



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA MECÁNICA

MANUFACTURAS KALTEX S.A. DE C.V.

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN CIRCUITO DE RECUPERACIÓN DE
AGUA DE TAMBORAS DE ENFRIAMIENTO A MÁQUINAS DE
TEÑIDO.

PRESENTA

ELVIS MALDONADO HERNÁNDEZ

M.E.R. FERNANDO ALFONSO MAY ARRIJOA
ASESOR INTERNO

ING. MARCO CORTES BRAVO
ASESOR EXTERNO

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, MÉXICO, JUNIO 2016

Introducción

Durante la historia de la humanidad, nos hemos percatado que el agua ha condicionado desde siempre, el desarrollo de las diferentes civilizaciones, ya que la mayoría de los asentamientos se han dado cerca de algún lago, río, manantial, siempre buscando el recurso más preciado del planeta: el agua. Teniendo en cuenta que se utilizaba para consumo humano, transporte, intercambios comerciales, así como para los conflictos bélicos y colonizadores.

Actualmente, el uso que se le da al agua es diverso, pues no solo se utiliza para consumo humano sino también en las industrias, en el aseo personal, en actividades como la limpieza doméstica y en la preparación de alimentos.

En este informe se describen las características principales de la empresa en que se desarrolla, su ubicación demográfica, se aborda el surgimiento de la empresa en el ramo textil, así como su desarrollo a través de los años, también se mencionan los grupos empresariales que pertenecen al grupo corporativo de la empresa

Se analizan los fundamentos teóricos, como lo son aplicación de las leyes que rigen el comportamiento de los fluidos consideradas de vital importancia para la comprensión del desarrollo de este informe técnico. En donde también se estudian los componentes de las bombas.

Se presentan los cálculos correspondientes que soportan el diseño, la selección y la operación de la red hidráulica.

Índice de contenido

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	5
1.1 MANUFACTURAS KALTEX S.A. DE C.V.....	5
1.2 GRUPOS DE MANUFACTURAS KALTEX.....	6
1.3 HISTORIA DE LA EMPRESA.....	6
1.3 POLÍTICA DE LA EMPRESA	7
1.4 MISIÓN Y VISIÓN DE LA EMPRESA.....	7
1.5 POLÍTICA AMBIENTAL DE LA EMPRESA	8
1.6 LOGO DE LA EMPRESA	8
CAPÍTULO 2 GENERALIDADES DEL PROYECTO	9
2.1 OBJETIVOS	9
2.1.1 <i>Objetivo general</i>	9
2.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
2.3 JUSTIFICACIÓN	11
2.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	12
CAPÍTULO 3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	13
3.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	13
3.1.1 <i>Densidad y peso específico</i>	14
3.1.2 <i>Viscosidad</i>	14
3.2 FLUJOS INCOMPRESIBLES.....	15
3.2.1 <i>Cavitación</i>	15
3.3 PRESIÓN	16
3.3.1 <i>Presión absoluta</i>	16
3.3.2 <i>Presión atmosférica</i>	16
3.3.3 <i>Presión manométrica</i>	17
3.3.4 <i>Presión de vacío</i>	17
3.3.5 <i>Relación entre la pérdida de presión y la velocidad de flujo</i>	17
3.4 RESISTENCIA AL FLUJO DE FLUIDOS	17
3.4.1 <i>Resistencia al flujo en tuberías</i>	18
3.5 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO	19
3.6 LEYES QUE RIGEN A LOS FLUIDOS.....	20
3.6.1 <i>El principio de continuidad</i>	20
3.6.2 <i>Impulso y cantidad de movimiento</i>	20
3.7 <i>Regímenes de flujo de fluidos en tuberías, laminar y turbulento</i>	22
3.8 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO SEGÚN EL NÚMERO DE REYNOLDS	23
3.9 PÉRDIDA POR FRICCIÓN.....	25
3.9.1 PÉRDIDA POR FLUJO LAMINAR.....	25
3.9.2 PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN FLUJO LAMINAR.....	26
3.9.3 EFECTO DEL TIEMPO Y USO EN LA FRICCIÓN DE TUBERÍAS	26
3.10 DIAGRAMA DE MOODY	27

3.11 COEFICIENTE DE RESISTENCIA K, LONGITUD EQUIVALENTE L/D Y COEFICIENTE DE FLUJO.....	29
3.12 CARGAS EN UNA INSTALACIÓN HIDRÁULICA.....	31
3.13 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS	32
3.13.1 Elementos constitutivos de una bomba.....	33
CAPÍTULO 4 DESARROLLO DEL PROYECTO	34
4.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA EN LA SUCCIÓN.....	34
4.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO EN LA TUBERÍA DE DESCARGA.....	35
4.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN.....	36
4.4 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA DE DESCARGA.....	37
4.5 CÁLCULO DE PÉRDIDAS PARA LA SELECCIÓN DE BOMBA.....	37
4.6 SELECCIÓN DE BOMBA	38
CONCLUSIÓN	41
ANEXOS	43
BIBLIOGRAFÍA	44

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1 Ubicación demográfica de Manufacturas Kaltex S.A. de C.V.....	5
Ilustración 3-1 Flujo en un tubo de corriente	21
Ilustración 3-2 Flujo laminar: Representación de un fluido dentro de una tubería con una corriente sin turbulencia.....	22
Ilustración 3-3 Flujo en la zona crítica entre las zonas laminar y de transición.....	22
Ilustración 3-4 Este flujo los filamentos se pierden y la corriente es totalmente turbulenta.	22
Ilustración 3-5 Diagrama de Moody.....	28
Ilustración 3-6 Representación esquemática de las cargas en una instalación hidráulica.	32
Ilustración 4-1 Referencia para z	38

Capítulo 1 Generalidades de la empresa

1.1 Manufacturas Kaltex S.A. de C.V.

(Kaltex)Manufacturas Kaltex, S.A. de C.V. es una empresa del sector Textil 100 % mexicana, la planta 02 de acabado está ubicada en el Rancho los Mejía, Barrio del Espíritu Santo, en el municipio de San Juan del Río, Querétaro (Ilustración 1-1). Kaltex® es la empresa fundadora del Grupo y se dedica a la manufactura y comercialización de hil estampados y acabados. Se cuenta con la infraestructura y capacidad para controlar de manera integral el proceso de manufactura de textiles. Actualmente continua inmersa en una dinámica de crecimiento y renovación de plantas, tanto de hilatura, como de tejido y acabado. Contando con más de 50 años de experiencia en la industria textil y con las plantas más modernas de Latinoamérica, ubicadas en los estados de Hidalgo, Querétaro, Tamaulipas y México, compete nacional e internacionalmente colocando sus productos en los mercados de México, Estados Unidos, Canadá, Europa, Centro y Sudamérica y el Caribe.



Ilustración 1-1 Ubicación demográfica de Manufacturas Kaltex S.A. de C.V.

Gracias al prestigio y al buen posicionamiento de los productos Manufacturas Kaltex®, y al trabajo de sus 13,000 empleados, sus exportaciones ocupan actualmente un 30% del total de ventas.

1.2 Grupos de Manufacturas Kaltex

FINACRIL

DIVISION FIBRAS

Fabricación y comercialización de fibras acrílicas.

Manufacturas Kaltex

DIVISION DE TELAS E HILOS

Manufactura de hilados y tejidos de fibras naturales y sintéticas.
Comercialización de corduroy, Bull Denim, sargas de algodón, franela y estampados.

DENIMEX®

DIVISION PRENDAS

Fabricación, acabado y comercialización de prendas principalmente de mezclilla.

KALTEX HOME®

DIVISION HOGAR

Manufactura de productos para cama y baño.
Comercialización de blancos y productos confeccionados para el hogar.

1.3 Historia de la empresa

Manufacturas Kaltex®, empresa relativamente joven, incursiona en el mercado como distribuidora de telas en el año de 1925 y como procesadora de textil en el año de 1938.

En 1944 se inicia en los procesos de manufactura textil.

A partir de 1950, Manufacturas Kaltex®, de cara al futuro y en un proceso constante de actualización, da inicio a una acelerada modernización adquiriendo nuevos equipos con tecnología de punta, colocándose así a la vanguardia de la industria textil mexicana.

Como consecuencia de este desarrollo tecnológico y aunado al esfuerzo de nuestros 12,000 empleados, Manufacturas Kaltex® se ha convertido en líder en la industria textil mexicana, contando hoy en día con las plantas más modernas de Latinoamérica localizadas en los estados de Hidalgo, Querétaro, Tamaulipas y México.

Todo esto nos ha permitido entrar en la gran competencia internacional logrando exportar nuestros productos a Estados Unidos y Canadá, a Europa y a Centro y Sudamérica. De esta forma, Manufacturas Kaltex® está presente en países tales como España, Portugal, Italia, Francia, Estados Unidos, Canadá, Chile, Colombia, y Venezuela.

Debido a la firma de los Tratados de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá; el Grupo de los Tres con Colombia y Venezuela y los tratados independientes con Chile, Costa Rica y Bolivia, Manufacturas Kaltex amplía su mercado potencial a 450 millones de personas.

La modernización, el cambio, la globalización de los mercados, la avanzada tecnología en los equipos y procesos, sumado a la excelencia en calidad de servicio, permitirán a Manufacturas Kaltex®, empresa 100% mexicana, colocarse entre los 10 primeros grupos textiles a nivel internacional.

1.3 Política de la empresa

Todos los que trabajamos para Manufacturas Kaltex estamos comprometidos con la Calidad y Servicio para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

Para lograrlo, analizamos y mejoramos continuamente nuestros procesos, mediante un Sistema Integral de Calidad del que todos formamos parte.

Todos somos responsables de mantener el Sistema y alcanzar los resultados esperados, con el liderazgo del Equipo Gerencial.

1.4 Misión y visión de la empresa

Misión

Fabricar y Comercializar Productos Textiles con excelencia en calidad y servicio para satisfacción de las necesidades de nuestros clientes Nacionales e Internacionales, obteniendo una rentabilidad adecuada para el desarrollo económico de la empresa y oportunidad de una vida mejor para los empleados del Grupo.

Visión

Ser una de las empresas textiles más reconocidas a nivel nacional e internacional y mantenerla a ese nivel por su calidad y servicio de sus productos que ofrece.

1.5 Política ambiental de la empresa

En Manufacturas Kaltex, uno de nuestros objetivos prioritarios es contribuir a la conservación y preservación del medio ambiente en la fabricación y acabado de productos textiles.

Por ello, hemos adquirido el compromiso de operar todas nuestras unidades de negocio buscando siempre proteger nuestro entorno, el de nuestra gente y el de nuestra comunidad, a través de:

- Prevenir la contaminación.
- Optimizar el uso de los recursos naturales y mitigar los impactos ambientales.
- Cumplir con las leyes y regulaciones vigentes en materia ambiental a nivel nacional y otros requisitos aplicables.
- Mejorar continuamente nuestras prácticas de Administración ambiental.

Esta política constituye una guía de acción para todas nuestras actividades y en la interacción con nuestros proveedores y clientes.

1.6 Logo de la empresa



Capítulo 2 Generalidades del proyecto

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Diseñar e instalar un circuito de recuperación de agua de tamboras de enfriamiento a máquinas de teñido.

2.1.2 Objetivos específicos

- Elaboración de cálculos para sistema de recirculación.
- Selección de equipo de bombeo más conveniente que se requerirá, en base a un costo mínimo.
- Instalación del circuito de recuperación.

2.2 Planteamiento del problema

El departamento de mantenimiento de la planta 02 de Manufacturas Kaltex San Juan del Rio, desea implementar un sistema hidráulico en el termosol 201. Actualmente esta máquina en sus tamboras de enfriamiento, se encuentra desperdiciando 0.58 litros por segundo en la alcantarilla que se dirige al drenaje pluvial. Por lo consiguiente, el sistema pretende dirigir esta agua a la torre de enfriamiento para volver a utilizarse en el proceso. Con esto la empresa desea cuidar de este recurso natural, así como reducir costos en su proceso.

Se cuenta con un depósito, donde habitualmente descarga directamente la máquina y posteriormente se dirige a la alcantarilla.

Para proyectar una instalación que satisfaga las necesidades, es imprescindible determinar la cantidad de agua que debe conducirse.

Esta agua debe conducirse con un mínimo de pérdidas de carga, con el objeto de que las fuentes de presión disminuyan al máximo posible su capacidad, provocando ahorro en su inversión, mantenimiento y consumo de energía.

Deben de instalarse con facilidad, con el menor herramental posible permitiendo al operario disminuir el tiempo de montaje, con un mantenimiento adecuado lograr que la vida útil del sistema sea considerable.

Tenemos que determinar los diámetros requeridos de la tubería, para lograrlo podemos llevar a cabo la siguiente metodología:

1. Se determina la carga de diseño, esto es, el caudal (o gasto) que conducirá la tubería.
2. Con el gasto de diseño establecido, se determina cuál es el diámetro de las tuberías que deben utilizarse.

2.3 Justificación

El cuidado de los recursos naturales es de suma importancia, específicamente del agua que es imprescindible para el desarrollo humano. Por esta y por razones económicas se plantea implementar este circuito hidráulico en la maquina thermosol que es la última fase del proceso de la tela.

Así mismo utilizando este diseño como ejemplo para poder aplicarlo en diferentes máquinas del proceso en donde también se utilizan grandes cantidades de agua.

Cabe mencionar que cada sección del proceso es muy importante para obtener el producto con las características que el cliente solicita, en este proceso de acabado se busca producir un termo fijado. La tela impregnada con el baño de tintura entra a un equipo de pre-secado donde tiene lugar la evaporación del agua. En ese momento y dentro del mismo equipo, es conducida a un sector de mayor temperatura donde por la acción térmica penetra el colorante dentro de la fibra, quedando fijado a la misma.

2.4 Alcances y limitaciones

El presente trabajo pretende lograr un alcance no solo de reducción de costos económicos, sino también cumplir con el compromiso del cuidado del medio ambiente.

Se reutilizara la mayor cantidad de material que se encuentra sin uso en la planta.

Debido a que la disponibilidad de este sistema es una prioridad en la planta, es necesario contar con todos los componentes y accesorios en buenas condiciones de operación, ya que este sistema es de vital importancia y va a operar las 24 horas del día, todos los días del año.

El proyecto corresponde al diseño e instalación del circuito, sin embargo, por razones de auditorías externas e internas a los procesos administrativos de la empresa, no se permite en este periodo la aprobación económica para adquirir equipo y accesorios para la instalación. Por lo tanto, sólo se limita a recomendar el tipo de accesorios, la bomba y sus características de acuerdo a los caudales y cantidad de pérdidas obtenidas, eficiencia, tamaño de las tuberías si es el caso, entre otras cosas.

Capítulo 3 Fundamentos teóricos

Para realizar el cálculo de equipos de bombeo generalmente es necesario utilizar las curvas características que obtiene cada fabricante para sus equipos. Sin embargo dicho cálculo es laborioso y susceptible a errores.

En este capítulo tratamos textos de hidráulica o mecánica de fluidos, temas que nos permiten comprender el flujo de agua en tuberías.

El agua es considerada un fluido, es por eso que se mencionan propiedades físicas de los fluidos, definiéndolas cuantitativamente en el caso del agua por ser el fluido a tratar que nos interesa transportar. Posteriormente, se tratan algunos conceptos generales y leyes físicas, relativos al flujo de los fluidos.

Se dice que el flujo de un fluido es natural o forzado, dependiendo de cómo se inicia el movimiento de ese fluido. En el flujo forzado, un fluido se obliga a fluir sobre una superficie o en un tubo por medio de medios externos, como una bomba o un ventilador

3.1 Propiedades de los fluidos

Desde temprana edad descubrimos que en la naturaleza se presentan tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Los dos últimos son conocidos como fluidos y se les llama así porque sus partículas constitutivas fluyen o se desplazan continuamente bajo la acción de fuerzas tangenciales, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

(A. Cengel. & M. Cimbala, 2006) Los fluidos tienen como característica general adoptar la forma del recipiente que los contiene. Sin embargo, los líquidos mantienen un volumen definido bajo condiciones establecidas de presión y temperatura y forman una interfase o superficie libre entre el líquido y la atmósfera. En cambio los gases a una presión y temperatura determinada tienen también un volumen completo del recipiente que lo contiene, y no presentan superficie libre. Las propiedades que influyen en el comportamiento de todos los fluidos incluyen la densidad, peso específico, la viscosidad y en ciertos casos la tensión superficial y la compresibilidad.

3.1.1 Densidad y peso específico

(A. Cengel. & M. Cimbala, 2006) La densidad se define como masa por unidad de volumen (Ec. 3.1).

Es decir,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (3.1)$$

En general, la densidad de una sustancia depende de la temperatura y de la presión. La densidad de la mayoría de los gases es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura.

Con frecuencia se considera como densidad del agua 1000 kg/m^3 (SI).

El peso de una unidad de volumen de una sustancia se llama peso específico y se expresa como:

$$\gamma = \rho g \quad (N/m^3) \quad (3.2)$$

donde g es la aceleración gravitacional.

3.1.2 Viscosidad

(A. Cengel. & M. Cimbala, 2006) Cuando dos cuerpos sólidos en contacto se mueven uno con respecto al otro, se crea una fuerza de fricción en la superficie de contacto en la dirección opuesta al movimiento. Por ejemplo, para mover una mesa sobre el piso, se le debe aplicar una fuerza en dirección horizontal, suficientemente grande como para vencer la fricción. La magnitud de la fuerza necesaria para mover la mesa depende del coeficiente de fricción entre la mesa y el piso.

La situación es semejante cuando un fluido se mueve con respecto a un sólido o cuando dos fluidos se mueven uno con respecto al otro. Es posible moverse con relativa facilidad en el aire, pero no en el agua. Moverse en aceite sería inclusive más difícil, como se puede observar por el movimiento muy lento hacia abajo de una bola de vidrio que se deja caer en un tubo lleno con aceite. Parece que existe una propiedad que representa la resistencia interna de un fluido al movimiento o la "fluidez", y esa propiedad es la viscosidad. La fuerza que un fluido fluyente ejerce sobre un cuerpo en la dirección del flujo se llama fuerza de arrastre, y la magnitud de ésta depende, en parte, de la viscosidad.

Para obtener una relación para la viscosidad, considérese una capa de fluido entre dos placas paralelas muy grandes (o, lo que es equivalente, dos placas paralelas sumergidas en una gran masa de fluido) separadas por una distancia l . Ahora se aplica una fuerza paralela constante F a la placa superior, en tanto que la placa inferior se mantiene fija. Después de los efectos transitorios

iniciales, se observa que la placa superior se mueve de manera continua, bajo la influencia de esta fuerza, a una velocidad constante V . El fluido, en contacto con la placa superior, se pega a la superficie de ésta y se mueve con ella a la misma velocidad, y el esfuerzo cortante t que actúa sobre esta capa de fluido es:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

donde A es el área de contacto entre la placa y el fluido. Nótese que la capa de fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante. El fluido en contacto con la placa inferior toma la velocidad de esa placa, la cual es cero (debido a la condición de no-deslizamiento).

3.2 Flujos incompresibles

Estos flujos cumplen con el llamado teorema de Bernoulli, enunciado por el matemático y científico suizo Daniel Bernoulli. El teorema afirma que la energía mecánica total de flujo incompresible y no viscoso es constante a lo largo de una línea de corriente. Las líneas de corriente son líneas de flujo imaginarias que siempre son paralelas a la dirección de flujo en cada punto y en el caso de flujo uniforme coinciden con la trayectoria de las partículas individuales de fluido. El teorema de Bernoulli implica una relación entre los efectos de presión, la velocidad y la gravedad, e indica que la velocidad aumenta cuando la presión disminuye.

3.2.1 Cavitación

Las burbujas de vapor (llamadas burbujas de cavitación debido a que forman “cavidades” en el líquido) se desintegran conforme son barridas hacia fuera de las regiones de baja presión, con lo que se generan ondas de alta presión extremadamente destructivas. Este fenómeno, que es causa común de caída en el rendimiento e inclusive de la erosión de las aspas del impulsor, se llama cavitación, y constituye una consideración importante en el diseño de las turbinas y bombas hidráulicas.

La cavitación debe evitarse (o al menos minimizarse) en los sistemas de flujo, porque reduce el rendimiento, genera vibraciones y ruido molestos, y daña al equipo. Las puntas de presión resultantes del gran número de burbujas que se desintegran cerca de la superficie sólida durante un periodo largo pueden causar erosión, picadura de la superficie, falla por fatiga y la destrucción

eventual de los componentes o la maquinaria. Se puede detectar la presencia de la cavitación en un sistema de flujo por su sonido característico de traquetear.

La cavitación debe evitarse (o al menos minimizarse) en los sistemas de flujo, porque reduce el rendimiento, genera vibraciones y ruido molestos, y daña al equipo. Las puntas de presión resultantes del gran número de burbujas que se desintegran cerca de la superficie sólida durante un periodo largo pueden causar erosión, picadura de la superficie, falla por fatiga y la destrucción eventual de los componentes o la maquinaria. Se puede detectar la presencia de la cavitación en un sistema de flujo por su sonido característico de traquetear.

3.3.1 Presión

La presión que un fluido ejerce sobre las paredes del recipiente o tubería que lo contiene, se expresa como el cociente de la fuerza ejercida por unidad de área:

$$p = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (3.4)$$

3.3.2 Presión absoluta

Es la presión ejercida por un fluido por encima del valor cero.

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{man} \quad (3.5)$$

(P_{atm}): Presión atmosférica

(P_{man}): Presión manométrica

3.3.3 Presión atmosférica

Es aquella que se tiene en un lugar debido al peso de la atmósfera, por lo cual, varía con la altura en relación al nivel del mar, teniendo a cero metros un valor de $1.033 \text{ Kg}_f/\text{cm}^2$ que corresponden a una columna de mercurio de 0.760 m ó a 10.33 m.c.a.

3.3.4 Presión manométrica

Es la presión que se puede leer con un instrumento, ya sea positiva (arriba de la atmosférica) o negativa (debajo de la atmosférica o vacío), sin considerar la presión atmosférica y por ello suele llamarse presión relativa.

3.3.5 Presión de vacío

Esta presión se presenta cuando un fluido ejerce una presión inferior a la atmosférica. La relación entre las presiones atmosféricas, absolutas y de vacío se muestra a continuación:

$$P_{vacío} = P_{atm} - P_{abs} \quad (3.6)$$

3.3.6 Relación entre la pérdida de presión y la velocidad de flujo

Se debe considerar que la pérdida de presión debida a las válvulas y accesorios es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante. Cuando la caída de presión o pérdida de presión se grafica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es una línea recta. En el régimen de flujo turbulento, el valor del exponente de v se ha encontrado que varía aproximadamente entre 1.8 y 2.1 para diferentes diseños de válvulas y accesorios. Sin embargo, en todos los casos prácticos, se acepta que la caída de presión o pérdida de presión debida al flujo de fluidos de régimen turbulento en válvulas y accesorios varía con el cuadrado de la velocidad.

La velocidad mínima requerida para levantar un tapón o una válvula hasta la posición estable y de total apertura, ha sido determinada en pruebas para varios tipos de válvulas donde se encuentra un factor “ k ” que se le llama coeficiente de resistencia y este se expresa en términos de un número constante de veces la raíz cuadrada del volumen específico del fluido que circula, haciéndola aplicable para su utilización con cualquier fluido.

3.4 Resistencia al flujo de fluidos

La resistencia al flujo de fluidos se debe a las fuerzas de arrastre ejercidas por los fluidos en movimiento sobre las superficies de las fronteras sólidas de los conductos del flujo. Este arrastre resulta del hecho de que no existe filtración o movimiento relativo en la interfase de contacto entre el fluido y la frontera sólida, resultando en altas variaciones de esfuerzo cortante en la capa adyacente de fluido. Esta deformación del cortante se manifiesta como un gradiente espacial de la

velocidad en dirección normal a la superficie de la frontera, decreciendo en magnitud al alejarse de la frontera.

La existencia de un gradiente de velocidad implica un esfuerzo cortante causante, el cual es esencial para mantener el flujo y resulta una medida de la resistencia al flujo. Cuando el flujo es laminar, es decir, no existe turbulencia en el flujo, el cociente del esfuerzo cortante local sobre el gradiente de velocidad es una constante. Esta constante es por definición la viscosidad del fluido μ .

Sin embargo, cuando las condiciones del flujo son turbulentas, la correlación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad se vuelve más compleja, siendo más una propiedad del flujo que del fluido.

3.4.1 Resistencia al flujo en tuberías

Las tuberías son los conductos usados más frecuentemente para el transporte de fluidos (gases y líquidos). Se producen con una gran variedad de materiales. En su condición de nuevo, las superficies finales de las paredes del tubo varían considerablemente en rugosidad desde la muy lisa (plástico) a la relativamente rugosa (concreto). También, dependiendo del fluido transportado y del material del tubo, la rugosidad puede variar con el tiempo ya sea debido a la corrosión, tal como sucede en los tubos de acero, o deposición, como en zonas de aguas duras. Tal como se verá posteriormente, flujo de agua en tuberías es invariablemente turbulento. Es además evidente que la densidad y viscosidad son propiedades clave del fluido en el análisis del flujo en tuberías; ya que ambas tienen influencia en la energía requerida para inducir el flujo. El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo la mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma. A menos que se indique específicamente, la palabra “tubería” en este proyecto se refiere a un conducto cerrado de sección circular y diámetro interior constante.

Debido a la gran variedad de fluidos que se utilizan en los procesos industriales modernos, una ecuación que pueda ser usada para cualquier fluido ofrece ventajas obvias. Una ecuación de este tipo es la fórmula de Darcy, que puede ser deducida por análisis dimensional; sin embargo, una de

las variables en la fórmula, el coeficiente de fricción, debe ser determinado experimentalmente. Esta fórmula tiene una extensa aplicación en el campo de la mecánica de fluidos.

3.5 Clasificación del flujo

El flujo de los fluidos puede clasificarse de muchas maneras, según diferentes criterios y según sus diferentes características, a continuación se presentan aquellos más usuales en la mecánica de fluidos.

De acuerdo a su variación en el tiempo, el flujo puede clasificarse como permanente si el vector velocidad v no cambia con respecto al tiempo en cualquier punto del volumen de control en caso contrario se le llama no permanente.

Cuando se clasifican de acuerdo a su variación en el espacio en un tiempo dado t_0 , el flujo es uniforme si el vector velocidad es constante a lo largo de la trayectoria del flujo (s). En caso contrario se le llama no uniforme.

Para efectos de análisis de flujo de agua en redes de tuberías, se considera un flujo uniforme permanente, lo cual ocurre en tubos de diámetro fijo que conducen un gasto constante.

Otra clasificación importante se refiere al grado de turbulencia que representa el flujo. Cuando el flujo de un fluido está confinado por fronteras sólidas, tales que el mezclado lateral aleatorio de sus moléculas en dirección perpendicular al flujo es despreciable, el flujo es descrito como laminar, es decir, el flujo se da en capas con una transferencia mínima de cantidad de movimiento entre sus capas. Por otra parte, si el mezclado lateral es significativo, el flujo es clasificado como turbulento. Las definiciones anteriores no muestran un criterio claro para clasificar el flujo de acuerdo a su turbulencia, por lo que más adelante se precisa el criterio usual para determinar si un flujo es laminar o turbulento.

Existen otras dos clasificaciones del flujo una de ellas define al flujo como rotacional si las moléculas del fluido experimentan una rotación alrededor de su centro de masa; en caso de que no exista tal rotación, al flujo se le designa como irrotacional. En donde se presenta un gradiente de velocidades en el espacio, tal como sucede en varias situaciones reales de flujo, tales como en capa límite, existe inevitablemente cierto grado de rotación. El flujo es obviamente rotacional cuando las líneas son curvas.

Finalmente, el flujo se puede clasificar como compresible si la densidad del fluido varía a lo largo de la trayectoria de flujo, e incompresible si el cambio de densidad es insignificante. Para efectos prácticos, el flujo de los líquidos es considerado como incompresible.

3.6 Leyes que rigen a los fluidos

Existen varias leyes que se relacionan con el estudio de los fluidos.

3.6.1 El principio de continuidad

Los conceptos de tubo de corriente y de volumen de control facilitan la aplicación del principio de conservación de la materia, o el “principio de continuidad” tal como se le conoce en mecánica de fluidos. Por ejemplo, al aplicarlo en condiciones, de flujo permanente, puede afirmarse que la cantidad de masa dentro de un tubo de corriente o volumen de control no cambia con respecto al tiempo, así, la cantidad de masa que fluye fuera del volumen de control es igual a la cantidad de masa que entra al volumen de control.

En un tubo de corriente, puede entonces aplicarse el principio de continuidad escribiendo

$$\rho_1 d A_1 v_1 = \rho_2 d A_2 v_2 \quad (3.7)$$

y en un volumen de control:

$$\bar{\rho}_1 A_1 \bar{v}_1 = \bar{\rho}_2 A_2 \bar{v}_2 \quad (3.8)$$

donde $\bar{\rho}$ y \bar{v} representan los valores promedio de estos parámetros y A es el área de la sección transversal

3.6.2 Impulso y cantidad de movimiento

La segunda ley de Newton relaciona la fuerza, F con la razón de cambio de cantidad de movimiento (mv) siendo mv el producto de la masa por la velocidad:

$$F = \frac{d}{dt} (mv) \quad (3.9)$$

Considérese la aplicación de este principio a un flujo permanente como el que se presenta en un tubo de corriente mostrado en la ilustración 5-1.

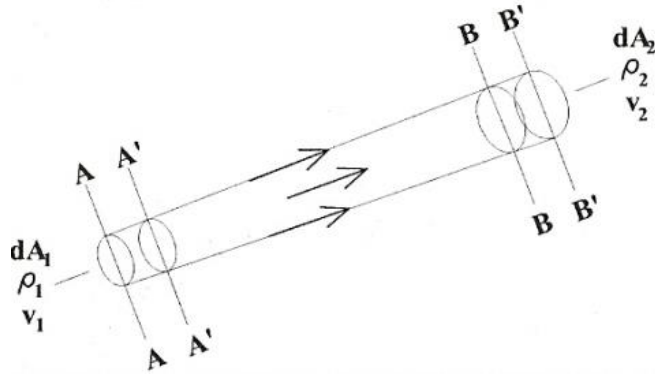


Ilustración 3-1 Flujo en un tubo de corriente

Si el flujo es incompresible, es decir, la densidad ρ es constante e independiente de la presión p , entonces:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} = \text{constante} \quad (3.10)$$

la cual es conocida como Ecuación de Bernoulli, y se refiere al flujo de un fluido ideal a lo largo de una línea de corriente en flujo permanente, irrotacional e incompresible.

Cuando se utiliza la ecuación de Bernoulli en el análisis del flujo de líquidos se acostumbra escribirla de la forma

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{constante} \quad (3.11)$$

Cada término de la ecuación de Bernoulli tiene unidades de longitud (m) o de la denominada “carga hidráulica” en metros de columna de agua (m.c.a.). Su suma representa la carga total con respecto a un nivel de referencia definido por z . Cuando se trata de flujo incompresible, el término de presión se refiere a la presión manométrica.

3.7 Regímenes de flujo de fluidos en tuberías, laminar y turbulento

Un experimento simple, consiste en inyectar pequeñas cantidades de fluido coloreado en un líquido que circula por una tubería de cristal y observar el comportamiento de los filamentos coloreados en diferentes zonas, después de los puntos de inyección.

Si la descarga o la velocidad media es pequeña, las láminas de fluido coloreado se desplazan en líneas rectas, como se ve en la ilustración 3-2 y se dice que el flujo es laminar. A medida que el caudal se incrementa, estas láminas continúan moviéndose en líneas rectas hasta que se alcanza una velocidad en donde las láminas comienzan a ondularse y se rompen en forma brusca y difusa, según se ve en la ilustración 3-3. Esto ocurre en la llamada velocidad crítica. A velocidades mayores que la crítica los filamentos se dispersan de manera indeterminada a través de la corriente, según se indica en la ilustración 3-4 llamado flujo turbulento.

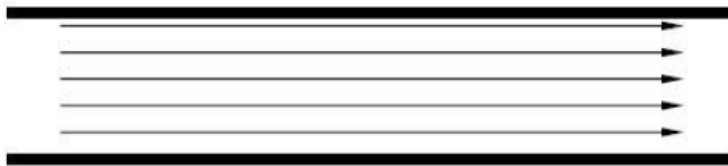


Ilustración 3-2 Flujo laminar: Representación de un fluido dentro de una tubería con una corriente sin turbulencia.



Ilustración 3-3 Flujo en la zona crítica entre las zonas laminar y de transición.

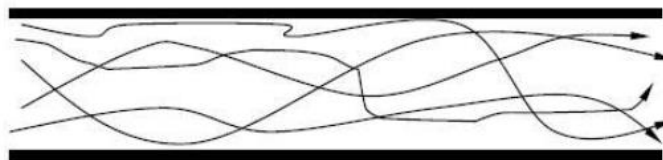


Ilustración 3-4 Este flujo los filamentos se pierden y la corriente es totalmente turbulenta.

El tipo de flujo que existe a velocidades más bajas que la crítica se conoce como régimen laminar y a veces como régimen viscoso. Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas

cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

A velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento. En el régimen turbulento hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo; la distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme a través del diámetro de la tubería que en régimen laminar. A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería, siempre hay una pequeña capa de fluido en la pared de la tubería, conocida como la “capa periférica” o “subcapa laminar”, que se mueve en régimen laminar.

Velocidad media de flujo: El término “velocidad”, a menos que se diga lo contrario, se refiere a la velocidad media promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para un flujo estacionario:

$$v = \frac{q}{A} = \frac{w}{A\rho} = \frac{w\bar{V}}{A} \quad (3.12)$$

Dónde:

q: Caudal en metros por segundo en las condiciones de flujo.

A: Área de la sección transversal de tubería.

W: Caudal en kilogramos por segundo.

ρ : Densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico.

3.8 Clasificación del flujo según el número de Reynolds

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento, como quedará demostrado posteriormente en este capítulo. Por esta razón, se necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo en realidad. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido ρ , su viscosidad μ , el diámetro del tubo D y la velocidad promedio del fluido v. Las investigaciones de Reynolds demuestran que el régimen de flujo de tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido

como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzo de deformación ocasionados por la viscosidad. El número de Reynolds para secciones circulares es:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.13)$$

Donde:

D: Diámetro interior de tubería en metros.

V: Velocidad media del flujo expresado en metros por segundo.

ν : Viscosidad cinemática del fluido.

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se desarrolla a partir de la segunda ley del movimiento de Newton $F = m \cdot a$. La fuerza viscosa se relaciona con el producto del esfuerzo cortante por el área.

Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja y tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tenderán a comportarse en forma laminar.

La fórmula para el número de Reynolds adopta una forma diferente para secciones transversales que no sean circulares, canales abiertos y el flujo alrededor de cuerpos sumergidos.

Para estudios técnicos, el régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2 000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4 000. Entre estos dos valores está la zona denominada "crítica" donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación. La experimentación cuidadosa ha determinado que la zona laminar puede acabar en números de Reynolds tan bajos como 1 200 o extenderse hasta los 40 000, pero estas condiciones no se presentan en la práctica.

Radio hidráulico: A veces se tienen conductos con sección transversal que no es circular. Para calcular el número de Reynolds en estas condiciones, el diámetro circular es sustituido por el diámetro equivalente.

$$R_H = \frac{\text{Superficie de la sección transversal de la vena líquida}}{\text{Perímetro mojado}} \quad \mathbf{3.14}$$

Esto se aplica a cualquier tipo de conducto (conducto circular no completamente lleno, ovalado, cuadrado o rectangular), pero no a formas muy estrechas, como aberturas anulares o alargadas, donde la anchura es pequeña con relación a la longitud. En tales casos, el radio hidráulico es aproximadamente igual a la mitad de la anchura del paso.

La siguiente fórmula sirve para calcular el caudal:

$$Q = 0.2087d^2 \sqrt{\frac{h_L D}{fL}} \quad q = 0.0438d^2 \sqrt{\frac{h_L D}{fL}} \quad \mathbf{(3.15)}$$

donde d^2 está basado en un diámetro equivalente de la sección transversal real del flujo y D se sustituye por $4R_H$.

3.9 Pérdida por fricción

3.9.1 Pérdida por flujo laminar

Cuando existe flujo laminar el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. Se pierde energía del fluido por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \quad \mathbf{(3.16)}$$

Los parámetros que involucra son las propiedades del fluido en cuanto a viscosidad y peso específico, las características geométricas de longitud y diámetro de la tubería, y la dinámica del flujo caracterizada por la velocidad promedio.

3.9.2 Pérdida por fricción en flujo laminar

El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de f debemos recurrir a los datos experimentales.

El número adimensional f depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared ϵ (letra griega épsilon). La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material de que está hecho el tubo y el método de fabricación. Debido a que la rugosidad es algo irregular, con el fin de obtener su valor global tomaremos valores promedio.

Como se aprecia en la tabla 3.1, se tiene el valor ϵ de la rugosidad promedio de la pared de tuberías y tubos existentes comercialmente. Éstos son sólo valores promedio para tuberías nuevas y limpias. Es de esperarse cierta variación una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared.

Tabla 3.1 Rugosidades

MATERIAL	RUGOSIDAD ϵ (m)	RUGOSIDAD ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-4}	6.0×10^{-3}

Como el tipo de la superficie interna de la tubería comercial es prácticamente independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene mayor efecto en el factor de fricción para diámetros pequeños. En consecuencia las tuberías de pequeño diámetro se acercan a la condición de gran rugosidad y en general tienen mayores factores de fricción que tuberías del mismo material pero de mayores diámetros.

3.9.3 Efecto del tiempo y uso en la fricción de tuberías

Las pérdidas por fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad de las paredes. Para un caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente a la quinta potencia del diámetro. Por ejemplo, si se reduce en 2% el diámetro, causa un incremento en la pérdida de la presión del 11%; a su vez, una

reducción del 5% produce un incremento del 29%. En muchos de los servicios, el interior de la tubería se va incrustando con cascarilla, tierra y otros materiales extraños; luego, es una práctica prudente dar margen para reducciones del diámetro de paso.

Los técnicos experimentados indican que la rugosidad puede incrementarse con el uso (debido a la corrosión o incrustación) en una proporción determinada por el material de la tubería y la naturaleza del fluido. Se ha llegado sobre este efecto del paso del tiempo, cita una tubería de 4 pulgadas de acero galvanizado que duplicó su rugosidad e incrementó el factor de fricción en 20% después de 3 años de un uso moderado.

3.10 Diagrama de Moody

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en la ilustración 3-5. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción f así como el número de Reynolds (Re), con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ . Estas curvas las generó L.F. Moody a partir de datos experimentales.

El factor de fricción f , se gráfica con base a la rugosidad relativa obtenida el número de Reynolds. El valor f se determina por la proyección horizontal de la intersección de la curva ϵ/D según el número de Reynolds calculado. Como la mayor parte de los cálculos tratan con tuberías de acero comercial o tuberías de hierro forjado, la tabla de la ilustración 3-5, facilita la determinación más rápida. Debe tenerse en cuenta que estos valores sólo se aplican cuando las tuberías son nuevas y están limpias.

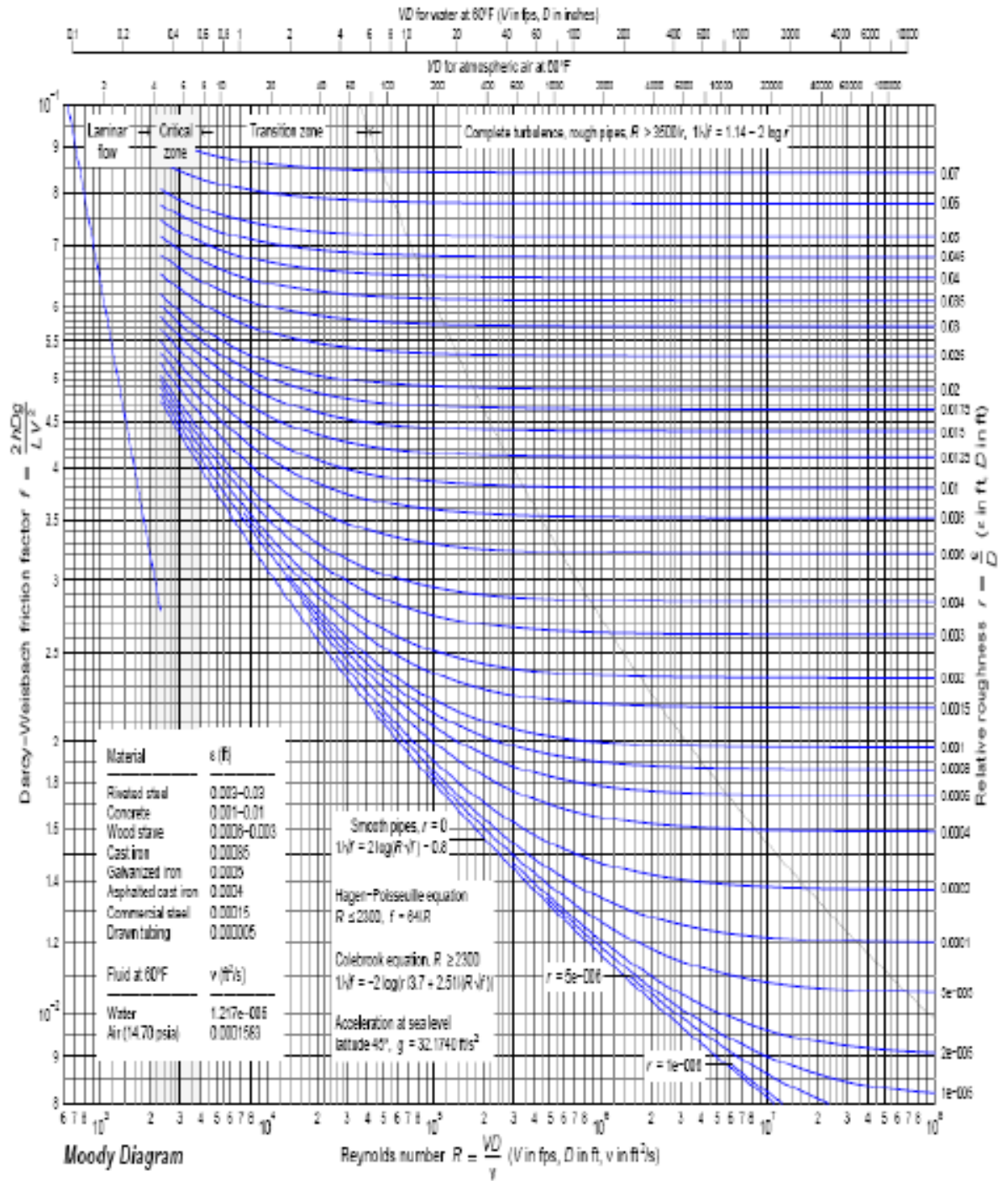


Ilustración 3-5 Diagrama de Moody

3.11 Coeficiente de resistencia K, longitud equivalente L/D y coeficiente de flujo

Existen pérdidas de presión para infinidad de válvulas y accesorios, fruto del trabajo de muchos investigadores.

Los conceptos que a menudo se utilizan para llevar a cabo cálculos son la longitud equivalente L/D , coeficiente de presión y coeficiente de flujo C_v o K_v .

Las pérdidas de presión en un sistema de tuberías se deben a varias características del sistema, que pueden clasificarse:

- I. Rozamiento en las paredes de la tubería, que está en función de la rugosidad de la superficie interior de la misma, así como del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
- II. Cambios de dirección del flujo.
- III. Obstrucciones en el paso del flujo.
- IV. Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo.

La velocidad en una tubería se obtiene mediante la presión o altura estática, y el descenso de la altura estática o pérdida de presión debida a la velocidad es que se define como “altura de velocidad”. El flujo por una válvula o accesorio en una línea causa también una reducción de la altura estática, que puede expresarse en función de la altura de velocidad. El coeficiente de resistencia K en la ecuación, se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio. Está siempre asociado con el diámetro al cual se refiere la velocidad. En la mayor parte de las válvulas o accesorios es donde se dan las pérdidas por fricción, a lo largo de la longitud real de flujo, son mínimas, por ello, el coeficiente de resistencia K se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, que puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo.

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad (3.17)$$

La misma pérdida para la tubería recta se expresa por la ecuación de Darcy:

$$h_L = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} \quad (3.18)$$

De donde resulta que:

$$K = \left(f \frac{L}{D}\right) \quad (3.19)$$

La relación L/D es la longitud equivalente en diámetros de tubería recta causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en las mismas condiciones de flujo. Ya que el coeficiente de resistencia K es constante para cualquier válvula o accesorio dados, debe variar de modo inverso al cambio del factor de fricción para las condiciones diferentes de flujo.

El coeficiente de resistencia K , en teoría es una constante para todas las medidas de un cierto diseño o línea de válvulas y accesorios, si todas las medidas fueran geoméricamente similares. Sin embargo, la similitud geométrica es difícil que ocurra; si lo fuera, es porque el diseño de válvulas y accesorios se rige por costos de fabricación, normas, resistencia estructural y otras consideraciones.

Como se hizo mención anteriormente el coeficiente de resistencia K está siempre asociado al diámetro por el que se establece la velocidad. Por lo tanto, otro procedimiento que podemos utilizar para obtener datos similares a la ecuación anterior es ajustar K en proporción a la cuarta potencia de la relación de diámetros y basar los valores de la velocidad o diámetro en el diámetro interno de la tubería a que se conecte.

$$K_a = K_b \left(\frac{d_a}{d_b}\right)^4 \quad (3.20)$$

El subíndice "a" define K y d con referencia al diámetro interno de la tubería en cuestión.

El subíndice "b" define K y d con referencia al diámetro interno de la tubería en donde se establecieron los valores de K , según la lista precedente de números de cédula de tuberías y que son datos conocidos.

3.12 Cargas en una instalación hidráulica

Enseguida se describen cada una de las cargas que se representan en la figura de la ilustración 3-6.

a) Altura estática de succión y carga estática de succión (h_s).

Si la bomba se encuentra arriba del nivel de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido a bombear y el eje central de la bomba se llama elevación estática de succión. Si la bomba se encuentra abajo del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido y el eje central de la bomba, se le llama carga estática de succión.

b) Altura estática de impulsión (h_i).

Es la diferencia entre el nivel de descarga de la bomba y el eje del rotor.

c) Altura estática total (H_{est}).

Es la diferencia entre los niveles del agua, es decir, la suma de las alturas estáticas de succión e impulsión.

d) Altura de fricción (h_{fs}, h_{fi}).

Es la altura adicional que debe ser suministrada para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión (h_{fi}) y de succión (h_{fs}). Pueden ser calculadas mediante las ecuaciones de Darcy-Weisbach o Hazen-Williams.

e) Altura de velocidad ($\frac{v^2}{2g}$).

Representa la energía cinética del fluido en cualquier punto del sistema.

f) Altura de pérdidas menores (h_{ms}, h_{mi}).

Es la altura de agua adicional para vencer las pérdidas debidas a los accesorios tales como codos, válvulas y otros. Pueden ser calculadas como un factor de la altura de velocidad o como una longitud equivalente de la tubería.

g) Altura dinámica total (H_t).

Es la altura total contra la cual debe trabajar la bomba teniendo en cuenta los factores anteriores.

Para obtener la altura dinámica total, es necesario establecer la ecuación de Bernoulli entre los niveles de agua en la succión y en la descarga.

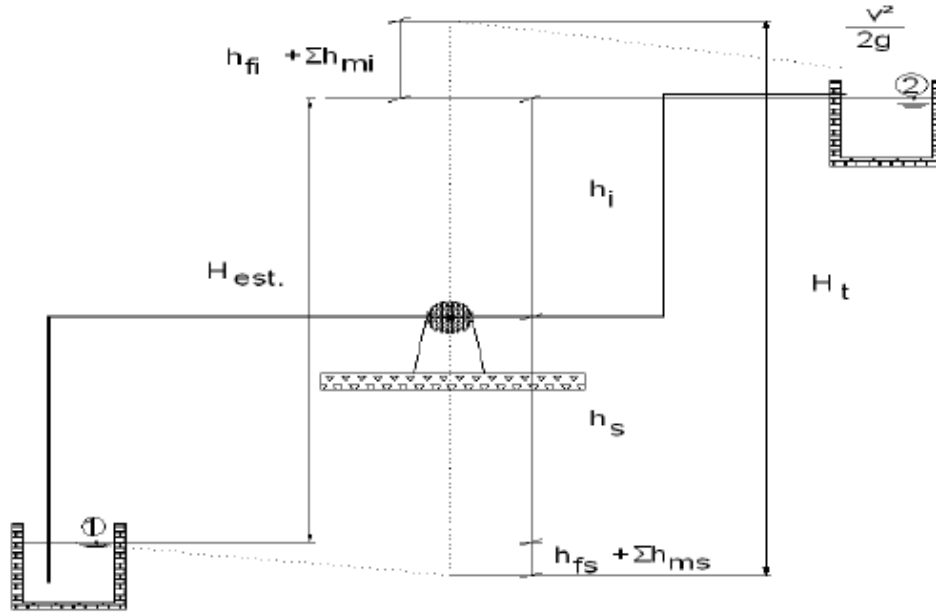


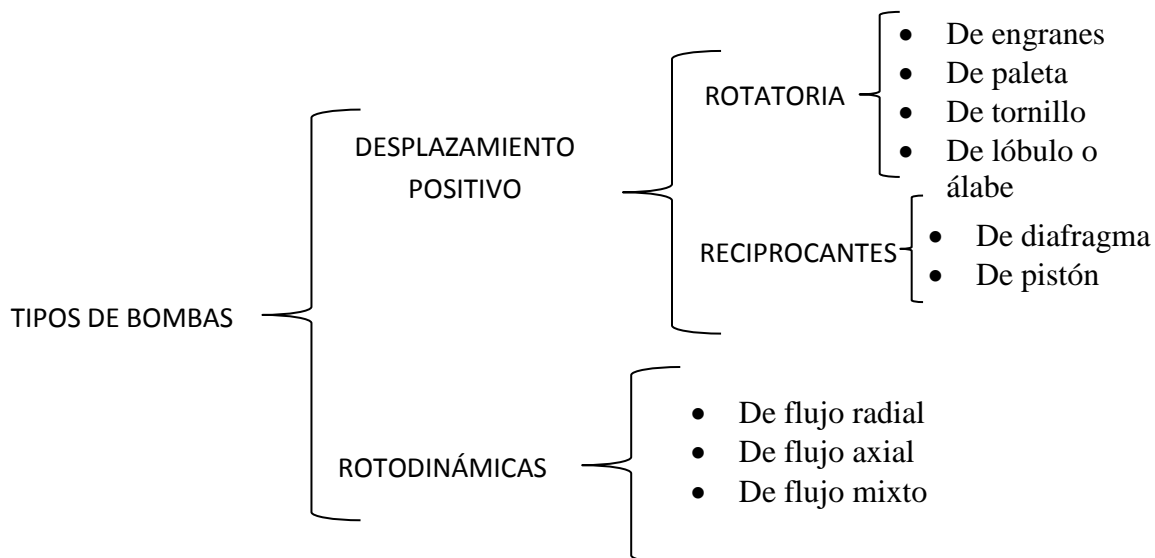
Ilustración 3-6 Representación esquemática de las cargas en una instalación hidráulica.

3.13 Definición y clasificación de las bombas

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa en energía hidráulica.

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (aguas, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, entre otros). También son empleadas para bombear líquidos espesos como sólidos en suspensión, como pastas de papel malazas, fangos, entre otros.

Las bombas se clasifican en:



3.13.1 Elementos constitutivos de una bomba

Carcaza: es el elemento estacionario donde se aloja el impulsor, soporta la presión del fluido y convierte la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión.

Impulsor: Forma parte del elemento rotativo de la bomba, recibe el líquido y le proporciona una velocidad de la cual depende la carga producida en forma directa por la bomba. Se clasifican por la forma en que entra líquido, los alabes generalmente son abierto, semi abiertos y cerrados.

Flecha: Es el eje de todos los elementos rotatorios y transmite el movimiento que recibe el motor.

Camisa de flecha: Protege la flecha contra corrosión, erosión y desgaste en una pieza de cambio sobre la cual trabajan los empaques, además se emplean para mantener en su posición al impulsor.

Cojinetes: Soportan la flecha de todo el rotor con un alineamiento correcto con relación en las partes estacionarias, se diseñan de tal forma que soporten las cargas axiales y radiales en la bomba.

Anillo de desgaste: Son elementos que se emplean para evitar el desgaste entre el impulsor y la carcasa generalmente son: móviles y de esta forma en lugar de cambiar toda la carcasa y el impulsor sólo se cambian los anillos.

Estoperos: sellos y empaques: Son elementos no metálicos que se emplean para evitar el flujo exterior, el líquido bombeado a través del aire hacia el interior de la bomba.

Prensa estopas: Es una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos y sirve para proporcionar la presión a los empaques.

Difusor: Es una serie de aspas que realiza el cambio de energía de velocidad a energía de presión, se localiza a la salida del impulsor.

Capítulo 4 Desarrollo del proyecto

Debido a que la empresa cuenta con algunos materiales que podemos utilizar, consideramos darle uso a un depósito en forma de cilindro con las siguientes características:

Altura	2.17 m
Radio	0.32 m

Utilizando $V = \pi r^2 * h$ para determinar el volumen del depósito obtenemos que:

Volumen del depósito= $0.6978 \text{ m}^3 \approx 697.8$ litros

Considerando que el depósito no va a alcanzar su máxima capacidad utilizamos 680 litros como su capacidad de trabajo. Si la máquina está depositando 0.58 litros por segundo tenemos que:

$$\frac{680 \text{ litros}}{0.58 \text{ litros por segundo}} = 1172.41 \text{ segundos} \approx 19.54 \text{ minutos}$$

Al thermosol le tomará 19.54 minutos para que la bomba se encienda.

Para que la bomba descargue el depósito en poco tiempo el caudal de succión de la bomba tiene que ser mayor que el caudal de descarga de la máquina. Con el objetivo de que la bomba no tenga un tiempo encendida considerable, se propone que el caudal de succión de la bomba sea de 5 litros por segundo (aproximadamente 10 veces más el caudal de succión de la bomba que el caudal de descarga de la máquina).

4.1 Cálculo del diámetro de tubería en la succión

El cálculo de la tubería de succión que se instala se realiza de acuerdo al caudal, en este caso

$$Q_s = 5 \text{ l/s.}$$

Algunos especialistas recomiendan una velocidad de flujo en la tubería de descarga de 0.5 a 1.5 $\left(\frac{m}{s}\right)$, algunos otros como Robert L. Mott en su libro Mecánica de fluidos recomienda 0.6 a 1.5 $\left(\frac{m}{s}\right)$.

Para con fines prácticos se toma una velocidad en succión de 1.5 $\left(\frac{m}{s}\right)$.

Tenemos:

$$D_{succ} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{succ}}} = \sqrt{\frac{4(5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1.5 \text{ m/s})}} = 0.065 \text{ m} = 2.559 \text{ pulg}$$

De acuerdo a los datos de tuberías comerciales de acero basados en la NMX 177 (ASTM-A-53), se toma el diámetro comercial con las siguientes características:

Diámetro	Cédula	Diámetro exterior nominal		Espesor		Diámetro interior nominal	
		pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
2 1/2	40	2.875	73.03	0.203	5.16	2.46	62.7

4.2 Cálculo del diámetro en la tubería de descarga

Para realizar el cálculo del diámetro de la tubería de descarga se basa en el caudal máximo, considerando $Q_s = 5 \text{ l/s}$.

Especialistas recomiendan una velocidad de flujo en la tubería de descarga de 1.5 a 3.5 m/s, el autor del libro CRANE recomienda una velocidad de descarga de 1.2 a 3.0 m/s.

Con fines prácticos se toma la velocidad de 3.5 m/s.

Para cálculo del diámetro de descarga se tiene:

$$D_d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{desc}}} = \sqrt{\frac{4(5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(3.5 \text{ m/s})}} = 0.042 \text{ m} = 1.653 \text{ pulg}$$

De acuerdo a los datos de la norma NMX-B-177:

Diámetro	Cédula	Diámetro exterior nominal		Espesor		Diámetro interior nominal	
		pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
2	40	2.374	60.3	0.153	3.91	2.066	52.5

Cálculo de las velocidades reales utilizando los diámetros reales

Para la velocidad en la succión:

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{3.087 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1.619 \text{ m/s}$$

Para la velocidad en la descarga:

$$v_d = \frac{Q}{A} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{2.164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 2.310 \text{ m/s}$$

Anteriormente hicimos un análisis de las velocidades recomendadas. Al realizar los cálculos nos percatamos que las velocidades reales no se encuentran fuera de lo recomendado, por lo tanto podemos utilizar estos diámetros comerciales.

4.3 Cálculo de pérdidas en la succión

Para determinar las pérdidas en la succión consideramos los accesorios y para características de rugosidad del acero al carbón:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.006}{6.27} = 0.0009$$

Utilizando la ecuación 5-13 para cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{(1.619 \frac{\text{m}}{\text{s}})(0.0627 \text{ m})}{1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 100\,805.660$$

De acuerdo al diagrama de Moody el $f = 0.018$.

Considerando para los accesorios de la succión se tiene:

Accesorios	Nº	K
De depósito a tubería a ras	1	0.50
Válvula de globo completamente abierta	1	10
Codo estándar	2	1.8
	Σ	12.3

La longitud de la tubería de succión es de 0.89 m. Tenemos:

$$h_s = (0.018) \left(\frac{0.89 + 12.3}{0.0627} \right) \left(\frac{2.621}{19.7} \right) = 0.5037 \text{ m}$$

4.4 Cálculo de las pérdidas en la tubería de descarga

Para determinar las pérdidas en succión, y para datos de la rugosidad del acero al carbón, tenemos:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.006}{5.25} = 1.142 \times 10^{-4}$$

Utilizando la ecuación 5-13 para cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{(2.310 \frac{m}{s})(0.0525 m)}{1.007 \times 10^{-6} m^2/s} = 120\,431.976$$

De acuerdo al diagrama de Moody el $f = 0.021$.

Para los accesorios de la descarga se tiene:

Accesorios	N°	K
Codo estándar	10	9
Válvula de retención de columpio abierta	1	2.5
De tubería a depósito	1	1
	Σ	12.5

La longitud de la tubería de descarga es de 133.878 m. Considerando la ecuación para la pérdida de la tubería de succión:

$$h_d = (0.021) \left(\frac{133.878 + 12.5}{0.0525} \right) \left(\frac{5.336}{19.7} \right) = 15.859 m$$

4.5 Cálculo de pérdidas para la selección de bomba

z_1 se establece a la altura de la succión de la bomba ($z_1 = -0.64 m$).

z_2 se establece en la salida de la tubería de descarga ($z_2 = 3.39 - 0.64$) (Véase la ilustración 4-1)

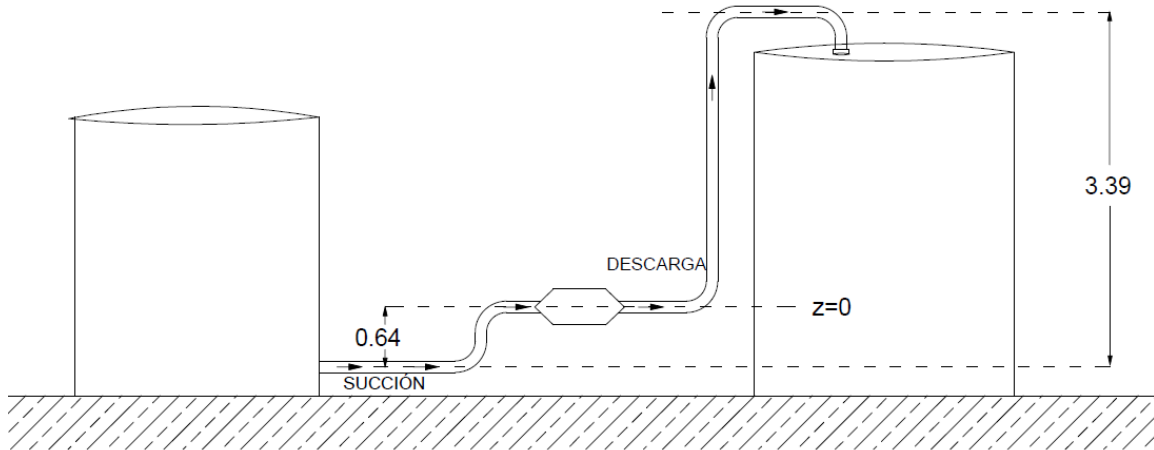


Ilustración 4-1 Referencia para z^1

Tenemos:

$$H_p = \frac{(v_2)^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_L ; v_2 = v_d$$

$$H_p = \frac{(2.310)^2}{19.62} + (3.39) + 16.3627 = 20.0246 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

$$P_a = \frac{\gamma Q H_p}{\eta} = \left(\frac{\left(9790 \frac{N}{m^3}\right) \left(0.005 \frac{m^3}{s}\right) (20.0246 \text{ m})}{(0.75)} \right) = 1\,306.938 \text{ W} \approx 1.749 \text{ hp}$$

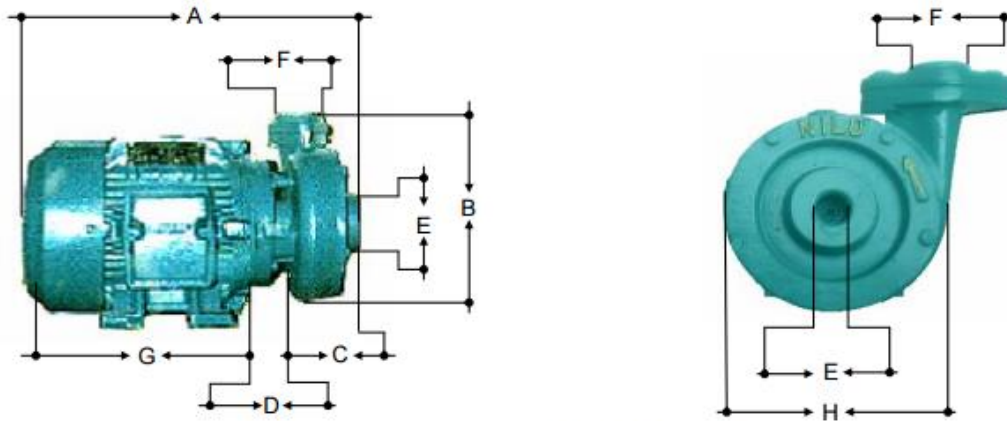
4.6 Selección de bomba

Una bomba centrífuga tiene que cumplir con características específicas.

La selección de la bomba se propone de acuerdo a los proveedores de equipos de la empresa, se basa en una bomba centrífuga horizontal marca Nilo, modelo MBC-2, acoplada directamente a motor eléctrico marca Siemens de 2 H.P. 3500 R.P.M. 230/460 volts, fabricada de hierro gris de alta resistencia, impulsor cerrado, sello mecánico con caras de carbón contra cerámica, empaques tipo oring en nitrilo, tapón de purga en bronce SAE-40 y tornillería en acero grado 2, carcasa tipo

¹ Este diagrama es de tipo ilustrativo, sólo para la comprensión de z_1 y z_2 .

caracol de un paso (radial), tapa rosca en la succión, brida y contrabrida en la descarga con cuerda interna NPT, con las siguientes dimensiones:



DIMENSIONES Y PESOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	K	M
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg	kg
MBC- 1.5	378	260	70	45	50	50	282	210	13.5	21.3	34.8	32.8	36.3
MBC- 2	407	260	75	45	50	50	282	210	23.5	21.3	44.8	33.3	56.8
MBC- 3	407	260	75	45	50	50	282	210	23.9	23.5	47.4	36.2	61.1
MBC- 5	407	260	75	45	50	50	282	210	24.3	XXXX	XXXX	47.6	71.9
MBC- 7.5	445	265	80	65	50	50	326	260	30.5	XXXX	XXXX	49.8	80.3
MBC- 10	445	265	80	65	50	50	326	260	30.9	XXXX	XXXX	51.9	82.8
MBC- 15	451	270	85	79	50	50	326	260	31.4	XXXX	XXXX	53.0	84.4
MBC- 20	451	270	85	79	50	50	326	260	31.7	XXXX	XXXX	55.2	86.9

A	LARGO TOTAL DE LA BOMBA	H	DIAMETRO DE CARCAZA
B	ALTO TOTAL DE LA CARCAZA	I	PESO DE BOMBA
C	ANCHO DE LA CARCAZA	J	PESO DE MOTOR TRIFAS. ABIERTO
D	ANCHO DE SOPORTE	K	PESO MOTOBOMBA TRIFAS. ABIERTO
E	DIAMETRO DE LA SUCCION	K	PESO MOTOR TRIFAS. CERRADO
F	DIAMETRO DE DESCARGA	L	PESO MOTOBOMBA TRIFAS.CERRADO
G	LARGO DE MOTOR		

CURVA DE RENDIMIENTO

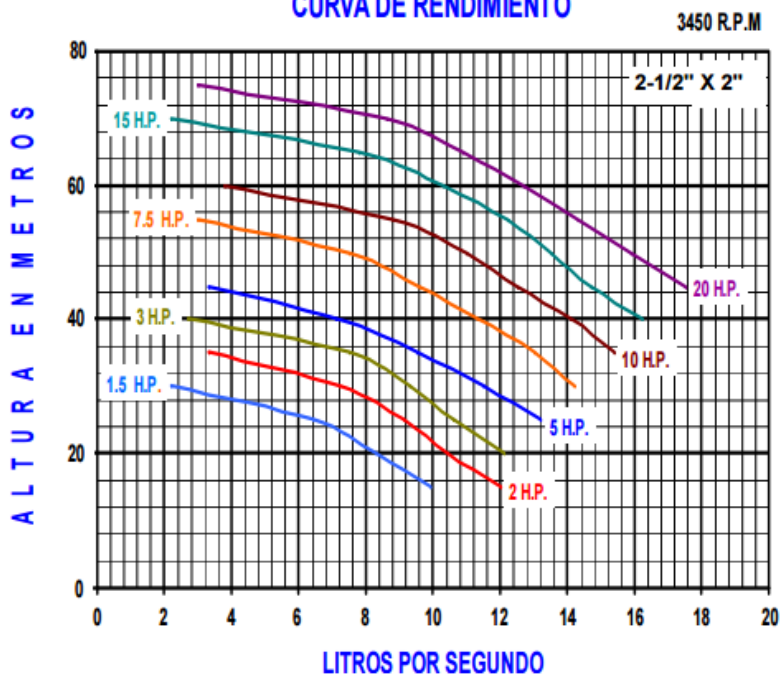


TABLA DE RENDIMIENTO

MODELO DE BOMBA	MOTOR	R.P.M.	SUCC.	DESC.	ALTURA EN METROS														
					15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75		
					LITROS POR SEGUNDO														
MBC-1.5	1.5 C.F.	3450	2-1/2"	2"	10.3	8.7	6.8	2.8											
MBC-2	2 C.F.	3450	2-1/2"	2"	12.6	10.9	9.5	7.6	3.4										
MBC-3	3 C.F.	3450	2-1/2"	2"		12.7	11.13	9.9	7.9	3.7									
MBC-5	5 C.F.	3450	2-1/2"	2"			13.9	12	9.9	7.5	3.4								
MBC-7.5	7.5 C.F.	3450	2-1/2"	2"				14.9	13.6	11.8	10	7.8	3.3						
MBC-10	10 C.F.	3450	2-1/2"	2"					16	14.8	13	11.6	9.3	3.9					
MBC-15	15 C.F.	3450	2-1/2"	2"						17	15.4	14	12.8	10.8	8.2	2.3			
MBC-20	20 C.F.	3450	2-1/2"	2"							18.3	16.6	15	13.3	11.4	9	3.2		

LAS CURVAS DE RENDIMIENTO ESTAN CALCULADAS AL NIVEL DEL MAR Y A MAYOR ALTURA DEL NIVEL DEL MAR SU EFICIENCIA DISMINUYE.

Conclusión

La realización de este proyecto llevo a realizar un estudio detallado, en el cual uno de sus principales objetivos fue poner en práctica todos los conocimientos y destrezas adquiridas en el área de hidráulica.

Los conocimientos adquiridos en las materias que conciernen a la rama de hidráulica dieron la pauta para que este proyecto se pudiera llevar a cabo adecuadamente.

Entre los temas que tienen mayor relevancia por el grado de utilidad, son la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli para llegar al cálculo de los diámetros de tuberías, velocidades, presiones, pérdidas en la red hidráulica, caudales.

Desarrollando cada una de las ecuaciones se determinó la altura que debía vencer la bomba, con esto, realizar la elección del equipo adecuado para su funcionamiento más óptimo.

Durante el proceso de toma de decisiones de un proyecto se deben tomar en cuenta otros aspectos que repercuten además del aspecto técnico, como los aspectos ambientales, costos, entre otros.

El utilizar un manual para el desarrollo de un diseño facilita ampliamente el trabajo del ingeniero, aunque representan una guía la decisión final queda a criterio del ingeniero, y por ello se debe buscar que los manuales para el diseño no encierren o limiten las posibilidades del diseñador, sino que le permitan utilizar su capacidad de razonamiento y de mejorar los procesos.

Aunque los manuales sean de gran utilidad es necesario reconocer las limitaciones que poseen, debido a que las situaciones que se pueden presentar en el campo de trabajo son variables, y es allí donde resulta fundamental el criterio del ingeniero, ya que no todo lo que en algún momento pueda ocurrir estará plasmado en manuales o procedimientos.

El diseño de sistemas de tuberías es bastante amplio, no se limita únicamente al cálculo del diámetro de la tubería, sino que tiene que ver con todos los elementos que van asociados y es necesario un estudio detallado y preciso al momento de diseñar estos sistemas.

De acuerdo a las curvas de rendimiento el punto de operación del modelo de esta bomba, arroja un mayor caudal que el requerido, 2.879 contra 1.321 GPM requeridos por el sistema. Este punto de operación sería el óptimo, dejando un margen para cambio del depósito o cualquier otra modificación en el sistema.

Es necesario establecer la máxima eficiencia energética de la moto-bomba seleccionada, con el fin de ahorrar energía para contribuir y proteger al consumidor de un consumo excesivo de energía y que se verá reflejada económicamente, esto se lograra seleccionando adecuadamente el motor, tomando en cuenta el rendimiento, una buena colocación y evitando fricciones.

Anexos

Anexo 1 Diagrama de Moody

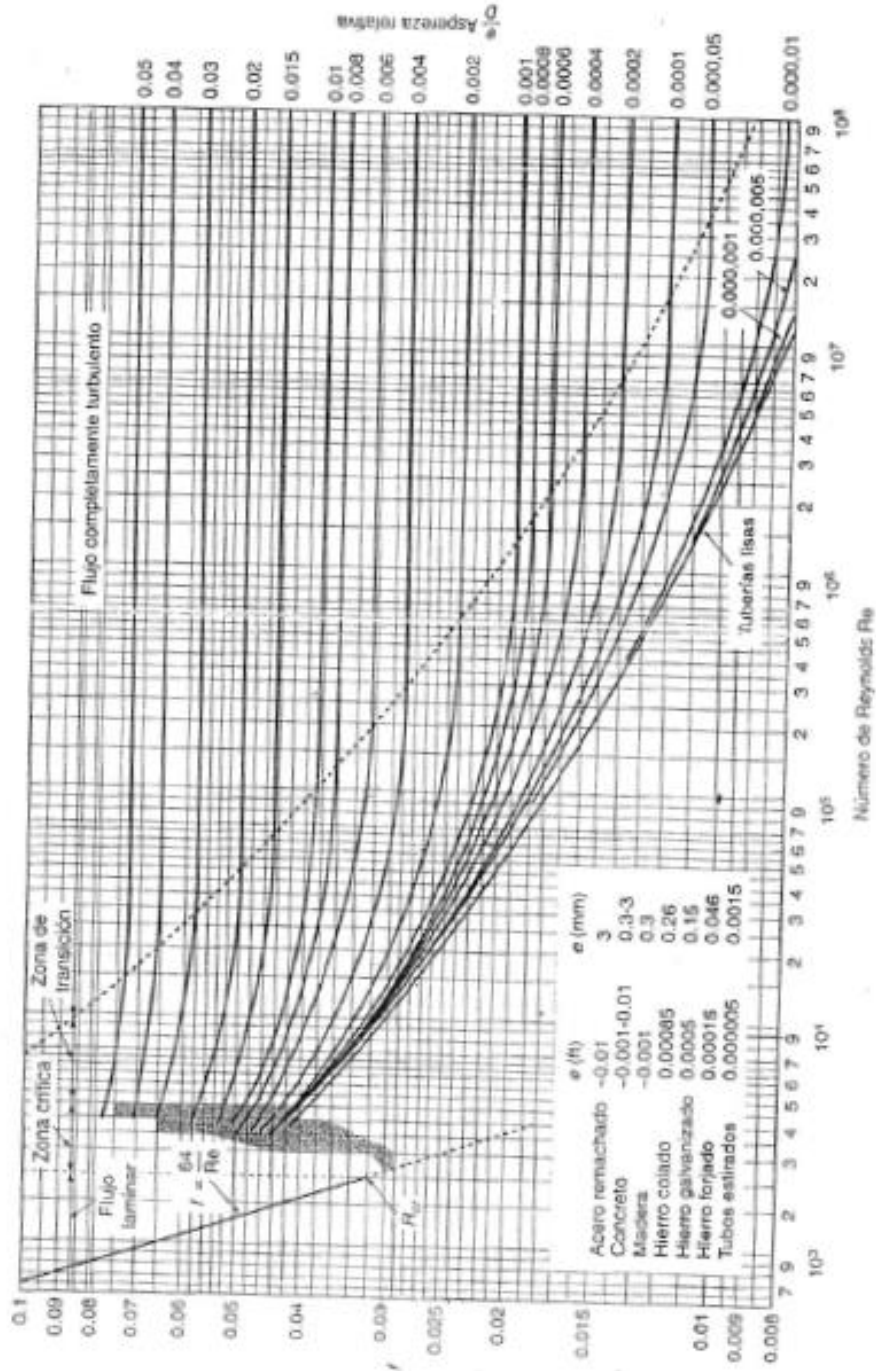


Figura 7.15 Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Bibliografía

A. Cengel, Y., & M. Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: McGraw-Hill Interamericana.

G. Zill, D., & S. Wright, W. (2011). *Matemáticas 2*. México: McGraw-Hill.

Kaltex. (s.f.). Recuperado el 29 de Enero de 2016, de <http://www.kaltex.com.mx/acerca.html>

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: PEARSON EDUCACIÓN DE MÉXICO.

Rafael M. Kalach. (s.f.). Manufacturas Kaltex S.A. de C.V.