

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

"Diseño de un Sistema Hidráulico para el Sistema contra Incendios en una empresa de construcción y mantenimiento de maquinaria en la industria de alimento balanceado."

Previo la obtención del Título de:
Ingeniero Químico

Presentado por Luis Alfredo Guzmán Quinde

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con mucho amor y cariño han dedicado su vida entera a impulsarme en mi formación como una persona de bien y un profesional de excelencia.

También dedico el presente proyecto de grado a mi hermano mellizo, quien siempre me apoyo como nadie y me ayudo a levantarme cuando pensaba que no podría.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida para permitirme disfrutar este momento en donde todos los esfuerzos rinden frutos, a nuestros padres por el apoyo que me han brindado siempre, a mi tutor y maestros quienes con paciencia y dedicación me guiaron en mi proceso de formación como profesional.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Luis Alfredo Guzmán Quinde

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Firma

RESUMEN

La empresa TEPACORP se encuentra ubicada en la parroquia rural Pascuales de la ciudad de Guayaquil, dedicada fundamentalmente al desarrollo y ejecución de todo tipo de obras de construcción mecánica, especialmente dentro de la industria alimentaria de balanceado.

El centro de operaciones, con aproximadamente 1305 metros cuadrados, no cuenta con un mecanismo o sistema que permita combatir incendios, siendo vulnerable a este tipo de siniestros e incumpliendo con lo que estipula la Ley de Defensa Contra Incendios y el Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios, requisitos indispensables para el permiso de funcionamiento que otorga el Cuerpo de Bomberos, por lo que surge la necesidad de diseñar un sistema hidráulico que brinde protección contra incendios.

El diseño conceptual de la red hidráulica mencionada se fue desarrollado en base a lineamientos de normativas de la NFPA y disposiciones técnicas que determinó el Benemérito Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Guayaquil.

Se presentó alternativas de cálculo para diseño de sistemas hidráulicos, cálculos y resultados obtenidos de presiones y caudales de operación en los diferentes puntos de la red hidráulica, potencia requerida para el sistema de bombeo y un diseño 3D del espacio físico asignado para la red hidráulica contra incendios.

Palabras claves: Red hidráulica, incendios, cuerpo de bomberos.

ABSTRACT

TEPACORP Enterprise is located in the rural parish of Pascuales of Guayaquil city and it is basically dedicated to the development and performance of mechanic constructions related to the food industry.

The installations of the Factory, which is about 1305 square meters big, does not count with a fire protection system, being vulnerable to accidents related to fires and not fulfilling the Law of Defense Against Fires and the Rules of Mitigation and Prevention Against Fires which are indispensable for the functioning permission that the firefighters department gives.

For this reason, it is imperative to design a hydraulic system that provides protection against fires. The development of a conceptual design of the hydraulic net mentioned before was done with real measurements of the area and according to the NFPA standard and technical dispositions given by the Benemérito Cuerpo de Bomberos of the city of Guayaquil.

Calculation alternatives were presented for the design of hydraulic systems, calculations and results obtained from operating pressures and flows at different points in the hydraulic network, power required for the pumping system and 3D design of the physical space allocated to the network hydraulics against fires.

Key words: Hydraulic network, fire, fire department.

ACRÓNIMOS O SIGLAS

ANSI. - American National Standards Institute, traducido al español "Instituto Nacional Estadounidense de Estándares".

ASS. – Antifreeze Sprinkler System, traducido al español "Sistema de Rociadores con Anticongelante".

ASTM. – American Society Testing and Materials, traducido al español "Sociedad Americana de Pruebas y Materiales".

AWWA. – American Water Works Association, traducido al español "Asociación Americana del Agua".

CCLSS. – Circulating Closed-Loop Sprinkler System, traducido al español "Sistema de rociadores de circulación en circuito cerrado".

GPM. – Galones por minuto.

DPSS. – Dry Pipe Sprinkler System, traducido al español "Sistema de Rociadores de Tubería Seca".

ESFR. – Early Suppression Fast-Response, traducido al español "Respuesta rápida y Supresión temprana".

MSDS. - Material Safety Data Sheet, traducido al español "Ficha de Datos de Seguridad de Materiales".

NFPA. – National Fire Protection Association, traducido al español "Asociación Nacional de Protección contra Incendio"

NPSH. - Net Positive Suction Head, traducido al español "Presión de Aspiración Positiva Neta".

RTI. – Índice de tiempo de respuesta.

RPM. – Revoluciones por minuto.

QRECS. - Quick Response Extended Coverage Sprinkler, traducido al español "Rociador de respuesta pronta y supresión temprana".

WPSS. - Wet Pipe Sprinkler System, traducido al español "Sistema de rociadores de tubería húmeda".

WAD. - Waterflow Alarm Device, traducido al español "Dispositivo de Alarma de Flujo de Agua"

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ACRÓNIMOS O SIGLAS	VII
SIMBOLOGÍAS	11
LISTADO DE FIGURAS Y GRÁFICAS	13
LISTADO DE TABLAS	14
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO 1	19
Marco Teórico	20
1.1 Fuego e Incendios	20
1.1.1 Definiciones Básicas.....	20
1.1.2 Química y Física del Fuego	21
1.1.3 Clasificación de Incendios	22
1.2 Sistemas contra Incendios	22
1.2.1 Sistema Agua o Hidráulico	22
1.2.2 Requerimiento de Agua	23
1.3 Fundamento Teórico para el Diseño de Sistemas Hidráulicos	23
1.3.1 Mecánica de Fluidos	23
1.3.2 Concepto de Fluido.....	24
1.3.3 Propiedades Físicas de Fluidos.....	25
1.3.4 Número de Reynolds.	29
1.3.5 Ecuaciones Fundamentales de Conservación.....	31
1.3.6 Pérdidas Energéticas en Sistemas Hidráulicos.	33
1.3.7 Sistema de Bombeo	34
1.4 Descripción de Accesorios y Equipos utilizados en Sistemas Hidráulicos contra Incendios	44
1.4.1 Bocatomas contra Incendios y Conexión Siamesa.....	44

1.4.2 Conexión Siamesa o Bocas de Impulsión	46
1.4.3 Accesorios varios.....	47
1.4.4 Métodos de conexión.....	52
1.4.5 Tuberías	52
1.4.7 Bombas	54
1.4.8 Tanques de Almacenamiento	57
CAPÍTULO 2	63
Metodología	64
2.1 Alternativas de cálculo para Diseño de Redes Hidráulicas	64
2.1.1 Cálculo de Pérdidas Energéticas por Fricción	64
2.1.2 Cálculo de Pérdidas Energéticas por Accesorios	69
2.1.3 Método de Longitudes equivalente	71
2.1.4 Cálculos para elección del Sistema de Bombeo.....	73
CAPÍTULO 3	78
Cálculo y Diseño	79
3.1 Desarrollo del Diseño Conceptual de la Red Hidráulica contra Incendios de la empresa TEPACORP.	79
3.1.1 Cumplimiento del Marco legal Nacional.....	79
3.1.2 Disposiciones Técnicas del Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil	81
3.1.3 Diagrama de Flujo: Secuencia de Pasos seguidos para elaboración de cálculos de Ingeniería en la Red Hidráulica contra Incendios.	82
3.1.4 Cálculos de Ingeniería	83
CAPÍTULO 4	116
Resultados	117
4.1 Resultados	117
4.2 Análisis de Resultados.....	119
4.3 Selección de Componentes del Sistema Hidráulico contra Incendios	120
CAPÍTULO 5	125
Conclusiones.....	126
CAPÍTULO 6	127
Recomendaciones	128
CAPÍTULO 7	129

Referencias.....	130
ANEXOS.....	132
Anexo A: Dimensiones de tuberías.....	132
Anexo B: Propiedades Físicas de los Fluidos.....	133
Anexo C: Factores de conversión.....	135
Anexo D: Gráficas Bomba.....	137
Anexo E: Representaciones Gráficas.....	139
APÉNDICE.....	143

SIMBOLOGÍAS

LONGITUD

<i>mm</i>	milímetro
<i>m</i>	metro
<i>ft</i>	pie
<i>cm</i>	centímetro
<i>inche</i>	pulgadas

MASA

<i>g</i>	gramo
<i>Kg</i>	kilogramo
<i>lb</i>	libra

VOLUMEN

m^3	Metro cúbico
gal	Galón americano

PRESIÓN

<i>Pa</i>	Pascal
<i>psi</i>	Lb/pulg ²
<i>atm</i>	atmósfera

TEMPERATURA

$^{\circ}C$	Grados Celsius
F	Grados Fahrenheit

TIEMPO

h	Hora
min	Minuto
s	Segundo

VARIABLES

<i>Re</i>	Número de Reynolds	<i>f</i>	Coefficiente de Fricción de Fanning
<i>D, ø</i>	Diámetro	<i>L</i>	Longitud
<i>v</i>	Velocidad	ϵ	Coefficiente de Rugosidad

ρ	Densidad	n	Coficiente de Rugosidad de Manning
μ	Viscosidad dinámica	C	Coficiente de Rugosidad de Hazen-Willians
F	Fuerza	k	Coficiente de Resistencia de accesorio
m	masa	H_T	Perdidas Energéticas por fricción de tubería y accesorio
a	aceleración	L_e	Longitud Equivalente
t	tiempo	H_B	Altura o Carga Total de Bomba
Q	Caudal	W	Watt
P	Presión	cP	Centipoise
g	Gravedad	Hp	Horse Power - Caballo de Fuerza
z	Altura	H_f	Perdidas Energéticas por fricción
N	Newton		

LISTADO DE FIGURAS Y GRÁFICAS

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

Figura 1.1.1.1	Triángulo de Fuego
Figura 2.3.3.1	Deformación resultante de la aplicación de Fuerza de Cortadura Constante
Figura 1.3.4.1	Formación de ráfaga turbulenta de un fluido que fluye por una tubería cerrada
Figura 1.3.5.3.1	Carga de Presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total
Figura 1.3.7.2.1	Fenómeno de Cavitación en tuberías
Figura 1.3.7.2.2	Evolución de los Tipos de energía de un fluido a través de una tubería.
Figura 1.3.7.2.4	Formación de micro-chorro y golpe contra paredes de tubería
Figura 1.3.7.2.5	Daños en accesorio por Cavitación
Gráfica 1.3.7.5.1	Curvas de una Bomba centrífuga típica con velocidad de giro constante
Gráfica 1.3.7.5.2	Curvas características medidas en dos modelos de una bomba centrífuga para agua encontradas en el mercado
Figura 1.4.1.1.1	Bocatoma Clase I
Figura 1.4.1.1.2	Bocatoma Clase II
Figura 1.4.1.1.3	Bocatoma Clase III
Figura 1.4.3.1	Catálogo de accesorios
Figura 1.4.8.4.1	Equipamiento en Tanques de almacenamiento
Gráfica 2.1.1.1	Diagrama de Moody para el Coeficiente de Fricción en conductos de paredes lisas y rugosas.
Gráfica 2.1.4.1	Carga de presión de vapor agua (metros) vs Temperatura (°C)
Gráfica 2.1.4.2	Carga de presión de vapor agua (pies) vs Temperatura (grados F)

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

Tabla 1.3.3.1	Valores del módulo volumétrico para líquidos seleccionados, a presión y temperatura ambiente.
Tabla 1.3.4.1	Relación entre Número de Reynolds y su comportamiento
Tabla 1.3.7.2.3	Descripción gráfica de la deformación de burbuja de vapor por aumento de energía de presión
Tabla 1.4.3.2	Materiales y dimensiones de accesorios
Tabla 1.4.5.1	Materiales y dimensiones de tubería
Tabla 1.4.6.2	Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías
Tabla 1.4.7.1	Características y Especificaciones de Bombas contra Incendios
Tabla 1.4.8.1.1	Tipo de tanques de almacenamiento

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

Tabla 2.1.1.1	Rugosidad Absoluta para conductos comerciales
Tabla 2.1.1.2	Coeficiente de Rugosidad de Manning para diferentes tipos de materiales
Tabla 2.1.1.3	Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes tipos de materiales
Tabla 2.1.2.1	Coeficiente de pérdida K para válvulas abiertas, codos y Tes
Tabla 2.1.3.1	Longitudes equivalentes en pies para tuberías C=120
Tabla 2.1.3.2	Factores de Corrección

CAPITULO 3: CÁLCULO Y DISEÑO

Tabla 3.1.1.1.1	Descripción de paso a seguir para cumplimiento de la Normativa legal Nacional
Tabla 3.1.4.1.1	Propiedades Físicoquímicas del fluido
Tabla 3.1.4.4.1	Longitudes Equivalentes para accesorios

CAPITULO 4: RESULTADOS

Tabla 4.1.1	Resultados correspondientes a la Zona de Succión del Sistema de Bombeo.
Tabla 4.1.2	Zonal de Impulsión – Condiciones de Operación en puntos de abastecimiento de agua contra incendios.
Tabla 4.1.3	Características el Sistema de Bombeo
Tabla 4.1.4	Aplicación de Alternativas de Cálculo par Pérdidas Energéticas en Redes Hidráulicas

INTRODUCCIÓN

Siglos atrás, el hombre ya tenía en mente el poder destructivo del fuego y lo que puede causar al no ser controlado a tiempo. En la antigua roma el emperador romano Nerón mandó a escribir un código para la construcción en el que se establecía la utilización de materiales resistentes al fuego; siglos después, en Londres, se encuentran regulaciones que requerían la construcción de paredes de piedra de 90 cm de ancho y 4,90 de altura entre edificaciones con el objetivo de ser barreras corta fuegos.

Sin duda alguna la revolución industrial en Gran Bretaña y más tarde en Estados Unidos, siglos XVIII y XIX respectivamente, marcarían el cambio más significativo en cuanto a la ingeniería de protección contra incendios a causa de construcciones de fábricas con pisos múltiples, bodegas de gran tamaño, edificios altos y procesos industriales muy riesgosos, por lo que hubo la necesidad de crear un organismo que estandarizara criterios de diseño de sistemas para la protección contra incendios, naciendo así la NFPA.

National Fire Protection Asociativo [NFPA], fundada en 1896, es una organización internacional con sede en Quincy, Massachusetts, EE. UU; institución que representa la fuente principal mundial para el desarrollo y diseminación de conocimiento sobre seguridad contra incendios. Desarrolla normas con el fin de proteger a las personas, su propiedad y el medio ambiente del fuego. (Mocada, 2011).

Descripción del Problema

El diseño de Sistemas contra incendios en la industria nace de la necesidad de sus propietarios por proteger sus bienes materiales y salvaguardar la vida de sus empleados de situaciones de alto riesgo como lo es un incendio, destacando que la implementación de sistemas contra incendios no garantiza que no habrá pérdida alguna, pero si ayuda a evitar situaciones catastróficas.

En el desarrollo de los capítulos del presente proyecto de grado, se busca asentar los conocimientos necesarios para el diseño de redes hidráulicas, así como ciertas

normativas nacionales e internacionales que se deben cumplir para sistemas de tubería usados en la protección contra incendios.

Alcance

El área en el que se va a desarrollar el presente proyecto de grado comprende un predio de 1305 metros cuadrados propiedad de la empresa TEPACORP, ubicada en la parroquia rural Pascuales de la ciudad de Guayaquil. El desarrollo del diseño conceptual de una red hidráulica contra incendios contempla todas las áreas, tanto administrativas como operativas, con el fin de salvaguardar la vida de los empleados y el bienestar de los bienes materiales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar de forma conceptual la red hidráulica para el sistema contra incendios de la empresa TEPACORP mediante la aplicación de los conocimientos obtenidos en diseño de plantas, mecánica de fluidos y operaciones unitarias, con el fin de salvaguardar la vida de los colaboradores de la organización, proteger los bienes materiales en la medida que sea posible y dar cumplimiento al reglamento nacional de mitigación y protección contra incendios.

Objetivos Específicos

- Establecer alternativas de cálculo para la determinación de pérdidas energéticas en sistemas hidráulicos con el fin de comparar y seleccionar la más precisa y de fácil uso.
- Verificar la ausencia de fenómenos de cavitación en la medida de lo posible mediante el cálculo de presiones en diferentes puntos de la red de tuberías para minimizar daños en los componentes de la red hidráulica contra incendios.
- Calcular la potencia requerida por el sistema de bombeo mediante balances energéticos en diferentes puntos de la red hidráulica contra incendios para dar cumplimiento a las disposiciones técnicas del Cuerpo de Bomberos.

- Ilustrar con gráficas 3D el recorrido de la red hidráulica contra incendios mediante el uso del programa AutoCAD para tener una mejor visualización de la disposición de las tuberías en el espacio físico disponible.

NORMATIVA APLICADA

Todo el trabajo investigativo en este proyecto de grado se hizo en base a normativas nacionales e internacionales de Prevención, Mitigación y Protección contra incendios.

Normativas Internacionales (NFPA)

- NFPA 14 Norma para la Instalación de Sistema de Mangueras.
- NFPA 20 Norma para la instalación de Bombas de Incendio Centrífugas.
- NFPA 22 Norma para Tanques Utilizados para Redes Contra Incendios.
- NFPA 704 Sistema Normativo para la Identificación de los Riesgos de los Materiales para Respuesta a Emergencias.

Normativas Nacionales

- Ley de Defensa Contra Incendios.
- Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

1.1. Fuego e Incendios

1.1.1. Definiciones Básicas

Para poder comprender la naturaleza de un incendio, se debe comprender sus componentes y la forma en que interactúan para que se dé un siniestro, por lo cual se define lo siguiente:

Combustión. – Reacción química en cadena entre un cuerpo combustible con un comburente en presencia de una energía de activación, generando calor y gases de combustión.

Comburente. – Aquel elemento que sostiene la combustión, no arde pero hace arder un combustible siendo el de uso más común el oxígeno del aire. Otros químicos como los cloratos, boratos, permanganatos también pueden mantener la combustión.

Combustible. – Cuerpo sólido, líquido o gaseoso que es susceptible de arder.

Energía de activación. – Fuente de energía necesaria para dar inicio una combustión.

Fuego. – Es el producto de una combustión.

Hollín. – Aquellas partículas negras de carbón producidas en una combustión incompleta.

Humo. – Partículas compuestas de carbono en suspensión en el aire, se dan a partir de una combustión incompleta de material combustible.

Punto de inflamación. – Es la temperatura mínima a la que un combustible emite suficientes vapores, los cuales mezclados con la suficiente cantidad de comburente y ante una fuente de ignición, se encienden, pero no mantienen la combustión.

Punto de fuego. – Temperatura mínima a la cual un combustible emite suficientes vapores, los cuales mezclados con la suficiente cantidad de comburente y ante una fuente de ignición, se encienden manteniendo la combustión.

Punto de auto-inflamación. – Denominado también punto de auto-ignición o de auto-combustión, es la temperatura en la cual una mezcla de gas combustible y comburente puede incendiarse espontáneamente a causa de su calor (o el calor del medio ambiente) sin la presencia de llama o chispa.

Reacción en cadena. – Ocurre cuando un combustible arde de forma sostenida, esta reacción química produce calor que retroalimenta el combustible, aumentando la generación de gases. Esto se mantendrá siempre y cuando exista la cantidad suficiente de calor para continuar gasificando al proceso, combustible suficiente que permita desprender estos gases y comburente que alimente el proceso.



Figura 1.1.1.1 Triángulo de Fuego

Fuente: (Academia Nacional de Bomberos Chile, 2016)

1.1.2. Química y Física del Fuego

La manifestación de una combustión no controlada es lo que se considera un incendio, interviniendo materiales combustibles que son parte de la infraestructura de edificios, casas y sitios de trabajo.

Normalmente constituidos por carbono, estos materiales forman parte de lo que denominamos como sustancias combustibles. Estas sustancias, cuando intervienen en un incendio, responden según su composición química y estado físico, variando la facilidad con que inicia (ignición), la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama) e intensidad del mismo (velocidad de liberación de calor).

1.1.3. Clasificación de Incendios

Incendios Clase A. – Son aquellos incendios de materiales combustibles comunes, como la madera, tela, papel, plásticos.

Incendios Clase B. – Incendios de líquidos inflamables, líquidos combustibles, gases de petróleo, alquitrán, aceites, pinturas a base de aceite, disolventes, lacas, alcoholes y gases inflamables.

Incendios Clase C. – Aquellos incendios que involucran equipos eléctricos energizados.

Incendios Clase D. – Son incendios de metales combustibles como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio.

Incendios Clase K. – Incendios de artefactos de cocina que involucran combustibles para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales).

1.2. Sistemas contra Incendios

Es el conjunto de dispositivos que trabajan de forma conjunta o individual para ayudar a prevenir, mitigar y proteger contra un incendio.

Estos sistemas son de gran importancia para cualquier tipo de construcción, desde edificios para usos de oficinas hasta plantas para procesos de producción, ya que brindan seguridad contra incendios no controlados tanto a las personas como a la misma infraestructura y equipos que conformen dicho lugar.

Uno de los componentes principales de un Sistema contra Incendios es el sistema de agua o sistema hidráulico, el cual se va a tratar en el desarrollo del presente proyecto de grado.

1.2.1. Sistema Agua o Hidráulico

Con el fin de enfriar los equipos afectados por el fuego y así evitar explosiones o propagación de incendios, se usan sistemas hidráulicos que proveen de agua a diferentes puntos estratégicos para el control y extinción del siniestro.

En el diseño de este sistema, se debe tener en cuenta todos los componentes ya que cada uno se rige a normas y documentos, asegurando así un diseño eficiente y adecuado de acuerdo al tipo edificación tomando en cuenta los procesos que se desarrollen en los mismos.

1.2.2. Requerimiento de Agua

Para establecer la cantidad de agua a usar por área de trabajo, se debe hacer una evaluación sistemática de las instalaciones, identificando toda actividad o proceso potencialmente peligroso y estimando los posibles daños a personas, equipos e infraestructura.

1.3. Fundamento Teórico para el Diseño de Sistemas Hidráulicos

1.3.1. Mecánica de Fluidos

La Mecánica de Fluidos se encarga del estudio de los fluidos en reposo (fluido-estática) o en movimiento (fluido-dinámica). Hay que tener en cuenta que tanto gases como los líquidos son considerados como fluidos, siendo enorme el número de aplicaciones de la Mecánica de Fluidos, para mencionar algunas tenemos: flujo sanguíneo, turbinas, aviones, barcos, ríos, molinos de viento, tuberías, misiles, icebergs, motores, filtros, chorros. A decir verdad y bien pensado, casi todas las cosas que existen en este planeta o son un fluido o se mueven inmersas o cerca de un fluido.

Está basada en un compromiso adecuado entre la teoría y experimentación. Al ser la Mecánica de Fluidos una rama de la mecánica que tiene a su disposición un conjunto de leyes de conservación bien documentadas siendo posible un tratamiento teórico riguroso, pero se debe

considerar que la teoría se refiere principalmente a ciertas situaciones idealizadas que pueden no ser válidas en los casos prácticos (Mott, 2009) En resumen, la mecánica de fluidos trata de los fluidos en movimiento o en reposo, utilizando magnitudes escalares, vectoriales o tensoriales las cuales pueden estar en función de la posición y del tiempo. Hay muchas aplicaciones para la mecánica de fluidos, pero como ciencia, su estudio se basa en teoría, experimentación y formulación de principios de conservación.

1.3.2. Concepto de Fluido

Como se aclaró en el punto anterior, desde el punto de vista de la Mecánica de fluidos, la materia sólo puede presentarse en dos estados: sólido y fluido.

La diferencia o distinción técnica entre sólidos y fluidos radica en la reacción de ambos a un esfuerzo tangencial o cortante. Un sólido puede resistir un esfuerzo cortante con una deformación estática; un fluido, no. Cualquier esfuerzo cortante aplicado a un fluido, no importa cuán pequeño sea, provocará el movimiento del fluido. Éste se mueve y se deforma continuamente mientras se siga aplicando el esfuerzo cortante.

Existen dos clases de fluidos, líquidos y gases. Nuevamente la distinción es técnica y le concierne al efecto de las fuerzas cohesivas de sus moléculas. Un líquido, al estar compuesto por agrupaciones de moléculas muy cercanas con enormes fuerzas cohesivas, tiende a conservar su volumen y formará una superficie libre en un campo gravitatorio si no está limitado por arriba. En cambio, las moléculas de gas están muy separadas entre sí, con fuerzas cohesivas despreciables, un gas es libre de expandirse hasta que encuentre paredes que lo confinan. Un gas no tiene volumen definido y por sí mismo, sin confinamiento, forma una atmósfera que es esencialmente hidrostática (Mott, 2009).

1.3.3. Propiedades Físicas de Fluidos

El comportamiento de un fluido en movimiento es muy complejo, por lo que no se tiene conocimiento de todas las leyes fundamentales que rigen el movimiento de los mismos.

Por esta razón para el diseño de sistemas hidráulicos, además de la teoría de mecánica y termodinámica, se basa en gran parte de experimentación.

Compresibilidad. – Propiedad que se refiere al cambio de volumen que puede sufrir una sustancia cuando sufre un cambio de presión. Se mide mediante el módulo volumétrico de elasticidad o módulo volumétrico, el cual se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \text{ (ecuación 1.3.3.1)}$$

Donde:

Δp : Diferencia de presión.

ΔV : Diferencia de volumen.

V: Volumen inicial.

E: Módulo volumétrico.

Tabla 1.3.3.1 Valores del módulo volumétrico para líquidos seleccionados, a presión atmosférica y temperatura ambiente (20°C)

Líquido	Módulo volumétrico	
	(psi)	(MPa)
Alcohol etílico	130 000	896
Benceno	154 000	1 062
Aceite para maquinaria	189 000	1 303
Agua	316 000	2 179
Glicerina	654 000	4 509
Mercurio	3 590 000	24 750

Fuente: (Mott, 2009)

Los líquidos son poco compresibles por lo que requieren un cambio brusco en la presión para lograr un cambio pequeño en su volumen, reflejándose en el valor del módulo volumétrico.

No se utiliza el término de módulo volumétrico para los gases, a estos se aplican principios de la termodinámica para determinar cambio de volumen en los mismos.

Densidad. – Propiedad que indica la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia. Se lo expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (ecuación 1.3.3.2)}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido.

m: masa.

V: volumen

Peso específico. – Representa la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Se lo expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (ecuación 1.3.3.3)}$$

Donde:

γ : Peso específico de la sustancia.

W: Peso.

V: Volumen

Viscosidad. – Propiedad ligada a la resistencia que opone un fluido a deformarse por algún esfuerzo cortante, es decir que conforme se mueve un fluido dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante es la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra.

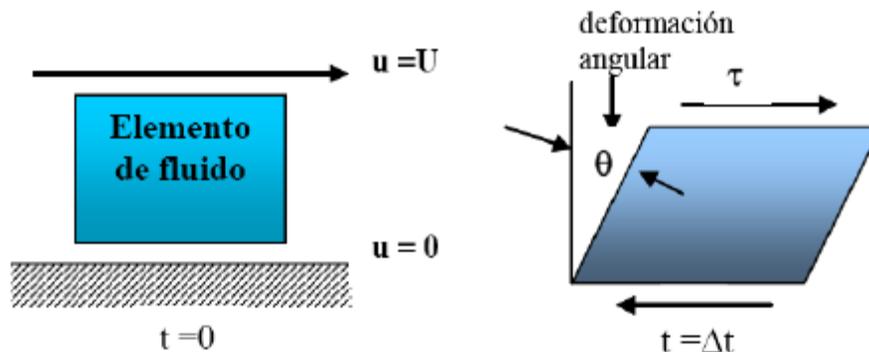


Figura 2.3.3.1 Deformación resultante de la aplicación de fuerza de cortadura constante

Fuente: (Catalunya, 2011)

Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ (Ecuación 1.3.3.4)}$$

Donde:

F: Fuerza.

A: área

τ : Esfuerzo cortante

Esta resistencia a un esfuerzo de cortadura depende de la fuerza de cohesión y la facilidad que tienen de transferir cantidad de movimiento las moléculas del fluido.

La relación que existe entre la tensión de cortadura y la velocidad de deformación es lo que define a los fluidos Newtonianos (en el caso de tener una relación lineal) y no Newtonianos (relación no lineal).

Existen dos tipos de viscosidades:

Viscosidad absoluta o dinámica. – Obtenida de la ecuación de la Ley de Newton de la viscosidad, donde nos dice que, para una velocidad angular de deformación dada del fluido, la tensión de cortadura es directamente proporcional a la viscosidad.

Esta es la que interviene en el cálculo del número de Reynolds.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \text{ (Ecuación 1.3.3.5 Ley de Newton de la viscosidad)}$$

Viscosidad cinemática. – Es el cociente de la viscosidad dinámica y la densidad del fluido.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ (Ecuación 1.3.3.6)}$$

Presión de Vapor. – Propiedad que permite determinar en que condiciones se formarán burbujas de vapor en un fluido. “Cuando en una sustancia existe en equilibrio en forma tanto de vapor como de líquido, hay un balance del vapor que sale del líquido debido a la energía térmica y la

condensación de vapor en el líquido, provocado a su vez por las fuerzas de atracción entre las moléculas. En estas condiciones, la presión del líquido se denomina presión de vapor” (Robert Mott, 2006, p. 412).

Cuando dicha presión de vapor logra vencer la presión a la cual está siendo sometido el fluido, este empieza a volatilizarse; es decir que un líquido es más volátil que otro en relación a cuan mayor sea su presión de vapor en iguales condiciones.

1.3.4. Número de Reynolds.

Se debe su nombre a Osborne Reynolds (1842-1912), ingeniero británico quien introdujo el número de Reynolds en 1883. Se lo determina mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} \text{ (ecuación 1.3.4.1)}$$

Donde

Re: Número de Reynolds (adimensional)

V: velocidad del fluido a través de la tubería.

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad dinámica del fluido

Nota: Se debe usar unidades parecidas de tal modo que simplificándose dé un número de Reynolds adimensional.

El número de Reynolds nos da una relación cualitativa de efectos entre la inercia y la viscosidad del fluido.

En la siguiente tabla podemos encontrar como se relaciona el número de Reynolds y el tipo de comportamiento que tiene un fluido cuando fluye a través de una tubería circular.

Tabla 1.3.4.1 Relación entre número de Reynolds y su comportamiento

Rango	Comportamiento
$0 < Re < 1$	Flujo laminar lento altamente viscoso
$1 < Re < 100$	Flujo laminar con fuerte dependencia del número de Reynolds
$100 < Re < 10^3$	Flujo laminar.
$10^3 < Re < 10^4$	Transición del flujo laminar a la turbulencia
$10^4 < Re < 10^6$	Flujo turbulento con moderada dependencia del número de Reynolds
$10^6 < Re < \infty$	Flujo turbulento con débil dependencia del número de Reynolds

Fuente: (White, 2009).

En la siguiente imagen se puede apreciar la formación de una ráfaga turbulenta del flujo en un tubo, donde (a) y (b) son cerca de la entrada; (c) un poco alejada de la entrada; (d) lejos de la entrada.

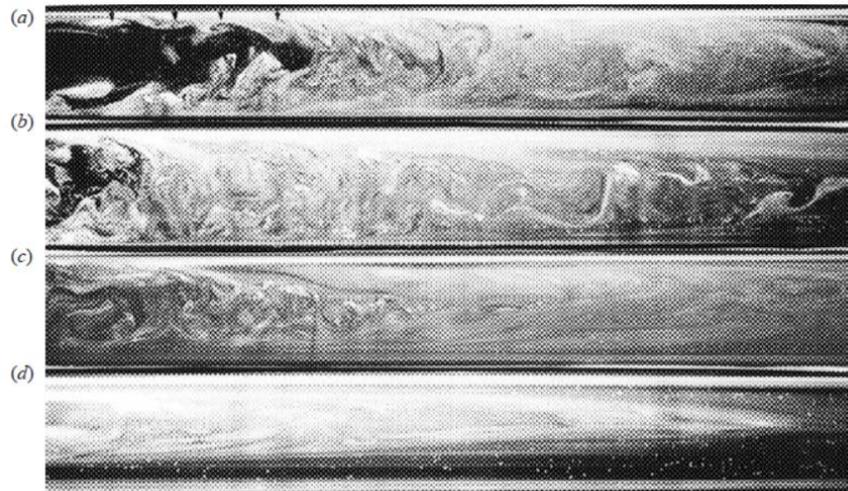


Figura 1.3.4.1 Formación de ráfaga turbulenta de un fluido que fluye por una tubería.

Fuente: (Cambridge University Press)

1.3.5. Ecuaciones Fundamentales de Conservación.

Existen tres ecuaciones fundamentales que rigen la cinemática de los fluidos: ecuación de la cantidad de movimiento, continuidad y energía; en las cuales tratan de explicar la conservación de la cantidad de movimiento, masa y energía respectivamente.

1.3.5.1. Conservación de la Cantidad de Movimiento

El impulso de la fuerza aplicada es igual a la cantidad de movimiento que provoca, dicho de otro modo, el incremento de la cantidad de movimiento de cualquier cuerpo es igual al impulso de la fuerza que se ejerce sobre él.

La razón de cambio de la cantidad de movimiento es la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo, es decir que, si la resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es nula, su momento lineal o **cantidad de movimiento** es constante.

1.3.5.2. Conservación de la masa: Ecuación de Continuidad

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones de un conducto o tubo de corriente establece que la masa que entra es igual a la masa que sale. Por tanto, se puede expresar como $Q_1=Q_2$, donde Q_1 es el caudal en el extremo inicial y Q_2 en el extremo final.

Hay que recordar que Caudal (Q) es el resultado de multiplicar la velocidad del fluido con el área transversal del tubo de corriente.

1.3.5.3. Conservación de la Energía

Principio de Bernoulli. – El teorema de Bernoulli es una aplicación directa del principio de conservación de energía, es decir que si el

fluido no intercambia energía con el exterior debe de permanecer constante.

Este teorema considera los tres únicos tipos de energía que posee el fluido que pueden intercambiar de un punto a otro de la conducción, siendo energía cinética, energía potencial gravitatoria y la energía debida a la presión de flujo (hidrostática). (Catalunya, 2011)

En la siguiente ecuación se representa los tres únicos tipos de energía que pueden variar de un punto a otro en la conducción de un fluido a través de una tubería indicadas anteriorente:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (\text{Ecuacion 1.3.5.3.1})$$

Siendo

Energía cinética: $\frac{V^2}{2g}$

Energía potencial gravitatoria: Z

Energía por Presión de flujo: $\frac{P}{\rho g}$

Al ser cada uno de estos términos energía por unidad de peso, ya sea en el SI con las unidades $\frac{N*m}{N}$ o en el Sistema Tradicional de Estados Unidos $\frac{lb*ft}{lb}$, al aparecer la fuerza tanto en el numerador como en el denominador se proceden a cancelar y por ello se interpreta como una altura sobre un nivel de referencia en metros o pies.

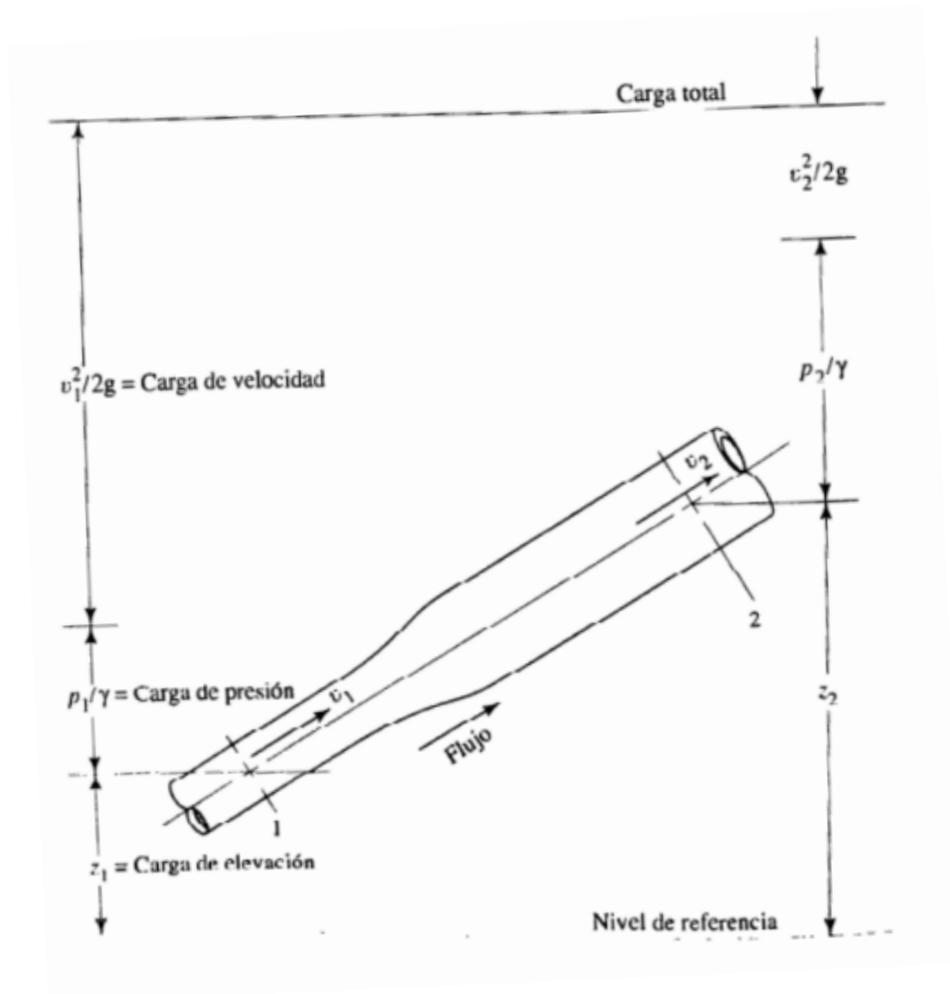


Figura 1.3.5.3.1 Carga de presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total

Fuente: (Mott, 2009)

1.3.6. Pérdidas Energéticas en Sistemas Hidráulicos.

Las instalaciones por conducción forzada pueden ramificarse en unidireccionales, ramificadas o redes de distribución. A mayor complejidad en el sistema más difícil resultará describirlo por medio de ecuaciones simples

Las pérdidas de energía en una instalación son una manifestación de la resistencia asociada al flujo de fluido hidráulico, por lo que se deben reducir en lo posible para que el rendimiento de la instalación no se reduzca. Se conoce que una instalación de mayor diámetro da lugar a tener menos pérdida para una misma longitud de conducto, pero también tiene un mayor costo de montaje y mantenimiento.

1.3.6.1. Pérdidas Energéticas por Fricción

Las pérdidas lineales también llamadas primarias, continuas o por fricción corresponden a pérdidas de energía por unidad de peso que se producen en los tramos donde el movimiento es permanente y uniforme, es decir que representa las pérdidas de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto de rozamiento

1.3.6.2. Pérdidas Energéticas por Accesorios

Las pérdidas singulares, secundarias o por accesorios también son por unidad de peso, pero estos se localizan en elementos puntuales de la instalación tales como codos, derivaciones, válvulas, ensanchamientos, etc.

1.3.7. Sistema de Bombeo

1.3.7.1. Conceptos Básicos

Se tienen dos conceptos básicos que se usarán a lo largo de los cálculos a efectuar para la selección de bombas en redes hidráulicas:

Altura total de aspiración, aquella carga de presión a la entrada de la bomba, siendo la suma algebraica de la altura estática de aspiración (distancia de la superficie libre del líquido al eje de la bomba), presión existente sobre el líquido y pérdidas de carga por rozamiento de la tubería de aspiración. Los dos primeros

sumandos pueden ser positivos o negativos, pero el tercero es siempre negativo.

Altura total de impulsión, representa la carga energética que se debe transferir para impulsar el fluido desde la bomba al resto de tubería en la red hidráulica diseñada.

Carga Total de bomba, es la diferencia entre la altura total de aspiración y la altura total de impulsión. (McCabe, 1991)

La Carga Total de la Bomba representa la energía total que se debe transferir a un fluido para que pueda fluir a través de una red hidráulica, considerando la energía necesaria tanto para la aspiración del fluido desde el tanque de abastecimiento hasta la bomba, como para su impulsión a través de la red de tuberías.

1.3.7.2. Cavitación en Redes Hidráulicas

Fenómeno físico en el cual el líquido que fluye a través de una red hidráulica pasa a estado gaseoso y en un instante vuelve al estado líquido. Por lo tanto, posee dos fases:

Fase 1: Cambio de estado líquido a estado gaseoso.

Fase 2: Cambio de estado gaseoso a estado líquido.

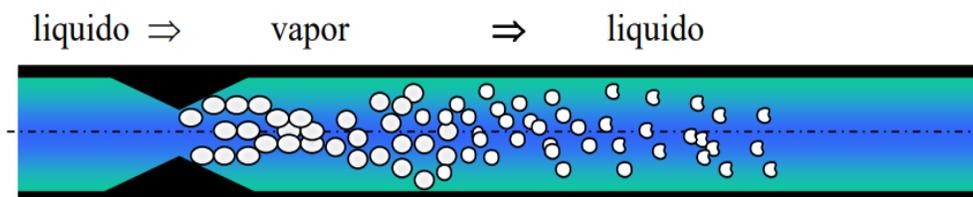


Figura 1.3.7.2.1: Fenómeno de Cavitación en tuberías

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014)

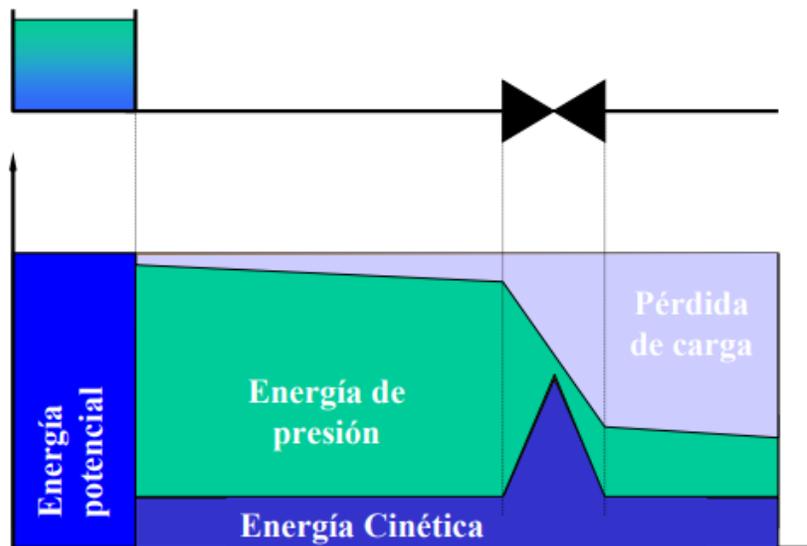
Esto se debe a que la presión a la cual se ve sometida al agua es inferior a su presión de vapor. Se encuentra estas pérdidas de

presión principalmente en accesorios que puedan afectar la velocidad del flujo como por ejemplo las válvulas.

Al circular un fluido a través de una tubería, como se vio anteriormente contiene una cierta cantidad de energía distribuida como energía potencial, energía de presión, energía cinética y las pérdidas de carga.

Entonces al momento de que inicia su recorrido el fluido a través de la tubería y ocurre que una válvula esta semiabierta o es cerrada drásticamente la distribución de la energía empieza a variar según el grado de estrangulamiento.

A continuación, mediante un gráfico se detalla esta distribución energética y como varía en la zona de estrangulamiento.



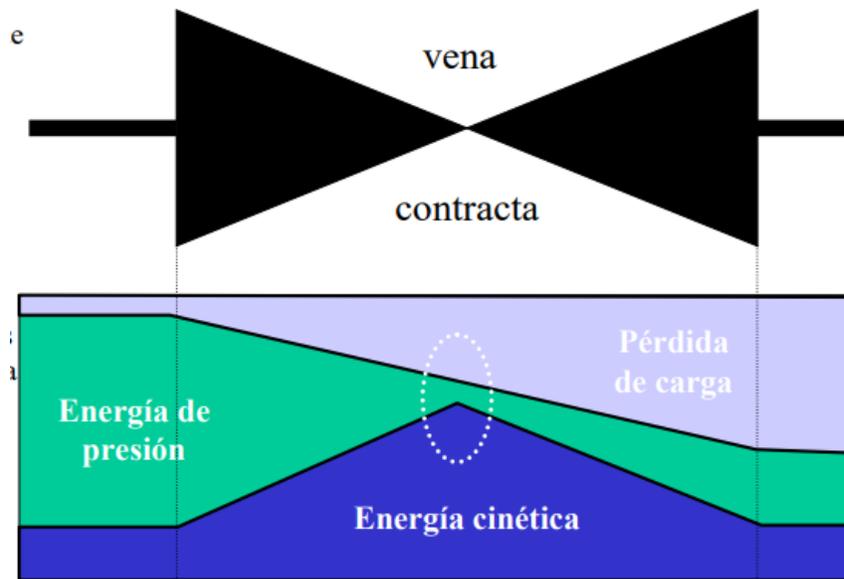


Figura 1.3.7.2.2 Evolución de los Tipos de energía de un fluido a través de una tubería.

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014)

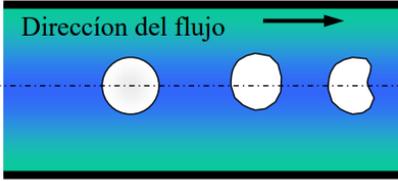
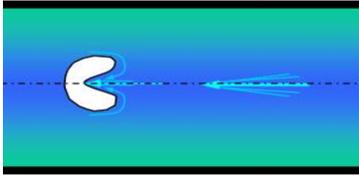
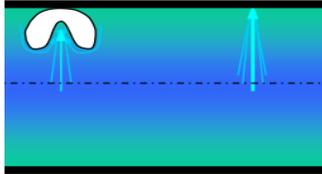
A causa del estrechamiento de sección del paso del fluido, en la vena contracta, se puede apreciar un aumento considerable en la energía cinética del sistema y un descenso drástico de la cantidad de energía de presión.

Entonces si la presión del sistema disminuye podría darse el caso que esté por debajo de la presión de vapor del fluido, dando lugar a que pase de estado líquido a estado gaseoso, pero al pasar de la zona de estrechamiento la distribución energética vuelve a variar considerablemente favoreciendo a la energía de presión por lo cual estas burbujas de vapor se deforman e implotan.

Esta implosión causa que el agua que rodea la burbuja de vapor se acelere hacia el interior de las mismas formando una hendidura, dando lugar a un micro-chorro que golpea las paredes del cuerpo de accesorio o tubería a una velocidad mayor a 1000

metros por segundo, erosionando los materiales a nivel molecular (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014).

Tabla 1.3.7.2.3: Descripción gráfica de la deformación de burbuja de vapor por aumento de energía de presión.

En el centro de la tubería	En la pared de la tubería
	
<p>La burbuja de vapor totalmente desarrollada empieza a deformarse debido al incremento de la energía de presión.</p>	
	
<p>Al momento de deformarse el agua que rodea a la burbuja empieza a ingresar en el interior con una velocidad mayor de 1000 metros por segundo.</p>	

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014)

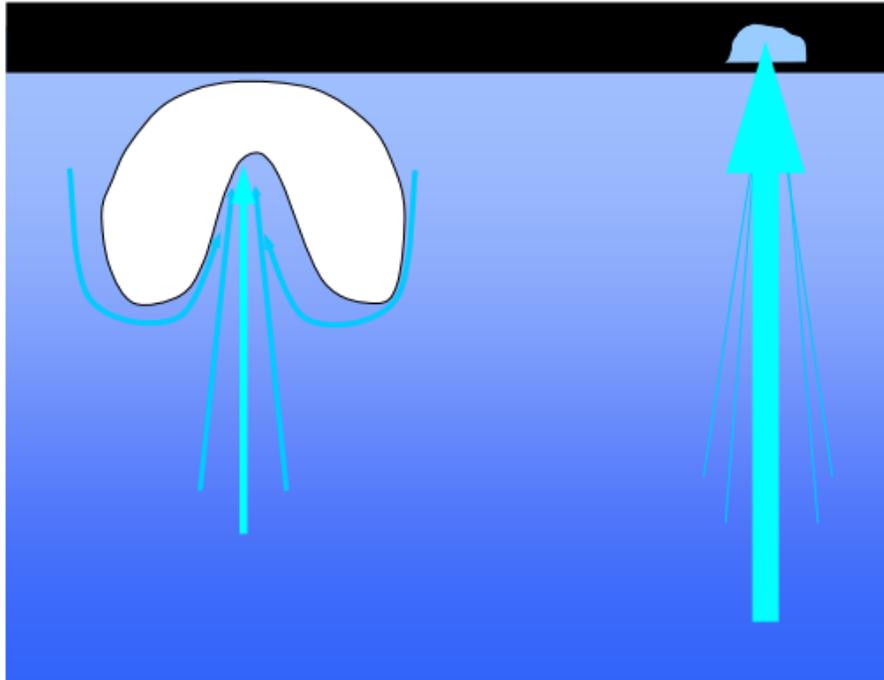


Figura 1.3.7.2.4 Formación de micro-chorro y golpe contra paredes de tubería.

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014)

El fenómeno de cavitación es muy común en los sistemas hidráulicos y se lo puede detectar cuando se presente en el mismo:

- Golpeteos y ruidos.
- Vibraciones.
- Erosión del material



Figura 1.3.7.2.5 Daños en accesorios por Cavitación

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2014)

1.3.7.3. Carga de Succión Neta Positiva (NPSH)

En el proceso de selección de bomba se debe garantizar que las condiciones a las que ingresa el fluido a la bomba correspondan a un flujo completo de líquido. En la zona de succión, en las tuberías, debe de existir una presión tal que no permita el desarrollo de burbujas de vapor dentro del fluido en movimiento (cavitación).

Al fabricar una bomba, con el fin de evitar cavitación, se prueba cada diseño para determinar el nivel de presión de succión que se requiere y reportan los resultados como la carga de succión positiva neta requerida (NPSH_R) de la bomba para cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y carga total sobre la bomba.

Por lo tanto, es responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo garantizar que la carga de succión neta positiva disponible (NPSH_A) esté por encima de NPSH_R,

Normalmente, por estándares de ANSI (American National Standards Institute) y HI (Hydraulic Institute), se trabaja con un margen mínimo de 10% a sobrepasar, es decir:

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R$$

1.3.7.4. Potencia requeridas por Bombas

La potencia se define como la rapidez a la que se realiza un trabajo. En mecánica de fluidos se modifica dicho enunciado y se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere la energía al fluido para que pueda circular a través de red de tuberías. (Robert Mott)

1.3.7.5. Curvas Características de Bombas

Por lo general, las curvas características de bombas se trazan para la velocidad constante de giro del eje n (en rpm).

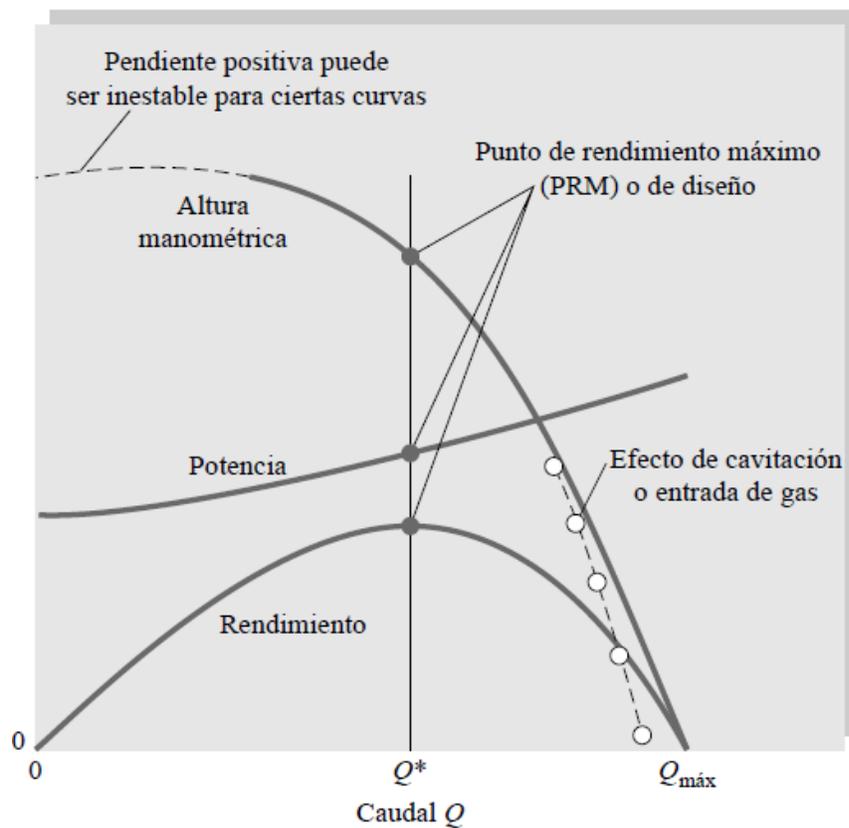
Como variable independiente básica se toma El caudal Q , normalmente dado en GPM para líquidos y pies cúbicos por minuto para gases y como variables dependientes la altura manométrica.

En la siguiente figura se muestra las curvas características típicas de una bomba centrífuga. Se puede apreciar que a caudales bajos la altura manométrica se mantiene casi constante, decreciendo a cero a caudal máximo, el mismo que va a depender de la velocidad de giro y el tamaño del rotor.

El rendimiento η siempre es nulo cuando no hay flujo y cuando se trabaja con caudal máximo, alcanzando su máximo entre 80 y el 90 %, para caudales alrededor de $0.6Q_{\text{maximo}}$.

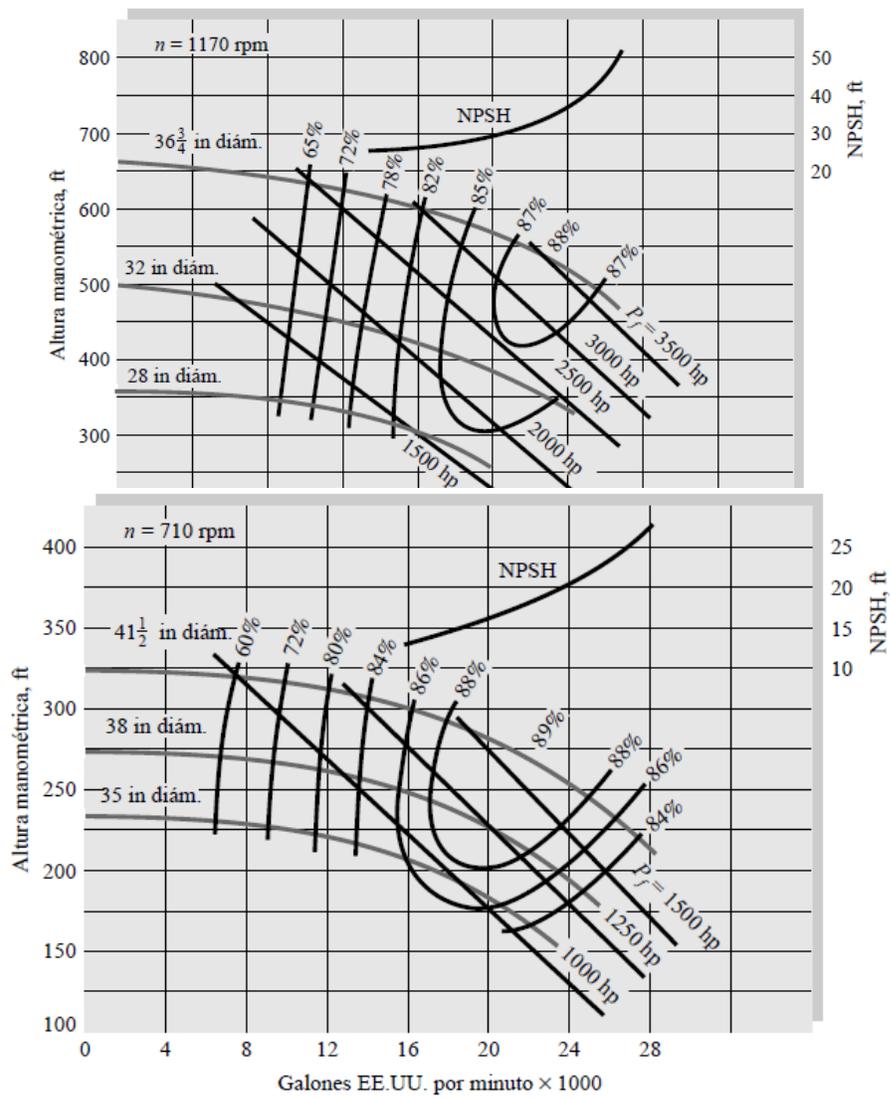
Los puntos de Rendimiento Máximo o de Diseño son: Q^* es el caudal de diseño, rendimiento $n_{\text{máximo}}$, altura manométrica H y potencia P^* . En las proximidades de $n_{\text{máximo}}$ se desea que la curva de rendimiento sea plana, de tal modo que se disponga de un rango de operación lo más amplio posible.

De acuerdo con la ecuación $n = \rho g Q H / P$, donde n sería dependiente tanto del caudal como la potencia (White, 2009).



Gráfica 1.3.7.5.1 Curvas características de una bomba centrífuga típica con velocidad de giro constante. Unidad arbitraria.

Fuente: Fuente: (White, 2009), página 734



Gráfica 1.3.7.5.2 Curvas características medidas en dos modelos de una bomba centrífuga para agua encontradas en el mercado.

Fuente: Fuente: (White, 2009), página 735

1.4. Descripción de Accesorios y Equipos utilizados en Sistemas Hidráulicos contra Incendios

1.4.1. Bocatomas contra Incendios y Conexión Siamesa

1.4.1.1. Bocatomas contra Incendios

Los métodos de respuesta rápida e inmediata contra siniestros son indispensables en el diseño de sistemas contra incendios, específicamente en el sistema hidráulico del mismo un método usado es la instalación de las bocatomas.

Se conoce que, en caso de un siniestro, el primer método de respuesta es el uso de extintores, pero en caso de no ser suficiente se tiene el respaldo de los bocatomas y rociadores para incendios.

Estas bocatomas son parte del gabinete de incendios, el cual adicional al ya mencionado, va equipado de la siguiente manera:

- Cajetín metálico con puerta de vidrio colapsable.
- Soporte para mangueras.
- Dos Tramos de mangueras de lona y caucho, pero de chaqueta, con resistencia mínima de 200 libras por pulgada cuadrada y longitud mínima de 15 metros.
- Extintor.
- Hacha.
- Pitón.

Clases de Sistemas para Bocatomas

Sistema de Clase I. – Sistema que provee conexiones de manguera de 65 mm (2 ½ pulgadas) para suplir agua para uso del cuerpo de bomberos o personal entrenado.

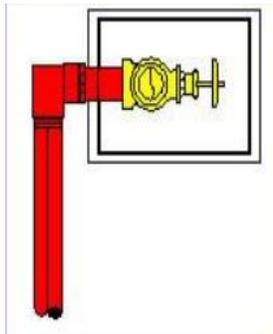


Figura 1.4.1.1.1 Bocatoma Clase I

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Litoral)

Sistema de Clase II. – Sistema que provee conexiones de manguera de 38 mm (1 ½ pulgadas) para suplir agua para uso del cuerpo de bomberos o personal entrenado.

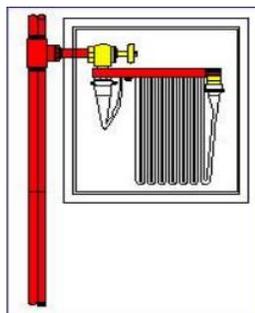


Figura 1.4.1.1.2 Bocatoma Clase II

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Litoral)

Sistema de Clase III. – Sistema que provee conexiones de manguera de 38 mm (1 ½ pulgadas) y 65 mm (2 ½ pulgadas) para suplir agua para uso del cuerpo de bomberos o personal entrenado.

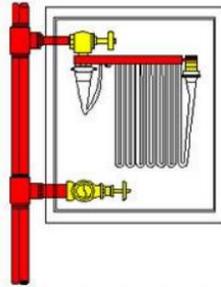


Figura 1.4.1.1.3 Bocatoma Clase III

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Litoral)

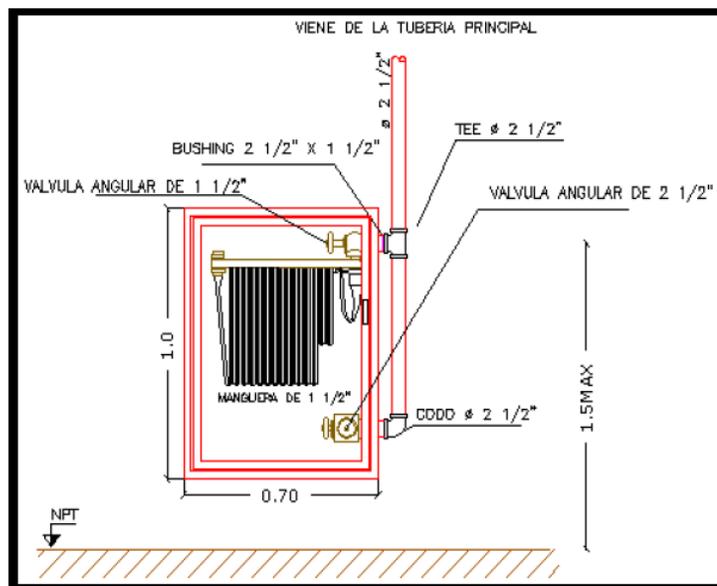


Figura 1.4.1.1.4 Detalle del diseño de Sistema de Bocatomas clase III

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Litoral)

Se puede tener como referencia el Gráfico 2.3.2.1.4 para determinar los accesorios que se deben usar en una instalación del gabinete contra incendios con sistema de bocatomas clase III.

1.4.1.2. Conexión Siamesa o Bocas de Impulsión

Se debe de tener en cuenta que cuando ocurre un conato de incendio que no se controló a tiempo y evolucionó

transformándose en un incendio, el dispositivo de control que utiliza el Cuerpo de Bomberos para conectar su camión-bomba es la conexión siamesa la cual cumple con ciertos requisitos estandarizados, tales como:

- Bocas de descarga de 2 ½ pulgadas de diámetro interior simple.
- Anillos giratorios (bridas hembra) con rosca tipo NH.
- Instalación a una altura de 90 centímetros del nivel del piso.
- Estampado con la leyenda USO EXCLUSIVO DEL CUERPO DE BOMBEROS con letras de 5 centímetros de alto.
- Cerradura de acceso de fácil abertura.
- A continuación de las bocas de impulsión debe de ir una válvula de retención y una llave tipo bola.

El cumplimiento de estos requisitos permite que el Cuerpo de bomberos pueda conectar sus equipos y mangueras a las bocas de descarga de la conexión siamesa de donde ocurre el siniestro.

1.4.2. Accesorios varios

Para una buena distribución de la red hidráulica del sistema contra incendios, es necesario el uso de distintos accesorios los cuales nos van a permitir que el sistema instalado llegue a todos los lugares deseados.

Se debe garantizar que el diseño de los mismos esté certificado y aprobado los estándares de calidad y eficiencia que exige la autoridad competente, garantizando así su capacidad de soportar caudales y presiones del sistema de bombeo.

En la siguiente tabla se ilustrará los accesorios de uso más común en el diseño de redes sistemas hidráulicas para sistemas contra incendios.

	
<p>TEE Mecánica Reducida Ranuradas o roscadas</p>	<p>Acople Rígido/Flexible Para uniones ranuradas</p>
	
<p>Reducción Ranurada HD-certificadas</p>	<p>Cruz Ranurada con Reducción HD-Diferentes diámetros</p>
	
<p>Reducción Ranurada HD-certificadas</p>	<p>Acople con Reducción Ranurada HD-diferentes diámetros</p>

	
<p>TEE Ranurada</p>	<p>Brida con Adaptador</p>
	
<p>Codo 90° Ranurado</p>	<p>Codo 45° Ranurado</p>
	
<p>Codo 22.5° Ranurado</p>	<p>Codo 11.25° Ranurado</p>

	
<p align="center">Cap-Tapón Ranurado</p>	<p align="center">Brida con Adaptador</p>
	
<p align="center">Cruz Mecánica</p>	<p align="center">Todo Tipo de Accesorios Ranurados HD y Diferentes diámetros</p>
	
<p align="center">Válvulas Ranuradas</p>	<p align="center">Tubos limpios</p>

Figura 1.4.3.1 Catálogo de accesorios

Fuente: SECOI Ltda.

A continuación, en la tabla 1.4.3.2 se detalla los estándares que deben de cumplir los accesorios utilizados en redes hidráulicas contra incendios según el material y a la normativa que se rige.

Tabla 1.4.3.2 Materiales y dimensiones de Accesorios

Materiales y Dimensiones	Norma
<p>Hierro fundido Accesorios roscados de hierro gris Bridas y accesorios Bridados de Tubería de Hierro Gris</p>	<p>ANSI B16.4 ANSI B16.1</p>
<p>Hierro maleable Accesorios Roscados de Hierro Maleable</p>	<p>ANSI B16.3</p>
<p>Hierro dúctil Accesorios de hierro dúctil y hierro gris para agua</p>	<p>AWWA C110</p>
<p>Acero Accesorios soldados al tope en acero Forjado hecho en fábrica Terminales soldados al tope Accesorios de Norma para accesorios De tubería de acero forjado al carbono Y acero aleado para servicio de Temperatura moderada y alta Bridas de tuberías y accesorios bridados Accesorios forjados de manguito soldado y roscados</p>	<p>ANSI B16.9 ANSI B16.25 ASTM A 234 ANSI B16.5 ANSI B16.11</p>
<p>Cobre Accesorios para Juntas de Presión de cobre Forjado y soldados en cobre aleado</p>	<p>ANSI B16.22</p>

Accesorios para Juntas de Presión soldadas	
En cobre fundido aleado	ANSI B16.18

Fuente: NFPA 14 Instalación de Sistemas de tubería vertical y de mangueras

1.4.3. Métodos de conexión

Las secciones de tubería de acero deben de conectarse por medios roscados, juntas mecánicas ranuradas, bridas u otros accesorios aprobados.

Debe de permitirse la instalación de accesorios deslizables cuando la tubería se asegura de manera mecánica para evitar deslizamientos.

1.4.4. Tuberías

Para el diseño de redes hidráulicas en sistemas contra incendios, toda tubería debe de cumplir o exceder los estándares citados en la tabla 2.4.5.1, obtenidos en la Normativa para Instalaciones de tubería vertical y mangueras NFPA 14.

Tabla 1.4.4.1 Materiales y dimensiones de tubería

Materiales y Dimensiones	Normativa Que Cumplir
<p>Tubería Ferrosa Tubería de Hierro-Dúctil, vaciada centrífugamente para agua u otros líquidos.</p>	AWWA C151
<p>Tubería de acero soldada por Resistencia Eléctrica</p>	ASTM A 135
<p>Acero soldado y sin costuras</p>	

Revestida con zinc por Inmersión en caliente (Galvanizada)	ASTM A 795
Tubería de acero soldada y sin costuras: Acero Negra y revestida con zinc por inmersión en caliente, soldada y sin costuras.	ASTM A 53
Tubería de cobre (Estirado, sin costuras) Especificación de Norma para tubo de cobre Sin costuras Especificación de Norma para tubo de cobre para agua Sin costuras Especificación de Norma por Requisitos Generales Para tubo de cobre forjado sin costuras y Aleaciones de tubo de cobre.	ASTM B 75 ASTM B 88 ASTM B 251
Metal de aporte para soldadura fuerte: Especificación para metales de aporte para Soldadura fuerte y soldadura con bronce	AWS A5 8

Fuente: (National Fire Protection Association, 2016)

Para el diseño de sistemas de Tuberías, un aspecto importante que se debe considerar es la velocidad del fluido en el interior de las conducciones. Para el caso de circulación de isoterma de fluidos incompresible viene determinada por el caudal y diámetro máximo, ya que al sobrepasarlo podría producir un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado.

Estos valores aproximados dependen del tipo de fluido con el que se esté trabajando y el tipo de flujo con el que se opere la red hidráulica, los cuales se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 1.4.4.2 Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: (McCabe, 1991)

Entonces imponiendo la velocidad máxima citadas, dependiendo del sistema hidráulico a diseñar, se puede determinar el diámetro mínimo de conducción que cumpla tanto la normativa como la tabla de referencia. Este valor se lo denomina diámetro óptimo de la conducción, ya que representa el costo mínimo posible, velocidad máxima de circulación y cumplimiento de normativas legales según la aplicación que se le vaya a dar a la red hidráulica.

1.4.5. Bombas

1.4.5.1. Tipos de Bombas

Bombas centrífugas, cuentan con una gran variedad de aplicaciones. Este tipo de bombas están diseñadas para el manejo

de productos de baja viscosidad, no siendo aptas para líquidos fuertemente aireados.

El impulsor o rodete y la carcasa dentro de la que se guía son los principales componentes de las bombas centrífugas, en las cuales el principio de su funcionamiento es la conversión de la energía cinética en energía de presión y velocidad.

En cuanto a sus ventajas tenemos su bajo costo de compra, fácil operación y mantenimiento, la más adaptable a diferentes condiciones de operación.

Bombas de desplazamiento positivo, Existen diversas clases, como las alternativas (pistón) y las rotativas (lóbulos). Están especialmente indicadas para el bombeo de fluidos de viscosidad elevada.

1.4.5.2. Fuerza Motriz para Bombas contra Incendios

El motor de la bomba contra incendio debe de estar dimensionado en base a la potencia requerida por el sistema hidráulico al que va a abastecer de agua.

La forma en que se suministre energía para el mismo va a depender de la fiabilidad, adecuaciones, economía y seguridad, según consideren las normativas legales aplicables y autoridades competentes. Entre estos tenemos:

Motores eléctricos, como su denominación lo indica utilizan energía eléctrica por lo que tienden a ser más costosa su instalación debido a que por normativa legal requieren su propio generador eléctrico.

Cuando están en funcionamiento con los valores nominales de capacidad, presión y velocidad de la bomba, la tensión de la red eléctrica no debe de caer a más del 5% o por debajo de lo que indique la placa de identificación del motor.

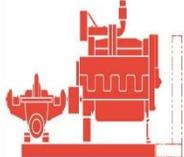
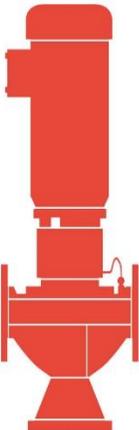
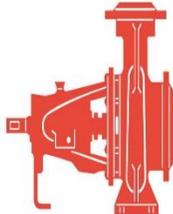
Motores a Diesel, son accionados por combustión interna de diesel, siendo más eficiente y confiable los de ignición por compresión. Este tipo de motores son independientes del abastecimiento de energía eléctrica de la zona donde opera, pero se debe de tener mayores precauciones de seguridad por el hecho de trabajar con diesel.

1.4.5.3. Bomba Jockey o Auxiliar

Se debe disponer de una bomba Jockey en caso de pérdidas de presión, es decir que cuando la presión del sistema decrece por debajo de la presión pre-ajustada el interruptor de presión activa la bomba auxiliar o Jockey.

Esta bomba auxiliar ayuda a mantener la presión del sistema, suministrando entre 1 al 5% del caudal de la bomba principal y su presión se ajusta entre 5 a 10 psi por encima de la presión de la bomba principal.

Tabla 1.4.5.3.1 Características y Especificaciones de Bombas contra Incendios.

	 			
	Bombas Horizontales Contra Incendio, Listadas UL y ULC, Aprobadas FM	Bombas En-Línea Contra Incendio, Listadas UL y ULC	Bombas de Succión al Extremo Contra Incendio, Listadas UL y Aprobadas FM	Bombas Verticales Contra Incendio, Listadas UL y ULC, Aprobadas FM
Capacidades	250 a 5,000 gmp (57 a 1,136 m ³ /hr)	50 a 500 gmp (11 a 114 m ³ /hr)	Hasta 1,500 gmp (114 m ³ /hr)	250 a 5,000 gmp (57 a 1,136 m ³ /hr)
Carga	92 a 630 pies (28 a 192 metros)	Hasta 406 pies (123 metros)	Hasta 340 pies (104 metros)	92 a 1,176 pies (28 a 359 metros)
Presión	Hasta 640 psi (45 kg/cm ² , 4,414kPa)	Hasta 175 psi (12 kg/cm ² , 1,207 kPa)	Hasta 147 psi (10 kg/cm ² , 1,014kPa)	Según la aplicación
Caballaje	Hasta 800 hp (597 kW)	Hasta 75 hp (56 kW)	Hasta 75 hp (56 kW)	Hasta 600 hp (448 kW)
Motores	Motores eléctricos horizontales, motores diesel y turbinas de vapor	Motores eléctricos verticales con acoplamiento compacto (close coupled)	Motores eléctricos horizontales y motores diesel.	Motores eléctricos verticales y motores diesel con engranes en ángulo recto y turbinas de vapor.

Fuente: (Maquinarias Henriques C.A, 2016)

1.4.6. Tanques de Almacenamiento

Siendo una de las herramientas de mayor importancia en el desarrollo y funcionamiento de sistemas hidráulicos contra incendios, muchas veces los tanques de almacenamiento son menospreciados por los dueños de empresas que buscan ahorrarse el gasto por considerarlo innecesarios,

justificándose con la red pública de agua. En respuesta a esto el comité de la NFPA establece la norma NFPA 22 (Stándar for Water Tanks for Private Fire Protection), aquí se especifican las consideraciones que se deben de tener para el diseño e instalación de tanques privados para protección contra incendios.

Existe una gran variedad de razones para tener un tanque de almacenamiento de agua exclusivo para combatir incendios, entre estas tenemos:

- En el caso de industrias que desarrollan sus actividades en áreas rurales, podría ocurrir que la reserva de agua que tienen los camiones de bomberos no sea suficiente para extinguir el incendio, por lo cual la importancia de tener un tanque de almacenamiento para uso exclusivo del cuerpo de bomberos radica en tener la cantidad suficiente de agua para atacar y eliminar el siniestros, caso contrario necesitarían buscar agua en zonas alejadas beneficiando el crecimiento del fuego y descontrol de la situación.
- Otra situación muy común es el contar con una red pública de agua con flujo insuficiente. Este escenario podría darse tanto en zonas urbanas como rurales en las cuales el flujo de agua no es constante.
- En edificios de gran altura, la carga estática del agua en las tuberías verticales crea presión excesiva por lo cual se puede considerar el dividir el sistema en múltiples zonas verticales, trabajando así con más de un tanque de reserva con su respectiva bomba evitando así trabajar con presiones altas.

1.4.6.1. Tipos de Tanques

Tanques Atmosféricos:

Aquellos que tengan una abertura en algún lugar, a manera de abertura como venteo, lo cual les permite tener total libertad del intercambio de aire entre el exterior e interior del tanque, trabajando

así con la presión atmosférica del lugar como la presión absoluta a la cual está siendo sometida el agua en la parte superior del tanque. Entre los tanques atmosféricos que se pueden usar tenemos:

Tanques elevados. – Están ubicados por encima del sistema contra incendio y dan una ventaja con la carga de elevación para elevar la presión disponible en el sistema hidráulico.

Tanques a nivel del suelo. – Estos tanques, como su nombre lo indica, están a nivel del suelo por lo que requieren equipos para incrementar la presión en el agua como es el uso de bombas contra incendios.

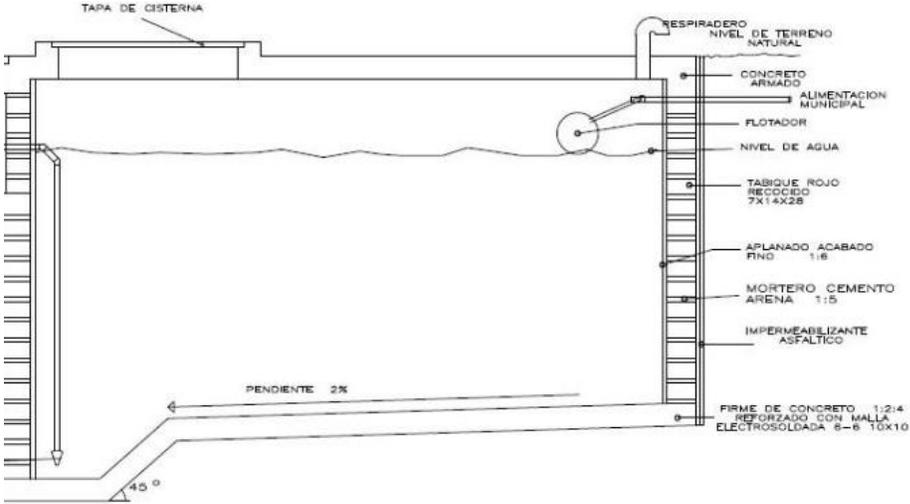
Para este tipo de tanques existe la necesidad de colocar en la base una placa anti-torbellino, la cual consiste en una placa plana y paralela a la parte inferior del tanque con un orificio en la parte central donde se conecta la succión de la bomba. Esto evita que el agua forme vórtices que puedan dañar el equipo de bombeo.

Cisterna. – Contenedores subterráneos en su mayoría, son aplicables en sistemas contra incendios y requieren uso de bombas para la succión e impulsión del agua a través de las tuberías.

Tanques presurizados:

Este tipo de tanques están sellados en su totalidad y se presurizan generalmente por medio de compresores de aire después de haberlos llenado con agua. Tienden a trabajar de buena forma cuando el volumen del aire y agua dentro del tanque corresponden a 1/3 y 2/3 respectivamente. La función del aire presurizado dentro del tanque es el provocar un empuje para incrementar la presión total en el tanque y a su vez a la salida del agua.

Tabla 1.4.6.1.1: Tipo de tanques de almacenamiento

TANQUES ATMOSFÉRICOS	
Tanques Elevados	Tanques a nivel del suelo
	
Cisternas	
	

TANQUES PRESURIZADOS



1.4.6.2. Ubicación de los Tanques

La norma NFPA 22 sugiere cuidar los tanques de almacenamiento de agua de la exposición al fuego y congelamiento. Para estos se debe:

- Localizar el tanque a una distancia mínima de 20 pies de cualquier estructura combustible, caso contrario el material del tanque debe de ser a prueba de fuego.
- Ubicar el tanque en espacios con acceso a medios de calefacción.

1.4.6.3. Dimensionamiento de Tanques

Para el correcto dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, no podemos aferrarnos a la normativa NFPA 22 ya que esta no hace mención de la duración prevista para el suministro de agua; por lo cual este punto deberá ser determinado

por los expertos en sistemas contra incendios, en este caso en la ciudad de Guayaquil sería su correspondiente Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos.

1.4.6.4. Equipamiento de Tanques

Los tanques de almacenamiento requieren:

- Indicador de nivel de agua.
- Tubería de descarga
- Tubería de llenado.
- Tubería de Desalojo de sobrellenado.
- Abertura para limpieza (hueco de hombre).
- Placa anti-torbellino (Tanques de succión).
- Manómetro de presión de aire (Tanques presurizados).

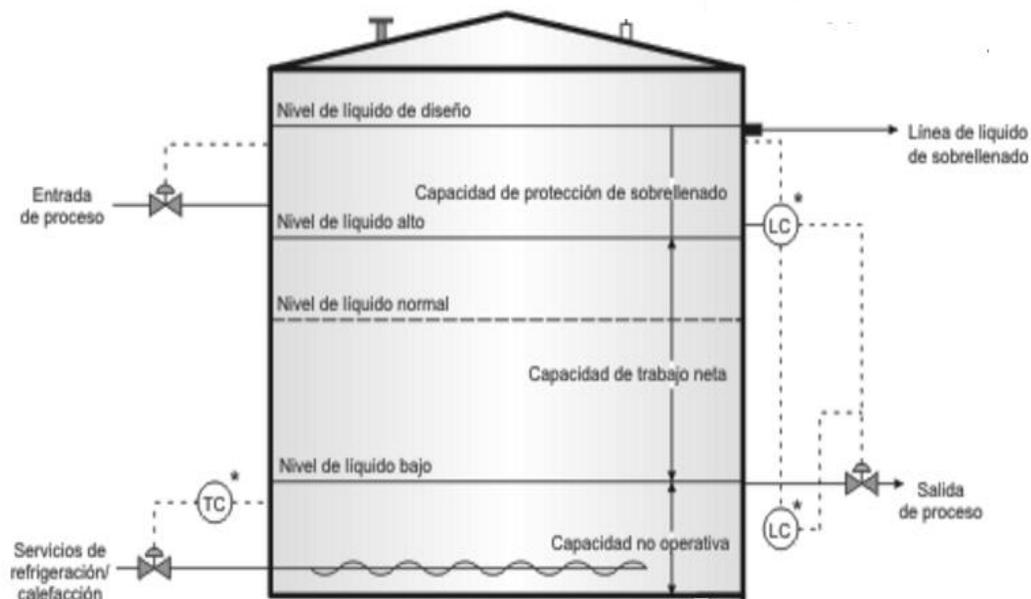


Figura 1.4.6.4.1 Equipamiento en Tanques de almacenamiento

Fuente: (Anónimo, 2000)

CAPÍTULO 2

Metodología

2.1. Alternativas de cálculo para Diseño de Redes Hidráulicas

2.1.1. Cálculo de Pérdidas Energéticas por Fricción

Para el cálculo de estas pérdidas energéticas, diferentes autores han desarrollado ecuaciones que nos permiten calcular las mismas, entre los más importantes tenemos:

Darcy-Weisbach (1875)

A pesar de haber sido desarrollada en el año 1875, esta fórmula es una de las más exactas para cálculos hidráulicos. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \text{ (ecuación 2.1.1.1)}$$

Siendo

f: factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial.

L: Longitud de la tubería.

D: Diámetro de la tubería.

V: Velocidad del fluido.

g: Gravedad

Así mismo para obtener el valor del factor de fricción f existen muchas ecuaciones que me permiten determinarlo, siempre y cuando el sistema cumpla ciertas condiciones. Entre las más importantes tenemos:

Blausius (1911):

$$f = 0.3164 * Re^{-0.25} \text{ (ecuación 2.1.1.2)}$$

Condición

- Tubería lisa
- $Re < 100000$

Prandtl y Von Karman (1930):

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \text{ (ecuación 2.2.1.3)}$$

Condición

- Tubería lisa

Nikuradse (1933):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.71D} \right) \text{ (ecuación 2.2.1.4)}$$

Condición

- Tubería rugosa

Colebrook-White (1939):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.71D} + \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \right) \text{ (ecuación 2.2.1.5)}$$

Condición

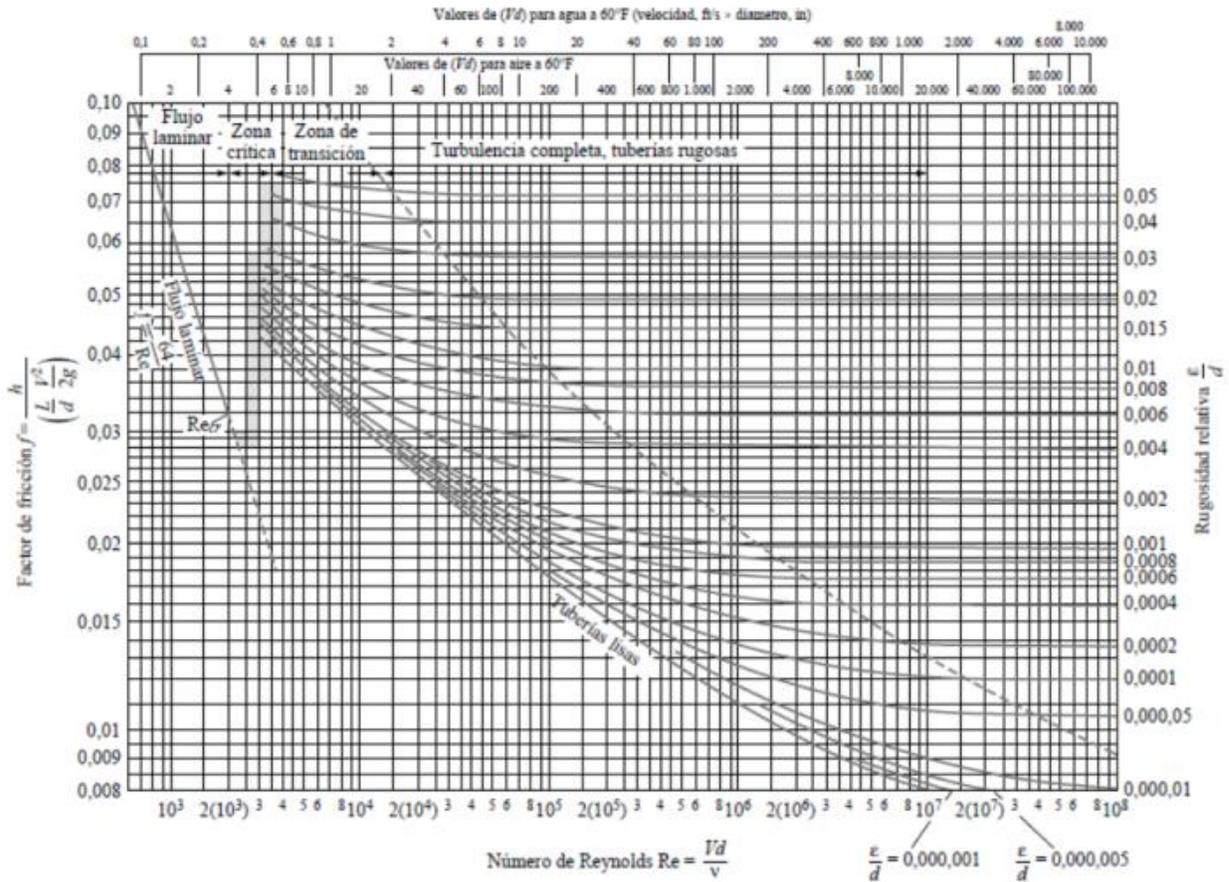
- Tubería rugosa o lisa.

Moody (1944):

Moody logró representar la expresión de Colebrook-White en una gráfica de fácil manejo en la cual f se calcula en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.

El Diagrama de Moody (ver Gráfica 2.2.5.1.1), en el cual con los valores del número de Reynolds (obtenido con la ecuación 2.2.3.1) y la relación $\frac{\epsilon}{D}$

donde ϵ es el coeficiente de rugosidad del material de la tubería (ver tabla 2.2.5.1.1) y D es el diámetro interior de la misma.



Gráfica 2.1.1.1 Diagrama de Moody para el coeficiente de fricción en conductos de paredes lisas y rugosas.

Fuente: (White, 2009)

Tabla 2.1.1.1 Rugosidad Absoluta para conductos comerciales.

		<i>E</i>		
Material	Condición	ft	mm	Incertidumbre, %
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estrizado	0,01	3,0	±70
	Oxidado	0,007	2,0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±50
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	—	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2,0	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

Fuente: (White, 2009)

Manning (1890)

Puede ser utilizada para tuberías de diámetros grandes, pero con el inconveniente que toma en cuenta un coeficiente de rugosidad (*n*) obtenido empíricamente y no considera las variaciones de viscosidad con la temperatura. Se tiene la siguiente ecuación:

$$h = 10.3 * n^2 * \left(\frac{Q^2}{D^{5.33}} \right) * L \text{ (ecuación 2.1.1.6)}$$

Donde

h: pérdida de carga o energía (m)

n: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería.

Q: Caudal (m³/s)

L: longitud de la tubería (m)

Para el coeficiente de rugosidad de Manning se utilizará los valores de la tabla 2.1.1.2.

Tabla 2.1.1.2 Coeficiente de rugosidad de Manning para diferentes tipos de materiales.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING DE MATERIALES				
Material	n		Material	n
Plástico (PE, PVC)	0,006-0,010		Fundición	0,012-0,015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,009		Hormigón	0,012-0,017
Acero	0,010-0,011		Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Hierro galvanizado	0,015-0,017		Revestimiento bituminoso	0,013-0,016

Fuente: (White, 2009)

Hazen-Willians (1905)

La metodología propuesta por Hazen y Willians es válido únicamente para el agua en temperaturas ordinarias (5-25 °C). Se recomienda su uso para redes de distribución en tuberías de fundición y acero.

$$h = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * L \text{ (ecuación 2.1.1.7)}$$

Donde

h: pérdida de carga o energía (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

En la tabla 2.2.1.3 se muestra el valor del coeficiente de rugosidad de Hazen-Willians para diferentes materiales:

Tabla 2.1.1.3 Coeficiente de rugosidad de Hazen-Willians para diferentes tipos de materiales

Tubería o Tubo	Valor C
Hierro fundido o dúctil sin revestimiento interior	100
Acero negro(sistemas secos, incluyendo pre-acción)	100
Acero negro (sistemas húmedos, incluyendo inundación)	120
Galvanizado (todos)	120
Plástico (listados - todos)	150
Hierro fundido o dúctil con revestimiento interior de cemento	140
Tubo de cobre o acero inoxidable	150

Fuente: (National Fire Protection Association, 2016)

2.1.2. Cálculo de Pérdidas Energéticas por Accesorios

Para el cálculo de las pérdidas por accesorios existen varios métodos, entre los más usados tenemos:

Método de las K.

La magnitud de las pérdidas de energéticas que produce la fricción del fluido, las válvulas y accesorios, son directamente proporcional a la carga de velocidad del mismo. Se expresa de la siguiente manera:

$$h_l = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right) \text{ (ecuacion 2. 1. 2. 1)}$$

Donde:

h_l : Pérdida energética por accesorio

v^2 : Velocidad del fluido

g : Gravedad

k : Coeficiente de resistencia del accesorio

Los valores del Coeficiente de resistencia por accesorio K lo encontraremos haciendo uso de la siguiente tabla, donde se detalla por tipo de accesorio y diámetro nominal de la tubería.

Tabla 2.1.2.1 Coeficiente de pérdida K para válvulas abiertas, codos y tes.

	Diámetro nominal, in								
	Roscado				Acoplado				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
Codos:									
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29					
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
«Tes»:									
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41

Fuente: (White, 2009)

2.1.3. Método de Longitudes equivalente

Este método consiste en definir para cada accesorio en el sistema a estudiar una longitud virtual de tubería recta que equivalga a la misma pérdida asociada al accesorio referido mediante la ecuación de pérdida por fricción.

Volviendo a la ecuación de Hazen-Williams (ecuación 2.2.1.7) se trabaja de la siguiente forma:

Al tratarse de un mismo segmento de tubería de mi sistema hidráulico, como se desea agregar la longitud equivalente de los accesorios, lo único que se procede a hacer es sumarle a la longitud de la tubería la longitud equivalente de todos los accesorios involucrados en sido segmento. Por lo tanto, la ecuación de Hazen-Williams para el método de longitud equivalente quedaría de la siguiente manera:

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{tuberia}) \text{ (ecuación 2.1.3.1)}$$

Donde

h_t : Pérdida de carga total por accesorio y tubería (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de tubería (m)

L_e : Longitud equivalente de accesorios (m)

$L_{tuberia}$: Longitud de la tubería (m)

Los valores de las longitudes equivalentes de los accesorios se los obtiene mediante tablas como la que se muestra a continuación:

Tabla 2.1.3.1 Longitudes equivalente en pies para tubería C=120

Accesorios y Válvulas Expresados en Pies Equivalentes de Tubería														
Accesorios y Válvulas	3/4 Pulg.	1 Pulg.	1 1/4 Pulg.	1 1/2 Pulg.	2 Pulg.	2 1/2 Pulg.	3 Pulg.	3 1/2 Pulg.	4 Pulg.	5 Pulg.	6 Pulg.	8 Pulg.	10 Pulg.	12 Pulg.
Codo de 45 grados	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	7	9	11	13
Codo de 90 grados estandar	2	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18	22	27
Codo de vuelta larga de 90 grados	1	2	2	2	3	4	5	5	6	8	9	13	16	18
Tee o cruz con cambio de dirección del flujo de 90 grados	3	5	6	8	10	12	15	17	20	25	30	35	50	60
Válvula mariposa					6	7	10		12	9	10	12	19	21
Válvula de compuerta					1	1	1	1	2	2	3	4	5	6
Anti-retorno giratorio*		5	7	9	11	14	16	19	22	27	32	45	55	65
Válvula de globo				46		70								
Válvula de ángulo				20		31								

Fuente: (White, 2009)

Se debe considerar que, debido a los diferentes diseños de válvulas y accesorios, los valores de longitud equivalente indicados en la tabla 2.2.3.1 son promedio.

Como se indica en la tabla mencionada, estos valores de longitudes equivalentes solo aplican para C=120, por lo tanto, deben de ser corregidos por un factor de corrección, los cuales se indicarán a continuación en la tabla 2.2.3.2.

Tabla 2.1.3.2 Factores de corrección.

Factor multiplicador	Valor C
0,713	100
1,16	130
1,33	140
1,51	150

Fuente: (White, 2009)

2.1.4. Cálculos para elección del Sistema de Bombeo.

2.1.4.1. Cálculo de Carga total de la Bomba para impulsión y Succión

Se hará uso del principio de conservación de energía, agregando a la ecuación del Principio de Bernoulli las pérdidas por fricción de tubería larga y por accesorios, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_B = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_m + h_f \text{ (Ecuación 2.1.4.1)}$$

Donde:

$\frac{V^2}{2g}$: Energía cinética

Z: Energía potencial gravitatoria

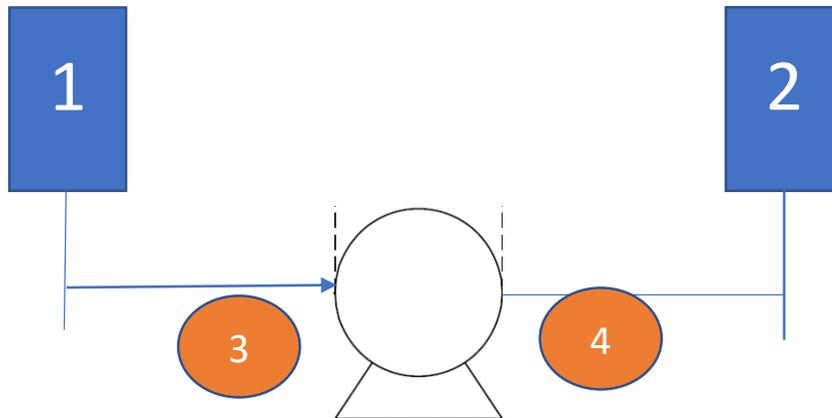
$\frac{P}{\rho g}$: Energía por Presión de flujo

h_B : Altura o Carga Total de la bomba para Impulsión (h_i) o Succión (h_s)

h_f : Pérdida energética por fricción tubería larga

h_m : Pérdida energética por accesorios

Considerando el siguiente caso:



Donde:

1→3 Zona de Succión.

4→2 Zona de Impulsión.

En términos de presión se mide la energía que la bomba entrega al fluido, lo cual se conoce como carga de la bomba expresada en metros de columna del líquido.

Para circulación isotérmica de un fluido en la zona de succión graficada, aplicando la ecuación de Bernoulli (balance de energía mecánica) en un sistema el eje de referencia es la bomba ($Z_1=0$), considerando una red de tubería con sección constante (ecuación de continuidad $\rightarrow V_1=V_3$) tenemos que:

$$\frac{P_3 - P_1}{\rho g} + h_{fT} - Z_1 = 0$$

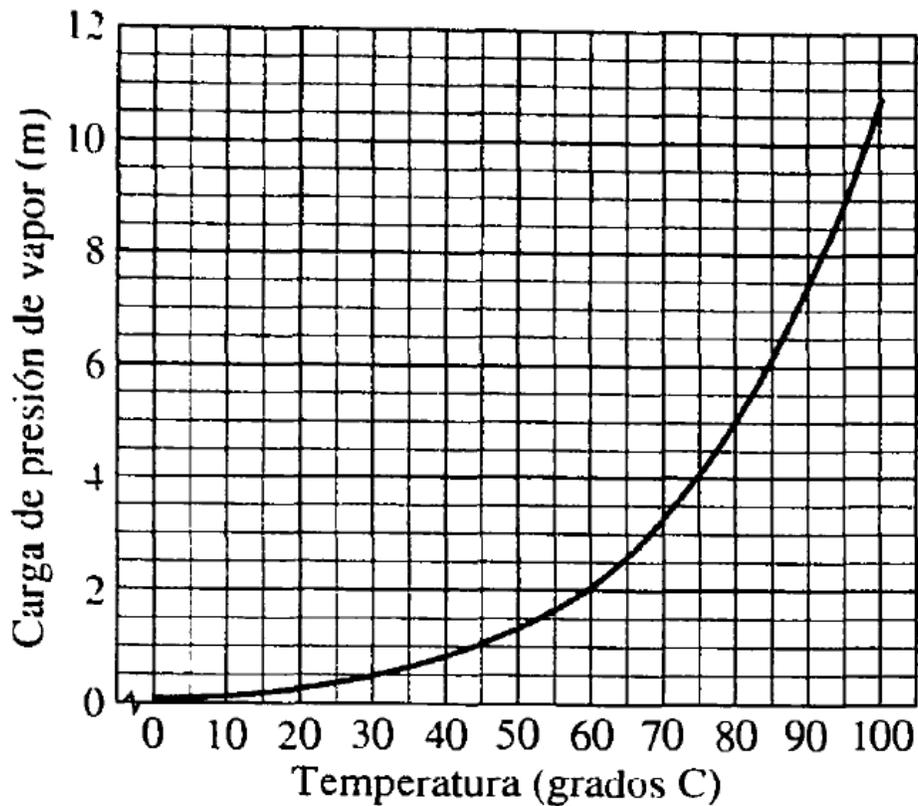
Es decir que la presión a la cual ingresa el líquido a la bomba (**altura total de aspiración**) resulta ser:

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - h_{fT} \text{ (Ecuación 2.1.4.2)}$$

Si a la ecuación 3.2.4.2 le restamos la presión de vapor del líquido obtendremos la Carga de Succión Neta Positiva Disponible (NPSH_A).

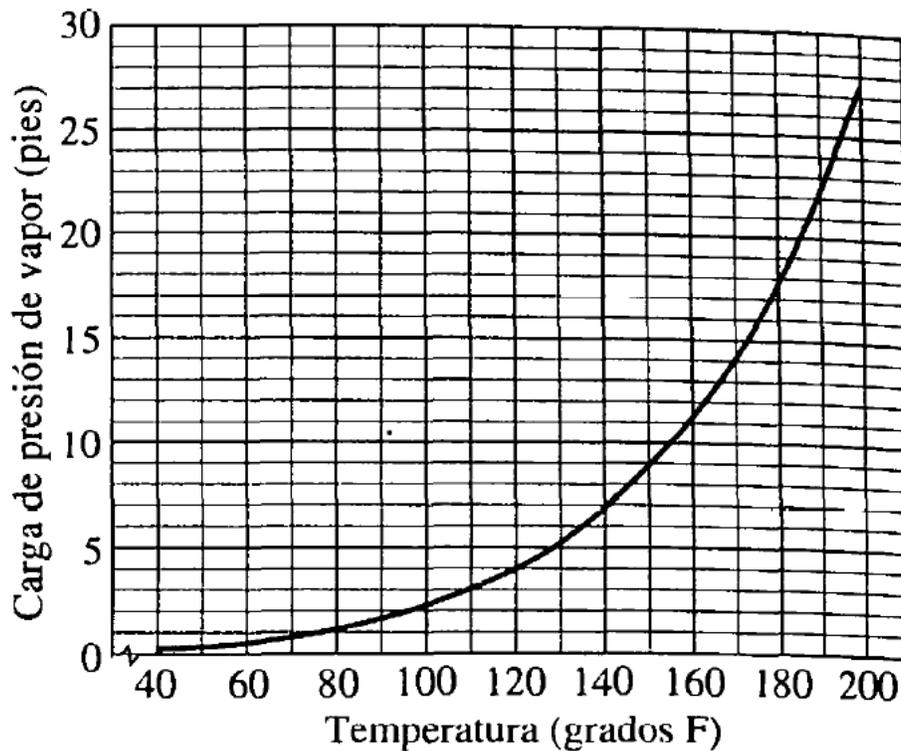
$$(NPSH_A) = \frac{P_3 - P_v}{\rho g} = \frac{P_1 - P_v}{\rho g} + Z_1 - h_{fT} \text{ (Ecuación 2.1.4.3)}$$

Las presiones de vapor para el agua las obtendremos de la siguiente gráfica:



Gráfica 2.1.4.1: Carga de presión de vapor agua (metros) vs Temperatura (grados C)

Fuente: (Mott, 2009)



Gráfica 2.1.4.2: Carga de presión de vapor agua (pies) vs Temperatura (grados F)

Fuente: (Mott, 2009)

Bajo las mismas consideraciones, aplicando balance de energía para la zona de impulsión tenemos:

$$\frac{P_2 - P_4}{\rho g} + h_{fT} + Z_2 = 0$$

De tal modo que la presión a la salida de la bomba (altura total de impulsión) es:

$$\frac{P_4}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + h_{fT} + Z_2 \text{ (Ecuación 2. 1. 4. 4)}$$

La carga Total de la Bomba (h_{TB}) se lo determina mediante la diferencia entre la carga de la bomba por succión y por impulsión.

2.1.4.2. Cálculo de Potencia Teórica y Real requerida del Sistema de Bombeo

Una vez obtenido la Carga Total de la Bomba (h_{TB}) se puede proceder a calcular la potencia que requiere la bomba a usar para un correcto desempeño del sistema hidráulico.

$$P_{teórica} = \rho * g * Q * h_{TB} \text{ (Ecuación 2.1.4.2.1)}$$

Donde:

h_{TB} : Carga Total de la bomba (m)

ρ : Densidad del fluido ($\frac{Kg}{m^3}$)

Q : Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

g : Gravedad ($\frac{9.81m}{s^2}$)

$P_{teórica}$: Potencia teórica de la Bomba (Watts)

Se debe de considerar que toda operación trabaja con rango de eficiencia por lo que potencia teórica obtenida debe ser llevada a una potencia real, obtenida con la siguiente ecuación:

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{\%Eficiencia} \text{ (Ecuación 2.1.4.2.2)}$$

Donde:

% Eficiencia: Eficiencia de la bomba.

CAPÍTULO 3

Cálculo y Diseño

3.1. Desarrollo del Diseño Conceptual de la Red Hidráulica contra Incendios de la empresa TEPACORP.

En el presente apartado se dará a conocer a detalle el desarrollo de la red hidráulica para el sistema contra incendios de la empresa TEPACORP, tanto en el cumplimiento legal de la normativa ecuatoriana como la aplicación de alternativas de cálculo tratados en el capítulo anterior.

3.1.1. Cumplimiento del Marco legal Nacional

En cumplimiento de Ley de Defensa Contra Incendios y el Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios, se detalla a continuación el procedimiento establecido por la autoridad nacional competente.

3.1.1.1. Procedimiento requerido por Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil cuenta con un Departamento de Ingeniería el cual es el encargado de direccionar, inspeccionar y aprobar el diseño conceptual e instalación de los Sistemas contra Incendios.

Para esto la empresa TEPACORP cumplió con los procedimientos establecidos por la mencionada entidad para el cumplimiento del marco legal que rige el diseño de sistemas hidráulicos para sistemas contra incendios, detallados en la siguiente matriz:

Tabla 3.1.1.1.1 Descripción de los pasos a seguir para cumplimiento de la normativa legal Nacional

Ítem	Descripción	Lugar
1	<p>Presentación de documentación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registro Único de Contribuyentes. • Pago de Predio. • Copia de Cédula del Representante Legal. • Planos arquitectónicos de la empresa. 	Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil
2	Inspección para verificación de planos presentados al Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos.	
3	Entrega de Especificaciones Técnicas	
4	<p>Permiso Provisional de Funcionamiento: Una vez en poder de las especificaciones técnicas determinadas por el Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos, otorgan un plazo de doce meses para el cumplimiento del mismo, por lo que se requiere solicitar un Permiso Provisional de Funcionamiento.</p>	
5	<p>Presentación - Aprobación del Proyecto del Sistema Hidráulico contra Incendios por parte del Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil</p>	
6	<p>Ejecución del Proyecto: Montaje y puesta en marcha del Sistema Hidráulico contra incendios.</p>	

3.1.2. Disposiciones Técnicas del Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil

En el siguiente apartado se da a conocer las disposiciones técnicas establecidas por el Departamento de Ingeniería del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil, las cuales deben de ser cumplidas en el diseño del Sistema Hidráulico para el Sistema contra Incendios.

Reserva de agua: Debe de trabajar con una reserva de agua de 23 metros cúbicos (23000 litros).

Adicional, se sugiere trabajar con un tanque que sobrepase un 5 a 10% de la capacidad necesaria por temas de sobrellenado del tanque.

Equipo elevador de Presión: La disposición técnica establece el tipo de motor que debe usar el sistema de bombas, dando dos alternativas:

- Ambas de motor eléctrico (la bomba principal deberá ser certificada para uso en sistemas contra incendio y la otra será del tipo Jockey), y deberán estar conectadas al generador de emergencia el mismo que deberá ser de transferencia automática y manual, además de tener la capacidad de abastecer de energías a la bomba principal.
- Una de motor eléctrico (Tipo Jockey) y otra con motor a Diesel certificado para uso en sistemas contra incendio.

El Sistema debe de estar presurizado y la bomba principal debe de rendir una presión mínima de 70 psi con caudal de 100 GPM en la bocatoma más alejado de las bombas.

La bomba principal de incendio deberá tener una certificación del fabricante que determine su uso para Sistemas Contra Incendios y que garantice el correcto funcionamiento del Sistema Hidráulico contra Incendio en caso de presentarse un conato de incendio o siniestro.

Bocas de Impulsión o Conexión Siamesa: Será construida de bronce fundido e irá conectada directamente a la tubería del sistema hidráulico contra incendios, siendo sus dos bocas de descarga de dos y media pulgadas de diámetro interior simple y poseerá anillos giratorios (bridas

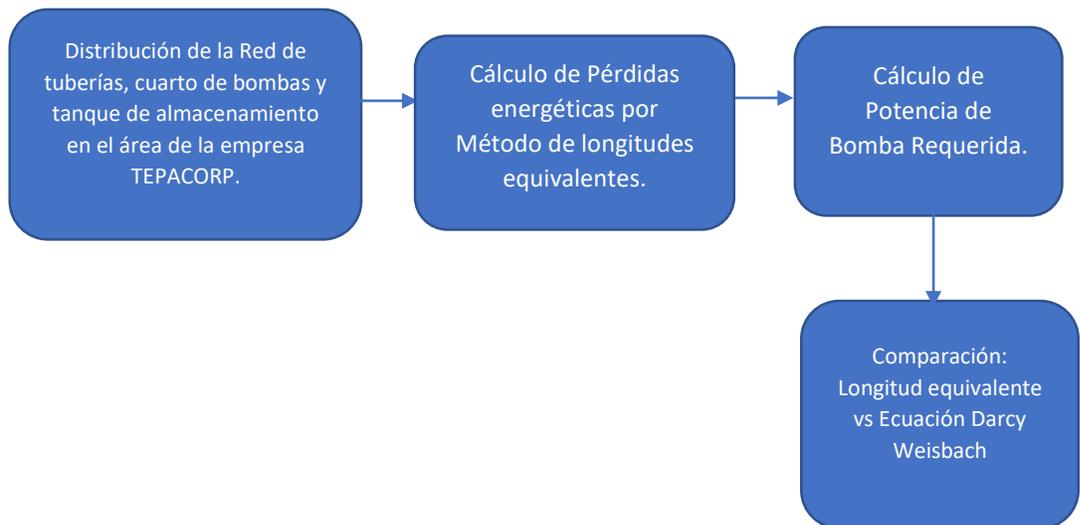
hembra) con rosca tipo NH para el armado del acople (macho) de la manguera.

Tuberías de Impulsión: Serán de acero célula #40 y sin costuras; con un diámetro mínimo de 4" y resistencia mínima de 300 libras por pulgada cuadrada.

Llaves de Incendios o Bocatomas: Se debe instalar dos unidades, las mismas que deberá ser instaladas de acuerdo con los planos arquitectónicos adjuntos en especificaciones técnicas.

Cada gabinete contra incendio equipado tendrá dos salidas: una y media (1 ½) pulgadas de diámetro ubicada en la parte superior y la inferior de diámetro dos y medios (2 ½) pulgadas ambas con rosca tipo NH; las posiciones de las llaves quedarán 90 grados y a una altura de 1.2 metros con respecto al piso acabando la llave superior.

3.1.3. Diagrama de Flujo: Secuencia de Pasos seguidos para elaboración de cálculos de Ingeniería en la Red Hidráulica contra Incendios.



3.1.4. Cálculos de Ingeniería

3.1.4.1. Propiedades Fisicoquímicas del agua

Tabla 4.1.3.1.1 Propiedades Fisicoquímicas del fluido

Propiedad	Rango de Temperatura	Rango Magnitud	Unidad
Densidad	15-25 °C	1000-997	Kg/m ³
Viscosidad Dinámica		(1.153 – 0.995) *10 ⁻³	N * s/m ²

Nota: Ver anexo B1.

Fuente: (White, 2009)

3.1.4.2. Accesorios utilizados en Red Hidráulica

ACCESORIOS	MATERIAL	CANTIDAD
Codo 90° - Ø 4''	Acero	13
Codo 45° - Ø 4''		1
Tee - Ø 4''		4
Reductor de Ø 4'' a Ø 1 ½ ''		2
Reductor de Ø 4'' a Ø 2 ½ ''		2
Válvula Mariposa - Ø 1 ½ ''		2
Válvula Mariposa - Ø 2 ½ ''		2
Válvula Mariposa - 4''		1

3.1.4.3. *Succión*

Cálculo de Presión a la entrada de la bomba y Altura Total de Aspiración

Por principio de Pascal, la presión que se ejerce en cualquier punto de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido; por lo tanto:

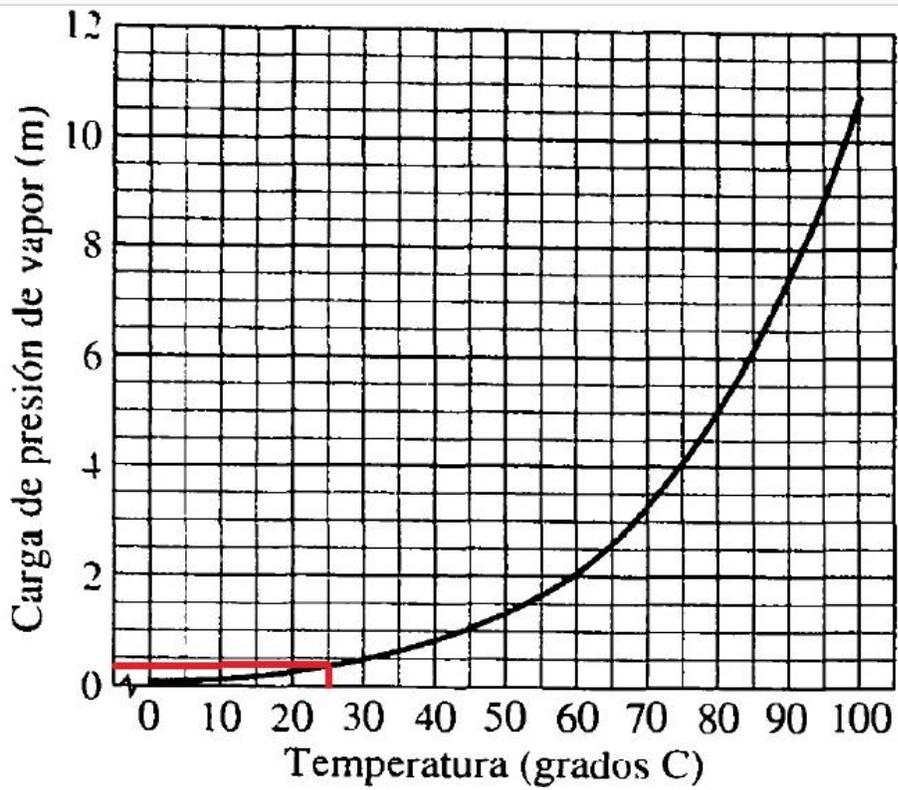
$$\begin{aligned} \text{Presión entrada de Bomba} &= \frac{14.66 \text{ psi} * \frac{6894.76 \frac{N}{m^2}}{1 \text{ psi}}}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}} \\ &= 10.31 \text{ m} \end{aligned}$$

Entonces la **altura total de aspiración es:** 10.31 metros.

Nota: En la zona de succión las pérdidas energéticas son insignificante debido al corto trayecto que tiene el fluido en dicha zona, por lo cual se trabaja con pérdidas energéticas de 0.

Carga de presión de Vapor: $\frac{P_v}{\rho g}$

Este valor se lo obtiene de gráficas descritas en el capítulo 3 gráfica 3.2.4.1 **Carga de presión de vapor agua (metros) vs Temperatura (grados C).**



$$\frac{P_v}{\rho g} = 0.45 \text{ m}$$

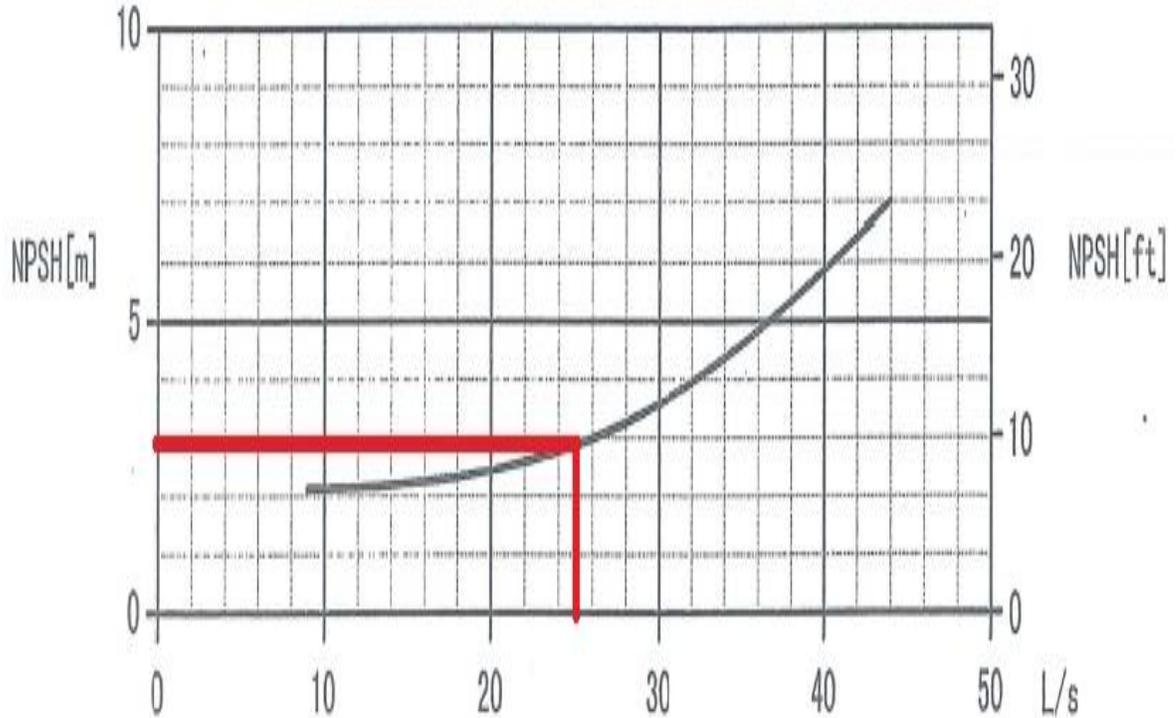
Entonces:

$$(NPSH_A) = 10.31 \text{ m} - 0.45 \text{ m}$$

$$(NPSH_A) = \mathbf{9.86 \text{ m}}$$

Para garantizar que no haya cavitación, se compara los valores de $NPSH_R$ con $NPSH_A$.

Se determina el $NPSH_R$ con la ayuda de la curva de la bomba (NPSH vs Caudal) proporcionados por el fabricante de la bomba.



Se observa en la gráfica que con un caudal de operación 400 GPM (25.2 L/S) se debe tener un NPSH requerido de 3 metros, por lo tanto:

$$NPSH_A \gg NPSH_R$$

3.1.4.4. Impulsión

Para el cálculo de pérdidas energéticas en el sistema hidráulico propuesto, se dio uso al método de longitud equivalente, descrito en el capítulo 3. A continuación se detalla los pasos seguidos para el cálculo en la zona de impulsión:

1. Se obtuvo la distancia recorrida por la red de tuberías mediante un dibujo en 3D con el programa de AutoCAD, con medidas reales del espacio físico de la empresa.

2. Se buscó los valores de las longitudes equivalentes para los accesorios utilizados en toda la red de tuberías. Para esto se usó la Tabla 3.1.3.1 Longitudes equivalente.
3. Por medio del método de longitud equivalente, se utilizó la ecuación 3.1.3.1 de Hazen-Williams para calcular las pérdidas energéticas totales del sistema hidráulico.

Tabla 3.1.4.4.1 Longitudes equivalentes para accesorios

Accesorios Utilizados en Sistema Hidráulico			
Descripción del Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Individual (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codos 90 4"	13	10	130
Tee 4"	4	20	80
Bushing 4" a 2 1/2"	2	10	20
Bushing 4" a 1 1/2"	2	10	20
Valvula Mariposa 2 1/2"	2	7	14
Valvula Mariposa 1 1/2"	2	10	20
Valvula Mariposa 4"	1	12	12
Longitud Equivalente TOTAL accesorios (pies)		296	
Longitud Equivalente TOTAL accesorios (metros)		90.2208	

Fuente: autoría propia mediante programa Excel

Sección tuberías Bocatomas

Bocatoma 1

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Bushing 4'' a 2 ½''	1	10	10
Bushing 4'' a 1 ½''	1	10	10
Codo 90 4''	1	10	10
Tee 4''	1	20	20
Válvula Mariposa 2 ½''	1	7	7
Válvula Mariposa 1 ½''	1	10	10
TOTAL (pies)			67
TOTAL (metros)			20.42

$$Q = 100 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 6.3 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tuberia}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(6.3 * 10^{-3})^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (20.42 + 2.8)$$

$$h_t = 0.2m$$

Bocatoma 2

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Bushing 4'' a 2 ½''	1	10	10
Bushing 4'' a 1 ½''	1	10	10
Codo 90 4''	1	10	10
Tee 4''	1	20	20
Válvula Mariposa 2 ½''	1	7	7
Válvula Mariposa 1 ½''	1	10	10
TOTAL			67
TOTAL (metros)			20.42

$$Q = 100 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 6.3 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tuberia}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(6.3 * 10^{-3})^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (20.42 + 2.8)$$

$$h_t = 0.2m$$

Sección tuberías Conexión Siamesa

Tramo de tubería que opera a 400 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 - Ø 4''	2	10	20
Tee - Ø 4''	1	20	20
TOTAL			67
TOTAL (metros)			12.2

$$Q = 400 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0.0252 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tubería}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0252)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (12.2 + 17.29)$$

$$h_t = 3.24\text{m}$$

Tramo de tubería que opera a 300 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 4''	5	10	50
Tee 4''	1	20	20
TOTAL			70
TOTAL (metros)			21.34

$$Q = 300 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0.0189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tuberia}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0189)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (21.34 + 69.14)$$

$$h_t = 5.85\text{m}$$

Tramo de tubería que opera a 200 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 4''	4	10	40
TOTAL			40
TOTAL (metros)			12.19

$$Q = 200 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0.0126 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tuberia}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0126)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (12.19 + 2.1)$$

$$h_t = 0.44\text{m}$$

$$\text{Perdida energética TOTAL} = h_{fT} = 0.44 + 5.85 + 3.24 + 0.2 + 0.2$$

$$\text{Perdida energética TOTAL} = h_{fT} = 9.93\text{m}$$

4. Calcular la altura o carga de Impulsión por medio de balance de energía en el sistema Hidráulico (Bernoulli).

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_i = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_t$$

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_{fT} + Z_2$$

Donde:

P_1 : Presión a la salida de la bomba ($P_1 = ?$)

V_1 : Velocidad a la salida de la bomba ($V_1 = 3.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

$$Q = 400 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}}$$

$$= 0.0252 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_1 = \frac{0.0252 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0082 \text{ m}^2} = 3.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Z₁: Altura desde el punto donde se impulsa al fluido a través de la red de tuberías Z₁=0.

ρ: Densidad del fluido (ρ = 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

g: Gravedad (g = 9.8 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

P₂: Presión de salida de la manguera más alejada (Conexión siamesa)
(Presión determinada por especificaciones técnicas del Cuerpo de Bomberos)

$$P_2 = 70 \text{ psi} * \frac{6894.76 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1 \text{ psi}} = 482633.2 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

V₂: Velocidad del fluido en la salida de la conexión siamesa (V₂ = 1.54 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

$$Q = 200 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}}$$

$$= 0.0126 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_1 = \frac{0.0126 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0082 \text{ m}^2} = 1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Z₂: Altura máxima alcanzada por el sistema con referencia a la bomba)
(Z₂ = 3 m)

h_{FT}: Perdida energética total.

Entonces:

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{482633.2 \frac{N}{m^2}}{\left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{(1.54 \frac{m}{s})^2}{2(9.8 \frac{m}{s^2})} - \frac{(3.07 \frac{m}{s})^2}{2(9.8 \frac{m}{s^2})} + 9.93m + 3m$$

$$\text{Altura total de impulsión} = \frac{P_1}{\rho g} = 61.82 m$$

$$\text{Presion a la salida de la Bomba} = 61.82 m * \left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$\text{Presion a la salida de la Bomba} = 605836 \frac{N}{m^2} * \frac{1psi}{6894.76 \frac{N}{m^2}}$$

$$= 87.86 psi$$

3.1.4.5. Potencia Teórico y Real de la Bomba

Calcula la potencia teórica de la bomba y la potencia real en base a las necesidades del sistema hidráulico.

$$P_{teórica} = \rho * g * Q * h_B$$

Donde

h_B : Altura o Carga Total de la bomba

$$h_B = \text{Altura total de Impulsión} - \text{Altura total de succión}$$

$$h_B = 61.82 m - 10.31m$$

$$h_B = 51.51 m$$

ρ : Densidad del fluido ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

Q : Caudal ($0.0252 \frac{m^3}{s}$)

g : Gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

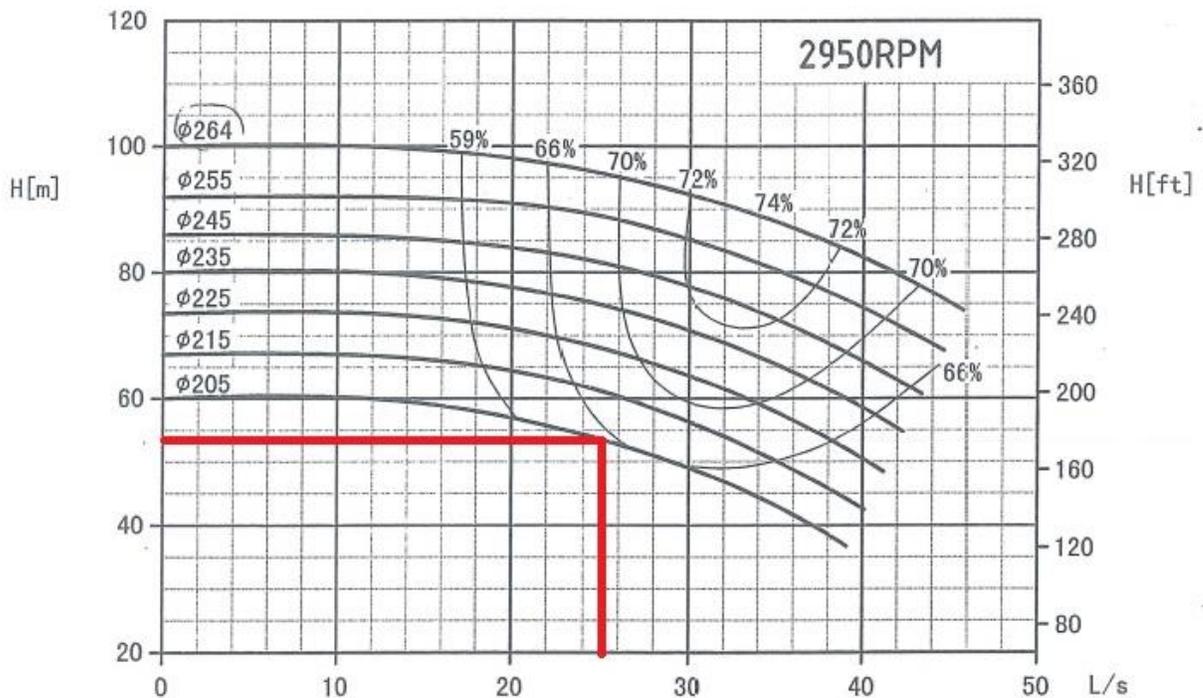
$P_{teórica}$: Potencia teórica de la Bomba (Watts)

$$P_{teórica} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.0252 \frac{m^3}{s} * 51.51 m$$

$$P_{teórica} = 12720.91 \text{ Watts} * \frac{1\text{Hp}}{745 \text{ Watts}}$$

$$P_{teórica} = 17.08 \text{ Hp}$$

Para saber con qué eficiencia trabaja la bomba se debe usar las curvas de diseño de la bomba, de la siguiente manera:



Al trazar una línea desde el caudal de operación $25.2 \frac{\text{Litros}}{\text{segundos}}$ hasta interceptar con la curva de la bomba, de diámetro de inductor de 205'', puede vencer hasta 54 metros de Carga total lo cual supera a los 51.51 metros calculados.

La gráfica nos indica que opera con una eficiencia del 65%

Por lo tanto:

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{\%Eficiencia}$$

$$P_{real} = \frac{17.08 \text{ Hp}}{0.65}$$

$$P_{real} = 26.28 \text{ Hp} = 27 \text{ Hp}$$

3.1.4.6. Cálculo Presión en Bocatomas.

Bocatoma 1:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_i = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_t$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - h_{fT} - Z_2$$

Donde:

P_1 : Presión a la salida de la bomba ($P_1 = 605836 \frac{N}{m^2}$)

V_1 : Velocidad a la salida de la bomba ($V_1 = 3.07 \frac{m}{s}$)

Z_1 : Altura desde el punto donde se impulsa al fluido a través de la red de tuberías $Z_1=0$.

ρ : Densidad del fluido ($\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

P_2 : Presión de salida Bocatoma 1 ($P_2 = ?$)

V_2 : Velocidad del fluido en la salida de la bocatoma 1 ($V_2 = 0.76 \frac{m}{s}$)

Z_2 : Altura máxima alcanzada por el sistema con referencia a la bomba ($Z_2 = 3 \text{ m}$)

h_{fT} : Perdida energética total ($h_{fT} = 3.44 \text{ m}$)

Tramo de tubería con caudal 100 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Bushing 4'' a 2 ½''	1	10	10
Bushing 4'' a 1 ½''	1	10	10
Codo 90 4''	1	10	10
Tee 4''	1	20	20
Válvula Mariposa 2 ½''	1	7	7
Válvula Mariposa 1 ½''	1	10	10
TOTAL (pies)			67
TOTAL (metros)			20.42

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{tuberia})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(6.3 * 10^{-3})^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (20.42 + 2.8)$$

$$h_t = 0.2m$$

Tramo de tubería que opera a 400 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 4''	2	10	20
Tee 4''	1	20	20
TOTAL			67
TOTAL (metros)			12.2

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{tuberia})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0252)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (12.2 + 17.29)$$

$$h_t = 3.24m$$

$$h_{fT} = 3.24m + 0.2m = 3.44m$$

Entonces:

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{605836 \frac{N}{m^2}}{(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2})} + \frac{(3.07 \frac{m}{s})^2}{2 (9.8 \frac{m}{s^2})} - \frac{(0.76 \frac{m}{s})^2}{2 (9.8 \frac{m}{s^2})} - 3.44m - 3m$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = 61.82m + 0.48m - 0.029m - 3.44m - 3m$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = 55.83 m$$

$$Presión Bocatoma 1 = 55.83 m * (1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2})$$

$$Presión Bocatoma 1 = 547134 \frac{N}{m^2} * \frac{1psi}{6894.76 \frac{N}{m^2}}$$

$$Presión Bocatoma 1 = 79.35 psi$$

Bocatoma 2:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_i = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_t$$
$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - h_{fT} - Z_2$$

Donde:

P_1 : Presión a la salida de la bomba ($P_1 = 605836 \frac{N}{m^2}$)

V_1 : Velocidad a la salida de la bomba ($V_1 = 3.07 \frac{m}{s}$)

Z_1 : Altura desde el punto donde se impulsa al fluido a través de la red de tuberías $Z_1=0$.

ρ : Densidad del fluido ($\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

P_2 : Presión de salida Bocatoma 2 (**$P_2 = ?$**)

V_2 : Velocidad del fluido en la salida de la bocatoma 1 ($V_2 = 0.76 \frac{m}{s}$)

Z_2 : Altura máxima alcanzada por el sistema con referencia a la bomba ($Z_2 = 3 m$)

h_{fT} : Perdida energética total (**$h_{fT} = 9.29m$**)

Tramo de tubería con caudal 100 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Bushing 4'' a 2 ½''	1	10	10
Bushing 4'' a 1 ½''	1	10	10
Codo 90 4''	1	10	10
Tee 4''	1	20	20
Válvula Mariposa 2 ½''	1	7	7
Válvula Mariposa 1 ½''	1	10	10
TOTAL (pies)			67
TOTAL (metros)			20.42

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{tuberia})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(6.3 * 10^{-3})^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (20.42 + 2.8)$$

$$h_t = 0.2m$$

Tramo de tubería que opera a 400 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 4''	2	10	20
Tee 4''	1	20	20
TOTAL			67
TOTAL (metros)			12.2

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{tuberia})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0252)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (12.2 + 17.29)$$

$$h_t = 3.24m$$

Tramo de tubería que opera a 300 GPM

Accesorio	Cantidad	Longitud Equivalente Unitaria (pies)	Longitud Equivalente Total (pies)
Codo 90 4''	5	10	50
Tee 4''	1	20	20
TOTAL			70
TOTAL (metros)			21.34

$$Q = 300 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}}$$

$$= 0.0189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.871})} \right) * (L_e + L_{\text{tuberia}})$$

$$h_t = 10.674 * \left(\frac{(0.0189)^{1.852}}{(120^{1.852} * 0.1022^{4.871})} \right) * (21.34 + 69.14)$$

$$h_t = 5.85m$$

$$h_{fT} = 3.24m + 0.2m + 5.85m = 9.29m$$

Entonces:

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{605836 \frac{N}{m^2}}{(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2})} + \frac{(3.07 \frac{m}{s})^2}{2 (9.8 \frac{m}{s^2})} - \frac{(0.76 \frac{m}{s})^2}{2 (9.8 \frac{m}{s^2})} - 9.29m - 3m$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = 61.82m + 0.48m - 0.029m - \mathbf{9.29m} - 3m$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = 49.98 m$$

$$\text{Presión Bocatoma 2} = 49.98 m * (1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2})$$

$$\text{Presión Bocatoma 2} = 489804 \frac{N}{m^2} * \frac{1psi}{6894.76 \frac{N}{m^2}}$$

$$\text{Presión Bocatoma 2} = \mathbf{71 psi}$$

3.1.4.7. Alternativa de Cálculo para Pérdidas Energéticas

3.1.4.7.1. Cálculo de Pérdidas Energéticas por Fricción:

Ecuación Darcy-Weisbach

Número de Reynolds

Salida de la bomba:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{(0.102 m) * (3.07 \frac{m}{s}) * (1000 \frac{kg}{m^3})}{0.001 \frac{N.s}{m^2}}$$

$$= 313140$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 0.102 m$)

V : velocidad del fluido a través de la tubería. ($v = 3.07 \frac{m}{s}$)

ρ : Densidad del fluido, ($\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$)

μ : Viscosidad dinámica del fluido. ($\mu = 0.001 \frac{N.s}{m^2}$)

Bocatoma 1 y 2:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{(0.0627 \text{ m}) * (0.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.001 \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}} = 47652$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 0.0627 \text{ m}$)

V : velocidad del fluido a través de la tubería. ($v = 0.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

ρ : Densidad del fluido, ($\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

μ : Viscosidad dinámica del fluido. ($\mu = 0.001 \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$)

Tramo de tubería que opera a 300 GPM:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{(0.102 \text{ m}) * (2.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.001 \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}} = 235620$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 0.102 \text{ m}$)

V : velocidad del fluido a través de la tubería. ($v = 2.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

$$Q = Q_{300} \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0.0189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = \frac{0.0189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8.17 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 2.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ρ : Densidad del fluido, ($\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

μ : Viscosidad dinámica del fluido. ($\mu = 0.001 \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$)

Conexión Siamesa:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{(0.102 \text{ m}) * (1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.001 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}}$$
$$= 157080$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 0.102 \text{ m}$)

V : velocidad del fluido a través de la tubería. ($v = 1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) $Q =$

$$200 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3.78 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} =$$

$$0.0126 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = \frac{0.0126 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8.17 * 10^{-3} \text{m}^2} = 1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ρ : Densidad del fluido, ($\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

μ : Viscosidad dinámica del fluido. ($\mu = 0.001 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$)

Rugosidad Relativa:

Salida de la Bomba:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.046 \text{ mm}}{102 \text{ mm}} = 4.5 * 10^{-4}$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 102 \text{ mm}$)

ϵ : Rugosidad de la tubería ($\epsilon = 0.046 \text{ mm}$) (Ver Tabla 3.1.1.1)

Bocatoma 1 y 2:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.046 \text{ mm}}{62.7 \text{ mm}} = 7.33 * 10^{-4}$$

Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 62.7 \text{ mm}$)

ϵ : Rugosidad de la tubería ($\epsilon = 0.046 \text{ mm}$) (Ver Tabla 3.1.1.1)

Conexión siamesa y Tramo de tubería que opera a 300 GPM:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.046 \text{ mm}}{102 \text{ mm}} = 4.5 * 10^{-4}$$

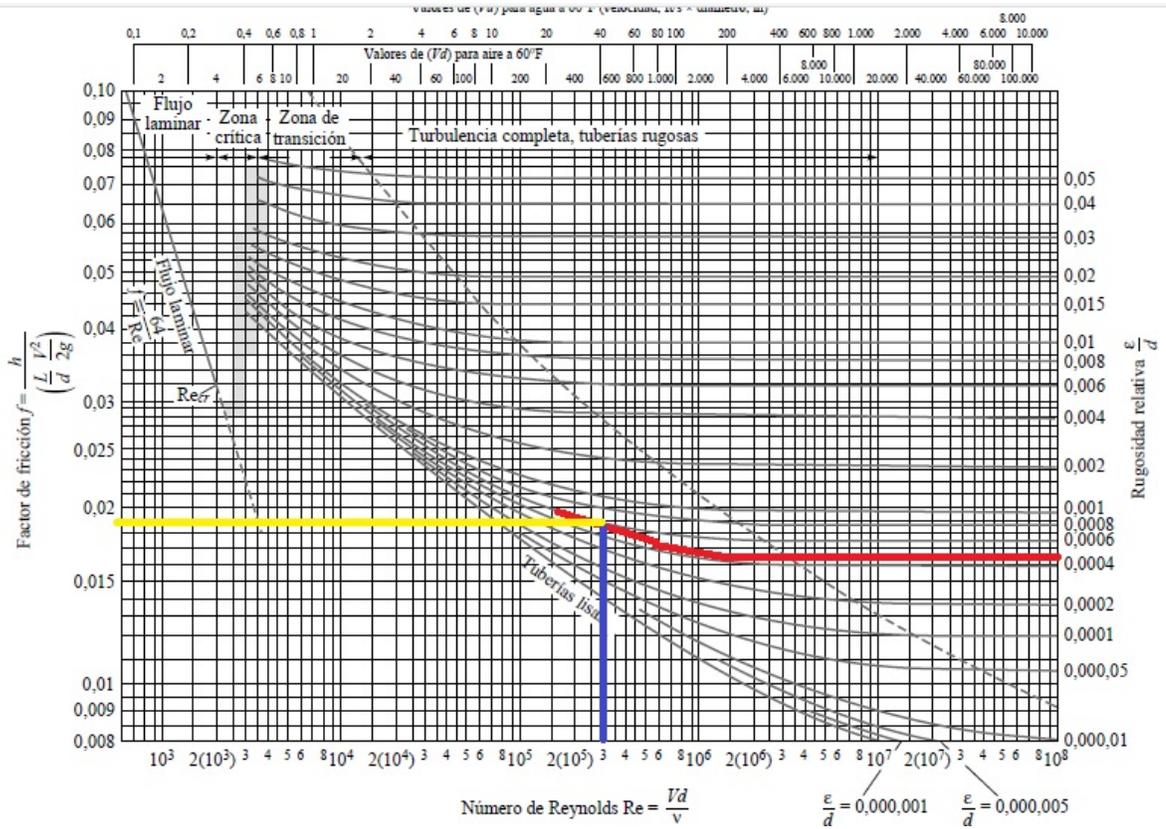
Donde

D : Diámetro interior de la tubería ($D = 102 \text{ mm}$)

ϵ : Rugosidad de la tubería ($\epsilon = 0.046 \text{ mm}$) (Ver Tabla 3.1.1.1)

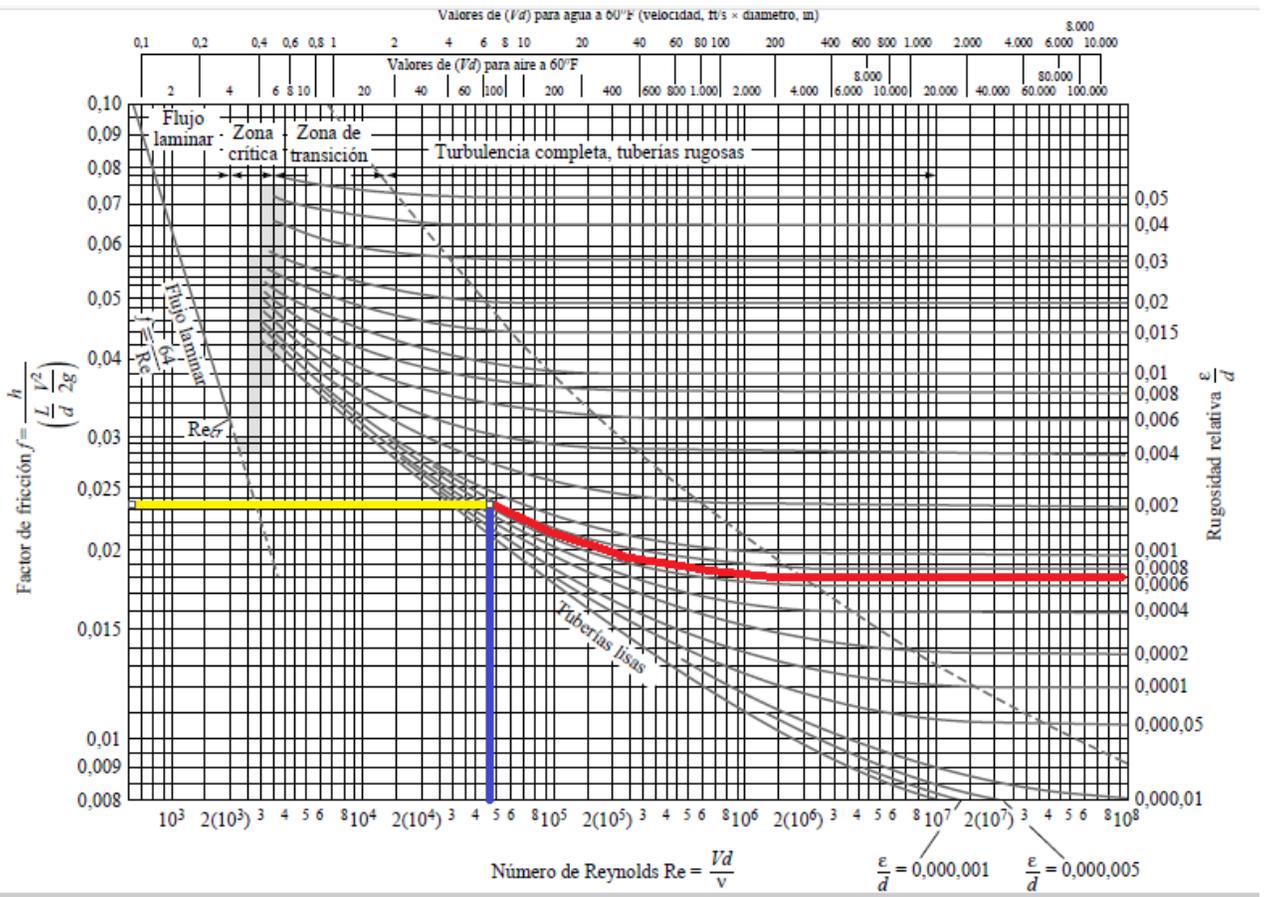
Coeficiente de Fricción f :

Salida de la Bomba:



$$Re = 313140 \rightarrow \frac{\epsilon}{D} = 4.5 \cdot 10^{-4} \rightarrow f=0.02$$

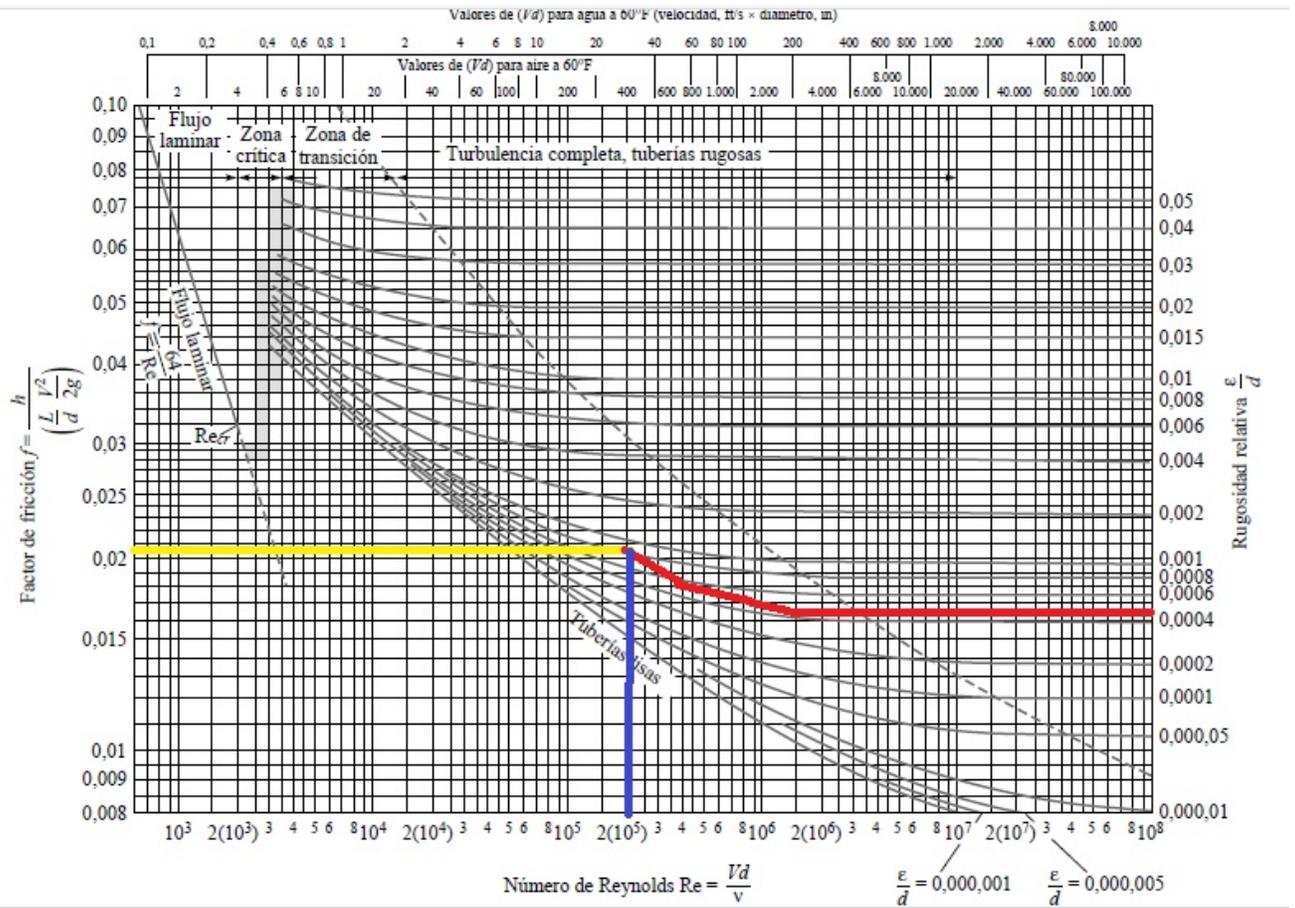
Bocatoma 1 y 2:



$$Re = 47652 \quad \rightarrow \quad \frac{\epsilon}{D} = 7.33 \times 10^{-4} \quad \rightarrow$$

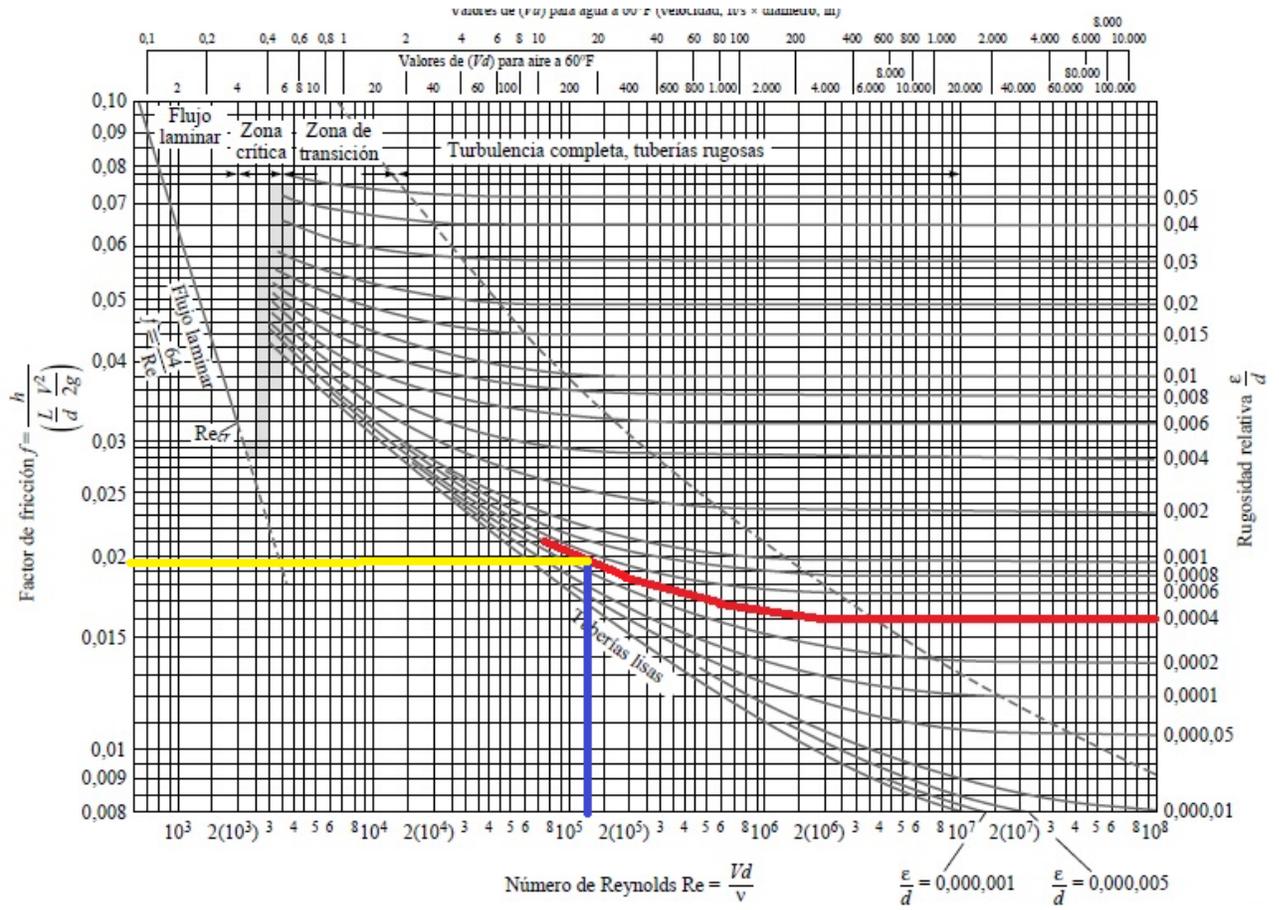
$$f=0.025$$

Tramo de tubería que opera a 300 GPM:



$$Re = 235620 \rightarrow \frac{\epsilon}{D} = 4.5 \cdot 10^{-4} \rightarrow f = 0.021$$

Conexión siamesa:



$$Re = 157080 \rightarrow \frac{\epsilon}{D} = 4.5 \times 10^{-4} \rightarrow f=0.02$$

Pérdidas Energéticas por Fricción: Ecuación Darcy Weibach

Salida de la Bomba:

$$h_{f1} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.02 \times \frac{17.29 \text{ m}}{0.102 \text{ m}} \times \frac{(3.07 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$
$$= 1.72 \text{ m}$$

Siendo

f: coeficiente de fricción ($f=0.02$)

L: Longitud de la tubería ($L=17.29 \text{ m}$)

D: Diámetro de la tubería ($D=0.102 \text{ m}$)

V: Velocidad del fluido ($v = 3.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

g: Gravedad ($g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Bocatoma 1 y 2:

$$h_{f2} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.025 \times \frac{2.8 \text{ m}}{0.0627 \text{ m}} \times \frac{(0.76 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$
$$= 0.033 \text{ m} * 2 = 0.7 \text{ m}$$

Siendo

f: coeficiente de fricción ($f=0.025$)

L: Longitud de la tubería ($L=2.8 \text{ m}$)

D: Diámetro de la tubería ($D=0.0627 \text{ m}$)

V: Velocidad del fluido ($v = 0.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

g: Gravedad ($g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Tramo de tubería que opera a 300 GPM:

$$h_{f3} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.021 \times \frac{69.14 \text{ m}}{0.102 \text{ m}} \times \frac{(2.31 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$= 3.88 \text{ m}$$

Siendo

f: coeficiente de fricción ($f=0.021$)

L: Longitud de la tubería ($L=69.14 \text{ m}$)

D: Diámetro de la tubería ($D=0.102 \text{ m}$)

V: Velocidad del fluido ($v = 2.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

g: Gravedad ($g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Conexión Siamesa:

$$h_{f4} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.02 \times \frac{2.1 \text{ m}}{0.102 \text{ m}} \times \frac{(1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$= 0.05 \text{ m}$$

Siendo

f: coeficiente de fricción ($f=0.02$)

L: Longitud de la tubería ($L=2.1 \text{ m}$)

D: Diámetro de la tubería ($D=0.102 \text{ m}$)

V: Velocidad del fluido ($v = 1.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

g: Gravedad ($g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

3.1.4.7.2. Cálculo de Pérdidas Energéticas por accesorios:

Ecuación coeficiente K

Pérdidas Energéticas por Accesorios: Ecuación

Coeficiente de Resistencia por accesorio K

Salida de la bomba:

$$h_{l1} = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (2.18) * \left(\frac{\left(3.07 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)} \right) = 1.04 m$$

Donde:

v : Velocidad del fluido ($v = 3.07 \frac{m}{s}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

k : Coeficiente de resistencia del accesorio

Accesorio	Cantidad	Valor K	(Valor K * Cantidad)
Codo 90 - ϕ 4''	2	0.64	1.28
Tee - ϕ 4''	1	0.9	0.9
TOTAL			2.18

Bocatoma 1 y 2:

$$h_{l2} = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (5.58) * \left(\frac{\left(0.76 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)} \right) = 0.16 * 2$$

= 0.32 m

Donde:

v : Velocidad del fluido ($v = 0.76 \frac{m}{s}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

k : Coeficiente de resistencia del accesorio

Accesorio	Cantidad	Valor K	(Valor K * Cantidad)
Bushing 4'' a 2 ½''	1	1.10	1.10
Bushing 4'' a 1 ½''	1	1.18	1.18
Codo 90 - Ø 4''	1	0.64	0.64
Tee - Ø 4''	1	0.9	0.9
Válvula Mariposa 2 ½''	1	0.81	0.81
Válvula Mariposa 1 ½''	1	0.95	0.95
TOTAL			5.58

Tramo de tubería que opera a 300 GPM

$$h_{l3} = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (4.1) * \left(\frac{\left(2.31 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)} \right) = 1.12 m$$

Donde:

v : Velocidad del fluido ($v = 2.31 \frac{m}{s}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

k : Coeficiente de resistencia del accesorio

Accesorio	Cantidad	Valor K	(Valor K * Cantidad)
Codo 90 - Ø 4''	5	0.64	3.2
Tee - Ø 4''	1	0.9	0.9
TOTAL			4.1

Conexión Siamesa:

$$h_{l4} = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (2.18) * \left(\frac{\left(1.54 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)} \right) = 0.27 m$$

Donde:

v : Velocidad del fluido ($v = 1.54 \frac{m}{s}$)

g : Gravedad ($g = 9.8 \frac{m}{s^2}$)

k : Coeficiente de resistencia del accesorio

Accesorio	Cantidad	Valor K	(Valor K * Cantidad)
Codo 90 - Ø 4''	2	0.64	1.28
Tee - Ø 4''	1	0.9	0.9
TOTAL			2.18

Pérdidas Energéticas Total

Salida de la Bomba:

Perdida Energetica Total

= *Perdida por Fricción*

+ *Perdidas por accesorios*

Perdida Energetica Total = 1.73 m + 1.04 m

Perdida Energetica Total = 2.77m

Bocatoma 1 y 2:

Perdida Energetica Total

= *Perdida por Fricción*

+ *Perdidas por accesorios*

Perdida Energetica Total = 0.7 + 0.32 m

Perdida Energetica Total = 1.02 m

Tramo de tubería que opera a 300 GPM:

Perdida Energetica Total

= *Perdida por Fricción*

+ *Perdidas por accesorios*

Perdida Energetica Total = 3.88 m + 1.12 m

Perdida Energetica Total = 5 m

Conexión Siamesa:

Perdida Energetica Total

= *Perdida por Fricción*

+ *Perdidas por accesorios*

Perdida Energetica Total = 0.05 m + 0.27 m

Perdida Energetica Total = 0.32 m

**Perdida Energética TOTAL = 2.77m + 1.02 m + 5 m +
0.32 = 9.11 m**

CAPÍTULO 4

Resultados

4.1. Resultados

Tabla 4.1.1 Resultados correspondientes a la Zona de Succión del Sistema de Bombeo

Caudal	400 GPM
Velocidad	$3.07 \frac{m}{s}$
Altura Total de aspiración	10.31 m
Carga Presión de Vapor	0.45 m
Presión entrada de Bomba	14.66 <i>psi</i>
Carga de Succión Neta Positiva Disponible	9.86 m
Carga de Succión Neta Positiva Requerida	3 m

Tabla 4.1.2 Zona de Impulsión - Condiciones de operación en puntos de abastecimiento de agua contra incendios

Zona de Impulsión: Salida de la Bomba	
Caudal	400 GPM
Velocidad	$3.07 \frac{m}{s}$
Presión	87.86 <i>psi</i>
Zona de Impulsión: Bocatoma 1	
Caudal	100 GPM
Velocidad	$0.76 \frac{m}{s}$
Presión	79.35 <i>psi</i>
Zona de Impulsión: Bocatoma 2	
Caudal	100 GPM

Velocidad	$0.76 \frac{m}{s}$
Presión	71 psi
Zona de Impulsión: Conexión Siamesa	
Caudal	100 GPM
Velocidad	$3.07 \frac{m}{s}$
Presión	70 psi
Altura Total de Impulsión → 61.82 m	

Tabla 4.1.3 Características del Sistema de Bombeo

SISTEMA DE BOMBA CENTRÍFUGA

Caudal (GPM)	Carga de Succión Neta Positiva Disponible (m)	Carga de Succión Neta Positiva Requerida (m)	Carga Total de la Bomba (m)
400	9.86	3	46.72
<u>Potencia Teórica (Hp)</u>		<u>Potencia Real (Hp)</u>	
17.08		27	
<u>Diámetro del Impulsor (milímetros)</u>		<u>Eficiencia de la Bomba (%)</u>	
205		65	

Tabla 4.1.4 Aplicación de Alternativas de Cálculo para Pérdidas Energéticas en Redes Hidráulicas

Pérdidas Energéticas

Método Longitud Equivalente	Ecuación Darcy-Weisbach + Ecuación coeficiente K
9.29 metros	9.11 metros
% Error	
1.96	

4.2. Análisis de Resultados

Al trabajar con un tanque de almacenamiento de agua atmosférico a nivel del suelo se logró obtener un $NPSH_D$ (Carga de Succión Neta Positiva Disponible) de 9.86 m, valor que se encuentra muy por encima del $NPHR_R$ (Carga de Succión Neta Positiva Requerido) de 3 metros. Esta diferencia a favor del $NPSH_D$ favorece a que no ocurra el fenómeno de cavitación en la tubería de ingreso a la bomba o en la propia bomba.

El agua ingresa desde el tanque de almacenamiento hacia la bomba con un caudal de 400 GPM y una presión de 14.66 psi (lb/pulg²); la bomba suministra energía al fluido para que abandone la misma con una presión de 88 psi (lb/pulg²), logrando vencer las pérdidas energéticas por fricción y accesorios presentes en la red hidráulica de uso contra incendios.

Conforme el agua abandona la bomba principal y avanza recorriendo la red de tuberías, su presión inicial va disminuyendo por las pérdidas energéticas de la misma, llegando al primer y segundo bocatomas con caudal de 100 GPM y presiones de 79.35 y 71 psi (lb/pulg²) respectivamente, finalizando su recorrido en la conexión siamesa con caudal de 300 GPM y presión de 70 psi (lb/pulg²).

Para mantener los valores de presiones y caudales en los puntos de suministro de agua contra incendio, la altura o carga total que debe vencer el sistema de bombeo es de 46.72 metros por lo cual la bomba escogida para la red hidráulica contra incendio de la empresa TEPACORP debe trabajar con una potencia de 27 Hp y caudal de 400 GPM.

Adicionalmente se calculó pérdidas energéticas aplicando la Ecuación Darcy-Weisbach para determinar perdidas por fricción y ecuación del método de coeficiente K para las perdidas por accesorios, obteniendo un valor de 9.11 metros mientras que con el método de longitud equivalente 9.29 metros.

Al tener una variación insignificante del 2% es factible usar cualquiera de las dos alternativas de cálculo realizadas para determinar pérdidas energéticas en redes hidráulicas.

4.3. Selección de Componentes del Sistema Hidráulico contra Incendios

A continuación, se detalla las características que deben poseer los componentes del sistema hidráulico contra incendios, con el fin de garantizar su buen funcionamiento y en cumplimiento de los lineamientos dados por las autoridades competentes (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil) y normativas vigentes para el diseño de redes hidráulicas para sistemas contra incendios:

Reserva de agua

Descripción:

Tanque de acero a nivel de suelo, con las siguientes dimensiones:

- Altura: 5 metros
- Diámetro: 2.54 metros
- Volumen: 25 metros cúbicos (25000 litros)

Análisis:

Por su ubicación a nivel del suelo (por encima del sistema de bombeo) permite tener una mayor presión neta positiva lo cual favorece a que no ocurran

fenómenos de cavitación a la entrada de la bomba y requerir un sistema de bombeo con menor potencia.

Es importante mantener condiciones óptimas del agua para no favorecer el crecimiento de microorganismos, algas y lodos de formación que puedan afectar la estructura del tanque y tuberías de la red hidráulica contra incendios. Para esto se recomienda lo siguiente:

Acción	Procedimiento	Producto por usar	Descripción - Dosificación
Eliminar microorganismos y Bacterias	Desinfección	<p>Desinfectantes Compuestos de Amonio Cuaternario:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actúa sobre algas, bacterias y hongos. - No altera el pH del agua, - No es tóxico. - No es corrosivo. <p>Nota: No se sugiere el uso de cloro (hipocloritos) debido a su característica corrosiva.</p>	<p>Se recomienda aplicar una dosificación de 15 ml por cada 2000 litros de agua; es decir que al empezar el llenado del tanque cada 2000 litros de agua suministrado de debe agregar 15 ml del desinfectante. Hacerlo de manera periódica cada 2 semanas (Organización Mundial de la Salud)</p> <p>Para desinfección de la red de tuberías se puede utilizar el agua ya dosificada reteniendo el agua en tuberías durante un tiempo aproximado de 10 a 20 minutos (tiempo de actuación obtenido Manual de Bioseguridad de la OMS), para su posterior evacuación.</p> <p>Nota: La dosificación puede variar según concentraciones del producto a usar. Se recomienda leer la ficha técnica del proveedor.</p>
Evitar algas			<p>Se recomienda hacer lavado en el interior del tanque de forma anual para controlar la formación de lodos en el fondo del mismo.</p>
Controlar lodos de formación	Lavado de Tanque	Limpieza Manual	

			Nota: No usar cepillos con cerdas metálicas ya que podrían comprometer la integridad física del tanque.
--	--	--	---

Equipo elevador de Presión (Sistema de bombeo)

Opción 1

Descripción:

Tanto la bomba principal como la Jockey serán de motor eléctrico conectadas a un generador de emergencia de transferencia automática y manual.

Análisis:

La ventaja de este tipo de sistema radica en no utilizar combustible como medio de obtención de energía, el cual es considerado por sus propiedades físico-químicas como un producto altamente inflamable. Representa un riesgo para la empresa y mayores requerimientos de seguridad que se reflejará en los costos relacionados.

Los motores eléctricos aprovechan de mejor manera la energía suministrada, por lo tanto, son más eficientes que las bombas donde su fuerza motriz es accionada por combustión interna.

Sin embargo, por normativa, este tipo de bombas requiere de su propio generador eléctrico, representando costos adicionales, pero garantiza independencia de la red eléctrica pública.

Opción 2

Descripción:

Sistema de bombeo con motor eléctrico para la bomba Jockey y motor de combustión interna a Diesel para la bomba principal.

Análisis:

Trabajar con un sistema de bombeo que utiliza como fuerza motriz de los dos tipos, tanto por combustión interna como eléctrica tiene sus complicaciones. Es verdad que las bombas accionadas por motor eléctrico tienen mayor eficiencia,

pero requieren por normativa su propio generador eléctrico lo cual implica costos de la instalación y mantenimiento, siendo poco atractivo económicamente.

Por otro lado, las bombas accionadas por motores a combustión, pese a requerir mayores medidas de seguridad por el hecho de trabajar con diesel, son más atractivos económicamente hablando con una ligera pérdida en la eficiencia, si lo comparamos con uno eléctrico. Por lo general este tipo de bombas son más requeridas, a nivel nacional, en el diseño de sistemas contra incendios, teniendo mayores ofertas de descuento en el mercado.

Bocas de Impulsión o Conexión Siamesa

Descripción:

Construida de bronce fundido e irá conectada directamente a la tubería del sistema hidráulico contra incendios, siendo sus dos bocas de descarga de dos y media pulgadas de diámetro interior simple con anillos giratorios (bridas hembra), rosca tipo NH para el armado del acople (macho) de la manguera.

Análisis:

Requerimiento del cuerpo de bomberos, por lo tanto, no puede ser cambiado.

Tuberías de Impulsión y succión

Descripción:

Serán de acero célula #40 y sin costuras; con un diámetro mínimo de 4" y resistencia mínima de 300 libras por pulgada cuadrada.

Análisis:

Requerimiento del cuerpo de bomberos, por lo tanto, no puede ser cambiado.

Sin embargo, hay que destacar que a pesar de tener un costo elevado las tuberías de acero con relación a tuberías de otro material, poseen una superficie uniforme que reduce significativamente la caída de presión del sistema hidráulico.

Llaves de Incendios o Bocatomas

Descripción:

Cada gabinete contra incendio equipado tendrá dos salidas: una y media (1 ½) pulgadas de diámetro ubicada en la parte superior y la inferior de diámetro dos y medios (2 ½) pulgadas; las posiciones de las llaves quedarán 90 grados y a una altura de 1.2 metros con respecto al piso acabando la llave superior.

Análisis:

Requerimiento del cuerpo de bomberos, por lo tanto, no puede ser cambiado.

CAPÍTULO 5

Conclusiones

- Las dos alternativas de cálculo presentados para determinar pérdidas energéticas en redes hidráulicas es válida, con un % de variación del 2%. Muchos autores y expertos en mecánica de fluidos sugieren el uso del método convencional mediante el diagrama de Moody.
- El diseño de la red hidráulica contra incendios se lo hizo con medidas reales del espacio físico donde la empresa TEPACORP realiza sus actividades, con el fin de cubrir todas las necesidades reales de abastecimiento de agua para combatir incendios. Para lograr esto, la red hidráulica requiere un sistema de bombeo con potencia de 27 Hp y caudal 400 GPM para lograr vencer todas las pérdidas energéticas a las que se enfrenta el agua al circular a través de la red de tuberías cerradas.
- Al trabajar con un tanque de almacenamiento de agua de 25 metros cúbico (25000 litros) a nivel del suelo, favorece la diferencia a favor de la presión neta positiva de succión disponible sobre la presión neta positiva de succión requerida, lo cual ayuda a que no ocurran fenómenos de cavitación a la entrada de la bomba. Los fenómenos de cavitación pueden ocurrir por la baja de presión en diferentes puntos de una red hidráulica debido a estrechamientos bruscos en el flujo del fluido dentro de la tubería cerrada.
- Con la ayuda del programa AutoCAD, se pudo ilustrar gráficamente en 3D el recorrido de las tuberías del sistema hidráulico contra incendios. Se tuvo una mejor apreciación de los accesorios y la longitud real de tubería utilizada en el espacio físico de que dispone la empresa TEPACORP.

CAPÍTULO 6

Recomendaciones

- La red hidráulica de protección contra incendios debe estar siempre lista para situaciones de emergencia que involucren fuego no controlado. Este tipo de sistemas pasan largos periodos sin usar e incluso podría darse el caso de no usarlo nunca, por lo que necesita mantenimiento e inspecciones periódicas que garanticen su correcta funcionabilidad y operatividad.
- Para el manejo de sistemas contra incendios, la empresa debe de tener un grupo de colaboradores calificados para el mantenimiento, operación y prueba de toda la red hidráulica contra incendios.
- Se debe tener un programa de capacitaciones y simulacros para emergencias que involucren incendios
- Mejora continua para minimizar riesgos a incendios en el trabajo.
- Para evitar sobrepresión en la red de tuberías se debe evitar, en la medida de lo posible, el cierre brusco de válvulas, porque la onda de sobrepresión que se origina viaja a velocidades mayores a la del sonido lo cual puede causar daños a los componentes del sistema hidráulico, sobre todo a los componentes que se encuentran en los extremos de donde se produce dicho cierre del paso del fluido.

CAPÍTULO 7

Referencias

- Academia Nacional de Bomberos Chile. (Mayo de 2016). *www.anb.cl*. Obtenido de <http://www.anb.cl/wp-content/uploads/2015/05/Guia-Fuego.pdf>
- Anónimo. (2000). *Textos Científicos*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/quimica/almacenaje/almacenaje-fluidos>
- Cambridge University Press. (s.f.). Aspects Of the Equilibrium Puff in Transitional Pipe Flow. En *Journal of Fluid Mechanics* (págs. 439-458). Cambridge.
- Catalunya, U. P. (2011). Mecánica de Fluidos. En U. P. Catalunya, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas* (págs. 19, 63-67). Barcelona.
- Escuela Superior Politécnica del Litoral. (s.f.). *Diseño de un Sistema contra Incendios con Rociadores Automáticos y Cajetines de Mangueras para un Edificio de Oficinas*. Guayaquil.
- Maquinarias Henriques C.A. (2016). Sistema de Bombas contra Incendios. *Sistema de Bombas contra Incendios*.
- McCabe, S. P. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. (s.f.). <http://www.insht.es>. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_429.pdf
- Mott, R. L. (2009). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson.
- National Fire Protection Association. (2007). NFPA 14 Instalación de Sistemas de tubería vertical y de mangueras. *NFPA 14 Instalación de Sistemas de tubería vertical y de mangueras*. Estados Unidos.
- National Fire Protection Association. (2016). NFPA 14 Normativa para la Instalación de Sistemas de Tubería Vertical y de Mangueras. *NFPA 14 Normativa para la Instalación de Sistemas de Tubería Vertical y de Mangueras*. Estados Unidos.
- National Fire Protection Association. (2016). NFPA 20 Norma para la instalación de Bombas de Incendio Centrífugas. *NFPA 20 Norma para la instalación de Bombas de Incendio Centrífugas*. Estados Unidos.

- National Fire Protection Association. (2016). NFPA 22 Norma para Tanques Utilizados para Redes Contra Incendios. *NFPA 22 Norma para Tanques Utilizados para Redes Contra Incendios*. Estados Unidos.
- National Fire Protection Association. (2016). NFPA 704-Sistema Normativo para la Identificación de los Riesgos de los Materiales para Respuesta a Emergencias. *NFPA 704-Sistema Normativo para la Identificación de los Riesgos de los Materiales para Respuesta a Emergencias*. Estados Unidos.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Manual de Bioseguridad en el laboratorio. Ginebra.
- Social, M. d. (02 de Abril de 2009). Acuerdo Ministerial 1257 . *REGLAMENTO DE PREVENCION, MITIGACION Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS*. Ecuador.
- Universidad Nacional de Ingeniería Perú. (25 de Octubre de 2014). *slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/joscaval/cavitacion-40725374>
- White, F. M. (2009). *Mecánica de Fluidos*. España: Mc Graw Hill.

ANEXOS

Anexo A: Dimensiones de tuberías

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.517 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.176	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

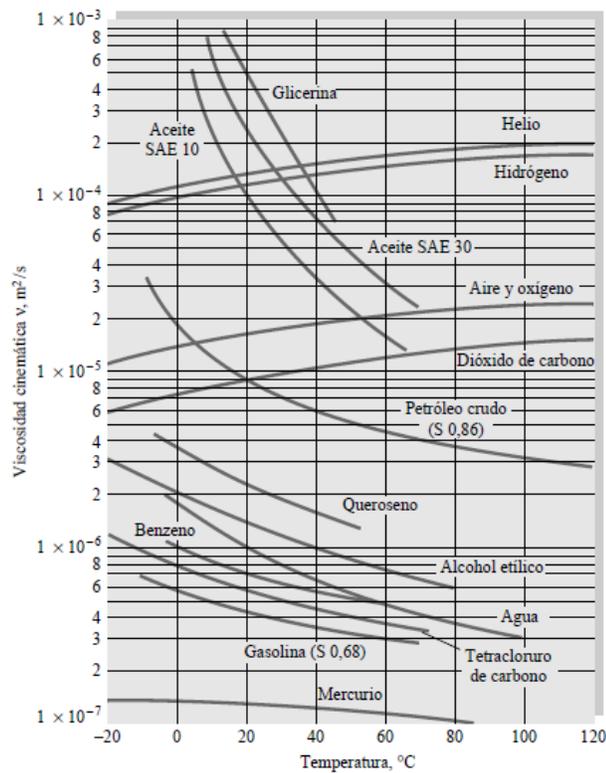
Anexo A1: Dimensiones de Tuberías de Acero Cédula 40

Anexo B: Propiedades Físicas de los Fluidos

Anexo B1: Viscosidad y densidad del agua a 1 atm

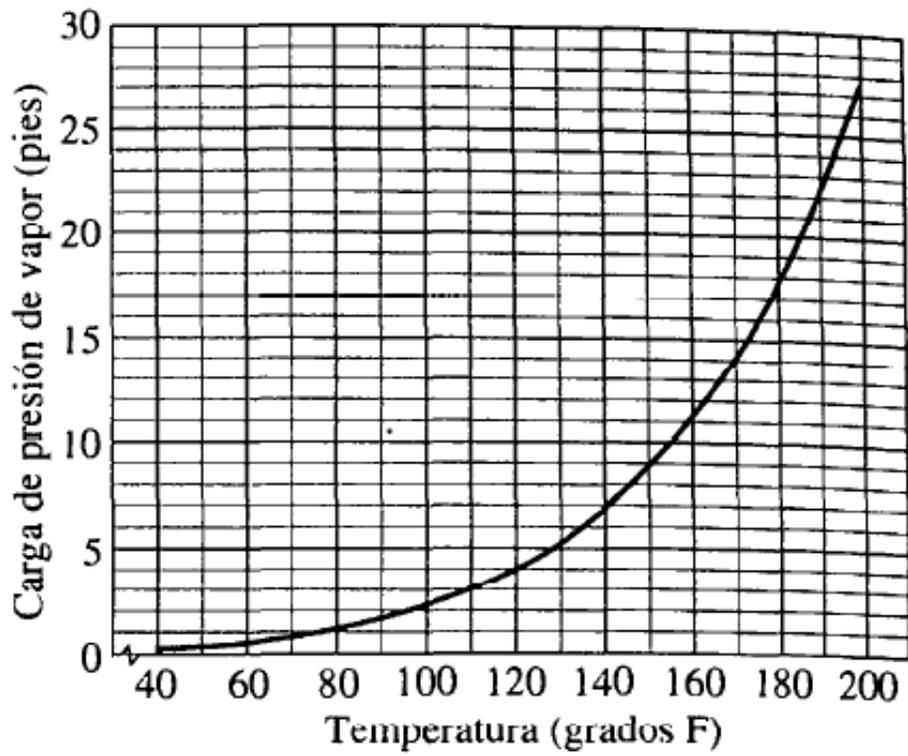
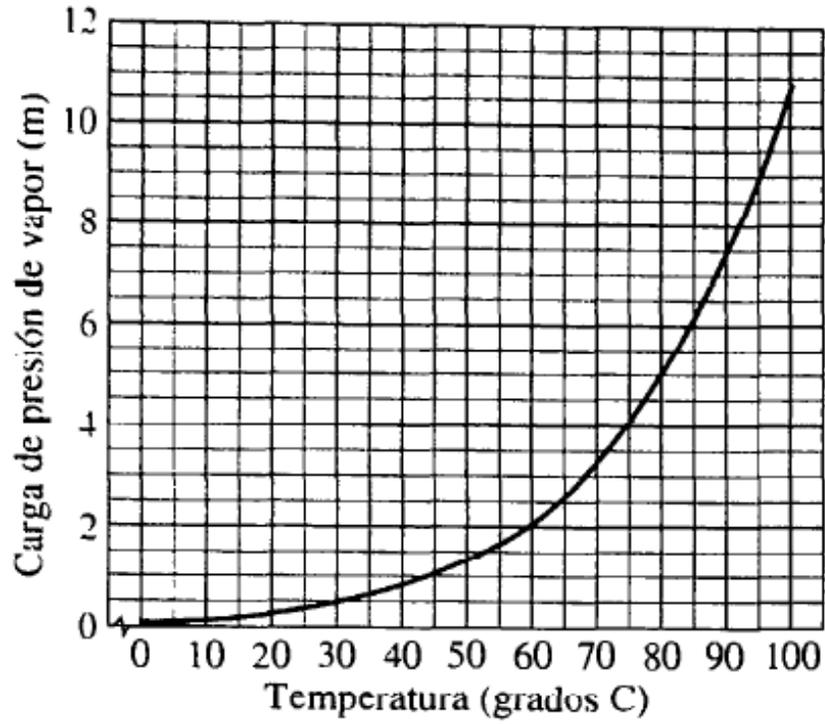
$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	$1,788 \times 10^{-3}$	$1,788 \times 10^{-6}$	32	1,940	$3,73 \times 10^{-5}$	$1,925 \times 10^{-5}$
10	1000	$1,307 \times 10^{-3}$	$1,307 \times 10^{-6}$	50	1,940	$2,73 \times 10^{-5}$	$1,407 \times 10^{-5}$
20	998	$1,003 \times 10^{-3}$	$1,005 \times 10^{-6}$	68	1,937	$2,09 \times 10^{-5}$	$1,082 \times 10^{-5}$
30	996	$0,799 \times 10^{-3}$	$0,802 \times 10^{-6}$	86	1,932	$1,67 \times 10^{-5}$	$0,864 \times 10^{-5}$
40	992	$0,657 \times 10^{-3}$	$0,662 \times 10^{-6}$	104	1,925	$1,37 \times 10^{-5}$	$0,713 \times 10^{-5}$
50	988	$0,548 \times 10^{-3}$	$0,555 \times 10^{-6}$	122	1,917	$1,14 \times 10^{-5}$	$0,597 \times 10^{-5}$
60	983	$0,467 \times 10^{-3}$	$0,475 \times 10^{-6}$	140	1,908	$0,975 \times 10^{-5}$	$0,511 \times 10^{-5}$
70	978	$0,405 \times 10^{-3}$	$0,414 \times 10^{-6}$	158	1,897	$0,846 \times 10^{-5}$	$0,446 \times 10^{-5}$
80	972	$0,355 \times 10^{-3}$	$0,365 \times 10^{-6}$	176	1,886	$0,741 \times 10^{-5}$	$0,393 \times 10^{-5}$
90	965	$0,316 \times 10^{-3}$	$0,327 \times 10^{-6}$	194	1,873	$0,660 \times 10^{-5}$	$0,352 \times 10^{-5}$
100	958	$0,283 \times 10^{-3}$	$0,295 \times 10^{-6}$	212	1,859	$0,591 \times 10^{-5}$	$0,318 \times 10^{-5}$

Anexo B2: Viscosidad cinemática de fluidos comunes a 1 atm.



Fuente: (White, 2009)

Anexo B3: Carga de Presión de vapor vs Temperatura (Agua)



Anexo C: Factores de conversión

Anexo C1: Tabla de Factores de conversión del sistema británico al sistema internacional.

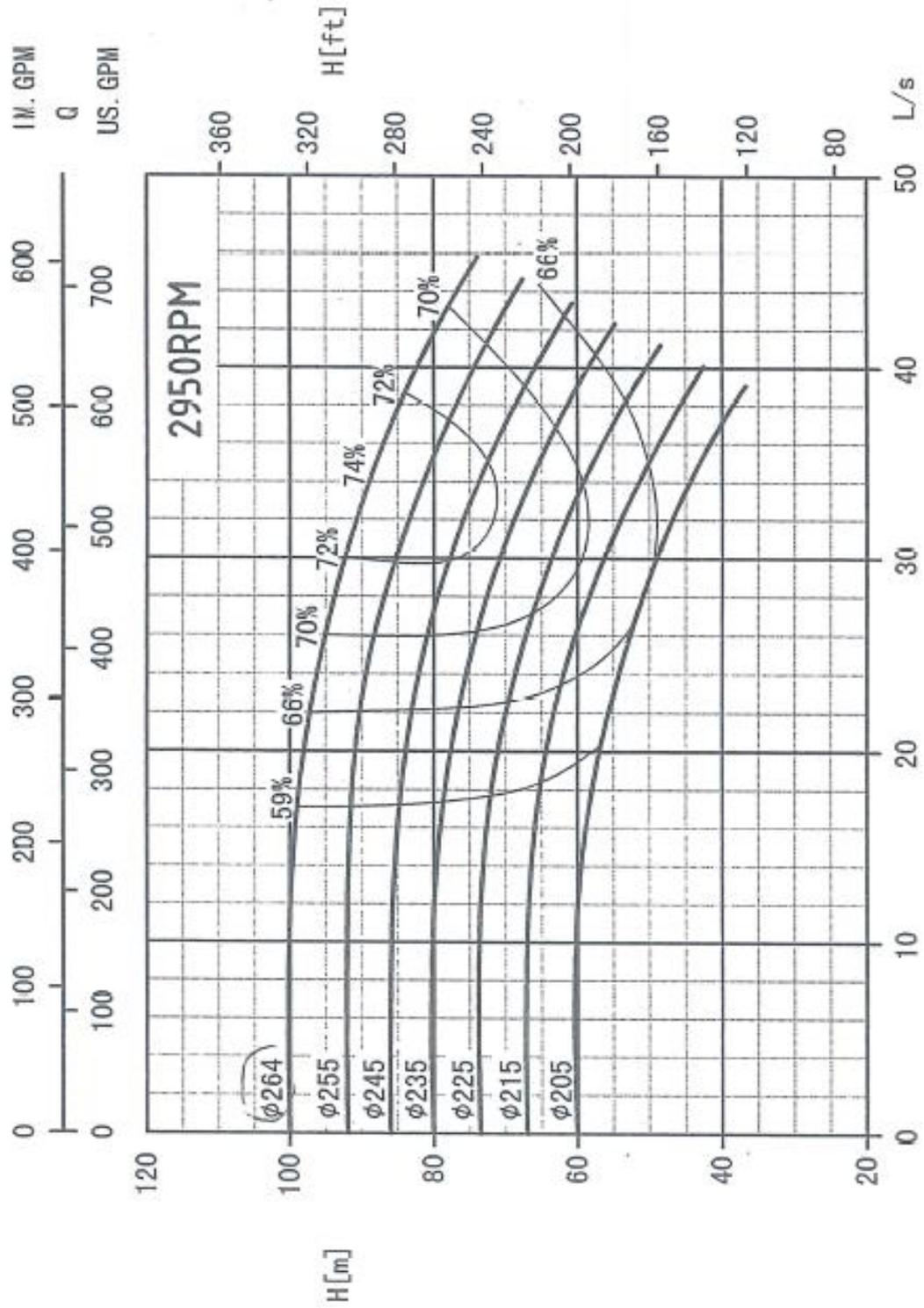
Longitud	Volumen
1 ft = 12 in = 0,3048 m 1 mi = 5280 ft = 1609,344 m 1 milla náutica (mn) = 6076 ft = 1852 m 1 yd = 3 ft = 0,9144 m 1 angstrom (Å) = $1,0 \times 10^{-10}$ m	1 ft ³ = 0,028317 m ³ 1 galón (gal) (EE.UU.) = 231 in ³ = 0,0037854 m ³ 1 litro = 0,001 m ³ = 0,035315 ft ³ 1 onza líquida (EE.UU.) = $2,9574 \times 10^{-5}$ m ³ 1 cuarto (qt) (EE.UU.) = $9,4635 \times 10^{-4}$ m ³
Masa	Área
1 slug = 32,174 lbm = 14,594 kg 1 lbm = 0,4536 kg 1 tonelada (EE.UU.) = 2000 lbm = 907,185 kg 1 tonelada = 1000 kg	1 ft ² = 0,092903 m ² 1 mi ² = $2,78784 \times 10^7$ ft ² = $2,59 \times 10^6$ m ² 1 acre = 43.560 ft ² = 4046,9 m ² 1 hectárea (ha) = 10.000 m ²
Velocidad	Aceleración
1 ft/s = 0,3048 m/s 1 mi/h = 1,466666 ft/s = 0,44704 m/s 1 nudo (kn) = 1 mn/h = 1,6878 ft/s = 0,5144 m/s	1 ft/s ² = 0,3048 m/s ²
Gasto másico	Flujo volumétrico
1 slug/s = 14,594 kg/s 1 lbm/s = 0,4536 kg/s	1 gal/min = 0,002228 ft ³ /s = 0,06309 L/s 1 $\times 10^6$ gal/día = 1,5472 ft ³ /s = 0,04381 m ³ /s
Presión	Fuerza
1 lbf/ft ² = 47,88 Pa 1 lbf/in ² = 144 lbf/ft ² = 6895 Pa 1 atm = 2116,2 lbf/ft ² = 14,696 lbf/in ² = 101,325 Pa 1 inHg (a 20 °C) = 3375 Pa 1 bar = $1,0 \times 10^5$ Pa	1 lbf = 4,448222 N = 16 oz 1 kgf = 2,2046 lbf = 9,80665 N 1 tonelada fuerza (EE.UU.) = 2000 lbf 1 dyne = $1,0 \times 10^{-5}$ N 1 onza (oz) (avoirdupois) = 0,27801 N
Energía	Potencia
1 ft · lbf = 1,35582 J 1 Btu = 252 cal = 1055,056 J = 778,17 ft · lbf 1 kilowatio hora (kWh) = $3,6 \times 10^6$ J	1 CV = 550 ft · lbf/s = 745,7 W 1 ft · lbf/s = 1,3558 W

Anexo C2: Tablas de Factores de conversión del sistema británico al sistema internacional.

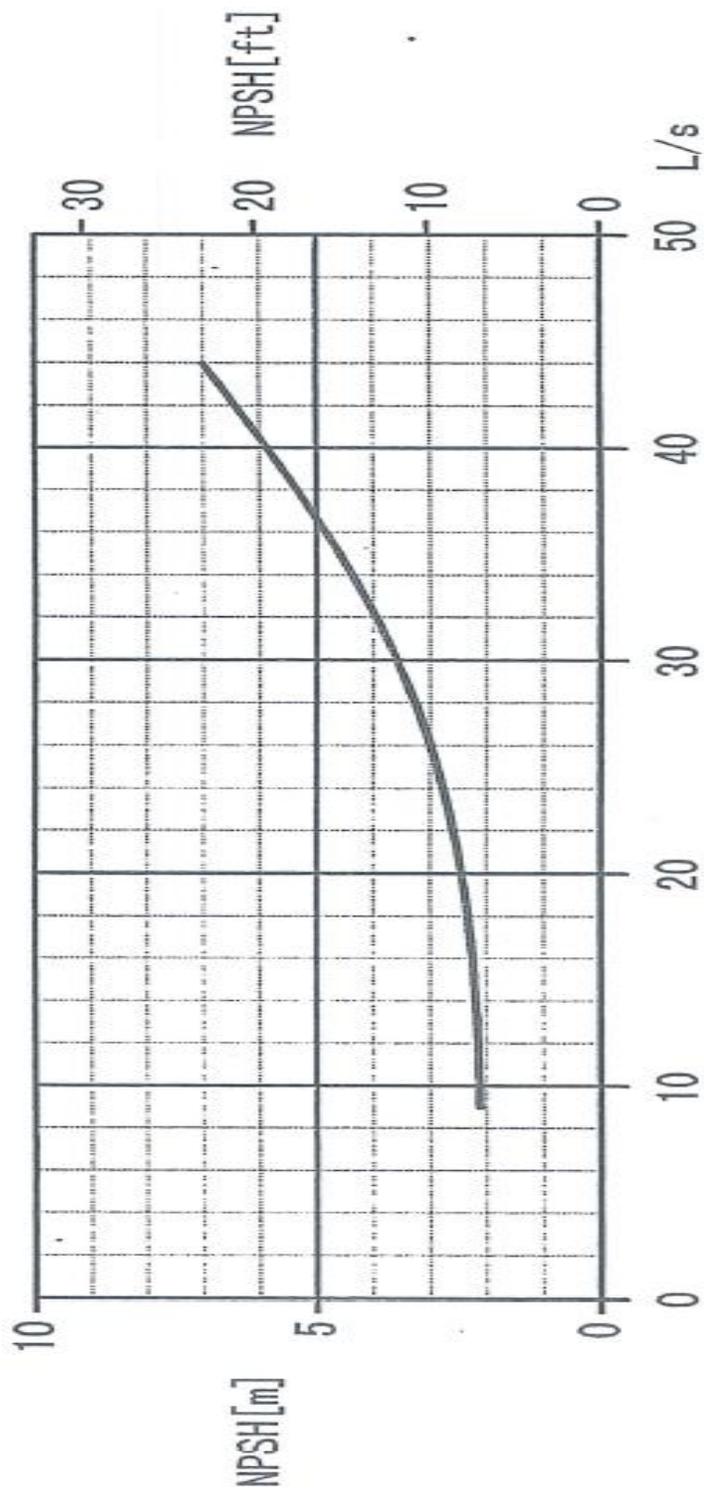
	Para convertir	En	Multiplicar por
Aceleración	ft/s ²	m/s ²	0,3048
Área	ft ²	m ²	$9,2903 \times 10^{-2}$
	mi ²	m ²	$2,5900 \times 10^6$
	acres	m ²	$4,0469 \times 10^3$
Calor específico	ft ² /(s ² · °R)	m ² /(s ² · K)	$1,6723 \times 10^{-1}$
Densidad	slug/ft ³	kg/m ³	$5,1538 \times 10^3$
	lbm/ft ³	kg/m ³	$1,6019 \times 10^1$
Energía	ft · lbf	J	1,3558
	Btu	J	$1,0551 \times 10^3$
	cal	J	4,1868
Flujo o gasto másico	slug/s	kg/s	$1,4594 \times 10^1$
	lbm/s	kg/s	$4,5359 \times 10^{-1}$
Flujo volumétrico	ft ³ /s	m ³ /s	$2,8317 \times 10^{-2}$
	galones/min	m ³ /s	$6,3090 \times 10^{-5}$
Fuerza	lbf	N	4,4482
	kgf	N	9,8067

	Para convertir	En	Multiplicar por
Longitud	ft	m	0,3048
	in	m	$2,5400 \times 10^{-2}$
	mi (terrestre)	m	$1,6093 \times 10^3$
	mi (náutica)	m	$1,8520 \times 10^3$
Masa	slug	kg	$1,4594 \times 10^1$
	lbm	kg	$4,5359 \times 10^{-1}$
Peso específico	lbf/ft ³	N/m ³	$1,5709 \times 10^2$
Potencia	ft · lbf/s	W	1,3558
	hp	W	$7,4570 \times 10^2$
Presión	lbf/ft ²	Pa	$4,7880 \times 10^1$
	lbf/in ²	Pa	$6,8948 \times 10^5$
	atm	Pa	$1,0133 \times 10^5$
	mm Hg	Pa	$1,3332 \times 10^2$
Temperatura	°F	°C	$t_c = \frac{1}{9}(t_f - 32^\circ)$
	°R	K	0,5556
Tensión superficial	lbf/ft	N/m	$1,4594 \times 10^1$
Velocidad	ft/s	m/s	0,3048
	mi/h	m/s	$4,4704 \times 10^{-1}$
	nudo	m/s	$5,1444 \times 10^{-1}$
Viscosidad	lbf · s/ft ²	N · s/m ²	$4,7880 \times 10^1$
	g/(cm · s)	N · s/m ²	0,1
Volumen	ft ³	m ³	$2,8317 \times 10^{-2}$
	litro	m ³	0,001
	galón (EE.UU.)	m ³	$3,7854 \times 10^{-3}$
	onza líquida (EE.UU.)	m ³	$2,9574 \times 10^{-5}$

Anexo D: Gráficas Bomba

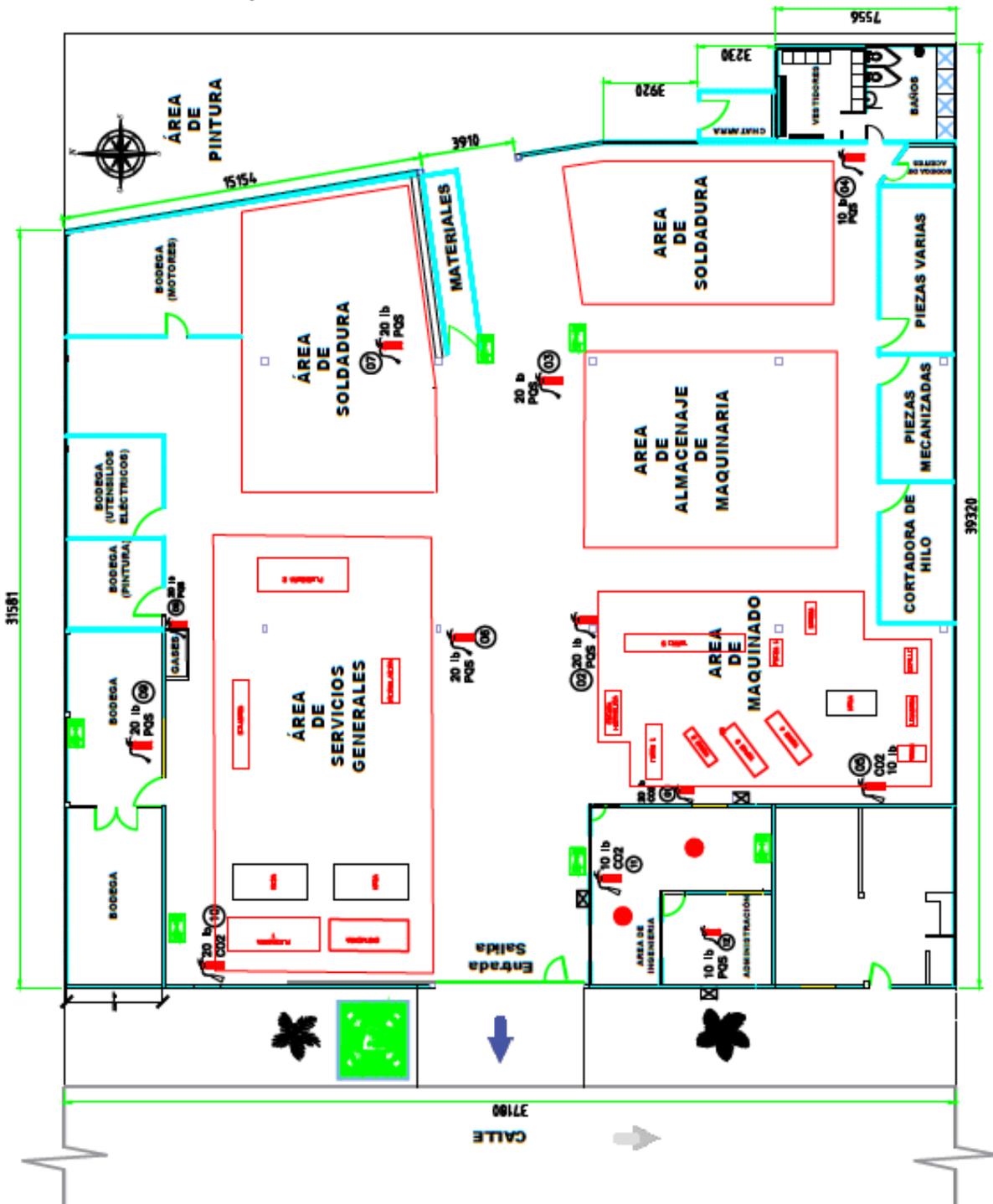


Apéndice D1: Curva de Diseño de Bomba.

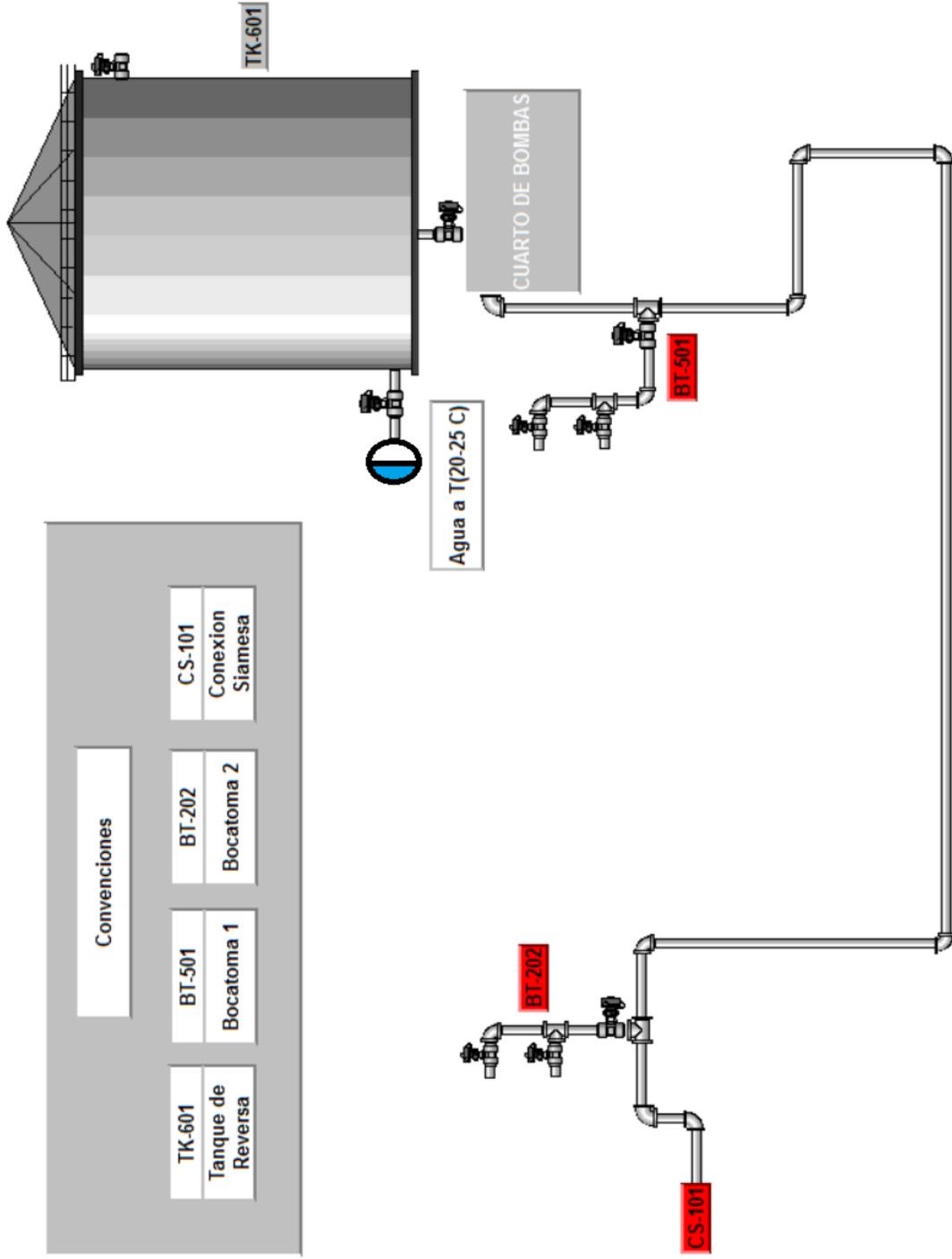


Apéndice D2: Curva de Diseño de la Bomba NPSH

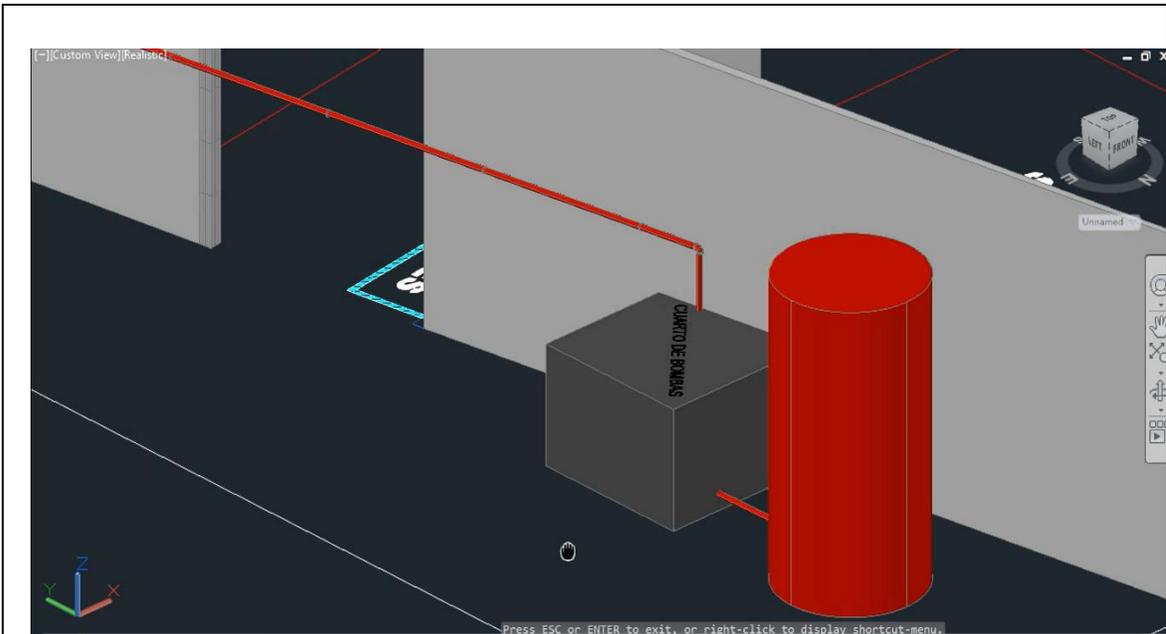
Anexo E: Representaciones Gráficas



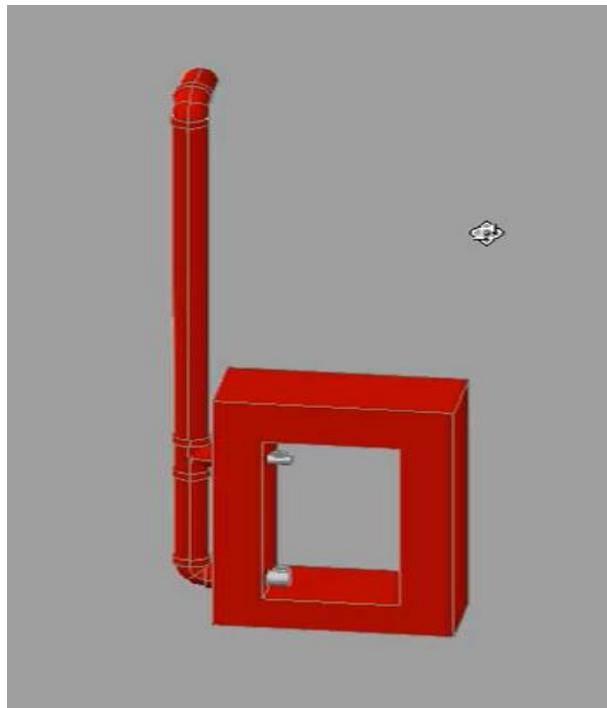
Anexo E1: Plano arquitectónico de la empresa TEPACORP



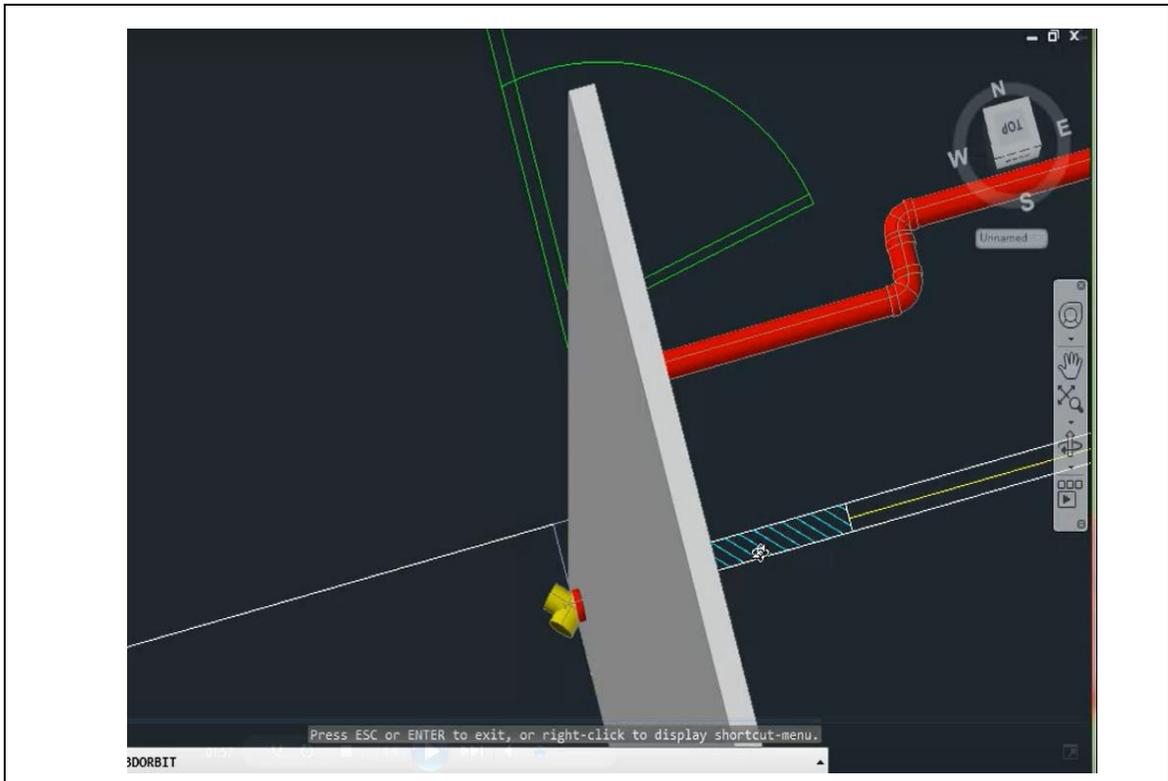
Anexo E2: Diagrama de Flujo – Red Hidráulica contra Incendios TEPACORP



Tanque de Almacenamiento de agua - Cuarto para el Sistema de Bombas



Sistema de Bocatomas Clase III



Conexión Siamesa



Vista General de la Red Hidráulica contra Incendios

Anexo E3: Vistas en 3D de la Red hidráulica del Sistema contra Incendios mediante el programa AutoCAD.



Apéndice B: Rombo de Seguridad Norma NFPA 704

Fuente: NFPA 704-Sistema Normativo para la Identificación de los Riesgos de los Materiales para Respuesta a Emergencias (National Fire Protection Association, 2016)