureza de las aguas naturales se debe principalmente a los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} . Otros cationes polivalentes también pueden estar presentes en pequeñas cantidades, usualmente insignificantes.

1.8.2 Objetivos

- Determinar la dureza total y del calcio, aplicando el método 8213, utilizando el titulador digital EDTA, rango de 10 a 400 mg/L como CaCO_3 .

1.8.3 Equipo

- Titulador digital
- Frasco de erlenmeyer de 250 ml
- Probeta de 100 ml

1.8.4 Reactivos

- Solución Buffer Hardness 1
- Bolsas de polvo ManVer 2 Hardness indicador
- Cartuchos de titulación EDTA 0.0800
- Cartuchos de titulación EDTA 0.800
- Agua desionizada

1.8.5 Principios generales

Se define como la cantidad de aniones y cationes en exceso dentro del agua. Influye mucho la presencia de calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruros. Hay un tipo de aguas llamadas “ Aguas Duras “, las cuales son procedentes de aguas subterráneas. Es una propiedad característica de las aguas termales y aguas marinas debido al exceso de sales que estas contienen.

Los problemas de Aguas Duras son de dos tipos: Estética: Debido a la presencia de sales, y en especial una de estas: FeSO_4 (Sulfato de Hierro) hace que se acumule en los lavamanos y le da un color café a la porcelana porque se va incrustando en esta; e Industrial: En las calderas donde se trabaja a temperaturas entre 700 y 800 grados centígrados, con el paso del tiempo los cationes y aniones se precipitan, y si no recibe un mantenimiento adecuado, el diámetro se va disminuyendo y produce problemas de obstaculización en las bocas de estas.

Según la cantidad de concentración total de carbonato de calcio presente en el agua, se puede establecer el grado de dureza de acuerdo a la siguiente clasificación de aguas:

Agua Blanda: 0 a 75 mg/litro CaCO_3

Agua moderadamente Dura: 75 a 120 mg/litro CaCO_3

Agua Dura: 120 a 300 mg/litro CaCO_3

Agua Muy Dura (Marinas): Mayor a 300 mg/litro CaCO_3

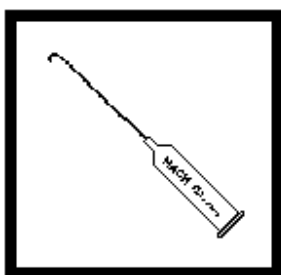
1.8.6 Resumen del método

La muestra se hace alcalina (pH 12-13) con hidróxido de potasio para precipitar el magnesio como hidróxido de magnesio. Se agrega el indicador CalVer 2 y se combina con calcio para formar un color rosa-rojo. Cuando se agrega el EDTA, éste reacciona con los iones libres de calcio presentes. Cuando no quedan más iones libres de calcio, el EDTA extrae el complejo de calcio con el indicador, haciendo que el color cambie a azul.

1.8.7 Procedimiento



1. Escoger un tamaño de muestra y un cartucho de titulación EDTA Correspondiente al calcio esperado como concentración de carbonato de calcio.
Ver tabla al final del procedimiento.



2. Insertar un tubo de alimentación limpio en cartucho de titulación. Ajustar el cartucho al cuerpo del titulador.



3. Girar la perilla de descarga para expulsar algunas gotas al titulador. Reiniciar el contador a cero y limpiar la punta.



4. Utilizar una probeta o pipeta para medir el volumen de la muestra. Transferir la muestra al frasco de erlenmeyer limpio de 250 ml. Diluir aproximadamente hasta la marca de 100 ml agua desionizada, si es necesario.



5. Agregar 2 ml de 8 N de solución patrón de hidróxido de potasio y girar para mezclar.



6. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo indicadora de calcio Cal-Ver 2 y girar para mezclar.



7. Colocar la punta del tubo de alimentación den-



8. Calcular la concentración de la muestra uti-

Total de dígitos
requeridos X
Factor de
multiplicación =
mg/l Dureza del calcio
como CaCO_3

tro de la solución y girar el frasco mientras se titula con EDTA desde rosa a azul. Registrar el número de dígitos requeridos.

lizando una de las fórmulas enunciadas a continuación.

Rango (mg/L como CaCO ₃)	Volumen de la muestra (ml)	Cartucho de titulación (n EDTA)	Numero de catalogo	Factor de multiplicación
10 a 40	100	0,0800	14364-01	0,1
40 a 160	25	0,0800	14364-01	0,4
100 a 400	100	0,800	14399-01	1,0
200 a 800	50	0,800	14399-01	2,0
500 a 2000	20	0,800	14399-01	5,0
1000 a 4000	10	0,800	14399-01	10,0

1.8.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular el grado de dureza mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.9 CLORUROS

1.9.1 Introducción

El cloruro en forma de ion, es uno de los aniones inorgánicos encontrados mayormente, en aguas y aguas de desecho. En las montañas y tierras elevadas, los abastecimientos de agua son bajos en cloruro, las aguas de los ríos y de los abastecimientos subterráneos generalmente tienen una concentración mayor. Las aguas de los mares y océanos tienen una concentración mas elevada por contener los residuos resultantes de la evaporación parcial de las aguas naturales que fluyen hacía ellos.

1.9.2 Objetivos

- El experimento tiene como propósito determinar la concentración del ion cloruro en una muestra de agua de procedencia definida.

1.9.3 Equipo

- Equipo de Volumetría: Erlenmeyer de 250 ml, buretas, soportes, etc.

1.9.4 Reactivos

- Cromato De Potasio
- Nitrato de Plata
- AgNO_3

1.9.5 Principios generales

Este elemento se produce en las actividades antropogenicas del hombre, principalmente en la urea, y es una manera adecuada de observar si un agua esta contaminada por la presencia de este elemento.

Para la determinación de este parámetro químico, se recurre al método de Mohr, el cuál solo recurre al equipo de volumetría y reactivos como el cromato de potasio, nitrato de plata (AgNO_3).

La concentración de cloruros es mayor en las aguas de desecho que en los cuerpos de agua natural, porque el cloruro es un artículo común en la dieta y pasa por el sistema digestivo sin sufrir cambio alguno. La excreta humana, particularmente la orina contienen cloruros en cantidad casi igual a la consumida en la alimentación; la cantidad promedio es casi 6 gr/persona al día, incrementándose casi hasta 15 mg/litro en las aguas residuales. Las descargas industriales elevan mucho la cantidad de cloruros.

Los cloruros en proporciones razonables no son dañinos a la salud, en concentraciones superiores a 250 mg/litro (Análisis de aguas residuales, Walter Weber) dan sabor salino al agua si el catión es sodio, siendo desagradable para el consumo humano. Para el agua de uso público se recomienda un límite de 250 mg/litro de cloruros. El típico sabor salino puede estar ausente en aguas que contengan hasta 1000 mg/l; cuando los cationes predominantes son calcio y magnesio. Altas concentraciones de cloruros aceleran la corrosión en reactores, calderas, etc, además interfieren en procesos industriales tales como la refinación del azúcar, envasado de alimentos congelados, etc.

Para conocer posibles contaminantes de las aguas subterráneas por aguas residuales, es necesario, además de las pruebas bacteriológicas contar con análisis de cloruros y de nitrógeno en todas sus formas.

1.9.6 Resumen del método

El método argento métrico es apropiado para aguas relativamente limpias, cuando en la porción titulada hay entre 0.15 a 10 mg de cloruro.

En una solución neutra o ligeramente alcalina, se puede usar el cromato de potasio para indicar el Viré en la titulación del cloruro con nitrato de plata. El cloruro de plata se precipita cuantitativamente antes de que se forme el cromato de plata rojo. Cuando la concentración del ion cloruro tiende a agotarse, el exceso de iones plata empieza a combinarse con el ion cromato del indicador, hasta el punto en que es sobrepasado el valor de su producto de solubilidad, formando así el precipitado café rojizo.

Al llevar a cabo la titulación, el pH deberá estar comprendido entre el rango 7.0 a 8.0 debido a que los iones plata se precipitan como hidróxido de plata si el pH es alto; por el contrario si el pH es bajo, se tiene que el ion cromato se convierta a dicromato.

1.9.7 Muestreo y almacenamiento

Colectar una muestra representativa en botellas de vidrio o plástico, limpias y resistentes a la acción química. La porción de muestra es de 100 ml. No requiere preservación especial y puede almacenar hasta 7 días.

1.9.8 Procedimiento

1. Preparación de la muestra

Tomar 100 ml de muestra o una porción adecuada diluida a 100 ml. Si la muestra se encuentra altamente coloreada se añaden 3 ml de la suspensión de $\text{Al}(\text{OH})_3$, se mezcla, se deja sedimentar, se filtra y se lava, combinando el filtrado y el lavado. Si la muestra contiene sulfuro, sulfito o tiosulfato se añade 1 mg de H_2O_2 y se agita por un minuto.

2. Titulación:

- a. Verificar que el pH de la muestra se encuentra en el rango de 7.0 a 10.0; sino, ajustarlo a ese rango añadiendo (H_2SO_4) o NaOH.
- b. Adicionar 1 ml de solución indicadora K_2CrO_4 .
- c. Titular con la solución valorada de AgNO_3 , hasta el punto final dado por la coloración amarillo – rozado.

Se debe ser consistente en el reconocimiento del punto final.

No olvide valorar el Nitrato de Plata y establezca el valor del testigo o blanco por el método descrito anteriormente. Para este método es usual un testigo que consume de 0.2 a 0.3 ml.

1.9.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de cloruros presentes en la muestra, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por el gobierno para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.10 NITRATOS

1.10.1 Introducción

La determinación del nitrato es difícil, pues además de la alta probabilidad de que estén presentes algunos constituyentes que interfieren y del limitado rango de concentración de las diferentes técnicas, los procedimientos que se requieren son relativamente complejos.

Los métodos standart incluyen 6 métodos, de los cuales los mas empleados son el método del ácido cromo trópico, el método de los electrodos selectivos de nitrato, método reducción cadmio.

Entre los usos mas frecuentes para los cuales es importante determinar la cantidad de nitratos están la agricultura, acuicultura, análisis de acuarios, aguas para bebida-embotelladas y aguas de caldera/enfriamiento, aguas residuales.

1.10.2 Objetivos

- Determinar el contenido de nitratos presentes en aguas naturales y en aguas de desecho empleando el equipo HACH DR-00, Nitrato HR (alto rango), método 8039, reducción de cadmio rango de (0 a 30.0 mg/L NO_3^- -N).

1.10.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR-700
- Filtro de modulo 50.01, 500 mm
- Erlenmeyer 100 ml
- Par de celdas de muestra de 25 ml
- Cronometro digital

1.10.4 Reactivos

- Bolsas de polvo de reactivo de nitrato NitraVer 5 (Numero de catalogo 21061-69)

1.10.5 Principios generales

En aguas naturales y en aguas de desecho las formas de nitrógeno de mayor interés son, en orden decreciente de estado de oxidación son: nitratos, nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno como el nitrógeno gaseoso, son interconvertibles bioquímicamente y son componentes del ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno total oxidado es la suma del nitrógeno de nitratos y el nitrógeno de nitritos. El nitrato esta presente, generalmente, en cantidades muy pequeñas (Trazas) en aguas superficiales; pero puede alcanzar niveles altos en algunas aguas subterráneas. Cantidades excesivas de nitrato contribuyen con el mal conocido “Metahemoglobinemia infantil”; un limite de 10 mg/litro de nitrógeno de nitratos (Análisis de aguas residuales, Walter Weber) se ha impuesto como un limite en aguas potables para prevenir dicho mal.

Los nitratos se encuentran en pequeñas cantidades en los desechos domésticos, pero en los efluentes de las plantas de tratamiento biológico nitrificante puede alcanzar concentraciones de hasta 30 mg/litro de nitrógeno de nitrato. Este es un nutriente básico para muchos autótrofos sintéticos y en algunos casos ha sido identificado como el nutriente limitante del crecimiento.

1.10.6 Resumen del método

El cadmio metálico reduce a nitritos los nitratos de la muestra. El Ion de nitrito reacciona en un medio ácido don el ácido sulfanílico para formar una sal intermedia de diazonio. Esta sal se une al ácido genticónico para formar un producto de color ámbar.

1.10.7 Muestreo y almacenamiento

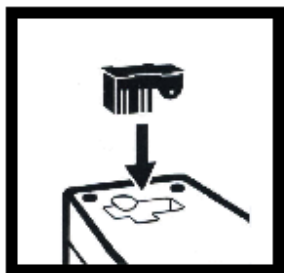
Recoja las muestras en botellas limpias de plástico o vidrio. Guárdelas a 4°C o menos si la muestra se analizará dentro de 24 a 48 horas. Calientelas a temperatura ambiente antes de realizar la prueba. Para periodos de almacenamiento mayores, de hasta 14 días, ajuste el pH de la muestra a 2 o menos con ácido sulfúrico, ACS, (alrededor de 2 ml por litro). Aun así, se requiere la refrigeración de la muestra.

Antes de analizar la muestra almacenada, caliéntela a temperatura ambiente.

Neutralice la muestra con solución patrón de hidróxido de sodio de 5.0 N.

No utilice compuestos de mercurio como agentes conservantes.

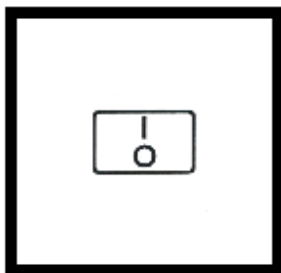
1.10.8 Procedimiento



1. Instalar el numero del modulo:

50.01

En el DR-700



2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:

500nm

Y el numero del modulo:

50.01

Cuando el cuadrante de longitud de onda se ubique correctamente, la pantalla mostrará rápidamente:

Muestra cero

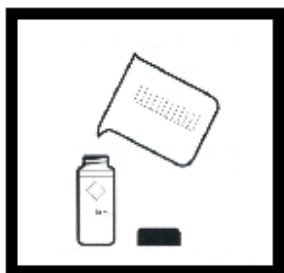
luego:

mg/l NO₃-N HR



3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un numero de programa, las unidades de concentración, posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre el numero del programa:

50.05.1



4. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con agua de la muestra. (preparada). Tapar.



5. Adicionar el contenido de almohada de polvo de reactivo Nitra Ver 5 a la celda. mente hasta que el cronometro suene en un minuto.



6. Agite la celda vigorosamente durante un minuto.



7. Ponga la celda abajo y espere durante 5 minutos.

8. Llene con 10 ml de muestra (el blanco) una celda.

9. Coloque el blanco en el contenedor de la Celda.



10. Presione: ZERO

La pantalla mostrará en el contador cero. Entonces la pantalla mostrará 0.0 mg/L y el cero sugerirá apagarlo



11. Coloque la muestra preparada en el contenedor de celdas.



12. Presione: READ

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/l de nitrato como nitrógeno.

1.10.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de nitratos presentes en la muestra, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por el gobierno para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.11 NITRITOS

1.11.1 Introducción

Los nitritos pueden encontrarse en las aguas, aunque generalmente en dosis pequeñas. Proviene de una oxidación incompleta del amoníaco, cuya nitrificación no se completa totalmente, o de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante.

1.11.2 Objetivos

- Determinar el contenido de nitritos presentes en aguas naturales y en aguas de desecho empleando el equipo HACH DR-700, método diazotización 8507, rango 0.350/(NO₂⁻-N) USEPA.

1.11.3 Equipo

- Colorímetro DR-700 HACH
- Filtro de modulo 50.01nm
- Celda de 10ml
- Beaker de 50 ml
- Cronometro digital

1.11.4 Reactivos

- Bolsas de polvo reactivo de nitrito NitriVer 3, (numero de catalogo 21071-69)

1.11.5 Principios generales

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, en la oxidación del amoníaco a nitrato y en la reducción del nitrato. La oxidación y reducción pueden ocurrir en plantas de tratamiento de aguas de desecho, en sistemas de distribución de aguas y aguas naturales. El nitrito puede entrar en un sistema de suministro de agua por su uso como inhibidor de la corrosión en aguas de procesos industriales. Es el real agente etiológico de la metahemoglobinemia. El ácido nitroso formado por el nitrito en solución ácida (Control de

calidad del agua, W. Weber), puede reaccionar con aminas secundarias para formar nitroso aminas, muchas de las cuales se conocen como cancerígenas potenciales.

Una agua que contiene nitritos puede considerarse como sospechosa. Sin embargo, para la interpretación definitiva de los resultados, será necesario tener en cuenta los contenidos de nitratos, de nitrógeno amoniacal, de materias orgánicas y el examen bacteriológico. Es importante señalar que las aguas que están en contacto con ciertos terrenos y ciertas conducciones pueden contener nitritos independientemente de toda mancha. Se encuentra también algunas veces los nitritos no sospechosos en las aguas pobres en oxígeno (Sondeos profundos). Su presencia se ha señalado en las aguas lluvias y en las que provienen de la fundición de las nieves. Son también susceptibles de formarse bajo la acción de bacterias y a temperaturas elevadas a partir del amonio que proviene de la esterilización por las cloraminas originadas durante la desinfección por reacción con el amoniaco. También se ha observado que el contenido de nitritos del agua almacenada a temperaturas del orden de 40°C podía aumentar probablemente bajo la influencia de una acción microbiana.

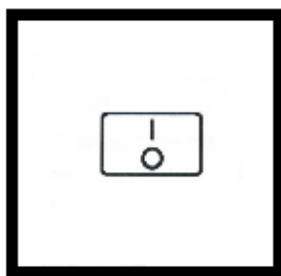
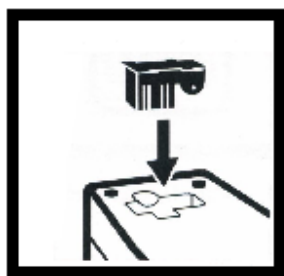
1.11.6 Resumen del método

El nitrito en la muestra reacciona el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta se acopla al ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente.

1.11.7 Muestreo y almacenamiento

Recoja muestras en botellas plásticas o de vidrio limpias. Almacénela a 4°C o menos si la muestra se analizará dentro de 48 horas. Calientela hasta alcanzar temperatura ambiente antes de realizar la prueba.

1.11.8 Procedimiento



1. Instale el número del módulo

50.01
en el DR-700

2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:
50.01

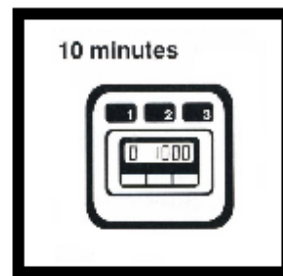
3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un número del programa, las unidades de concentración, posición decimal y cero. Si es necesario presione la llave de **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre:
50.08.1



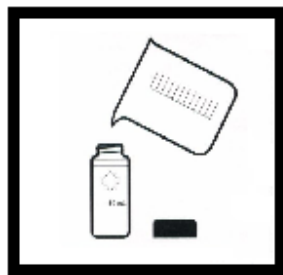
4. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con muestra (el blanco).



5. Adicione el contenido de una bolsa de polvo de reactivo de nitrito NitriVer 3 (la muestra preparada). Tapar. Agitar la celda para disolver el polvo.



6. Espere 10 minutos.



7. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con muestra (el blanco).



8. Coloque el blanco en el soporte de celdas.



9. Presionar: **ZERO**

La pantalla mostrará el el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará 0.000 mg/L y el zero se apagará.



10. Coloque la muestra preparada en el contenedor de celdas.



11. Presionar: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/L de nitrito expresado como nitrógeno.

1.11.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de nitritos presentes en la muestra, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por el gobierno para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.12 NITROGENO AMONIACAL

1.12.1 Introducción

El amoniaco se encuentra muy frecuentemente en las aguas debido habitualmente a un proceso de degradación incompleta de la materia orgánica.

El nitrógeno amoniacal de las aguas superficiales puede tener por origen: la materia vegetal de los cursos de agua, la materia orgánica animal o humana, los vertidos industriales como abonos y textiles. Su presencia se ha de comparar a la de los otros elementos nitrogenados identificados en el agua: nitritos y nitratos, y a los resultados del análisis bacteriológico. Las aguas residuales después del tratamiento contienen habitualmente amoníaco cuyo contenido varía según el procedimiento adoptado y que contribuye a la demanda biológica de oxígeno. Por ultimo, el amoníaco se utiliza, asociado al cloro, en ciertos procesos de desinfección y algunos tipos de abonos son ricos en sales amoniacales.

1.12.2 Objetivos

- Determinar el contenido de nitrógeno en estado de oxidación amoniacal; tanto en aguas residuales como en aguas de desecho, método 8038, rango de 0 a 3.3 mg/(NH₃⁻-N) método Nessler, USEPA:

1.12.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR-700
- Filtro de modulo 42.01, 420 nm
- Probeta graduada de 25 ml
- Pipetas serológicas de 1 ml
- Llenador de pipeta con bulbo de seguridad
- Celdas de muestra de 25 ml
- Cronometro digital

1.12.4 Reactivos

- Reactivo Nessler (Catálogo No. 21194 – 49)

- Estabilizador mineral (Catálogo No. 23766 – 26)
- Agente de dispersión de alcohol polivinílico (Catálogo No. 23765 – 26)
- Agua desionizada

1.12.5 Principios generales

El nitrógeno amoniacal puede encontrarse en las aguas meteóricas y en las que provienen de los suelos pantanosos y que contienen turbas; en este último caso tiene un origen puramente vegetal.

También se ha observado una producción electroquímica de amoníaco en ciertos pozos entubados. Las aguas profundas pueden igualmente cargarse de amoníaco por reducción de los nitritos bajo la acción de las bacterias autótrofas o por los iones ferrosos.

Así pues, es necesario no sacar conclusiones demasiado rápidamente, sino mostrar gran prudencia en la interpretación de resultados; sin embargo, es razonable considerar que una agua bruta destinada a la alimentación no debería contener más de 0.5 mg/l (Guías para la calidad del agua).

La presencia de amoníaco en el agua puede ocasionar el desarrollo de ciertos gérmenes que dan gustos desagradables. Presenta así el inconveniente de necesitar un aumento del consumo de cloro en el momento de la desinfección.

Prácticamente, por cada miligramo de nitrógeno de origen amoniacal son precisos aproximadamente 10 mg de cloro para oxidar las cloraminas a nitrógeno gaseoso.

La vida acuática puede perjudicarse en concentraciones de aproximadamente 2 mg y un pH de 7.4 a 8.5.

Desde el punto de vista de la corrosión del cobre, la presencia de amoníaco refuerza el efecto del oxígeno debido a la estabilidad del complejo formado con el metal; el tratamiento por el cromato y de poli fosfatos constituye una protección satisfactoria.

1.12.6 Resumen del método

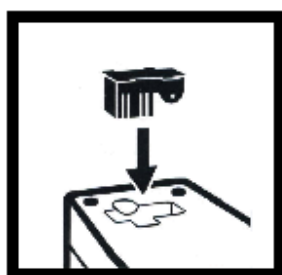
El estabilizador mineral forma complejos con la dureza en la muestra. El agente de dispersión de alcohol polivinílico ayuda a la formación del color en la reacción del reactivo Nessler con iones de amonio. Se forma un color amarillo proporcional a la concentración de amoníaco.

1.12.7 Muestreo y almacenamiento

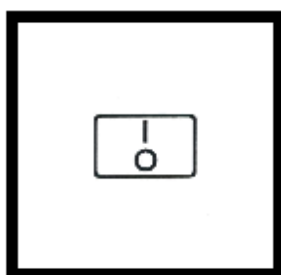
Acopie las muestras en botellas de vidrio o plástico limpias. Si se presenta cloro, agregue una gota de 0.1N de tío sulfato de sodio cada 0.3 mg/l CL_2 en una muestra de 1 litro. Conserve la muestra reduciendo el pH a 2 o menos con ácido sulfúrico. Almacene a 4°C o menos. Las muestras conservadas pueden permanecer almacenadas hasta 28 días. Antes del análisis lleve la temperatura de las muestras ambiente y neutralice con 5N de hidróxido de sodio. Corrija el resultado de la prueba según los agregados de volumen.

1.12.8 Procedimiento

Método Nessler



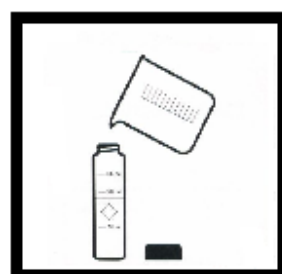
1. Instale el modelo **42.01** en un DR-700.



2. Presione: **I/O**
La pantalla mostrará **420nm** y el número del módulo **42.01**



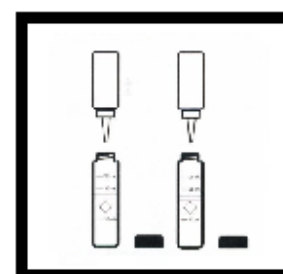
3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará el número del programa, las unidades de concentración, posición decimal el cero. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que en la parte baja de la pantalla aparezca el número del programa **42.05.1**



4. Llenar otra probeta para mezclar 25 ml



5. Llene otra probeta de 25 ml con agua desmi-

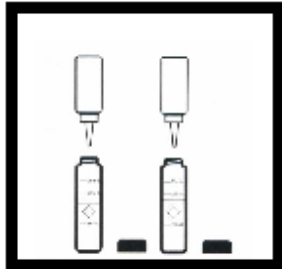


6. Agregar 3 gotas de estabilizador mineral a

con muestra preparada.

neralizada (el blanco).

cada cilindro. Invertir varias veces para mezclar.



7. Adicione tres gotas de agente dispersante de alcohol polivinilico a cada celda con muestra sosteniendo la botella dejando caer directamente sobre la botella. Invertir varias veces para mezclar.



8. Pipetee 1.0 ml reactivo Nessler a cada celda con muestra. Tape e invierta para mezclar.



9. Espere un minuto.



10. Coloque el blanco en contenedor para celdas.



11. Presione: **ZERO**
La pantalla contará a cero.

Entonces la pantalla mostrara 0.00 mg/L y el cero se apagará.



12. Colocar la muestra preparada en el contenedor para celdas.



13. Presione: **READ**

Luego se verá el resultado en mg/L de amoníaco expresado como nitrógeno amoniacal.

1.12.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de amoníaco presentes en la muestra, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por el gobierno para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.13 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

1.13.1 Introducción

La DQO es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. Para muestras de procedencia específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o el contenido de materia orgánica.

La prueba es tan antigua como la DBO, y al igual que esta, desde el principio se ha expresado por medio de muchos términos: en Inglaterra se la llamo cantidad de oxígeno absorbido (COA); otros términos utilizados incluyen: oxígeno consumido (OC), demanda completa de oxígeno (DCO), demanda de oxígeno del dicromato (DOD), pero en la actualidad el término DQO es el mas empleado.

1.13.2 Objetivos

- Determinar el oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica en una muestra de agua residual.
- Aplicación en la determinación de la DQO por el método de digestión de reacción método 8000 aprobado por la USEPA, rango bajo (LR de 0 a 150 mg/L).
- Aplicación en la determinación de la DQO por el método de reacción método 8000, aprobado por la USEPA, rango alto (HR de 0 a 1500 y de 0 a 15000 mg/L).

1.13.3 Equipo

- Mezcladora de 2 velocidades, 120 V
- Herramienta para tapas, DQO
- Reactor DQO, 120/240 V c.a.
- Adaptador para tubos DQO, DR-700
- Pipeta TenSette, 0.1 a 1.0 ml
- Pipeta volumétrica Clase A, 2.00 ml
- Bulbo de seguridad para llenador de pipetas
- Estante para tubos de ensayo

1.13.4 Reactivos

- Agua desionizada
- Tubos de reactivo de digestión DQO, COD de 0 a 150 (Catalogo No.21258-15), de 0 a 1500 (Catalogo No.21259-25)

1.13.5 Principios generales

Una de las principales limitantes de la prueba de la DQO es la de oxidar la materia orgánica del desecho sin importar su biodegradabilidad. Por ejemplo, la glucosa es biológicamente oxidable mientras que la lignina, producto proveniente de la madera y de las plantas leñosas es relativamente inerte; sin embargo, ambos compuestos son oxidados completamente en la reacción: Una segunda limitación es la de no proporcionar la velocidad de estabilización del desecho tal como ocurriera en la naturaleza, por medio de la oxidación por microorganismos.

Buswell propuso como criterio de calidad del agua la determinación en las destilerías y refinerías, cuando no se utiliza un catalizador para acelerar la oxidación de la mayoría de los compuestos, el valor de la DBO es mayor que el de la DQO. Por el contrario, si en un desecho predominan los materiales químicamente oxidables, el valor de la DQO es mayor que el de la DBO; esto sucede en los desechos de las industrias textil y del papel y en cualquier desecho que contiene altas concentraciones de celulosa.

Solo en los desechos donde la materia orgánica es oxidada en las relaciones de la DBO y de la DQO, y conociendo el grado de estabilización del desecho, puede establecerse una relación confiable de DBO sobre DQO. Bajo estas condiciones se puede tomar el resultado de la DQO para determinar las diluciones de la prueba de la DBO. Este criterio se emplea en las plantas de tratamiento de aguas negras para controlar las perdidas en las tuberías de desecho y para el control de las diferentes etapas del proceso.

1.13.6 Resumen del método

Los resultados de mg/L de DQO se definen como los mg de O₂ consumido por litro de muestra bajo las condiciones de este procedimiento. En el mismo, la muestra se calienta dos horas con un agente oxidante potente, dicromato de potasio. Los compuestos orgánicos oxidables reaccionan, reduciendo el ion de dicromato a un ion crómico verde. Cuando se

utiliza el método colorimétrico o titulométrico de 0-150 mg/L, se determina la cantidad de Cr^{6+} remanente.

Cuando se utiliza el método colorimétrico de 0-1500 mg/L ó 0-15000 mg/L, se determina la cantidad de Cr^{3+} producido. El reactivo DQO también contienen iones de plata y de mercurio. La plata es un catalizador y el mercurio se utiliza para formar complejos de las interferencias de cloruro.

1.13.7 Muestreo y almacenamiento

Acopie muestras en botellas de vidrio. Utilice botellas plásticas sólo si sabe con certeza que están libres de contaminación orgánica. Pruebe las muestras biológicamente activas cuanto antes. Homogeneice las muestras que contengan sólidos para garantizar muestras representativas. Las muestras tratadas con ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH menor que 2 (aproximadamente 2 ml por litro) y refrigeradas a 4°C se pueden almacenar hasta 28 días. Corrija los resultados para los agregados de volumen.

1.13.8 Procedimiento

Generalmente de digestión para determinar DQO en rango bajo (0 a 150 mg/L) y rango alto (0 a 1500 mg/L).

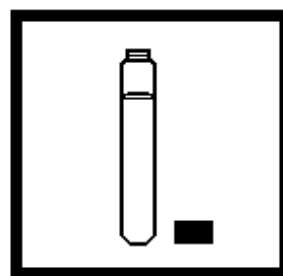
Digestión



1. Homogeneizar 100 ml de muestra durante 30 segundos en una mezcladora.



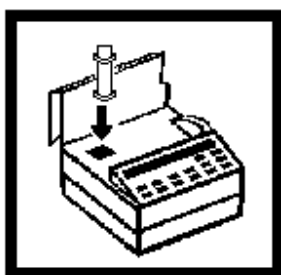
2. Conectar el reactor de DQO. Precalentar a 150°. Colocar el escudo plástico enfrente del reactor.



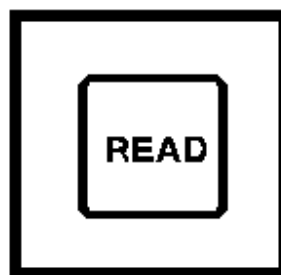
3. Extraer la tapa de un tubo de reactivo para digestión de DQO para el rango apropiado:



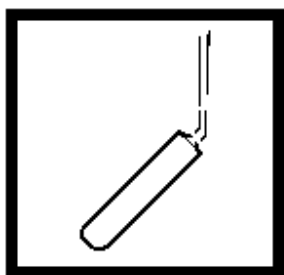
4. Sostener el tubo en un ángulo de 45 grados. Colocar con la pipeta 2.00 ml de muestra en el frasco.



5. Vuelva a poner la tapa del tubo lentamente. Enjuagar la parte exterior del tubo de DQO con agua desionizada y secarlo con una toalla de papel.



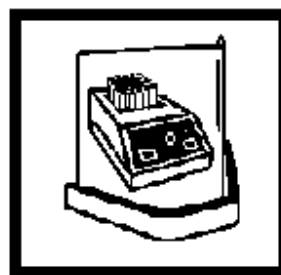
6. Sostener el tubo por la sobre una tina. Invertir suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Colocar el tubo en el Reactor DQO precalentado.



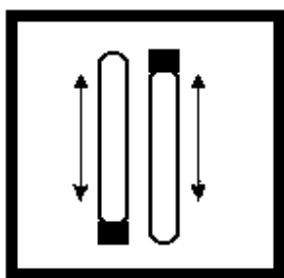
7. Preparar un blanco repitiendo los pasos 3 a 6, sustituyendo 2.00 ml de agua desionizada por la muestra.



8. Calentar los tubos durante 2 horas.

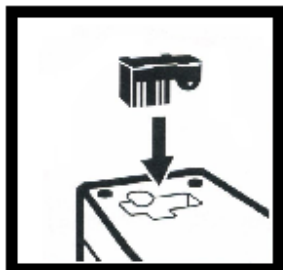


9. Desconectar el reactor. Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120°C o menos.

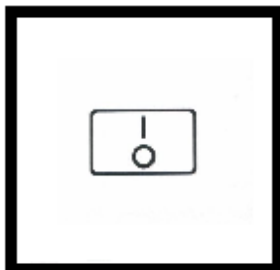


10. Invertir cada tubo varias veces mientras están aún calientes. Colocarlos en un estante. Esperar hasta que hayan alcanzado temperatura ambiente.

Determinación colorimétrica, 0 a 150 mg/l de DQO



1. Instale el modelo
42.01
en un DR-700.



2. Presione: **I/O**
La pantalla mostrará
420nm
y el número del módulo
42.01



3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará el número del programa, las unidades de concentración, posición decimal el cero. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que en la parte baja de la pantalla aparezca el número del programa
42.06.1



4. Inserte totalmente un tubo adaptador COD en el soporte para celdas con las etiquetas en la hendidura cuadrada.



5. Limpiar la parte externa del blanco con una toalla.



6. Coloque el blanco en el adaptador con el logotipo de HACH hacia el frente del instrumento.



7. Presione: **ZERO**

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará 0.00 mg/L, y el cero se apagará.



8. Limpiar la parte exterior del tubo de la muestra con una toalla.



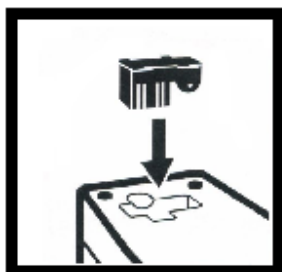
9. Coloque el tubo de la muestra en el adaptador con el logotipo de HACH hacia el frente del instrumento.



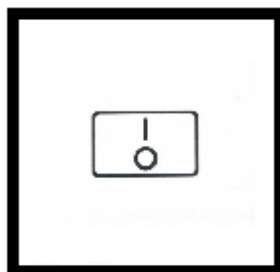
10. Presione: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Luego la pantalla mostrará los resultados en mg/L de COD.

Determinación colorimétrica, 0 a 1500 y 0 a 15000 mg/l de DQO



1. Instale el modelo **61.01** en un DR-700.



2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará 610nm



3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará el número del programa, las unidades de concen-

y el numero del modulo
61.01

tración, posición decimal
el cero. Si es necesario
presione la llave **UP
ARROW** hasta que en la
parte baja de la pantalla
aparezca el numero del
programa
61.08.1



4. Inserte totalmente un
tubo adaptador COD en
el soporte para celdas
con las etiquetas en la
hendidura cuadrada.



5. Limpiar la parte externa
del blanco con una toalla.



6. Coloque el blanco en
el adaptador con el logo-
tipo de HACH hacia el
frente del instrumento.



7. Presione: **ZERO**

La pantalla mostrará el
contador en cero.
Entonces la pantalla mos-
trará 0.00 mg/L, y el cero
se apagará.



8. Limpiar la parte exte-
rior del tubo de la
muestra con una toalla.



9. Coloque el tubo de la
muestra en el adaptador
con el logotipo de HACH
hacia el frente del instru-
mento.



10. Presione: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Luego la pantalla mostrará los resultados en mg/L de COD.

1.13.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de DQO presentes en una muestra de agua natural y una muestra de agua de desecho, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por el gobierno para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.14 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅)

1.14.1 Introducción

La prueba analítica de la DBO estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una muestra de aguas residuales, por medio de una población microbiana heterogénea. La información obtenida en la prueba de la DBO es de la materia orgánica biodegradable que se encuentra en el agua residual.

En la relación bioquímica de la DBO se producen nuevas células, H₂O, gas carbónico, mas un residuo no biodegradable.

1.14.2 Objetivos

- Determinar el oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica de una agua residual determinada, utilizando cuando sea necesario inhibición de la nitrificación y/o inoculación de una población microbiana.
- Determinar la DBO₅ aplicando el método respirometricos con utilización del equipo OXITOP 156.

1.14.3 Equipo

- Botella ámbar de 500 ml
- Barra del agitador magnético
- Sistema de agitación magnética 156
- Removedor del agitador
- Sensor electrónico OXITOP
- Regulador estabilizador eléctrico
- Matraz de 432 ml
- Matraz de 164 ml
- Probetas graduadas de 100 ml
- Beakers
- Incubadora digital acrílica EQ IDA 47

1.14.4 Reactivos

- Hidróxido de sodio (lentejas)
- Agua especial de dilución:
 - Potasio hidrógeno fosfato
 - Di potasio hidrógeno fosfato
 - Di sodio hidrógeno fosfato 7-hidrato
 - Cloruro de amonio
- Sulfato de magnesio 7-hidrato:
 - Cloruro de calcio
 - Cloruro ferrico 6-hidrato
 - Sodio di sulfito
- Solución patrón 1
 - Ácido glutámico
 - Glucosa

1.14.5 Principios generales

La cantidad de oxígeno utilizado por unidad de volumen en la mezcla de desecho, puede usarse como medida relativa de la concentración de materia orgánica, ya que la cantidad de oxígeno utilizado esta en función del grado de desarrollo de la reacción bioquímica, así como de la cantidad original de la materia orgánica; la DBO es una función directa del tiempo.

La velocidad a la que se lleva a cabo las reacciones oscilativas de la DBO esta regida por la población de microorganismo y la temperatura. La determinación analítica del laboratorio es conducida normalmente a una temperatura de 20°C, temperatura que se ha calculado como el valor promedio de los cuerpos de aguas naturales. Los organismo responsables de la estabilización de la materia orgánica son de las especies naturales encontradas en el agua o en el suelo.

Teóricamente se requiere de un tiempo infinito para una oxidación completa de la materia orgánica; el proceso de oxidación se efectúa generalmente en dos etapas. Inicialmente los microorganismo sembrados utilizan la materia para obtener energía y para su crecimiento. Esta etapa se llama sintetización. El resultado es la utilización de oxígeno y el crecimiento de nuevos microorganismos.

Cuando se ha removido la materia orgánica inicialmente presente en aguas residuales, los organismos (bacterias) continúan utilizando oxígeno para la oxidación (autooxidación) de su

propia masa celular (Respiración endógena). Al completarse la oxidación de la masa celular, solo queda un residuo celular no biodegradable, liberándose cal, agua, y amoníaco, y la reacción es completa. Esto se define como la demanda bioquímica ultima (DBOu).

Se ha encontrado, por experiencia, que un porcentaje razonablemente grande, de la DBO total se logra en cinco días, aproximadamente el 70%-80% en aguas residuales domesticas y muchas industriales, por consiguiente el periodo de cinco días de incubación se ha aceptado como el patrón; el porcentaje exacto depende del carácter del inculo y de la naturaleza de la materia orgánica, y puede ser determinado solo experimentalmente. Para ciertos desechos industriales es conveniente obtener una curva de oxidación.

El proceso de oxidación se realiza en dos etapas, la carbonosa y la nitrogenada. La primera se realiza por organismos que derivan la energía necesaria del desdoblamiento de compuestos orgánicos; la segunda etapa se realiza por medio de bacterias que requieren compuestos simples no carbonosos para la derivación de energía (Compuestos de nitrógeno). Este ultimo tipo de bacterias (Nitrosomonas y Nitrobacter) no cuentan con suficiente población para hacer significativa la demanda de oxigeno sino hasta aproximadamente después de 8 a 10 días.

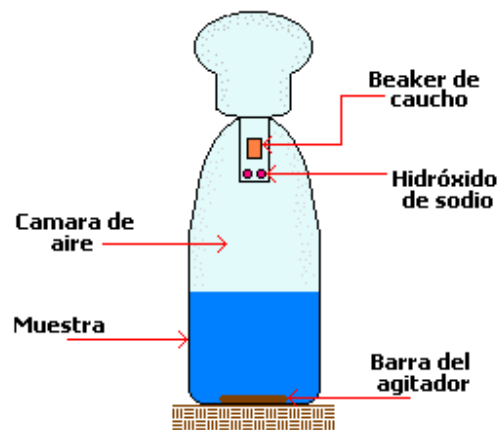


FIGURA 41 BOTELLA PARA EL ENSAYO DE DBO₅

- Principios del método respirometrico

El método respirometrico es, de todos los existentes el que mejor simula las condiciones reales bajo las cuales un proceso de biodegradación ocurre, ya que en la manipulación de la muestra es mínima y el oxigeno consumido por los microorganismos proviene del intercambio de la muestra liquida del aire en contacto con ella. En este método la muestra se

ubica dentro de la botella y por medio de la agitación el oxígeno presente en la cámara de aire se disuelve en el líquido. Los microorganismos consumen este oxígeno durante el proceso de degradación de la materia orgánica, produciendo CO₂ y agua. El CO₂ es absorbido en el beaker de caucho que contiene el hidróxido de sodio o litio, produciendo un vacío en la botella, que es medido por el desplazamiento de la columna de mercurio del manómetro, si su modelo es manométrico, o directamente por el sensor OXITOP.

- Aspectos sobresalientes del método respirométrico

No es necesario oxigenar ni el agua de dilución ni la muestra. No es necesario titular ni diluir la muestra. El proceso es más natural y se asemeja en mayor grado a la situación real. No es necesario esperar 5 días para detectar algún problema en la preparación o desarrollo de la muestra, el sistema permite monitoreo constante. Evita el crecimiento de algas.

1.14.6 Resumen del método

Este sistema permite monitorear continuamente el desarrollo de la prueba, es conveniente, por lo menos para los ensayos preliminares de estandarización, elaborar la curva de DBO en papel milimetrado.

1.14.7 Muestreo y almacenamiento

Las muestras para el análisis de la DBO se pueden degradar significativamente durante el almacenamiento comprendido entre el muestreo y el análisis, resultando valores bajos de DBO. Esta disminución se minimiza analizando la muestra prontamente o mediante enfriamiento hasta una temperatura cercana a la glacial, durante el almacenamiento. Sin embargo, aun a baja temperatura, observe un tiempo de almacenamiento mínimo. La muestra enfriada se calienta hasta 20°C antes del análisis.

1.14.8 Procedimiento

Registro de Resultados

OXITOP registra electrónicamente la presión negativa dentro de la botella, mostrando un resultado de 2 cifras en forma digital, de 0 a 50. Contiene dos baterías de Litio

convencionales que se garantizan para 3000 mediciones. El resultado mostrado deberá multiplicarse por el factor de escala que se aplica según el volumen de muestra tomada (Ver tabla siguiente). Si la muestra ha sido diluida el factor de dilución deberá multiplicarse por el valor obtenido en el valor anterior. El censor tiene incluido un ajuste automático de temperatura para evitar errores en la medición.

Factores de escala según volúmenes y DBO esperado			
DBO esperado (mg/L)	Volumen a tomar de muestra (ml)	Factor de escala manométrica	Factor de multiplicación escala OXITOP
0 a 40	432,0	1	1,0
0 a 80	365,0	2	2,0
0 a 200	250,0	5	5,0
0 a 400	164,0	10	10,0
0 a 800	95,0	20	20,1
0 a 2000	43,5	50	50,3
0 a 4000	22,7	100	100,5

Al presionar simultáneamente los dos botones se observa una señal de encendido que indica que el aparato ha iniciado su labor. Solo 3 horas después de esta operación (cuando el sistema este estable y la temperatura de 20°C se haya alcanzado) se iniciará el conteo y solo entonces se verá la pantalla encendida de nuevo por unos instantes.

OXITOP almacenará un resultado cada 24 horas, hasta completar cinco días, de modo que puede activarlo sin preocuparse por atender un registro periódico ya que los resultados obtenidos cada día se pueden consultar al final, presionando sucesivamente el botón derecho. El valor medido puede también consultarse en cualquier momento, presionando el botón izquierdo. La pantalla estará apagada siempre y se iluminará al presionar cualquiera de las dos teclas.

- Modo de operación

La muestra

1. Tome la muestra en un recipiente limpio, 1 litro o mas.
2. Neutralice y ajuste el pH entre 6.8 y 7.2.

3. Si no conoce el valor aproximado de DBO aproximado, tome como guía el valor de DQO. Normalmente $DBO = 0.5 \cdot DQO$; pero si su efluente contienen una alta carga orgánica el factor puede subir a 0.7-0.8-0.9 según el caso.
4. Con este estimativo defina el volumen de muestra a tomar según la tabla anterior.
5. Si el valor esperado de DBO se sale de los rangos presentados en la tabla anterior, o si se desea trabajar con un volumen significativo para evitar errores por agitación, diluya la muestra convenientemente con el agua de dilución, e incluya el factor de dilución en los cálculos como se indico en el registro de resultados.
6. Si la muestra se encuentra a mas de 150°C debe enfriarse y será necesario sembrarla; esto es válido también si la muestra ha sido sometida a tratamiento térmico intenso, aunque al momento de tomarla su temperatura no sea elevada.
7. Evite tomar muestras que contengan cloro u otro agente microbicida. Si es imperioso hacerlo y los niveles son bajos, deje la muestra en reposo 1 a 2 horas antes de proceder al análisis. Si la concentración del agente es alta (cloro especialmente) elimínelo de la muestra con algún método físico o químico apropiado.
8. Cuando la muestra contiene sustancia toxicas como fenoles, metales pesados y cianuros, su concentración puede medirse con otros métodos fotométricos. El efecto de estos tóxicos se elimina diluyendo la muestra con agua destilada.
9. Algunas muestras especialmente las que provienen de procesos industriales con alta carga orgánica involucrada (industria alimentaría) o las aguas residuales de los asentamientos urbanos, usualmente no requieren de siembra y se introducen directamente en la botella.

La dilución

1. Tampón de Fosfato
 - 8.68g de potasio hidrógeno fosfato
 - 21.75g de dipotasio hidrógeno fosfato
 - 33.40g de disodiohidrogeno fosfato 7-hidrato
 - 1.70g de cloruro de amonioPesar con cuidado y diluir en un litro de agua destilada.
2. Solución de sulfato de magnesio
 - 22.50g de sulfato de magnesio 7-hidrato en un litro de agua destilada
3. Solución de cloruro de calcio

27.5g de cloruro de calcio en un litro de agua destilada

4. Solución de cloruro ferrico

0.25g de cloruro férrico 6-hidrato en un litro de agua destilada

Tome 1 ml de cada una de las soluciones 1,2,3 y 4 y complete 1 litro con agua destilada. Esta es el agua de dilución, tápela bien y agítela antes de usarla.

5. Si se hace necesario eliminar cloro prepare la siguiente solución:

1.57 g de sodio disulfito en un litro de agua destilada. Adicione al agua de dilución tanta de esta solución inhibidora como sea necesario, según el contenido de cloro de la muestra que puede medirse con los sistemas rápidos de Merck. Estas soluciones pueden almacenarse en nevera por varios días.

Los controles

Para evitar interferencias que produzcan resultados falsos, es aconsejable con cierta regularidad preparar una solución patrón de control, que permite evaluar si las condiciones en las que se esta realizando el ensayo son adecuadas.

1. Solución patrón:

Pese 0.150 g de ácido glutámico y 0.150 g de glucosa y dilúyalos en un litro de agua destilada.

Tome 164 ml de la solución patrón y colóquela en una botella. Determine el DBO₅ a este patrón, que debe estar entre 200 y variación por arriba y abajo de 30 mg/L; si no es así, el ensayo debe repetirse por completo.

2. Agua de dilución:

El agua de dilución no debe aportar carga orgánica alguna; para controlar que esto no pase, coloque 432ml en una botella y determine el DBO₅ del agua de dilución, que debe ser máximo 2 mg/L. Si el valor de DBO₅ del agua de dilución es mayor, todo el ensayo debe repetirse, preparando el agua de dilución.

La siembra

La siembra es necesaria para garantizar una población microbiana suficiente, que produzca un resultado adecuado en los cinco días. Cuando la muestra tiene una carga microbiana alta no es necesario sembrarla.

La siembra mas común y fácil de obtener es tomar un volumen de un agua que se conozca con alta población microbiana; puede utilizarse también cualquier sepa comercial.

Procediendo así:

1. Adicione a cada botella con muestra a analizar la misma cantidad de sepa o de 1 a 2ml de un agua residual contaminada.
2. Prepare una botella con idéntico contenido de sepa o siembra y 430 ml de agua de dilución, para controlar la calidad de esta, como se indico en el apartado de agua de dilución.
3. Adicione la siembra a la botella con el patrón de glucosa – ácido glutámico.
4. determine la DBO del agua de siembra adicionando a otra botella 164 ml de esta y descuenta este resultado del obtenido con la muestra, considerando la proporcionalidad en los volúmenes de siembra y de control.

$$DBOm = L - DBOs * Vs/Vco$$

Donde: DBOm = Muestra cualquiera

L = Lectura o registro

DBOs = Siembra

Vs = Volumen de siembra en cada muestra

Vc = Volumen de control de siembra

- Procedimiento normal de operación

1. Ubique el volumen de muestra seleccionado dentro de la botella.
2. Coloque la barra del agitador dentro de la botella con muestra.
3. Ponga de 2 a 5 perlas de hidróxido de sodio en el beaker de caucho (puede ser hidróxido de litio).
4. Coloque el beaker con cuidado en la boca de la botella; si por alguna razón el hidróxido de sodio cae dentro del liquido, descarte la muestra, lave la botella e intente de nuevo.
5. Coloque el sensor OXITOP y enrosque suavemente y aprete ligeramente.
6. Presione las dos teclas (S) y (N) simultáneamente, hasta que en la pantalla del OXITOP, aparezca DO; así ya esta listo el equipo para iniciar la respectiva medición.

1.14.9 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, calcular la cantidad de DBO presentes en una muestra de agua natural y una muestra de agua de desecho, mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Determinar si el dato registrado esta dentro de los parámetros exigidos por las entidades para el uso de agua propuesto.
4. Recomendaciones, conclusiones y bibliografía consultada.

1.15 SÓLIDOS

1.15.1 Introducción

El término “sólidos” se refiere a la materia suspendida (No filtrable) o disuelta (Filtrable) presente en aguas y aguas de desecho. Estrictamente, toda la materia excepto el agua contenida en los materiales líquidos se clasifica como materia sólida, sin embargo, la definición usual de sólidos se refiere a la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura de 103 a 105°C. Todos los materiales que ejercen una presión de vapor significativa a tal temperatura, desaparecen durante los procesos de evaporación y secado. El residuo remanente representa solo aquellos materiales de la muestra que tienen una presión de vapor insignificante a 105°C.

1.15.2 Objetivos

- Ilustrar las diferentes operaciones implicadas en análisis gravimétrico, para determinar las diversas categorías de sólidos comúnmente definidas en análisis de aguas y aguas de desecho.
- Determinar los sólidos suspendidos por medio del método fotométrico, 8066 en un rango de 0 a 750 mg/L.

1.15.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR-700
- Modelo de filtro 81.01, 810nm
- Licuadora (Opcional)
- Cápsula de porcelana de 100 ml y de 9 cms de diámetro
- Mufla eléctrica para calcinar (550±°C)
- Estufa de secado (180±°C) y baño maría
- Desecador y agente desecante
- Probetas graduadas de 100 ml
- Balanza analítica
- Crisoles Goch

- Bomba de vacío
- Matraz para filtración al vacío, con tubo lateral
- Discos de fibra de vidrio para filtrar 2.1 a 2.4 cms (Whatman GFC o equivalente)
- Cono Imhoff

1.15.4 Principios generales

Debido a la amplia variación de materiales inorgánicos y orgánicos en los análisis para sólidos, las pruebas son de carácter empírico y relativamente simples para efectuarse. Los métodos gravimétricos son usados en casi todos los casos, excepto la medición de sólidos sedimentables y la estimación de sólidos disueltos por medio de la conductancia específica. Las principales determinaciones de sólidos conciernen con los ensayos específicos diseñados para obtener información sobre las cantidades de las varias especies de sólidos presentes, esto es, disueltos, suspendidos, volátiles y fijos.

Dentro de la práctica de la ingeniería ambiental, los sólidos son importantes por diversas razones:

- Aguas con alto contenido de sólidos pueden ser laxantes y pierden cualidades organolépticas.
- La elevación de sólidos suspendidos es extremadamente valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas residuales, pues permite valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento en el trabajo de control a la contaminación de corrientes. La medida de los sólidos suspendidos se considera tan significativa como la DBO₅

Para el cálculo de los sólidos suspendidos se debe tener en cuenta:

$$SS(mg / L) = \frac{(D - E)}{mldemuestra} * 100$$

Donde: E = Peso del crisol con el filtro en mg.

D = Peso del crisol con el filtro mas el peso de los sólidos retenidos en mg.

1.15.5 Resumen del método

Los sólidos suspendidos están constituidos por la materia suspendida que permanecen sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando filtramos una muestra de agua residual previamente agitada.

La determinación está sujeta a errores considerables sino se toman las precauciones adecuadas; un exceso podría ocluir los poros del filtro.

El peso de los sólidos removidos rara vez excede los 20 mg y a menudo es menor a 10 mg; errores pequeños en la pesada o pérdida del borde del filtro pueden ser bastantes significativos.

Es muy importante que los crisoles Goch estén cuidadosamente preparados y llevados a peso constante antes de usarse.

Para obtener mayor exactitud en la determinación, es necesario filtrar una mayor cantidad en aguas tratadas biológicamente o ligeramente contaminadas; a menudo se requiere filtrar 500 ml de muestra para producir un aumento de peso de 10 mg de sólidos.

1.15.6 Muestreo y almacenamiento

Se debe eliminar de la muestra todo el material voluminoso que flote o se aglomere en el recipiente. Se debe dispersar el aceite y la gras que este presente en la superficie del agua, al tomar la muestra. Es deseable utilizar botellas de vidrio duro, mas aun si el agua es alcalina. Durante el almacenaje prevenir el contacto del oxigeno con las muestras que contengan hierro y manganeso. Analizarlo lo antes posible para reducir los cambios físicos y químicos.

1.15.7 Procedimiento

A. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Método General

1. Preparación del filtro de fibra de vidrio:
 - a. Colocar un disco de fibra de vidrio para filtra en un crisol Gooch, con la superficie rugosa hacía arriba, teniendo cuidado que el disco se coloque en el fondo y cubra completamente las perforaciones. Colocar el crisol con el filtro en un aparato de filtración y aplicar el vacío.

- b. Con el vacío aplicado, lavar el disco con tres porciones de 20 ml de agua destilada, después que el agua se ha filtrado desconectar el vacío.
- c. Colocar el crisol con el filtro en una estufa a 103°C por una hora.
- d. Dejar enfriar el crisol en un desecador.
- e. Una vez que el crisol ha alcanzado la temperatura ambiente se saca y se pesa.
- f. Repetir el ciclo hasta obtener un peso constante.

2. Tratamiento a la muestra:

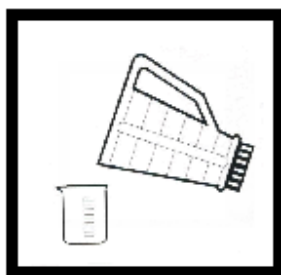
- a. Excepto para las muestras que contienen una concentración muy elevada de sólidos suspendidos o para filtros muy lentos, seleccionar un volumen de muestra que sea igual a 14 ml; o mas por cm² de área del filtro (Escoger un volumen de muestra de tal forma que no obtenga mas de 200 mg; de sólidos suspendidos).
- b. Colocar el crisol con el disco en el aparato de filtración, con el vacío aplicado, humedecer el disco con agua destilada para colocarlo contra el crisol Gooch. Medir el volumen seleccionado de muestra bien mezclada con una pipeta volumétrica, matraz volumétrico o probeta. Filtrar las muestras a través del disco usando succión. Dejando la succión lavar el filtro tres veces con porciones de 10 ml; de agua destilada, permitiendo un drenado completo entre los lavados.
- c. Interrumpir la succión, remover el crisol Gooch y secarlo en una estufa a 103-105°C por una hora (30 minutos en un horno de convención mecánica).
- d. Enfriar el crisol con el filtro en un desecador hasta que alcanza la temperatura ambiente.
- e. Pesar el crisol y el filtro en una balanza analítica.
- f. Repetir el ciclo de secado hasta obtener el peso constante, el cual “se obtiene” cuando la pérdida de peso entre dos pesadas sucesivas es menor del 4% o 0.5 mg.

NOTA:El residuo así obtenido en el crisol Gooch puede usarse para determinar las fracciones fija y volátil de los sólidos suspendidos.

Método Fotométrico



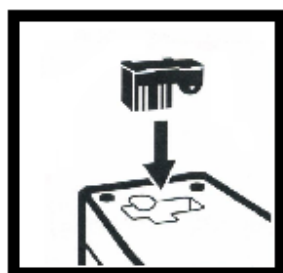
1. Mezclar la muestra en una batidora a alta velocidad durante dos minutos exactos.



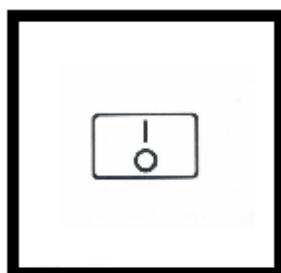
2. Vierta la muestra mezclada en un beaker de 600 ml.



3. Revuelva la muestra e inmediatamente pipetee 25ml de la muestra mezclada de el beaker a una celda para muestras. Tape.



4. Instale el modelo **81.01** en un DR-700.



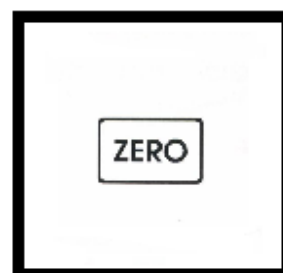
5. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará **810nm** y el numero del modulo **81.01**



6. Después de 2 segundos la pantalla mostrará el numero del programa, las unidades de concentración, posición decimal el cero. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que en la parte baja de la pantalla aparezca el numero del programa

81.04.1

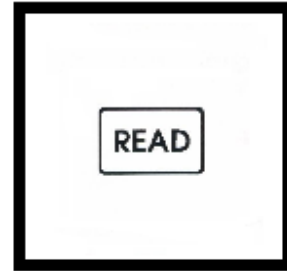
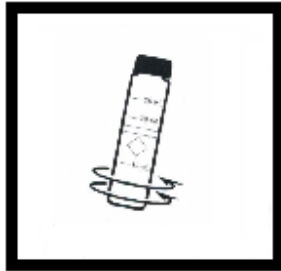


7. Llene una celda de 25 ml hasta la línea de 25 ml con agua desmineralizada (el blanco)

8. Coloque el blanco en una soporte para celdas.

9. Presione: **ZERO**

La pantalla mostrará el contador en cero. Luego la pantalla mostrará 0.00 mg/L y el cero se apagará.



10. Despacio y suavemente invierta la mezcla preparada para suspender cualquier residuo. Evite mezclar vigorosamente para no introducir burbujas de gas en la muestra.

11. Coloque la muestra preparada en el soporte para celdas.

12. Presione: **READ**

La pantalla contará desde cero. Luego la pantalla mostrará los resultados en mg/L de sólidos no filtrables.

B. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

El método consiste en colocar la muestra en un crisol (Cápsula de porcelana, previamente secado y tarado, evaporarla y secarla a 103-105°C. El aumento en peso del crisol presentará los sólidos totales. Cuando la muestra tiene pH inferior a 4.3 se recomienda ajustarlo a ese valor agregando NaOH. El peso de NaOH adicionado se sustrae del peso del residuo.

1. Preparación de la cápsula:

- Calcinar la cápsula de porcelana en una mufla, por una hora y a una temperatura entre 500 y 600°C.
- Enfriar y pesar (se enfría primero al aire y finalmente en un desecador para completar el enfriamiento en una atmósfera seca). Almacénela en desecador hasta el momento de usarla.

2. Tratamiento a la muestra:

- Medir 100 ml; de muestra en una probeta graduada y transferirlos a la cápsula preparada (el tamaño de la muestra se puede estimar mediante el valor de la conductividad y debe ser tal que nos de un residuo entre 2.5 y 200 mg).

Nota: Sólidos disueltos (mg/L) = Conductividad (microhmios)/cm * (0.55^a0.9)

- b. Evaporar la muestra a sequedad; primero en baño maría hasta que se consuma todo el líquido y luego en la estufa a 103-105°C al menos por una hora.

Nota: Si se utiliza un horno eléctrico, se baja la temperatura a 98°C para prevenir la ebullición.

- c. Sacar la cápsula en un desecador (una hora).
- d. Pesar la cápsula con residuo.
- e. Repetir el ciclo de secado a 103-105°C, enfriar y pesar la cápsula hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% (0.5 mg) del peso anterior.

3. Cálculo:

$$\text{Sólidos totales (mg / L)} = \frac{(B - A)}{\text{ml de muestra}} * 100$$

Donde: B = Peso de la cápsula más el peso del residuo en mg.

A = Peso de la cápsula en mg.

C. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS (Filtrantes)

Los sólidos disueltos pueden obtenerse, además de usar las medidas de conductividad específica, por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales o por evaporación y posterior secado (a 103-105°C) o (179-181°C) de una muestra filtrada (lo que pasa el filtro) siguiendo la misma técnica que en la determinación de sólidos totales.

D. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES A 550°C

A partir del residuo obtenido en la determinación de los sólidos suspendidos y calcinarlos a 550°C. La diferencia entre los pesos antes y después de la calcinación representa la fracción volátil de los sólidos suspendidos. Además, la diferencia entre los sólidos suspendidos y su fracción volátil representa la fracción fija de los sólidos suspendidos.

1. Calcinar el crisol Goch con el disco y los sólidos suspendidos por 15 minutos a 150°C.
2. Enfriar el crisol parcialmente en el aire hasta que casi todo el calor haya sido disipado y completar el enfriamiento en un desecador.
3. Después que se haya secado hasta la temperatura ambiente pesar el crisol inmediatamente, en una balanza analítica.
4. Ecuación:

$$SS_{volatiles}(mg / L) = \frac{(D - F)}{m_{demuestra}} * 100$$

Donde: D = Peso del crisol con el filtro mas el peso de los sólidos antes de calcinarse.

F = Peso del crisol con el filtro mas el peso de los sólidos después de calcinarse.

E. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS

La diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles nos da la cantidad de los sólidos suspendidos fijos.

F. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

La materia que se sedimenta en aguas de superficie y en aguas salinas como también en desechos líquidos domésticos e industriales, puede ser determinada y reportada en volumen (ml/L) o en peso (mg/L).

1. Por volumen:

- a. Agite la muestra y vierta 1.00 litros, de esta en un cono Imhoff, deje sedimentar por 45 minutos.
- b. Agitar suavemente el liquido contenido en el cono con un agitador o mediante una rotación del cono, para que se desprendan y sedimenten los sólidos de la pared del recipiente.
- c. Deje sedimentar durante 15 minutos más.
- d. Registrar la cantidad de sólidos sedimentados en ml/L; leyendo directamente en el cono. La lectura se hace tomando como referencia la línea de separación entre el material flotante y el no flotante, es decir, el material flotante no se estima como sedimentable.

2. Por peso:

- a. Determine los sólidos suspendidos de una muestra bien mezclada.
- b. Verter una muestra mezclada en un recipiente de vidrio de no menos de 9.00 cm de diámetro. Usar un volumen de muestra no inferior a 1.00 litros; y suficiente para dar una profundidad de 20.00 cm. Alternativamente use recipientes de vidrio de mayor diámetro y mayores volúmenes de muestra.

- c. Deje reposar por una hora, al cabo de la cual se sifonean 250 ml; sin perturbar el material sedimentado o flotante. El sifoneo se práctica desde un punto equidistante entre la superficie del liquido y la superficie del material sedimentado.
 - d. Determine los sólidos suspendidos de este licor sobrenadante. Esta es la cantidad de sólidos no sedimentables.
3. Ecuación:

$$\text{SólidosSed.}(mg / L) = \text{SólidosSusp.}(mg / L) - \text{SólidosNoSed.}(mg / L)$$

1.15.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar la cantidad de sólidos suspendidos mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.16 CLORO TOTAL

1.16.1 Introducción

En el tratamiento de agua potable el cloro puede oxidar constituyentes tales como hierro y manganeso, para su posterior remoción. En algunas aplicaciones el cloro mejora los procesos coagulación, floculación y sedimentación.

En el tratamiento de aguas de desecho, el cloro se puede usar para controlar olores, el control de limos e insectos en el escurrimiento de filtros y el control de limos e insectos en el escurrimiento de filtros y el control del abultamiento de lodos activados.

1.16.2 Objetivos

- El ensayo tiene como propósito determinar la concentración de cloro en una muestra de agua de procedencia definida.

1.16.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR – 700
- Filtro de modulo 52.01
- Beaker de 50 ml
- Tijeras
- Par de celdas de muestra de 10 ml

1.16.4 Reactivos

- Bolsas de reactivo de cloro total AccuVac (Numero de catalogo 21056-69)

1.16.5 Principios generales

El Cloro se emplea en actividades varias como es en la desinfección de agua potable para la destrucción de microorganismos nocivos al ser humano; oxidación para alterar la representación química del agua y en procesos compuestos de desinfección y oxidación. El cloro es un compuesto considerablemente activo que reacciona con un gran numero de compuestos para obtener diferentes beneficios.

Las sustancias que consumen el cloro incluyen: amoníaco, materia orgánica, cianuro y iones inorgánicos reductores tales como: ferroso, manganeso, nitritos, sulfuros y sulfitos. El cloro es reducido a ión cloruro por muchos reductores inorgánicos.

La reacción del cloro con el amoníaco o con posibles compuestos aminos, para producir formas de cloro disponible combinado es muy común. Las cloraminas pueden destruirse por cloración hasta el punto de quiebre o en exceso esto es, hasta que se obtenga que el cloro libre disponible es igual al cloro total disponible.

1.16.6 Resumen del método

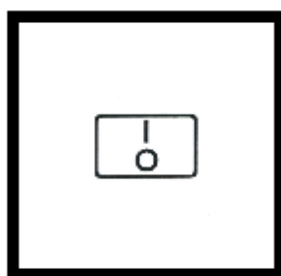
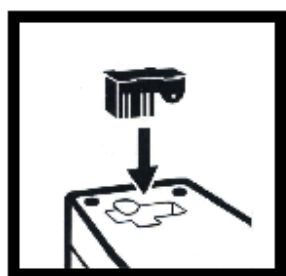
El cloro puede estar presente en agua como cloro disponible libre y como cloro disponible combinado. Ambas formas pueden existir en la misma agua y pueden determinarse juntos como el cloro disponible total. El cloro libre está presente como ácido hipocloroso y/o ion hipoclorito. El cloro combinado existe como monocloramina, dicloramina, nitrógeno triclorido y otros derivados del cloro. El cloro combinado oxida el yodo en el reactivo a yodo. El yodo reacciona con el DPD junto con el cloro libre presente en la muestra formando un color rojo que es proporcional a la concentración del cloro total. Determinar la concentración de cloro combinado, ejecutando una prueba del cloro libre. Sustraiga los resultados de los resultados del cloro total para obtener el cloro combinado.

1.16.7 Muestreo y almacenamiento

Colectar una muestra representativa en botellas de vidrio o plástico, limpias y resistentes a la acción química. La porción de muestra es de 100 ml. No requiere preservación especial y puede almacenar hasta 7 días.

1.16.8 Procedimiento

USANDO ALMOHADILLAS DE POLVO



1. Instalar el numero del modulo:

52.01
en el DR-700

2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:
525nm
y el numero del modulo:
52.01

3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un numero de programa, las unidades de concentración, posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre el numero del programa:
52.07.1



4. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con agua de la muestra.



5. Adicionar el contenido de almohada de polvo de reactivo DPD a la celda. Tape la celda y agite por 20 segundos.



6. Espere 3 minutos.



7. Llene con 10 ml de muestra una celda. Mezcle.



8. Coloque el blanco en el contenedor de la celda.



9. Presione: **ZERO**
La pantalla mostrará en el contador cero. Entonces la pantalla mostrará 0.00 mg/l y el cero sugerirá apagarlo.



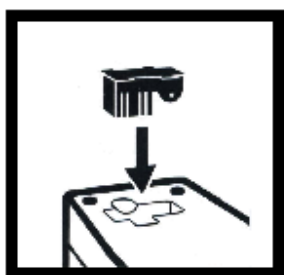
10. Coloque la muestra preparada en el contenedor de celdas.



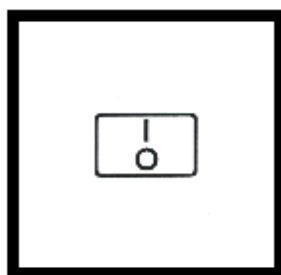
11. Presione: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/l de nitrato como nitrógeno.

USANDO ACCUVAC AMPULS



1. Instalar el numero del modulo:
52.01
en el DR-700

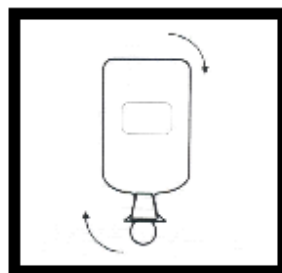
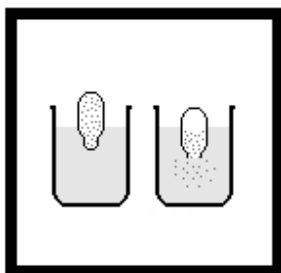
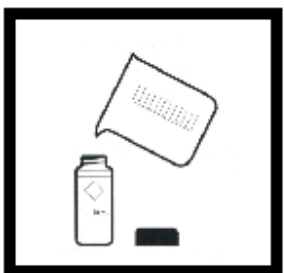


2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:
525nm
y el numero del modulo:
52.01



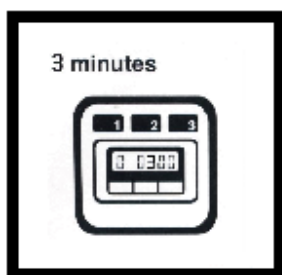
3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un numero de programa, las unidades de concentración, posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre el numero del programa:
52.07.1



4. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con agua de la muestra. Colecte por lo menos 40 ml de muestra en el beaker de 50 ml.

5. Llene un reactivo del cloro total con muestra.

6. Rápidamente invierta la ampolla en varios tiempos para mezclar. Limpie cualquier líquido o huellas digitales.



7. Espere durante 3 minutos.



8. Coloque el blanco en el contenedor de la celda.



9. Presione: **ZERO**
La pantalla mostrará en el contador cero. Entonces la pantalla mostrará 0.0 mg/l y el cero sugerirá apagarlo.



10. Inserte la redoma del Accuvac. Adáptelo en el poseedor de las celdas.



11. Dentro de 3 minutos después del periodo de 3 minutos, coloque la muestra preparada en contenedor de la celda. los resultados en mg/l de nitrato como nitrógeno.



12. Presione: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/l de cloro total.

1.16.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar la cantidad de cloro total mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

1.17 CLORO RESIDUAL

1.17.1 Introducción

El Cloro se usa en el tratamiento de aguas en procedimientos como la desinfección para la destrucción de microorganismos con significado sanitario; oxidación para modificar el carácter químico del agua y en procesos combinados de desinfección y oxidación. El cloro es un compuesto extremadamente activo que reacciona con un gran numero de compuestos para dar diferentes productos.

1.17.2 Objetivos

- Determinar la concentración de cloro en aguas de distinta procedencia o muestras sintéticas y diferenciar las formas en que está presente.

1.17.3 Equipo

- Colorímetro HACH DR – 700
- Filtro de modulo 52.01
- Beaker de 50 ml
- Tijeras
- Adaptador, redoma Accuvac.

1.17.4 Principios generales

El cloro reacciona con el agua para formar ácidos clorhídrico e hipocloroso. Este ultimo, en solución diluida, se disocia en iones hidrógeno e hipoclorito. El cloro reacciona también con el amoníaco presente en el agua para formar cloraminas, que asimismo tienen propiedades desinfectantes.

Si se añade una pequeña cantidad de cloro a las aguas residuales, reaccionará rápidamente con sustancias como ácido sulfhídrico; en estas condiciones el cloro se convierte en cloruros y no se logra la desinfección. Si se agrega el cloro suficiente para reaccionar con todas estas sustancias, un poco mas de cloro que se agregue reaccionará con el amoníaco y otros compuestos nitrogenados presentes para formar las cloraminas, que tienen acción

desinfectante. De nuevo, si se añade suficiente cloro para reaccionar con todos los compuestos reductores y toda la materia nitrogenada, un poco mas de cloro que se agregue reaccionará con la materia orgánica para producir compuestos orgánicos clorados u otras formas de cloro combinado, las cuales tienen una ligera acción desinfectante.

Finalmente, si se añade el cloro suficiente para reaccionar con todos los compuestos anteriores, cualquier cantidad adicional de cloro formará el cloro libre disponible el cual tiene mayor acción desinfectante.

El cloro utilizado por todas estas sustancias se definen como “demanda de cloro” y es igual a la cantidad añadida menos aquella que queda después de satisfacer la demanda y que se define como “cloro residual”, que es el que lleva a efecto la desinfección, expresándose en mg/l.

Los residuos clorados pueden existir en dos formas, como residuos combinados y como residuos libres. Esto ha ocasionado que se establezca la cloración actual del agua en dos tipos: cloración residual combinada y cloración residual libre.

La cloración residual combinada involucra la aplicación del cloro al agua para producir, con el amoníaco, presente o añadido, un residuo de cloro combinado disponible y mantener ese residuo a través de parte o de toda la planta de tratamiento o de la red de distribución.

La cloración residual libre involucra la aplicación del cloro a un agua para producir, ya sea directamente o a través de la destrucción del amoníaco presente, un residuo de cloro libre disponible y mantener ese residuo a través de parte o de toda la planta de tratamiento o del sistema de distribución.

La cloración del agua puede ocasionar efectos adversos al intensificar el olor y el sabor característicos de los fenoles y otros compuestos orgánicos presentes. El cloro combinado con el amoníaco puede afectar a algunas formas de vida.

1.17.5 Resumen del método

El cloro en la muestra esta como ácido hipocloroso o ion hipoclorito (cloro libre o cloro libre disponible) inmediatamente reacciona con el indicador DPD para formar un color rojo proporcional a la concentración de cloro.

1.17.6 Muestreo y almacenamiento

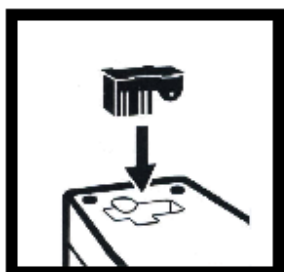
El cloro es inestable en soluciones acuosas y el contenido de éste en las muestras o soluciones, particularmente soluciones débiles, decrece rápidamente. La exposición a la luz solar o otra luz fuerte y la agitación aceleran la reducción del cloro.

Por lo tanto, iníciase la determinación inmediatamente después del muestreo, evitando luz y agitación excesivas.

No se deben almacenar muestras para este análisis.

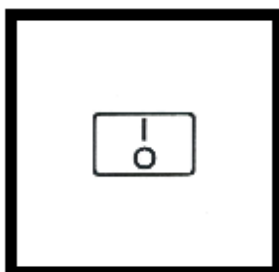
1.17.7 Procedimiento

USANDO ALMOHADILLAS DE POLVO



1. Instalar el número del módulo:

52.01
en el DR-700



2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:
525nm
y el número del módulo:
52.01



3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un número de programa, las unidades de concentración, posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre el número del programa:
52.05.1



4. Llene con 10 ml de muestra una celda. Mezcle.

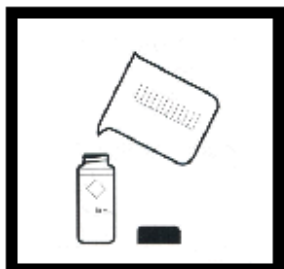


5. Coloque el blanco en el contenedor de la celda.



6. Presione: **ZERO**
La pantalla mostrará en el contador cero.
Entonces la pantalla mostrará 0.00 mg/l y el cero sugerirá

apagarlo.



7. Llene una celda de 10 ml hasta la línea de 10 ml con agua de la muestra.



8. Adicionar el contenido de almohada de polvo de reactivo DPD a la celda Tape la celda y agite por por 20 segundos.



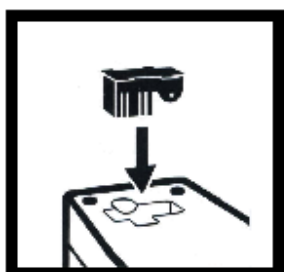
9. Inmediatamente coloque la muestra preparada en el contenedor de celdas.



11. Presione: **READ**

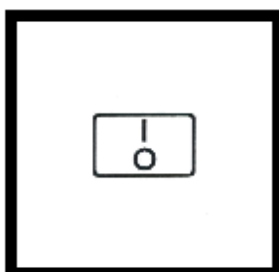
La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/l de nitrato como nitrógeno.

USANDO ACCUVAC AMPULS



1. Instalar el numero del modulo:

52.01



2. Presione: **I/O**

La pantalla mostrará:



3. Después de 2 segundos la pantalla mostrará un numero de programa,

en el DR-700

525nm
y el número del módulo:
52.01

las unidades de concentración, posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presione la llave **UP ARROW** hasta que la parte baja de la pantalla muestre el número del programa:

52.06.1



4. Llene una celda de 10 ml con agua de la muestra. Colecte por lo menos 40 ml de muestra en un beaker de 50 ml.



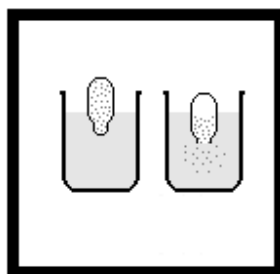
5. Coloque el blanco en el contenedor de la celda.



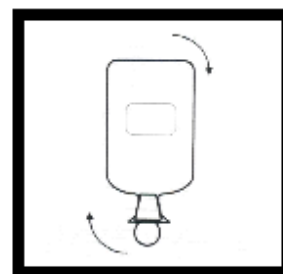
6. Presione: **ZERO**
La pantalla mostrará en el contador cero. Entonces la pantalla mostrará 0.00 mg/l y el cero sugerirá apagarlo.



7. Inserte la redoma del Accuvac. Adáptelo en el contenedor de las celdas.



8. Llene un reactivo del cloro total con muestra.



9. Rápidamente invierta la ampolla en varios tiempos para mezclar. Limpie cualquier líquido o huellas digitales.



10. Inmediatamente después de 1 minuto de la adición de la muestra, coloque el Accuvac en el contenedor de celdas.

11 Presione: **READ**

La pantalla mostrará el contador en cero. Entonces la pantalla mostrará los resultados en mg/l de cloro libre

1.17.8 Informe de laboratorio

Nombre, objetivos y descripción detallada de la práctica.

1. Para cada muestra experimental, determinar la cantidad de cloro libre mediante el procedimiento explicado anteriormente.
2. Llenar con los valores calculados el cuadro correspondiente.
3. Conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

CAPÍTULO 3

TABLA 41

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
INFORME DE LABORATORIO
CARACTERIZACIÓN DE AGUAS POTABLES

Muestra Nro _____	Fecha y Hora _____
Procedencia _____	Origen Muestra _____
Clase Muestra _____	Sistema Muestreado _____
Recolectado por _____	Fecha Análisis _____
Solicitado por _____	Sitio Recolección _____

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

DETERMINACIÓN	mg/l		DETERMINACIÓN	mg/L	
Temperatura °C			Calcio	Ca	
Turbiedad	SiO ₂		Magnesio	Mg	
Color Real			Hierro Total	Fe	
Sólidos Sedimentables			Manganeso	Mn	
pH			Sulfatos	SO ₄	
Alcalinidad Total	CaO ₃		Cloruros	Cl	
Alcalinidad a la Fenoltaleína	CaO ₃		Fluoruros	F	
Alcalinidad al Hidróxido	CaO ₃		Fosfatos	PO ₄	
Alcalinidad al Carbono	CaO ₃		Nitritos	N	
Alcalinidad al Bicarbonato	CaO ₃		Nitratos	N	
Gas carbónico libre	CO ₂		Amoniaco	N	
Dureza Total	CaO ₃		Sílice	SiO ₂	
Dureza Calcica	CaO ₃		Oxígeno Disuelto	O ₂	
Dureza Magnética	CaO ₃		Cloro Residual	Cl ₂	
Sólidos totales	S.T		Materia Orgánica	M.O	
Sólidos Disueltos	S.D		Residuo Fijo	R.F	
Sólidos Suspendidos	S.S		Conductividad	µS/cm	
DQO	mg/L		Sólidos Totales Disueltos	mg/L	
DBO ₅	mg/L				
OBSERVACIONES: _____					

REALIZADO POR

CAPÍTULO 3

TABLA 42

UNIVERSIDAD DE NARIÑO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL INFORME DE LABORATORIO CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Muestra Nro _____	Fecha y Hora _____
Procedencia _____	Origen Muestra _____
Clase Muestra _____	Sistema Muestreado _____
Recolectado por _____	Fecha Análisis _____
Solicitado por _____	Sitio Recolección _____

ANALISIS FISICOQUIMICO

DETERMINACIÓN	mg/l		DETERMINACIÓN	mg/L	
Temperatura °C			Calcio	Ca	
Turbiedad	SiO ₂		Magnesio	Mg	
Color Real			Hierro Total	Fe	
Sólidos Sedimentables			Manganeso	Mn	
pH			Sulfatos	SO ₄	
Alcalinidad Total	CaO ₃		Cloruros	Cl	
Alcalinidad a la Fenoltaleina	CaO ₃		Fluoruros	F	
Alcalinidad al Hidróxido	CaO ₃		Fosfatos	PO ₄	
Alcalinidad al Carbono	CaO ₃		Nitritos	N	
Alcalinidad al Bicarbonato	CaO ₃		Nitratos	N	
Gas carbónico libre	CO ₂		Amoniacó	N	
Dureza Total	CaO ₃		Sílice	SiO ₂	
Dureza Calcica	CaO ₃		Oxígeno Disuelto	O ₂	
Dureza Magnética	CaO ₃		Cloro Residual	Cl ₂	
Sólidos totales	S.T		Materia Orgánica	M.O	
Sólidos Disueltos	S.D		Residuo Fijo	R.F	
Sólidos Suspendidos	S.S		Conductividad	µS/cm	
DQO	mg/L		Sólidos Totales Disueltos	mg/L	
DBO ₅	mg/L				
OBSERVACIONES: _____					

REALIZADO POR