

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

### **INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL:**

ELABORACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE GASOLINA PREMIUM PARA LA EMPRESA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO GUTIÉRREZ (PEMEX).

**EMPRESA:** PETRÓLEOS MEXICANOS

**ALUMNO:** FERNANDO TORRES PÉREZ

**NÚMERO DE CONTROL:** 13270088

**CARRERA:** INGENIERÍA MECÁNICA

**PERIODO:** ENERO- JUNIO 2017

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas





## INTRODUCCIÓN

Petróleos Mexicanos es una empresa del sector industrial, de las cuales entre sus principales actividades que se llevan a cabo entre sus organismos subsidiarios se encuentra la extracción, recolección, procesamiento primario, refinación, petroquímica básica, almacenamiento, medición, distribución y transporte de hidrocarburos.

En este caso nos enfocaremos a la Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez el cual es un área que procura cubrir las necesidades de abastecimiento de petrolíferos en las diferentes zonas de la localidad y sus alrededores, considerando calidad, cantidad y tiempo para facilitar las actividades diarias de los consumidores finales.

Dicha terminal tiene como objeto el almacenamiento de combustible por medio de tanques verticales, de manera que para poder llevar el fluido desde el tanque hasta las llenaderas de los autotanques se requiere del uso de un sistema de bombeo.

Durante el desarrollo de esta labor podremos observar la intención de este trabajo, que consiste en tener un mejor manejo del transporte de la gasolina Premium por medio de la implementación de un sistema de bombeo auxiliar cuando así se requiera, debido al fallo que pueda ocurrir en la red de bombeo que tiene la gasolina Premium ya existente.

Por tal motivo el proyecto desarrollado consistió en la realización de los diagramas de las tuberías tanto de succión como de descarga y elaboración de cálculos pertinentes para obtener los diámetros de las tuberías y las características de la bomba para el nuevo sistema de bombeo.

El presente trabajo tiene como objetivos primordiales el reconocimiento de las distintas áreas que integran la planta, la familiarización e interpretación de los elementos que conforman un sistema de bombeo. De acuerdo a esto el siguiente informe está compuesto de 5 capítulos.



Para el primer capítulo 1 se describe de manera general las características de la empresa, se menciona la problemática enfrentada, así como los alcances y limitaciones para este proyecto.

En el capítulo 2 se presenta en absoluto el fundamento teórico relacionado al sistema de bombeo, las ecuaciones apropiadas para realizar la memoria de cálculo.

Para el capítulo 3 se detalla las actividades que se llevaron a cabo como son el reconocimiento del área, recolección de información, entre otras más.

En el capítulo 4 se muestran los resultados, es decir los isométricos de la red, los cálculos del diámetro de tubería, así como de las características de la bomba que se requiere. Para finalizar se mencionan las conclusiones y recomendaciones.



## CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	7
GENERALIDADES.....	7
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1. GENERAL.....	9
1.2. 2 ESPECÍFICOS .....	9
1.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	10
1.3.1 DATOS DE LA EMPRESA.....	10
1.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	10
1.3.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	11
1.3.4 MISIÓN .....	11
1.3.5 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS.....	12
1.3.6 VALORES.....	12
1.3.7 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA TERMINAL DE ALMACENAMINETO Y DESPACHO TUXTLA GUTIÉRREZ.....	16
1.3.8 PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN.....	15
1.4 PROBLEMAS A RESOLVER.....	16
1.5 ALCANCES.....	17
1.6 LIMITACIONES .....	17
CAPÍTULO 2.....	18
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	18
2.1 FLUJO VOLUMÉTRICO.....	19
2.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA UN FLUIDO REAL .....	19
2.3 FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS .....	21
2.4 NÚMERO DE REYNOLDS .....	21
2.4.1 NÚMEROS DE REYNOLDS CRÍTICOS .....	22
2.5 ECUACIÓN DE DARCY WEISBACH .....	23
2.6 PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR.....	24
2.7 FACTOR DE FRICCIÓN .....	25



2.8 PÉRDIDAS MENORES .....	27
2.8.1 VÁLVULAS.....	28
2.9 SISTEMAS DE TUBERÍAS.....	29
2.10 SISTEMAS DE BOMBEO .....	31
2.10.1 BOMBA HIDRÁULICA .....	31
2.10.1.2 Bombas centrífugas .....	33
2.11 API STA 610 ISO 13709 2009 .....	34
2.12 CARGA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA (NPSH) .....	35
2.13 POTENCIA DE BOMBEO .....	36
2.14 AUTODESK AutoCAD .....	37
2.15 NOM-018-STPS-2000.....	37
2.15.1 GASOLINA PEMEX PREMIUM .....	37
2.16 NRF-032-PEMEX-2012 .....	38
2.17 NORMA K-101 .....	39
CAPÍTULO 3.....	41
PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	41
3.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCION AMBIENTAL (SIPA) .....	42
3.2 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA .....	43
3.2.1 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	43
3.2.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA .....	43
3.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	45
3.4 ELABORACIÓN DE ISOMÉTRICOS DE TUBERIAS DE LA RED DE BOMBEO.....	45
3.5 ELABORACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	46
CAPÍTULO 4 .....	47
RESULTADOS.....	47
4.1 ISOMETRICOS DE LA RED DE BOMBEO .....	48
4.2 CÁLCULO DE TUBERÍAS.....	53
4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA .....	60
7.4 CÁLCULO DEL NPSH REQUERIDO .....	69
5.1 CONCLUSIONES .....	70
5.2 RECOMENDACIONES .....	71



ANEXOS.....	73
ANEXO A.....	74
ANEXO B.....	79
ANEXO C.....	81
ANEXO D.....	83
GLOSARIO.....	85
CONTENIDO DE TABLAS .....	86
CONTENIDO DE FIGURAS .....	87

## CAPÍTULO 1

### GENERALIDADES





## 1.1 JUSTIFICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez es una planta enfocada a satisfacer la demanda de combustibles en esta región, por lo que contempla la necesidad de contar con sistemas de bombeo debidamente calificados y con un correcto funcionamiento en sus diversas áreas de llenado de los autotanques.

En esta planta se cuentan con seis tanques de almacenamiento de diversos combustibles de los cuales dos de ellos contienen gasolina Premium, las cuales se encuentran conectadas únicamente a un sistema de bombeo, por tal motivo si en dado caso dicha bomba fallara el sistema completo quedaría inhabilitado.

Es por ello que surge la necesidad de implementar una bomba centrífuga alterna que reemplace o coadyuve al sistema si en dado caso el sistema instalado llegara a detenerse o fallar en su funcionamiento, o en su defecto se requiera brindar mantenimiento al equipo de bombeo, con el propósito que la distribución continúe.

Por tal motivo se consideró el requerimiento de un nuevo sistema de bombeo con las especificaciones necesarias para un óptimo desarrollo, considerando las pérdidas por fricción, obstrucción y el caudal requerido.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1. GENERAL

Agregar flexibilidad operativa en casa de bombas para el manejo de la gasolina Pemex Premium, mediante la implementación de un nuevo sistema de bombeo para alternar la red existente y hacer más eficiente el llenado de los Autotanque.

### 1.2. 2 ESPECÍFICOS

- Realizar los isométrico de la tubería y accesorios al integrar la bomba nueva con la ayuda del software AUTOCAD.
- Realizar las modificaciones necesarias a la nueva red con el propósito de no interferir con las actividades de los demás circuitos de tuberías, mejorando su operación.
- Elaboración del cálculo tanto de tuberías como de la bomba nueva para la distribución de la red de gasolina Premium.
- Optimizar el bombeo de gasolina Premium de los depósitos a los autotanques de servicio.



## 1.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

### 1.3.1 DATOS DE LA EMPRESA

Empresa: TAD (Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez (Pemex))

Superintendente: Ing. Martino Tzab Varela

Dirección: Carretera Panamericana K.M. 1080

Colonia: Plan de Ayala

Ciudad/Estado: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Teléfono: 01 (961) 615 1418

Código postal: 29020

### 1.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez es una empresa subsidiaria de petróleos mexicanos (Pemex), cuya función es ofrecer servicios de almacenamiento y despacho de productos petrolíferos bajo esquemas de calidad, oportunidad y seguridad, optimizando los recursos asignados mediante las mejores prácticas, orientadas a preservar el medio ambiente y la salud ocupacional.

La Terminal de Almacenamiento y Despacho proporciona sus servicios con calidad certificada y mediante un óptimo desempeño operativo, con la aplicación permanente del proceso de mejora continua y el desarrollo de las actividades orientadas al esfuerzo conjunto para lograr un fin en común, el cual es ser una empresa rentable y eficiente, logrando la satisfacción y lealtad de los clientes.

### 1.3.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La TAD se localiza en la carretera Panamericana K.M. 1080, Colonia Plan de Ayala, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Ver la figura 1.1.



**Figura 1.1 Ubicación geográfica de la Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez (Pemex).**

### 1.3.4 MISIÓN

Ser la empresa más competitiva de la industria petrolera mexicana y referente internacional.



### 1.3.5 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

#### Financieros:

- Generar resultados positivos
- Optimizar costos totales
- Maximizar la utilidad de activos
- Incrementar ingresos

#### Clientes:

- Dar certeza del volumen entregado
- Asegurar la entrega oportuna de combustibles
- Garantizar la calidad de los combustibles entregados
- Asegurar la satisfacción de los clientes

### 1.3.6 VALORES

- Integridad

Unir partes diversas en un todo coherente que contiene un equilibrio entre ellas, se busca de un objetivo y se manifiesta con: Justicia, creatividad, respeto, dignidad, equidad, confianza, honestidad, sinceridad, transparencia, congruencia, pertenencia, compromiso con la verdad.

- Innovación

Generar cosas nuevas, nuevos conocimientos, productos tecnológicos o servicios. Es relacionar con la inteligencia para cubrir necesidades cambiantes.

- Competitividad

Aprovechar de la mejor manera las fortalezas únicas de cada uno de los individuos y lograr sinergia de manera que la organización, muestre un desarrollo exitoso y de vanguardia. La competitividad se manifiesta con: Liderazgo, compromiso, profesionalismo, eficiencia, calidad, flexibilidad, capacidad técnica, habilidad, interdisciplina, orientación.



- Sustentabilidad

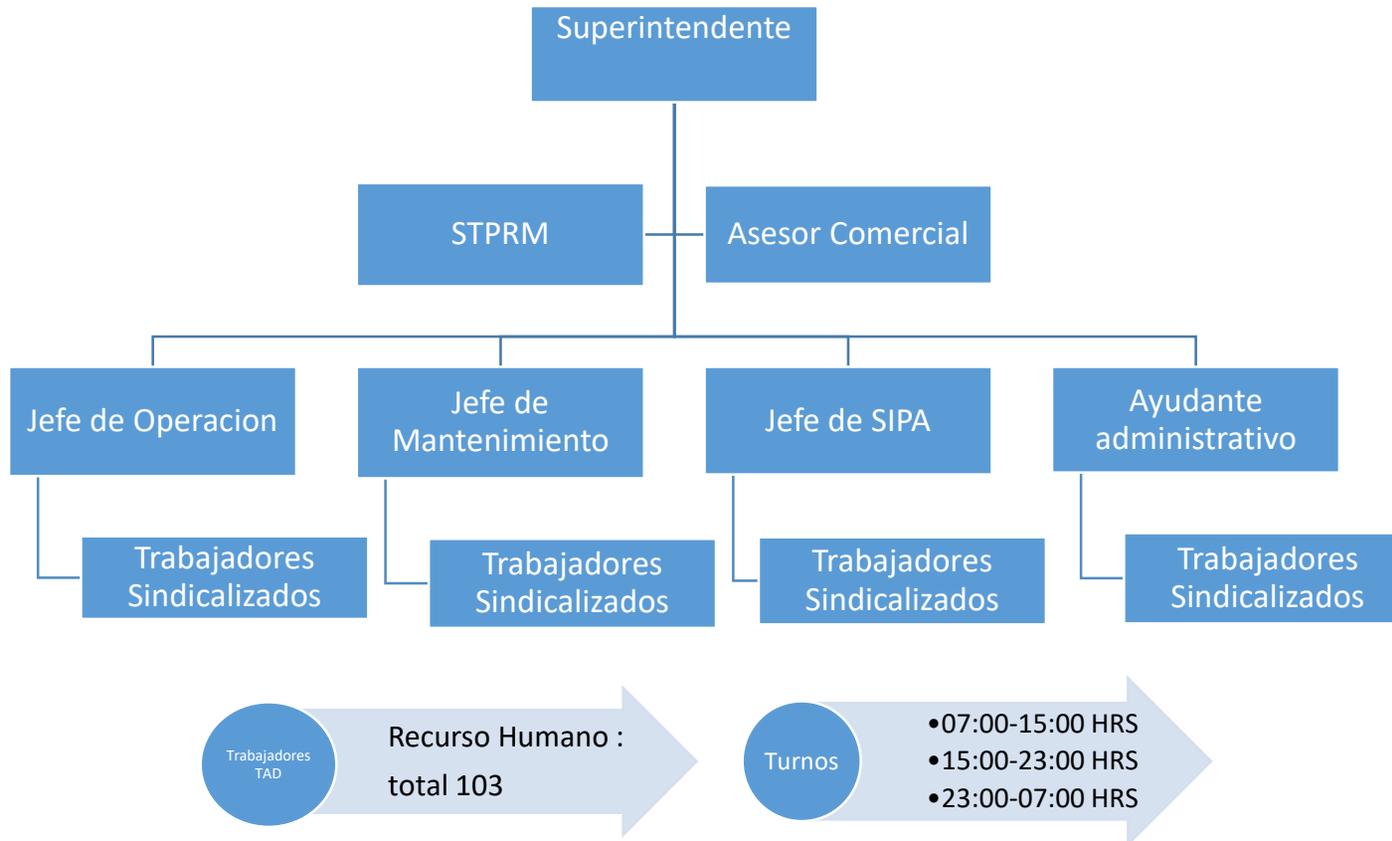
El crecimiento debe darse dentro de los límites naturales de compresión o regeneración de los ecosistemas, evitando la explotación de los recursos naturales, la degradación, contaminación de aire, agua y suelo. La sustentabilidad se manifiesta con: diversidad, naturaleza, seguridad, respeto al entorno, ecología, inversión, continuidad.

- Compromiso social

Es reconocer la pertenencia de la empresa dentro del ámbito social nacional. Es aceptar los compromisos que se establecen con las comunicaciones del país, a fin de fortalecer los vínculos entre organizaciones y los mexicanos. El compromiso social se manifiesta con: nacionalidad, sociedad, tradición, fortaleza, bien común, lealtad, orgullo, triunfo, grandeza y solidaridad. (TAD Tuxtla Gutierrez)

### 1.3.7 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO TUXTLA GUTIÉRREZ (PEMEX).

A continuación, se presenta la estructura organizacional de la TAD Tuxtla Gutiérrez.



### 1.3.8 PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El proceso de almacenamiento y distribución de la TAD Tuxtla Gutiérrez, se observa a continuación.

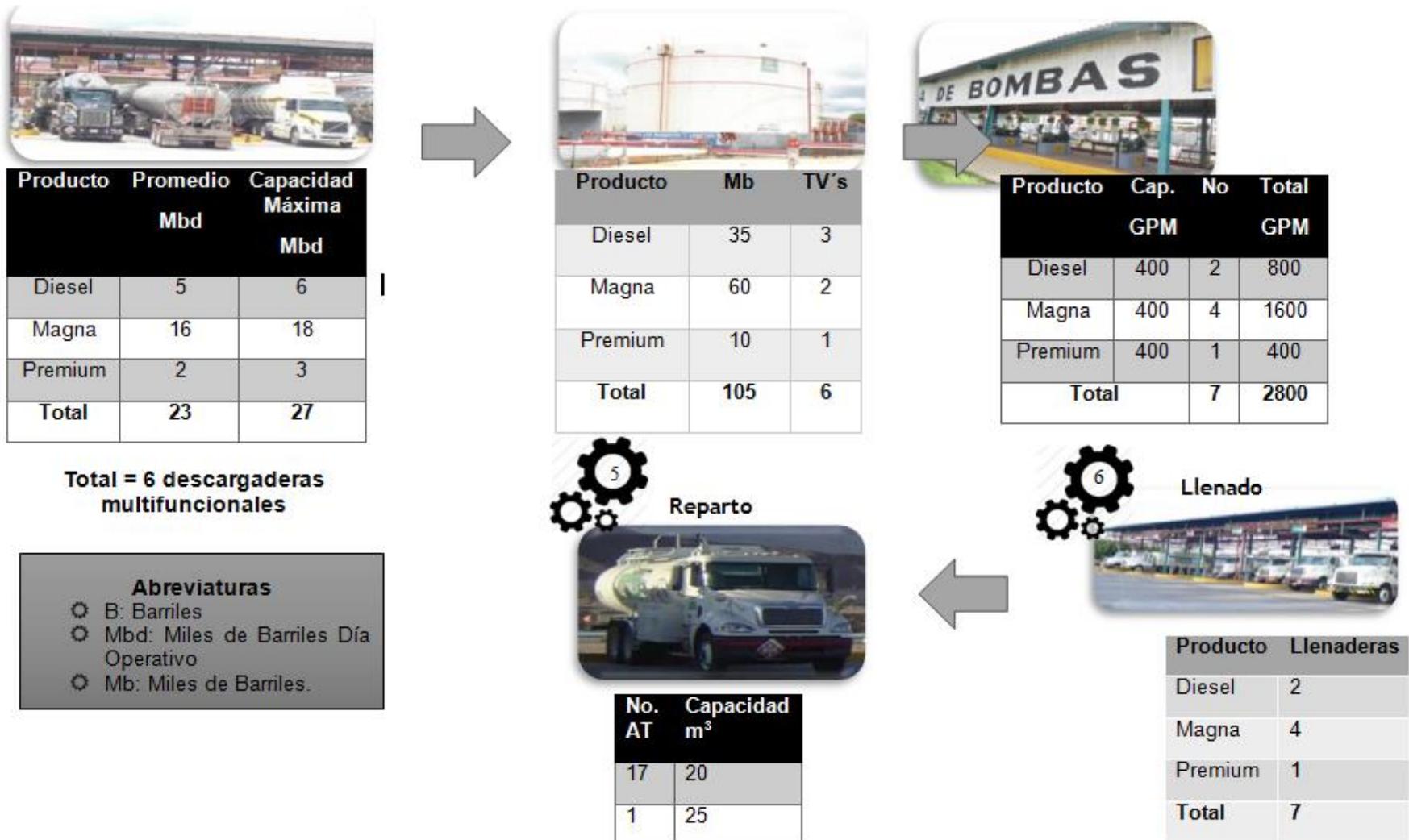


Figura 1. 2 Proceso de almacenamiento y distribución de la TAD Tuxtla Gutiérrez



## 1.4 PROBLEMAS A RESOLVER

Los problemas más prioritarios que se necesitan resolver, son los siguientes:

- Inhabilitación del sistema de bombeo de la gasolina Premium por falta de otra red de bombeo.
- Elaborar los isométricos de la red de bombeo, tanto de la línea de succión como la de descarga, considerando el recorrido más apropiado.
- Elaborar el cálculo para obtener la potencia de la bomba y los diámetros de tubería del nuevo sistema de bombeo.
- Pérdida de tiempo por parte de los conductores de las unidades en el área de llenado de los autotankes, debido al funcionamiento de una sola red de bombeo, por tanto, se deberá colocar una alterna.



## 1.5 ALCANCES

Los alcances más trascendentales que se conseguirán, son los que se mencionan a continuación:

- Se obtendrá una mejor eficiencia, alta fiabilidad y disposición del sistema de bombeo de la gasolina Premium.
- Mejoras en el mantenimiento de la red de gasolina Premium sin necesidad de interrumpir o parar por completo el funcionamiento del sistema.
- Mayor eficiencia en el llenado de los autotanques, por lo que la entrega de la gasolina Premium será en forma y tiempo apropiado a su destino establecido.

## 1.6 LIMITACIONES

Las limitaciones más considerables para este proyecto, son los siguientes:

- Que los recursos económicos destinados, a las mejoras de la red del sistema de bombeo de gasolina Premium, no esté en el tiempo establecido.
- Falta de personal capacitado para efectuar este proyecto.
- No existe una programación para realizar dicho proyecto.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO





El objetivo de este capítulo es presentar el fundamento teórico basada en relación al tema del proyecto de residencia profesional.

## 2.1 FLUJO VOLUMÉTRICO

El flujo volumétrico (Q) también llamado caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así, por ejemplo, en una tubería de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal al conducto y calcula con la siguiente ecuación: (Mataix, Segunda edición)

$$Q = AV \quad (2.1)$$

Donde:

Q = flujo volumétrico o caudal  $\left(\frac{m^3}{seg}\right)$

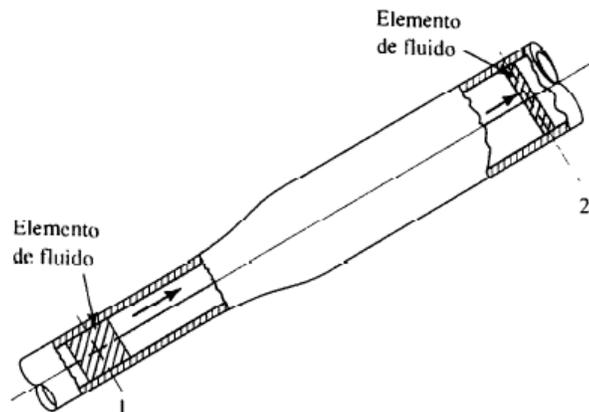
A = área de la sección  $(m^2)$

V = velocidad promedio del flujo  $\left(\frac{m}{seg}\right)$

## 2.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA UN FLUIDO REAL

Hay tres formas de energía que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo en tuberías, considere un elemento de fluido como el que se muestra en la figura 2.1, dentro de una tubería en un sistema de flujo. Se localiza a cierta elevación (z), tiene una velocidad (V) y presión (P).

Considerando un fluido real la viscosidad origina un rozamiento tanto del fluido con el contorno (tubería, canal, etc.) como las partículas del fluido entre sí, entonces la ecuación de Bernoulli se modifica, naturalmente se sigue cumpliendo el principio de la conservación de la energía. Es decir, además de las tres formas de energía (potencial geodésica, de presión y cinética) aparece la energía de fricción.



**Figura 2.1 Elementos de fluidos en una tubería**

Suponiendo que el fluido se comporta como incompresible, esta fricción en la mecánica de fluidos incompresibles no es aprovechable y solo en este sentido la llamaremos energía perdida, o bien expresada en forma de altura (H).

La energía en el punto 1 (o suma de la energía de posición, de presión y cinética en el punto 1) menos la energía perdida entre el punto 1 y 2 por rozamiento es igual a la energía en el punto 2 (o suma de energía de posición, de presión y cinética en el punto) o sea la ecuación 2.1. (Mataix, Segunda edición)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \text{Perdidas} \quad (2.2)$$

Donde:

$\frac{P}{\gamma}$  = Carga de presión (m.c.l)

$Z$  = Carga de elevación (m)

$\frac{V^2}{2g}$  = Carga de velocidad (m.c.l)



## 2.3 FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

El flujo de un líquido a través de tuberías se usa comúnmente en redes de distribución de fluido. El líquido en estas aplicaciones usualmente se fuerza a fluir mediante una bomba a través de una sección. Se enfoca en atención a la fricción, que se relaciona directamente con la caída de presión y las pérdidas de carga a través de las tuberías.

Una inspección cuidadosa del flujo en una tubería revela que el flujo de fluidos es de líneas de corriente aproximadamente paralelas a bajas velocidades, pero se vuelve caótico conforme la velocidad aumenta sobre un valor crítico. A continuación se mencionan los flujos en una tubería:

- Laminar: se caracteriza por aquel fluido que se desplaza en líneas de corrientes suaves y movimientos sumamente ordenado a lo largo de una tubería .
- Turbulento: se caracteriza por aquel flujo de fluidos que se desplaza con fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado a través de una tubería provocando un desprendimiento de energía.
- Transición: de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento.

La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. El flujo laminar se encuentra cuando los fluidos son muy viscosos, fluyen en pequeñas tuberías. (Cinbala, 2006)

## 2.4 NÚMERO DE REYNOLDS

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Por esta razón, se necesita predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo en la realidad. Mas aun, la observación directa es imposible para fluidos que van por tubos opacos. Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento, por motivo que él descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de fluido.

Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{V d}{\nu} \quad (2.3)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\mu$  = Viscosidad dinámica  $\left(\frac{kg}{m \cdot seg}\right)$

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$  = Viscosidad cinemática  $\left(\frac{m^2}{seg}\right)$

$V$  = Velocidad promedio del flujo  $\left(\frac{m}{seg}\right)$

$d$  = Diámetro interno de la tubería ( $d$ )

#### 2.4.1 NÚMEROS DE REYNOLDS CRÍTICOS

Para aplicaciones prácticas del flujo de tuberías, encontramos que si el número de Reynolds para el flujo es menor de que 2000, éste será laminar; si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. En el rango de números de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible predecir qué flujo existe; por tanto, se denomina región crítica. Las aplicaciones prácticas involucran flujos que se encuentran bien dentro del rango laminar o bien dentro del turbulento, por lo que la existencia de dicha región de incertidumbre no ocasiona demasiadas dificultades. Por esta razón se considera lo siguiente:

- Si  $Re \leq 2000$ , el flujo es laminar.
- Si  $Re \geq 4000$ , el flujo es turbulento.
- Si  $2000 < Re < 4000$ , flujo en transición.

Si se encuentra que el flujo en un sistema se halla en una región crítica, la práctica usual es cambiar el caudal o diámetro del tubo para hacer que el flujo sea definitivamente laminar o turbulento. (Mott, 2006)



El flujo correspondiente a un número de Reynolds que exceda 2000 puede considerarse inestable debido a que cualquier perturbación produciría la aparición de las fluctuaciones aleatorias comunes de flujo turbulento. Por debajo del número de Reynolds crítico la cantidad de amortiguamiento existente es suficiente para eliminar los efectos de cualquier perturbación local, de manera que el flujo es siempre bien ordenado. En problemas prácticos de ingeniería relacionados con tuberías, siempre existen perturbaciones locales suficientes para ocasionar la aparición del flujo turbulento cuando se excede el número de Reynolds crítico. (Shames, 1995)

## 2.5 ECUACIÓN DE DARCY WEISBACH

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en las secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción.

A continuación se presenta dicha ecuación:

$$h_{tr} = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

Donde:

$h_{tr}$  = Pérdida de energía debido a la fricción a través de la tubería (m)

$f$  = Factor de fricción (adimensional)

$L$  = Longitud de tubería (m)

$d$  = Diámetro interno de la tubería (m)

$V$  = Velocidad promedio del flujo

$g$  = Constante de gravedad =  $9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$



## 2.6 PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR

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

$$h_{tr} = \frac{32\mu LV}{\gamma d^2} \quad (2.5)$$

Donde:

$h_{tr}$  = Pérdida de energía debido a la fricción para flujo laminar (m.c.l)

$\mu$  = Viscosidad dinámica  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{seg}}\right)$

$L$  = Longitud de tubería (m)

$V$  = Velocidad promedio del flujo

$\gamma$  = Peso específico del fluido  $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$

$d$  = Diámetro interno del tubo (m)

La ecuación de Hagen es válida sólo para el flujo laminar, sin embargo también puede usarse la ecuación de Darcy para calcular la pérdida por fricción para el flujo laminar, considerando para el cálculo del factor de fricción deberá aplicarse la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.6)$$

Donde:

$f$  = Coeficiente de fricción (adimensional)

$Re$  = Número de Reynolds (adimensional)

## 2.7 FACTOR DE FRICCIÓN

Las pruebas han demostrado que el factor de fricción  $f$  depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

La rugosidad relativa es la relación de la rugosidad promedio de su pared ( $\epsilon$ ) entre el diámetro de la tubería ( $d$ ). La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material de que está hecho el tubo y el método de fabricación. (Mott, 2006)

Como se logra apreciar en la tabla 2.1, el valor de la rugosidad promedio  $\epsilon$  de la pared de tuberías existentes comercialmente, éstos son sólo valores promedio para tuberías nuevas y limpias, es de esperarse cierta variación, una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo.

**Tabla 2.1 Valores de la rugosidad de tubos**

TIPO DE TUBERIA O DE REVESTIMIENTO (NUEVO)	VALOR DE "ε" EN CM	
	INTERVALO	VALOR DE DISEÑO
Latón	.00015	.00015
Cobre	.00015	.00015
Hormigón	.03-.3	.012
Fundición desnuda	.012-.06	.024
Fundición asfaltada	.006-.018	.012
Fundición revestida de cemento	.00024	.00024
Fund. Revestimiento bituminoso	.00024	.00024
Fundición centrífuga	.0003	.0003
Hierro galvanizado	.006-.024	.015
Hierro forjado	.003-.009	.006
Acero comercial y soldado	.003-.009	.006
Acero roblonado	.09-.9	.18
Tubo estirado	.00024	.00024
Madera	.018-.09	.06

Fuente: (GILES, segunda edición)



Existen dos formas para determinar el valor del factor de fricción, las cuales se mencionan enseguida:

- 1.- Por el diagrama de Moody
- 2.- Por ecuaciones

Para fines pertinentes al proyecto se enfocará en el uso de ecuaciones que permiten obtener la solución directa para el factor de fricción, una cubre el flujo laminar y la otra se emplea en el turbulento, dichas ecuaciones son las siguientes:

- Factor fricción para flujo laminar: en la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000,  $f$  se obtiene a partir de la ecuación (2.6).

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Factor de fricción para el flujo turbulento: la siguiente ecuación, permite el cálculo directo del valor de la fricción para flujo turbulento, desarrollo P. K. Swamee y A. K. Jain:

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (2.7)$$

La ecuacion anterior tiene un intervalo  $5000 \leq Re \leq 10^8$

Donde:

$f$  = Factor de fricción (adimensional)

$Re$  = Número de Reynolds (adimensional)

$\epsilon$  = Rugosidad de la pared de la tubería (m)

$d$  = Diámetro interno de la tubería (m)

Para calcular el valor del factor de fricción  $f$  cuando se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se emplea la ecuación (2.6) para flujo laminar y la ecuación (2.7) para flujo turbulento. (Mott, 2006)



## 2.8 PÉRDIDAS MENORES

El fluido en un sistema de tuberías típico pasa a través de varias uniones, válvulas, codos, conexiones en T, entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos; Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas adicionales, estas son llamadas pérdidas menores.

Las pérdidas menores se expresan en términos del coeficiente de pérdida  $k$ , también llamado coeficiente de resistencia. Cuando está disponible el coeficiente de pérdida para un accesorio, la pérdida de carga para este accesorio se determina a partir de: (Cinbala, 2006)

$$h_a = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.8)$$

Donde:

$h_a$  = Pérdida de energía por accesorios (m.c.l)

$V$  = velocidad promedio del flujo en el tubo  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$K$  = Coeficiente de resistencia (adimensional)

El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo y por lo general no es lógico un análisis teórico; en consecuencia, usualmente los fabricantes de los accesorios determinan las pérdidas menores de manera experimental. Así como se puede observar en las tablas 2.2 y la 2.3.

**Tabla 2.2 Valores de K**

ACCESORIOS	K
Válvula de globo completamente abierta	10.0
Válvula de ángulo completamente abierta	5.0
Válvula de retención de columpio abierta	2.5
Válvula de compuerta abierta	0.19
Codo en U	2.2
Conexión en T estándar	1.8
Codo estándar	0.9
Codo de radio medio	0.75
Codo de radio largo	0.60
Codo de 45 grados	0.45
Válvula de control abierta	3.0
De depósito a tubería ras	0.50
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1.00

**Tabla 2.3 Valores de K para contracciones y ensanchamientos**

CONTRACCIÓN BRUSA		ENSANCHAMIENTO TOTAL PARA UN ÁNGULO TOTAL DEL CONO						
$d_1/d_2$	$k_c$	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1,2	0,08	0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37
1,4	0,17	0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,50	0,53
1,6	0,26	0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61
1,8	0,34	0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65
2,0	0,37	0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68
2,5	0,41	0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70
3,0	0,43	0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71
4,0	0,45	0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72
5,0	0,46	0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72

Fuente: Valores tomados de King, Handbook of Hydraulics, McGraw-Hill book Company, 1954.

El coeficiente de resistencia es dimensional debido a que representa una constante proporcional entre la pérdida de energía y la carga de velocidad, la magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida y a veces la velocidad del flujo.

### 2.8.1 VÁLVULAS

Una válvula funciona para permitir, bloquear o regular el flujo en una tubería, en la industria existe una cantidad considerable de válvulas con aplicaciones variadas según su tipo. A continuación, se describen los principales tipos de válvulas presentes en los sistemas de bombeo:

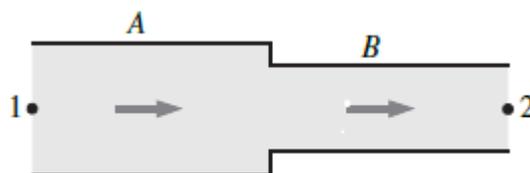
- Válvula de compuerta: Es una válvula de bloqueo utilizada para aislar unidades o equipos; su uso es de tipo abierto-cerrado, no es buena para estrangulamiento ya que puede causar erosión.
- Válvula de globo: En este tipo de válvulas el fluido cambia de dirección a través de ella, es utilizada para servicios de estrangulamiento y para el control manual.
- Válvula de retención: Es utilizada para prevenir el retorno de flujo en tuberías.

- Válvula de bola: Una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto; se usa para servicio de conducción y corte, sin estrangulación, cuando se requiere apertura parida.
- Válvula de bola: Estas válvulas poseen un dispositivo de cierre u obturador que está formado por una especie de tapón troncocónico el cual gira sobre su eje; son de accionamiento rápido por lo basta un cuarto de vuelta de la palanca para pasar de la posición cerrada a la abierta y viceversa.
- Válvula de mariposa: Esta válvula controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación.
- Válvula de control automático: Es una válvula similar a la válvula de globo sólo que es construida con la precisión requerida para el control automático; es utilizada frecuentemente para el control de presión y flujo.

## 2.9 SISTEMAS DE TUBERÍAS

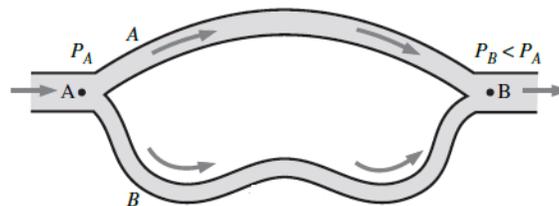
Los sistemas de tuberías que distribuyen fluidos en las ciudades o en grandes plantas industriales pueden ser extremadamente complicados, por tal motivo que se considera las siguientes tres clasificaciones: (GILES, segunda edición)

1. Un sistema compuesto está constituido por varias tuberías en serie, tal como se puede apreciar en la figura 2.2.



**Figura 2.2 Sistema de tuberías en serie**

2. Un sistema de tuberías en paralelo está constituido por dos o más tuberías que, partiendo de un punto, vuelve a unirse de nuevo en otro punto, aguas abajo del primero, tal como se observa en la figura 2.3.



**Figura 2.3 Sistema de tuberías en paralelo**

3. Un sistema de tuberías ramificadas está constituido por dos o más tuberías que se ramifican en cierto punto y no vuelven a unirse aguas abajo otra vez.

A partir de las tres anteriores clasificaciones para fines prácticos enfocados al proyecto se analizará más a fondo los sistemas de tuberías en serie.

Se dice que una tubería está conectada en serie cuando el final de una de ellas se inicia otra y así sucesivamente.

Características de la tubería en serie:

El caudal a través de todo el sistema permanece constante sin importar los diámetros de las tuberías individuales en el sistema:  $Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_n$

La pérdida de carga total en este caso es igual a la suma de las pérdidas de carga en las tuberías individuales en el sistema, que incluyen las pérdidas menores:

$$\text{Pérdida de energía por tubería recta total: } h_{tr_{total}} = h_{tr_1} + h_{tr_2} + h_{tr_3} + \dots + h_{tr_n}$$

$$\text{Pérdida de energía por accesorios total: } h_{a_{total}} = h_{a_1} + h_{a_2} + h_{a_3} + \dots + h_{a_n}$$

$$\text{Pérdida de energía total en el sistema: } h_{total} = h_{tr_{total}} + h_{a_{total}}$$



## 2.10 SISTEMAS DE BOMBEO

El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la energía del fluido para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garanticen en todo momento que el fluido permanezca en estado líquido y que no hay vaporización.

Para un sistema de bombeo, se considera la ecuación de Bernoulli adaptada y se menciona a continuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + Ea = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + ht \quad (2.9)$$

Donde:

$Ea$  = Energía agregada al sistema (m.c.l)

$ht$  = Carga de pérdida total en el sistema de bombeo (m.c.l)

$\frac{P}{\gamma}$  = Carga de presión (m.c.l)

$Z$  = Carga de elevación (m)

$\frac{V^2}{2g}$  = Carga de velocidad (m.c.l)

### 2.10.1 BOMBA HIDRÁULICA

Es un dispositivo mecánico que añade energía cinética a un fluido; un motor eléctrico o algún otro aditamento importante impulsa un eje rotatorio en la bomba; entonces, la bomba aprovecha esta energía cinética y la transmite al fluido, lo que provoca el movimiento de éste y el incremento de su presión. (Mott, 2006)



Otra definición es:

Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica. Las bombas se utilizan para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, líquidos alimenticios, etc.). (Mataix, Segunda edición)

Las tareas que tiene que realizar la bomba en un sistema dado, son las siguientes:

- El general, debe elevar la presión del fluido, desde la que tiene en el punto inicio P1, hasta la que tendrá en el punto de destino P2.
- Debe subir el fluido, desde el nivel de inicio Z1, al nivel del destino Z2.
- Tiene que incrementar la carga de velocidad en el punto 1 a la del punto 2.
- Se necesita que compense cualesquiera pérdidas de energía en el sistema, debido a la fricción en las tuberías o en las válvulas, acoplamientos, reducciones, ensanchamientos. (Mott, 2006)

Las bombas se clasifican en:

1. Bombas de desplazamiento positivo.
2. Bombas rotodinámicas.

#### 2.10.1.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Lo ideal es que las bombas de desplazamiento positivo envíen una cantidad fija de líquido en cada revolución del rotor o eje impulsor de la bomba. La capacidad de la bomba solo se ve afectada en forma moderada por los cambios de presión, debido a deslizamientos pequeños ocasionados a su vez por las holguras entre la carcasa y el rotor, pistones, aspas y otros elementos activos. La mayoría de las bombas de desplazamiento positivo operan con líquidos de un rango amplio de viscosidades. (Mott, 2006)

### 2.10.1.2 Bombas centrífugas

Es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Estas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor. En la figura 2.4 se percibe un ejemplo de una bomba centrífuga.



**Figura 2.4 Bomba centrífuga**

## 2.11 API STA 610 ISO 13709 2009

API (American Petroleum institute) / ISO 13709:2009 especifica los requisitos para bombas centrífugas, incluyendo bombas que funcionan en reversa como turbinas de recuperación de energía hidráulica, para uso en servicios de procesos de petróleo, petroquímica y gas.

ISO 13709:2009 es aplicable a bombas suspendidas, bombas entre rodamientos y bombas suspendidas verticalmente

Las bombas descritas en esta norma se clasifican y se designan por códigos de tipo, como se muestra en la Tabla 2.4 (API std 610 2010 ISO 13709 2009, segunda edición)

**Tabla 2.4 Clasificación de bobas centrífugas**

CLASIFICACIÓN Y TIPO DE IDENTIFICACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS					
BOMBAS CENTRÍFUGAS	Tipo de Bomba		Orientación		Código
	En voladizo	Acoplamiento flexible	Horizontal	Montada al pie	OH1
				Soportada en la línea de centros	OH2
			Vertical en línea con cojinetes en soportes		OH3
		Acoplamiento rígido	Vertical en línea		OH4
		Acoplamiento cubierto (cerrado)	Vertical en línea		OH5
			Alta velocidad con engranaje integrado		OH6
	Montada entre cojinetes	1 y 2 etapa	Dividida axialmente		BB1
			Dividida radialmente		BB2
		Multietapas	Dividida axialmente		BB3
Dividida radialmente			Carcasa sencilla	BB4	
			Carcasa doble	BB5	
Verticalmente suspendida	Carcasa sencilla	Descarga a través de la columna	Difusor	VS1	
			Voluta	VS2	
			Flujo axial	VS3	
	Descarga separada	Flecha en línea	VS4		
		Con impulsor en voladizo	VS5		



## 2.12 CARGA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA (NPSH)

Cuando el agua fluye a través de la bomba, la presión en la entrada y en la tubería de succión tiende a disminuir debido a las altas velocidades del flujo. Si la reducción va allá de la presión de vapor del agua, se producirá la vaporización y se formarán burbujas de vapor en el seno del líquido.

Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una región de mayor presión, donde el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, aplastándose bruscamente las burbujas. Este fenómeno se llama cavitación.

La cavitación se produce principalmente en los alabes del impulsor de la bomba, donde las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, erosionando su superficie y causando esfuerzos que pueden originar su destrucción. El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina.

La cavitación además de producir daños físicos y ruidos molestos, puede llegar a reducir de manera considerable el caudal y rendimiento de la bomba.

En el diseño de bombas destacan dos valores de NPSH, mencionado a continuación: (UNATSABAR, 2005)

- El NPSH requerido es función del diseño de fábrica de la bomba, su valor, determinado experimentalmente, es proporcionado por el fabricante.
- El NPSH disponible corresponde a la carga mínima que necesita la bomba para mantener un funcionamiento estable.

Una bomba cavilará cuando: el  $NPSH_{disp} > NPSH_{req}$

El NPSH disponible es función del sistema de succión de la bomba y se calcula en metros columna de líquido mediante la siguiente ecuación:

$$HPSH_{dis} = H_a - H_s - -H_v - H_f \quad (2.10)$$



Donde:

Hs= Altura de succión (m.c.l) se resta si el nivel del fluido esta por abajo del impulsor; se suma si el nivel del fluido está por arriba del impulsor.

Ha= Presión atmosférica = 101.3 KPa = 14,7 Psi

Hv= Presión de vapor de líquido (m.c.l)

Hf= Carga de fricción de la succión (m.c.l)

## 2.13 POTENCIA DE BOMBEO

Para cálculo de la potencia de bombeo se consideran las siguientes ecuaciones:

$$POTENCIA (Hp) = \frac{\gamma Q E_a}{550\eta} \quad (2.11)$$

Donde:

$\gamma$ = Peso específico del fluido  $\left(\frac{lb}{ft^3}\right)$

Q= Caudal  $\left(\frac{ft^3}{seg}\right)$

$E_a$ = Energía agregada al sistema (ft)

$$550 = \frac{lb - ft}{s}$$

O en su defecto con la siguiente ecuación:

$$POTENCIA (Hp) = \frac{\Delta P Q}{550\eta} \quad (2.1)$$

Donde:

$\eta$  = Adimensional

$\Delta p$  = Diferencial de presión  $(lb/ft^2)$

Q = Caudal  $(ft^3/s)$



## **2.14 AUTODESK AutoCAD**

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y 3D, para las industrias de construcción, manufacturas, infraestructura, medios y entretenimiento.; actualmente es desarrollada y comercializada por la empresa Autodesk, esta fue fundada en 1982 por John Walker y otros doce cofundadores.

AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos, es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros. (Autocad)

## **2.15 NOM-018-STPS-2000**

Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.27 oct. 2000

Establecer los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, que, de acuerdo a sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición, puedan afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo. (NOM-018-STPS-2000, 2000)

### **2.15.1 GASOLINA PEMEX PREMIUM**

Por lo que al estar en contacto con este producto se requiere especificar los datos generales del fluido que circulara por el sistema de bombeo. Es por ello que en las siguientes tablas se mencionan las propiedades físicas y químicas de la gasolina Pemex Premium con base a la NOM-018-STPS-2000



**Tabla 2.5 Datos generales de la gasolina Premium**

DATOS GENERALES DEL PRODUCTO	
Nombre químico: ND	Estado físico: Líquido
Nombre comercial: Gasolina Pemex Premium	Clase de riesgo de transporte SCT: Clase 3, "Líquidos inflamables"
Familia química: ND	No. Guía de respuesta GRE: 128
Descripción general del producto: Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas, y aromáticos, que se obtienen del petróleo, se utiliza como combustible en motores de combustión interna.	

**Tabla 2.6 propiedades físicas- químicas de la gasolina Premium**

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Temperatura de ebullición (°C): 70 (temp. máx. 10% destilac.)	Color: Sin Anilina
Temperatura de fusión (°C): NA	Olor: Característico a gasolina
Temperatura de inflamación (°C): Inferior a 0°C	Velocidad de evaporación: ND
Temperatura de auto ignición (C): aproximadamente 250°C	Solubilidad en agua: Insoluble
Densidad relativa de vapor (aire=1): 3.0 – 4.0	Presión de vapor (kPa): 45–54 (6.5-7.8 lb/pulg <sup>2</sup> )
pH: (IV.6) ND	% de volatilidad: NA
Peso molecular: ND	Límites de explosividad inferior-superior: 1.3 – 7.1
Estado físico: Líquido	Gravedad específica 20/4 °C: 0.700 – 0.770

## 2.16 NRF-032-PEMEX-2012

Esta norma de referencia se aprobó en el Comité de Normalización de Petróleos mexicanos y Organismos Subsidiarios, celebrada el 24 de mayo de 2012

Establece las especificaciones técnicas para materiales de Tubería, conexiones y accesorios que se utilizan en los procesos de las plantas industriales e instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.



Las condiciones de operación como la presión, temperatura, efectos ambientales entre otros, inciden directamente en los procesos para el manejo de los fluidos, obligan a contar con criterios de diseño y especificaciones de materiales exigentes para la selección de la

tubería, válvulas conexiones y accesorios para su uso en los sistemas de tubería de las plantas industriales. (NRF-032-PEMEX-2012, 2012)

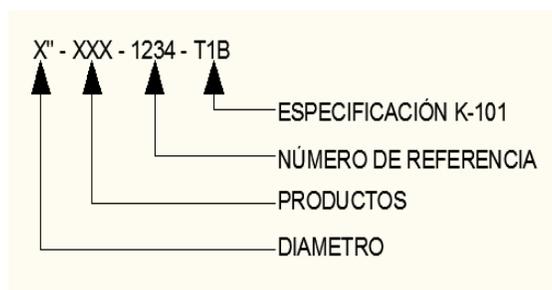
Para las especificaciones de la lista de materiales ver anexo A.

## 2.17 NORMA K-101

Esta norma y sus especificaciones de tubería son de observancia obligatoria en todas las instalaciones industriales, tanto para el diseño y construcción de plantas nuevas, como para reparaciones, modificaciones y ampliaciones de plantas existentes

Procedimiento para seleccionar y utilizar las especificaciones de tuberías, se considera: los materiales y la tolerancia a la corrosión de las especificaciones de tubería, han sido seleccionados teniendo en cuenta la experiencia aprobada, los datos del diseño de presión, temperatura, tipo de fluido, composición, densidad, corrosividad, etc. De los fluidos a manejar se indican en la siguiente tabla 2.7 índice de servicios. (Norma de tubería K-101)

A continuación, se observa las especificaciones de las tuberías



**Tabla 2.7 Índice de servicios para tubería**

Especificación	Servicio	Clase	Rango de temperatura	Materia	Tolerancia a la corrosión
T1A	Agua de enfriamiento	150# RF	Temp. Máx. Op. +55°C	Acero al carbono	0.063"
T2A	Agua de regaderas y lavajos Aire de instrumentos Aire de respiración Aire de plantas	150# RF	Temp. Máx. Op. +93°C	Acero al carbono galvanizado e inoxidable	0.000"
T9B	Almacenamiento, bombeo y distribución de agua contra incendio Espuma contra incendio Aceite de sellos	150# RF	Temp. Máx. Op. +45°C	Acero al carbono	0.063"
T1B	Gas natural Gas Licuado del Petróleo Metano Etano Propano Butano Sosa cáustica 50% Aceite absorbente (Diésel) Gas dulce Gasolina dulce (nafta ligera y pesada) Gas combustible Amoniaco anhidro Nitrógeno Agua de proceso Aceite recuperado Metanol Agua cruda Agua pretratada Agua de servicios	150# RF	-20°C a +350°C	Acero al carbono	0.063"

## CAPÍTULO 3

### DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS



Para lograr lo planeado del proyecto se realizaron una serie de actividades que en conjunto llevarían hacia la resolución de la problemática, a continuación, se mencionan los pasos a seguir para realizar cada una de las actividades.

### 3.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCION AMBIENTAL (SIPA)

El primer día de trabajo, como cualquier nuevo personal que ingresa a la terminal de almacenamiento y despacho (PEMEX) el primer departamento a conocer es SIPA lugar donde se tuvo un curso de seguridad industrial, impartida por el arquitecto José Eliezer Silva. Todo trabajador o persona deberá utilizar durante su permanencia en las instalaciones de PEMEX, el equipo de protección personal específico para desempeñar sus actividades.

Para cuidar la seguridad del trabajador la empresa proporciona el equipo de protección personal, ver la figura 3.1 por tal motivo si no se cuenta con dicho equipo no es posible acceder al interior de la terminal.



Figura 3.1 Equipo de protección personal



## 3.2 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA

Durante el transcurso de la primera semana de labor se realizó el reconocimiento de todos los demás departamentos con los que cuenta la empresa y de las áreas en que está dividida ésta.

### 3.2.1 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Luego se llevó a cabo el reconocimiento del departamento en el que se ejecutaría el proyecto, en este caso el departamento de mantenimiento, el cual a la vez es responsable de las siguientes áreas:

- Eléctrica
- Instrumentación
- Mecánica de piso

### 3.2.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

Una de las actividades primordiales para poder realizar el proyecto es el reconocimiento del interior de la terminal, por lo que es vital conocer el área donde se encuentran ubicados los tanques de almacenamiento, la casa de bombas, el área de las llenaderas para los autotanques, puesto que parte de esta información conducirá a la resolución de la problemática. En el plano que se muestra en la figura 3.2 se puede observar cómo están distribuidas todas las áreas con la que cuenta la terminal.



Figura 3.2 Plano de la Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez (Pemex)



### **3.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Posteriormente de conocer las instalaciones y la dinámica de la empresa, se inició con la búsqueda de información relacionada a los sistemas de bombeo para poder interpretar la nomenclatura de las tuberías y reconocer los accesorios que se encuentran en la red. Se examinaron distintos manuales, guías, libros y videos vinculados a la red de bombeo.

Con la ayuda de un técnico de instrumentación, se examinó el diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) proporcionado por el ingeniero de mantenimiento, como se observa el anexo B. Los DTI son diagramas que representan el proceso principal con todos sus detalles mecánicos, de instrumentación y control, de ahí su importancia a la cantidad de datos indicados en el mismo, posteriormente se llevo a cabo el levantamiento de campo.

El levantamiento de campo se realizó a mano alzada, considerando la mejor trayectoria de los circuitos de tubería; con la asistencia de un flexometro se tomaron las medidas de longitud y elevación considerando lo siguiente: la línea de succión se toma en cuenta que va desde el tanque vertical 6 que contine gasolina Premium hasta casa de bombas y la línea de descarga tiene inicio en casa de bombas hasta llenadera 6. Se insertan los accesorios requeridos y necesarios tanto en la línea de succión como la de descarga de la red de bombeo.

### **3.4 ELABORACIÓN DE ISOMÉTRICOS DE TUBERIAS DE LA RED DE BOMBEO**

Para poder realizar los esquemas de la red de bombeo fue necesario la utilización de un software, para el cual la empresa receptora recomendo el programa de autocad para llevar a cabo esta actividad.

Antes de comenzar a elaborar los isométricos de la red de bombeo en este software, se busco y reviso tutoriales con el objetivo de conocer y adaptarse al ambiente de trabajo y el uso de opciones mas comunes al momento de la elaboración de isometricos de tuberías.

Considerando todos los criterios y especificaciones para la realización de isométricos y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se efectuó la elaboración de los isométricos tanto de succión como la de descarga para el sistema de bombeo.



### **3.5 ELABORACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO**

A partir de las diferentes ecuaciones concernientes a la red de bombeo, que se extrajeron a través de diversos libros enfocados a este tema; primeramente con las ecuaciones adecuadas y los datos de longitudes y elevaciones obtenidos en el levantamiento de campo, se elaboró el cálculo de los diámetros de la línea de succión así como la de descarga.

Considerando los diámetros de tuberías obtenidos, los accesorios y las ecuaciones oportunas, se dio la tarea de encontrar las características de la bomba centrífuga como son la potencia y la altura neta positiva de succión requerida, para el sistema de bombeo.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS





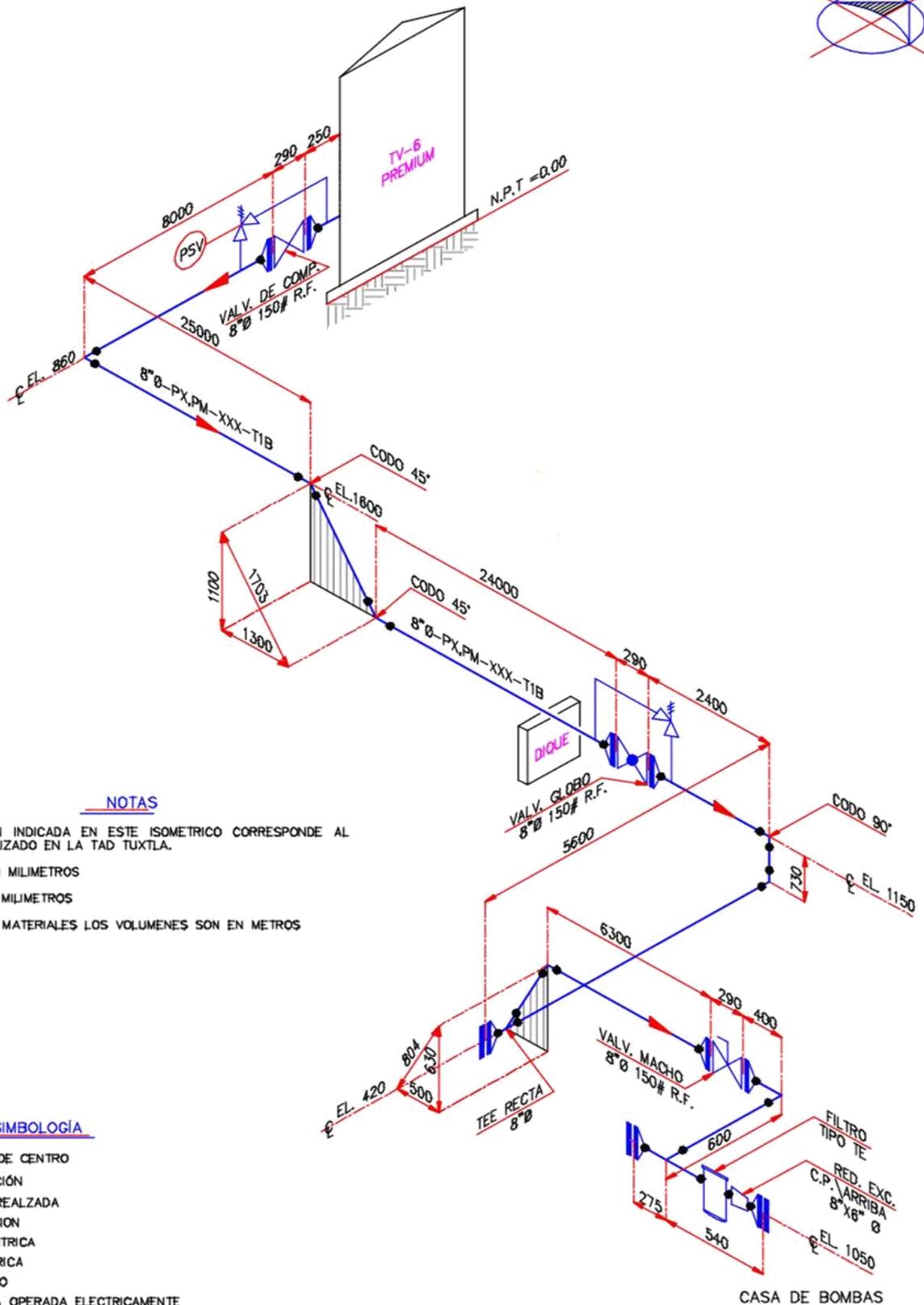
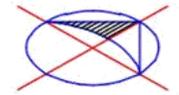
## 4.1 ISOMETRICOS DE LA RED DE BOMBEO

Los isométricos de tuberías creados para la red de bombeo Pemex Premium se muestran a continuación.

En el primer isométrico mostrado está representado la línea de succión del sistema de bombeo, esta inicia en el tanque de almacenamiento 6 y terminando su recorrido hasta casa de bombas, en el esquema se perciben todos los accesorios y especificaciones de la tubería, posteriormente se incluye la lista de materiales de la misma.

Luego se presenta el isométrico de la línea de descarga, donde se muestra el recorrido de tubería desde casa de bombas hasta llenadera 6 y posteriormente su respectiva lista de materiales.

Para realizar la lista de materiales se utilizó las tablas de especificaciones de materiales de la NRF-032-PEMEX-2012, el cual se puede observar en la parte de los anexos



**NOTAS**

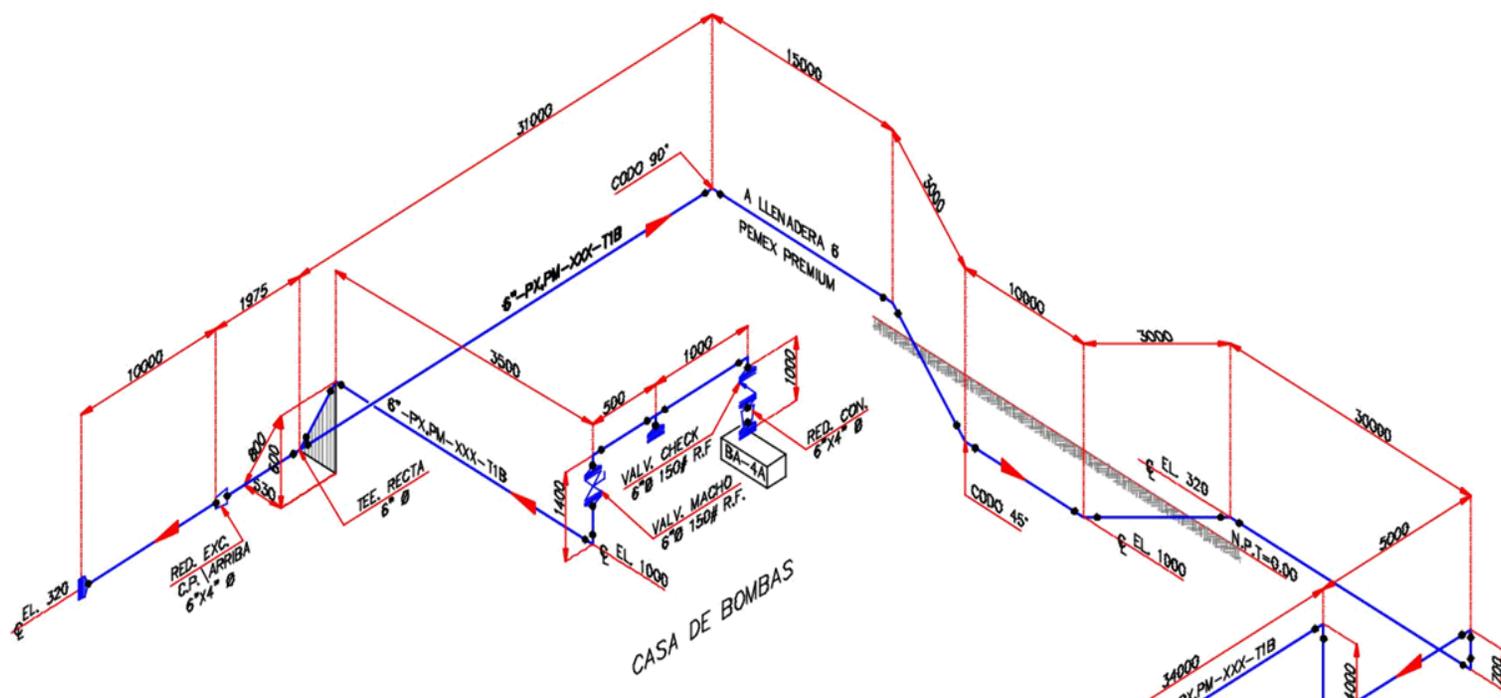
- 1.- LA INFORMACIÓN INDICADA EN ESTE ISOMETRICO CORRESPONDE AL LEVANTAMIENTO REALIZADO EN LA TAD TUXTLA.
- 2.- ACOTACIONES EN MILIMETROS
- 3.- ELEVACIONES EN MILIMETROS
- 4.- EN LA LISTA DE MATERIALES LOS VOLUMENES SON EN METROS

**SIMBOLOGÍA**

☉	LINEA DE CENTRO
EL.	ELEVACIÓN
R.F.	CARA REALZADA
RED.	REDUCCION
RED. CON.	CONCENTRICA
RED. EXC.	EXCENTRICA
Ø	DIAMETRO
VOE	VALVULA OPERADA ELECTRICAMENTE
PVS	VALVULA DE ALIVIO DE PRESION

Empresa: TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO TUXTLA GUTIERREZ PEMEX			
"LINEA DE SUCCION DE LA NUEVA RED DE BOMBEO"			
ISOMETRICO DE TUBERIA ISOMETRICO DE LA LINEA DE DESCARGA			
ACOT. EN mm	Autor: FERNANDO TORRES PEREZ	Fecha: MAY/2017	HOJA 1 DE 2

LISTA DE MATERIALES DE LA LINEA DE SUCCIÓN							
	PARTIDA	IDENTIFICACION	CANT. POR TAMAÑO				
			8"				
TUBO	AC. AL C, CED.40	ASTM A106-Gr B, C/EXT. BIS.	70				
VALVULAS	150# R.F.	COMPUERTA, ASTM A216-Gr WCB	1				
	150# R.F.	MACHO, ASTM A216-Gr WCB	1				
	150# R.F.	GLOBO, ASTM A216-Gr WCB	1				
BRIDAS	RANGO Y CARA	TIPO					
	150# ASME 16.5	CUELLO SOLD, ASTM A105	8	1			
	150# ASME 16,5	CIEGA, ASTM A105	2	1			
CONEXIONES	CODO 90°, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	4				
	CODO 45°, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	3				
	TE RECTA, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	1				
	FILTRO TIPO CANASTA, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	1				
	REDUCCION EXC, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	1				
EMP.	P/BRIDAS 150#	ESPIRO-METALICO, AC. INOX. 304	8	1			
TORMILLOS	CANTIDAD	TAMAÑO	TIPO	JUNTA			
	64	3/4 Ø X 4" LONG.	ESPARRAGO	P/BRIDAS 150# R.F. 8" Ø			
	8	3/4 Ø X 3 ¾ LONG.	ESPARRAGO	P/BRIDAS 150# R.F. 6" Ø			
MISC.	144	TUERCAS P/ESPARRAGOS 3/4 Ø					

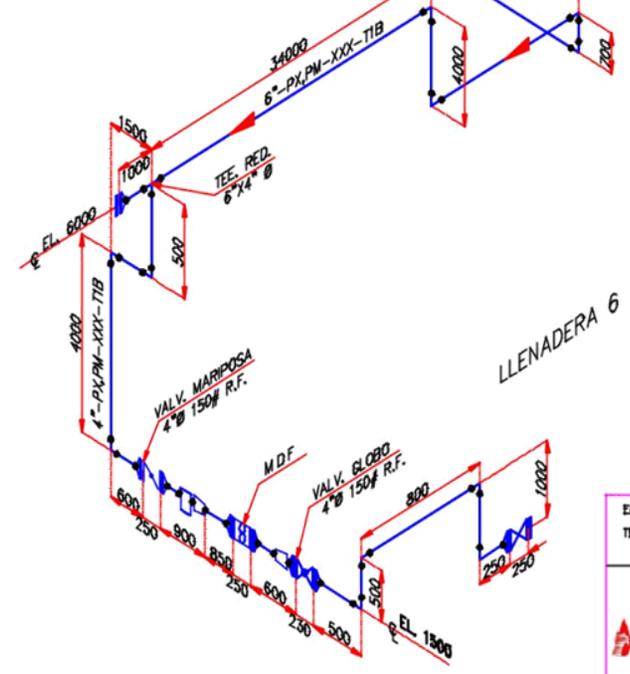


**NOTAS**

- 1.- LA INFORMACION INDICADA EN ESTE ISOMETRICO CORRESPONDE AL LEVANTAMIENTO REALIZADO EN LA TAD TUXTLA.
- 2.- ACOTACIONES EN MILIMETROS
- 3.- ELEVACIONES EN MILIMETROS
- 4.- EN LA LISTA DE MATERIALES LOS VOLUMENES SON EL METROS

**SIMBOLOGIA**

- ⊕ LINEA DE CENTRO
- EL. ELEVACION
- R.F. CARA REALZADA
- RED. REDUCCION
- RED. CON CONCENTRICA
- RED. EXCENTRICA
- VOS VALVULA OPERADA POR SOLENOIDE
- MTF MEDIDOR DE FLUJO
- ∅ DIAMETRO



Empresa: TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO TUXTLA GUTIERREZ PEMEX			
"LINEA DE DESCARGA DE LA NUEVA RED DE BOMBEO"			
ISOMETRICO DE TUBERIA ISOMETRICO DE LA LINEA DE DESCARGA			
ACOT. EN mm	Autor: FERNANDO TORRES PEREZ	Fecha: MAY/2017	HOJA 1 DE 2

LISTA DE MATERIALES DE LA LINEA DE DESCARGA							
	PARTIDA	IDENTIFICACION	CANT. POR TAMAÑO				
			6"	4"	3"		
TUBO	AC. AL C, CED.40	ASTM A106-Gr B, C/EXT. BIS.	140	19	1		
VALVULAS	150# R.F.	COMPUERTA, ASTM A216-Gr WCB		1			
	150# R.F.	MACHO, ASTM A216-Gr WCB	1				
	150# R.F.	GLOBO, ASTM A216-Gr WCB		1			
	150# R.F.	CHECK,	1				
	150# R.F.	MARIPOSA		1			
BRIDAS	RANGO Y CARA	TIPO					
	150# ASME 16.5	CUELLO SOLD, ASTM A105	6	7	2		
	150# ASME 16.5	CIEGA, ASTM A105	2	3			
CONEXIONES	CODO 90°, CED. 40	ASTM A234-Gr WPB	8	7			
	CODO 45°, CED. 40	ASTM A234-Gr WPB	5				
	TEE RECTA, CED. 40	ASTM A234-Gr WPB	2				
	TEE RED, CED. 40	ASTM A234-Gr WPB	1				
	REDUCCION CON, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	1	2			
	REDUCCION EXC, CED 40	ASTM A234-Gr WPB	1				
	FILTRO TIPO TE, CED 40	ASTM A234-Gr WPB		1			
EMP.	P/BRIDAS 150#	ESPIRO-METALICO, AC. INOX. 304	6	8	2		
TORMILLOS	CANTIDAD	TAMAÑO	TIPO	JUNTA			
	48	3/4 Ø X 3 ¼ LONG.	ESPARRAGO	P/BRIDAS 150# R.F. 6" Ø			
	72	5/8 Ø X 3 ½ LONG.	ESPARRAGO	P/BRIDAS 150# R.F. 4" Y 3" Ø			
MISC.	96	TUERCAS P/ESPARRAGOS 3/4 Ø					
	144	TUERCAS P/ESPARRAGOS 5/8 Ø					
							HOJA 2 DE 2



## 4.2 CÁLCULO DE TUBERÍAS

En esta sección a partir del uso de las ecuaciones adecuadas se realizó el cálculo del diámetro de tubería tanto para la línea de succión como la de descarga de la red de bombeo de gasolina pemex Premium.

La gasolina Premium a 20 °C esta almacenada en el tanque vertical 6, fluye a través de un circuito de tuberías hasta llegar a la llenadera 6, siendo un caudal de 400 GPM ¿Qué tamaño de tubería debe utilizarse para esta red?

Cálculo del diámetro de la tubería que va del tanque vertical 6 hasta casa de bombas, considerando el recorrido de tubería que se muestra en el isométrico de succión ubicado en la pagina 48.

Datos:  $L= 70 \text{ m}$ ;  $Q= 400 \text{ GPM}$ ;  $v = 0.648 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + \text{Perdidas}$$

$$(Z_A - Z_B) = \text{Perdidas}$$

$$(1.050 - 0.86) = \text{Perdidas}$$

$$0.19 = \text{Perdidas}$$

Haciendo uso de la ecuación de continuidad

$$Q = AV$$

Despejando a la velocidad de la ecuación anterior se tiene:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(0.0252)}{\pi d^2} = \frac{0.03208}{d^2}$$

Convirtiendo los 400 GPM a  $\text{m}^3/\text{s}$  se tiene:

$$400 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{3.7854 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0.025236 \text{ m}^3/\text{s}$$



Para encontrar el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, en la cual hay que suponer un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$0.19 = f \frac{70}{d} \frac{\left(\frac{0.03208}{d^2}\right)^2}{2g}$$

$$0.19 = f \times \frac{70}{d} \times \frac{0.001029}{d^4(2 \times 9.81)}$$

$$d^5 = \frac{f}{0.19} (0.003671)$$

$$d^5 = 0.019321 f$$

Suponer  $f = 0.015$  y sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene:

$$d^5 = 0.019321 (0.015) = 0.00029$$

$$d = 0.2083 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ in}}{0.0254 \text{ m}} = 7.71''$$

Por fines prácticos y comerciales con la asistencia de la tabla del anexo B, el diámetro de la tubería de succión será de **8"** cedula 40.

Comprobando el resultado tenemos: si el diámetro interno de la tubería es de 0.2083 m y  $v$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexo C.

$$V = \frac{0.03208}{(0.2083)^2} = 0.7393 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{Vd}{v} = \frac{(0.7393)(0.2083)}{0.648 \times 10^{-6}} = 2.3 \times 10^5 \therefore \text{Flujo turbulento}$$



Cálculo del diámetro de la tubería que va de casa de bombas hasta el área denominada llenadera 6, considerando el recorrido de tubería que se muestra en el isométrico de descarga ubicado en la pagina 50, en esta línea de tubería se consideran 3 tramos.

Para el tramo 1 se considera los siguientes datos:  $L = 140 \text{ m}$  ;  $v = 0.648 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

$$Q = 400 \text{ GPM} = 0.025236 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{VA^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{VB^2}{2g} + Z_B + \text{Perdidas}$$

$$(Z_A - Z_B) = \text{Perdidas}$$

$$(6 - 2.4) = \text{Perdidas}$$

$$3.6 = \text{Perdidas}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(0.0252)}{\pi d^2} = \frac{0.03208}{d^2}$$

Para encontrar el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, en la cual hay que suponer un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$3.6 = f \frac{140}{d} \frac{\left(\frac{0.03208}{d^2}\right)^2}{2g}$$

$$3.6 = f \times \frac{140}{d} \times \frac{0.001029}{d^4(2.481)}$$

$$d^5 = \frac{f}{3.6} 0.007343$$

$$d^5 = 0.00204 f$$



Suponer  $f = 0.021$  y sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene:

$$d^5 = 0.00204 (0.021) = 0.000043$$

$$d = 0.133768 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{0.0254 \text{ m}} = 5.26''$$

Por fines prácticos y comerciales con la asistencia de la tabla del anexo B, el diámetro del primer tramo para la tubería de descarga será de **6''** cedula 40.

Comprobando el resultado tenemos: si el diámetro interno de la tubería es 0.133768 m y  $v$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C.

$$V = \frac{0.03208}{(0.133768)^2} = 1.79279 \text{ m/s}$$

Comprobar si es un flujo turbulento.

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{(1.79279)(0.133768)}{0.648 \times 10^{-6}} = 3.7 \times 10^5 \therefore F. \text{Turbulento}$$

Para el tramo 2 se considera los siguientes datos:  $L = 19 \text{ m}$  ;  $\nu = 0.648 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

$$Q = 400 \text{ GPM} = 0.025236 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_A + \frac{VA^2}{2g} Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{VB^2}{2g} + Z_B + \text{Perdidas}$$

$$(Z_A - Z_B) = \text{Perdidas}$$

$$(6 - 2) = \text{Perdidas}$$

$$4 = \text{Perdidas}$$



$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(0.0252)}{\pi d^2} = \frac{0.03208}{d^2}$$

Para encontrar el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, en la cual hay que suponer un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$4 = f \frac{19}{d} \frac{\left(\frac{0.03208}{d^2}\right)^2}{2g}$$

$$4 = f \times \frac{19}{d} \times \frac{0.001029}{d^4(2.4.81)}$$

$$d^5 = \frac{f}{4} 0.000997$$

$$d^5 = 0.000249 f$$

Suponer  $f = 0.021$  y sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene:

$$d^5 = 0.000249 (0.021)$$

$$d = 0.0878 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{0.0254 \text{ m}} = 3.45''$$

Por fines prácticos y comerciales con la asistencia de la tabla del anexo B, el diámetro del segundo tramo para la tubería de descarga será de **4"** cedula 40.

Comprobando el resultado tenemos: si el diámetro interno de la tubería es 0.0878 m y  $\nu$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C.

$$V = \frac{0.03208}{(0.0878)^2} = 4.1614 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{(4.1614)(0.0878)}{0.648 \times 10^{-6}} = 5.6 \times 10^5 \therefore F. \text{Turbulento}$$



Para el tramo 3 se considera los siguientes datos:  $L = 1 \text{ m}$  ;  $v = 0.648 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

$$Q = 400 \text{ GPM} = 0.025236 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + \text{Perdidas}$$

$$(Z_A - Z_B) = \text{Perdidas}$$

$$(1.5 - 0) = \text{Perdidas}$$

$$1.5 = \text{Perdidas}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d} = \frac{4(0.0252)}{\pi d^2} = \frac{0.03208}{d^2}$$

Para encontrar el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, en la cual hay que suponer un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$1.5 = f \frac{1}{d} \frac{\left(\frac{0.03208}{d^2}\right)^2}{2g}$$

$$1.5 = f \frac{1}{d} \frac{0.001029}{d^4(2 \times 9.81)}$$

$$\frac{f}{1.5} 0.000052$$



Suponer  $f = 0.021$  y sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene:

$$d^5 = 0.000035 (0.021) = 7.28 \times 10^{-7}$$

$$d = 0.05921 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{0.0254 \text{ m}} = 2.33''$$

Por fines prácticos y comerciales con la asistencia de la tabla del anexo B, el diámetro del tercer tramo para la tubería de descarga será de **3''** cedula 40.

Comprobando el resultado tenemos: si el diámetro interno de la tubería es 0.0878 m y  $\nu$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C.

$$V = \frac{0.03208}{(0.05921)^2} = 9.15049 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{(9.15049)(0.05921)}{0.648 \times 10^{-6}} = 8.3 \times 10^5 \therefore F. \text{Turbulento}$$

### 4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

A continuación se muestra el calculo de las perdidas de energía por fricción en tubería recta como por accesorios tanto para la línea de succión y descarga, obteniendo con esto la capacidad de la bomba centrífuga requerida, tomando en cuenta los diámetros de tubería calculados en la 4.2.

Encontrar las características de una bomba Centrífuga para bombear 400 GPM de gasolina Premium, a una temperatura de 20° C, que saldrá del tanque vertical 6 hasta el área conocido como llenadera 6, lugar de llenado de los autotanques con este producto.

Considerando los isométricos de la red de bombeo o sea tanto la de succión como descarga, empezando el cálculo tenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + Ea = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Perdidas$$

$$Z_1 + Ea = Z_2 + Perdidas$$

$$Ea = (Z_2 - Z_1) + Perdidas$$

$$Ea = (6) - (10) + Perdidas$$

$$Ea = -4 + Perdidas \dots\dots\dots 1$$

#### Perdida de energía por fricción en la línea de succión

Para elaborar estos cálculos fue de vital importancia el isométrico de succión ilustrado en la página 48.

Datos: D=8", L=70 m; 400 gpm;  $v = 0.648 \text{ m}^2/\text{s}$

Perdidas de energía por fricción primarias

Se calcula la velocidad, considerando que para una tubería de 8" el diámetro interno es igual a 0.2027, ver el anexo A.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(400 \text{ gpm} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{5} \times \frac{(0.3048)^3 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3})}{\pi(0.2027)^2 \text{ m}^2} = 0.78208 \text{ m/s}$$

Si  $v$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C y como se conocen  $V$  y  $d$ , por lo tanto Reynolds se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{0.78208 \times 0.2027}{0.648 \times 10^{-6}} = 2.4 \times 10^5 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.006}{20.27} = 0.000296$$

Esta ecuación es válida para el rango  $5000 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{E}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{0.006}{3.7(20.27)} + \frac{5.74}{244641^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0173$$

Se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, puesto que el calculo del Reynolds se obtuvo un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{tr} = 0.0173 \times \frac{70}{0.2027} \times \frac{0.70208^2}{2(9.81)} = 0.1862 \text{ m. c. l}$$

Perdidas de energía por fricción secundarias

**Tabla 4.1 Accesorios del tramo 1 de la línea de descarga**

Cantidad	Accesorios	K	$\tau$
1	Deposito a tubo	0.5	0.5
1	Válvula de compuerta	0.19	0.19
1	VOE	10	10
1	Válvula macho	0.252	0.252
1	Filtro	0.75	0.75
4	Codo 90°	0.9	3.6
3	Codo 45°	0.45	1.35
2	Te	1.8	3.6
1	Reducción excéntrica	0.14	0.14
$\Sigma \tau$			20.382



A partir de la siguiente ecuación se obtiene las perdidas por accesorios

$$h_a = K \frac{V^2}{2g} = 20.328 \times \frac{0.78208^2}{2(9.81)} = 0.6354 \text{ m.c.l}$$

Pérdida de energía por fricción total en la línea de succión

$$hrs = htr + h_a = 0.1862 + 0.6354 = \mathbf{0.8226 \text{ m.c.l}}$$

### Perdida de energía por fricción en la línea de descarga

Para elaborar estos cálculos fue de vital importancia el isométrico de descarga ilustrado en la página 50, en circuito de tuberías se consideran tres tramos.

Para el tramo 1 la tubería esta especificada como se menciona continuación 6" –  
PX, PM – XXX – T1B

Datos: D=6 in; L=140 m

Perdidas de energía por fricción primarias

Se calcula la velocidad, considerando que para una tubería de 6" el diámetro interno es igual a 0.1541, ver el anexo A.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(400 \text{ gpm} \times \frac{1 \frac{ft^3}{s}}{4.48.8 \text{ gpm}} \times \frac{(0.3048)^3 m^3}{1 ft^3})}{\pi(0.1541)^2 m^2} = 1.3531 \text{ m/s}$$

Si  $\nu$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C y como se conocen V y d, por lo tanto Reynolds se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{1.3531 \times 0.1541}{0.648 \times 10^{-6}} = 321 \ 779 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$



$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.006}{15.41} = 0.000389$$

Esta ecuación es válida para el rango  $5000 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \frac{E}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\left[ \ln \frac{0.006}{3.7(15.41)} + \frac{5.74}{321779^{0.9}} \right]^2} = 0.0175$$

Se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, puesto que el calculo del Reynolds se obtuvo un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{tr_1} = 0.0175 \times \frac{140}{0.1541} \times \frac{1.3531^2}{2(9.81)} = 1.4836 \text{ mcl}$$

Perdidas de energía por fricción secundarias

**Tabla 4.2 Accesorios del tramo 2 de la línea de descarga**

Cantidad	Accesorios	K	$\tau$
1	Válvula check	2.5	2.5
1	Válvula macho	0.252	0.252
8	Codo 90°	0.9	7.2
5	Codo 45°	0.45	2.25
3	Te	1.8	5.4
		$\sum \tau$	=17.602

Perdidas por accesorios

$$h_a = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_a = 17.602 \frac{1.3531^2}{2(9.81)} = 1.6425 \text{ mcl}$$

Perdida de energía por ensanchamiento

$$h_{a_{en}} = K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$



$$h_{a_{en}} = 0.215 \times \frac{(3.0705 - 1.3531)^2}{2(9.81)} = 0.0323 \text{ mcl}$$

$$V_2 = \frac{4(400 \times \frac{1}{448.8} \times \frac{(0.3048)^3 m^3}{1})}{\pi(0.1023)^2 m^2} = 3.0705 \text{ m/s}$$

Pérdida total secundaria en el tramo 1:

$$h_{a_1} = h_a + h_{a_{en}} = 1.6425 + 0.0323 = 1.6784 \text{ mcl}$$

Para el tramo 2 la tubería esta especificada como se menciona continuación 4" – PX, PM – XXX – T1B

Datos: D=4 in; L=19 m

Perdidas de energía por fricción primarias

Velocidad calculada anteriormente como  $V_2$

$$V = 3.0705 \text{ m/s}$$

Se calcula la velocidad, considerando que para una tubería de 4" el diámetro interno es igual a 0.1023 m, ver el anexo A.

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{3.0705 (0.1023)}{0.648 \times 10^{-6}} = 484741 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.006}{10.23} = 0.000587$$

Esta ecuación es válida para el rango  $5000 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{E}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{0.006}{3.7(10.23)} + \frac{5.74}{48474^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0183$$



Se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, puesto que el calculo del Reynolds se obtuvo un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{tr_2} = 0.0183 \times \frac{19}{10.23} \times \frac{3.0705^2}{2(9.81)} = 1.6132 \text{ m.c.l}$$

Perdidas de energía por fricción secundarias

**Tabla 4.3 Accesorios del tramo 3 de la línea de descarga**

Cantidad	Accesorios	K	$\tau$
1	Válvula mariposa	0.675	0.675
1	Filtro	0.75	0.75
1	VOS	10	10
1	Válvula compuerta	0.19	0.19
7	Codo 90°	0.9	6.3
		$\sum \tau$	=17.915

$$h_a = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{a_2} = 17.915 \times \frac{3.0705^2}{2(9.81)} = 8.6086 \text{ m.c.l}$$

Para el tramo 3 la tubería esta especificada como se menciona continuación 3" – PX, PM – XXX – T1B

Datos: D=3 in; L= 1m

Perdidas de energía por fricción primarias

Se calcula la velocidad, considerando que para una tubería de 3" el diámetro interno es igual a 0.0779, ver el anexo A.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(400 \text{ gpm} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{4.488 \text{ gpm}} \times \frac{(0.3048)^3 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3})}{\pi(0.0779)^2 \text{ m}^2} = 5.2952 \text{ m/s}$$



Si  $v$  de la gasolina es  $0.648 \text{ m}^2/\text{s}$ , dato extraído del anexos C y como se conocen  $V$  y  $d$ , por lo tanto Reynolds se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Vd}{v} = \frac{5.2952 \times 0.0779}{0.648 \times 10^{-6}} = 636568 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.006}{7.79} = 0.00077$$

Esta ecuación es válida para el rango  $5000 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{E}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{0.00077}{3.7} + \frac{5.74}{636568^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.01911$$

Se utiliza la siguiente ecuación de Darcy Weisbach, puesto que el calculo del Reynolds se obtuvo un flujo turbulento.

$$h_{tr} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{tr_1} = 0.01911 \times \frac{1}{0.0779} \times \frac{5.2952^2}{2(9.81)} = 0.35074 \text{ m. c. l}$$

Perdidas de energía por fricción secundarias

Perdidas por ensanchamiento

$$ha_{en} = K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

$$ha_{en \text{ 4"3" }} = 0.215 \times \frac{(5.2952 - 3.0705)^2}{2(9.81)} = 0.0353 \text{ mcl}$$



Perdidas por reducción

$$h_{a_{red}} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{a_{red} 4" \times 3"} = 0.12 \times \frac{5.2952^2}{2(9.81)} = 0.1714 \text{ mcl}$$

Pérdida de energía secundaria total en el tramo 3

$$h_{a_3} = h_{a_{en 4"3"}} + h_{a_{red 4" \times 3"}}$$

$$h_{a_3} = 0.0353 + 0.1714 = 0.2067 \text{ mcl}$$

Pérdida de energía por fricción total en la línea de descarga

$$h_{td} = h_{tr_1} + h_{a_1} + h_{tr_2} + h_{a_2} + h_{tr_3} + h_{a_3}$$

$$h_{td} = 1.4836 + 1.6748 + 1.6132 + 8.6086 + 0.35074 + 0.2067$$

$$h_{td} = \mathbf{13.9376 \text{ mcl}}$$

Pérdidas de energía por fricción total en el sistema de bombeo

$$perdida = h_{ts} + h_{td}$$

$$perdida = 0.8226 + 13.9376 = \mathbf{14.7602 \text{ mcl}}$$

Retomando la ecuación 1 y sustituyendo el valor de perdida se tiene:

$$E_a = -4 + Perdidas$$

$$E_a = -4 + 14.7602$$

$$E_a = 10.7602 \text{ m} \left( \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right) = 35.3026 \text{ ft}$$



A continuación, se presenta el cálculo de potencia para la bomba centrífuga requerida

$$Hp = \frac{\gamma Q E a}{550 \eta}$$

$$Hp = \frac{(0.725) \left( 62.4 \frac{lb}{ft^3} \right) \left( \frac{400 GPM}{448.8 GPM} \times 1 \frac{ft^3}{s} \right) (35.3036 ft)}{550 \frac{lb \cdot ft}{s} (0.82)}$$

$$Hp = 3.15$$

Por fines prácticos y comerciales con la asistencia del anexo D, el inmediato superior de 3.15 es 5 Hp, por lo tanto, se tiene los siguientes datos para la bomba centrífuga requerida:

$$Hp = 5$$

Velocidad = 1800 rpm

Tamaño = 6 x 4 x 10

4" Ø de descarga

6" Ø de succión

10" Ø de impulsor

Un solo impulsor

## 7.4 CÁLCULO DEL NPSH DISPONIBLE

Para encontrar el NPSH disponible para una bomba centrífuga que manejara gasolina Premium, se tiene:

Presión de vapor de la gasolina= 6.5 psi

Presión atmosférica = 14.7 psi

Carga de fricción a la succión = 0.8226 m

Altura de succión = 10- 1.05 = 8.95 m.

Por tanto la ecuación es:

$$NPSH_{disp} = H_a + H_s - H_v - H_f$$

Entonces se tiene:

$$P_a = 14.7 \frac{lb}{in^2} \times \frac{0.454 kg}{1 lb} \times \frac{1 in^2}{(0.0254)^2 m^2} = 10344.4 \frac{kg}{m^2}$$

$$H_a = \frac{P_a}{\gamma} = \frac{10344.4 \frac{kg}{m^2}}{0.725 \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right)} = 14.2682 m$$

$$P_v = 6.5 \frac{lb}{in^2} \times \frac{0.454 kg}{1 lb} \times \frac{1 in^2}{(0.0254)^2 m^2} = 5031.47 \frac{kg}{m^2}$$

$$H_v = \frac{P_v}{\gamma} = \frac{5031.47 \frac{kg}{m^2}}{0.725 \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right)} = 6.9399 m$$

Sustituyendo los datos tenemos:

$$NPSH_{dis} = 14.2682 + 8.95 - 6.9399 - 0.8226$$

$$NPSH_{dis} = 15.4557 m$$

Mediante el anexo D se tiene un NPSH requerido igual a 1 m, entonces se considera lo siguiente:

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req}$$

15.4557 m > 1 m por lo tanto la bomba no cavitará.



## 5.1 CONCLUSIONES

A partir de los conocimientos adquiridos en clases facilitó en gran parte la comprensión y familiarización del sistema de bombeo, tanto que durante la elaboración del proyecto de residencia profesional se consiguió cumplir con todos los objetivos planteados al inicio de esta. También se obtuvieron nuevos conocimientos enfocados al tema del proyecto, así como otros temas vinculados a la carrera de ingeniería mecánica.

Los isométricos de tubería elaborados de la red de bombeo, poseen una lista de materiales que cumple con las especificaciones T-A05T1 de la NRF-032-PEMEX-2012.

Se concluye que el diámetro nominal de tubería para la línea de succión es de 8 pulgadas y en la línea de descarga por fines prácticos para poder introducir los accesorios requeridos se tienen las siguientes tres medidas nominales de tubería 3, 4 y 6 pulgadas. Realizando los cálculos necesarios se obtuvo que la bomba que se requiere deberá tener una capacidad de 3.23 Hp; con base a la API 610 STA /ISO 13709:2009 para este tipo de sistema de bombeo utilizan bombas centrifugas de eje horizontal de un solo impulsor.

Por lo que este proyecto es ampliamente considerable para la Terminal de Almacenamiento y Despacho, porque traerá consigo beneficios a corto y a largo plazo como un mejor bombeo de la gasolina Pemex Premium y una mejor distribución en el lugar conocido como isla 6, por consecuencia se agilizará el llenado de los autotanques, menor pérdida en el área de patio y se optimizará el tiempo de trabajo.



## 5.2 RECOMENDACIONES

Concluida todas las actividades del proyecto se sugieren las siguientes recomendaciones:

- La dimensión de los esquemas es grande por lo que se sugiere imprimirlos en hojas de papel tamaño A3 (420 X 297 mm) o A2 (420 X 594 mm) para poder observar todos los detalles que forman cada uno de los isométricos, como las especificaciones de la línea de tuberías y las de los accesorios.
- Durante el levantamiento de datos se observaron algunos tramos de tuberías comaleadas en las redes de bombeo de Pemex-Diésel y Pemex- Magna por tanto ya no están en servicio, la sugerencia es remover esas ramificaciones de tuberías para tener más espacio al momento de instalar la nueva red de bombeo de gasolina Premium



## FUENTES DE INFORMACIÓN

- 1.-API std 610 2010 ISO 13709 2009. (segunda edición). *Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries*. Suiza.
- 2.-Autocad. (s.f.). *www.autodesk.mx*.
- 3.-Cinbala, Y. A. (2006). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones. 1ra edición*. Mexico, D.F.: McGRAW-HILL.
- 4.-GILES, R. V. (segunda edición). *MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA*. McGraw Hill.
- 5.-Mataix, C. (Segunda edición). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. . Algete, Madrid: Ediciones del Castillo, S.A.
- 6.-Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos. sexta edición*. Mexico: Pearson Prentice Hall.
- 7.-NOM-018-STPS-2000. (2000). *Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación.
- 8.-Norma de tubería K-101. (s.f.).
- 9.-NRF-032-PEMEX-2012. (2012). *Sistema de tiberías en plantas industriales - diseño y especificaciones de materiales*.
- 10.-Shames, I. H. (1995). *Mecánica de fluidos. Tercera edición*. santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- 11.-TAD Tuxtla Gutierrez. (s.f.). *Ficha tecnica operativa TAD Tuxtla gutiérrez*.
- 12.-UNATSABAR. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. lima.

## ANEXOS





## **ANEXO A**

Tabla de especificaciones de Materiales para tubería según la NRF-032-PEMEX-  
2012



 <b>Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios</b>	<b>SISTEMAS DE TUBERÍA EN PLANTAS INDUSTRIALES DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES</b>	<b>NRF-032-PEMEX-2012 T-A05T1 Página 1 de 6</b>
---	--	---

Instalaciones Terrestres		Especificación de Materiales para Tubería				T-A05T1	
Servicio: Residuo de alto vacío Alquilado ligero. Alquilado pesado, Asfaltos, Combustóleo, Diáfano, Diesel, Gasóleo pesado, Aceite combustible, Aceite de calentamiento o térmico, Aceite de lavado (flushing), Aceite recuperado, Agua aceitosa, Antiespumante, Desmulsificante químico, Glicol.		<b>Límites de presión y temperatura</b> Ver Nota 1.1			<b>RT</b> 10 %	<b>NDT</b> adicionales Ver Nota 6.3	<b>Clase 150</b> Cara RF
Corrosión permisible: 1.6 mm (0.0625 in) Ver Nota 1.2		Material: <b>AC</b> Tratamiento Térmico y Relevado de esfuerzos <b>N.A.</b>		Internos de válvulas Trim 5	Soldaduras de caja para soldar en DN 50 (NPS 2) y menores; soldaduras a tope DN 80 (NPS 3) y mayores		
Componente	Ver Notas	Diámetro DN (NPS)	Espesor (in) ó Cédula mínimos / Clase	Extremos	Descripción		
<b>Tubería</b>							
Tubo	2.1, 2.2	20 a 50 (3/4 a 2)	80	Planos	ASTM A106-Gr B, ASME B36.10		
	2.2 2.3	80 a 600 (3 a 24)	Estándar	Biselados			
		650 a 900 (26 a 36)	A calcular por Contratista	Biselados	ASTM A 672 Grado C60 (Placa ASTM A 516 Gr 60), Clase 12, con costura longitudinal recta (C/C), EFW, Ej = 1.0		
<b>Nipleria</b>							
Niple	3.1	20 a 50 (3/4 a 2)	80	Para soldar/ roscasoldadura	ASTM A106 - Gr B, ASME B36.10		
Swage conc.	3.2	20 a 80 (3/4 a 3)	Cédula igual al de la tubería	Para soldar/ roscasoldadura	ASTM A234 –Gr WPB, MSS SP/95		
Swage excé.	3.2	20 a 80 (3/4 a 3)		Para soldar	ASTM A234 –Gr WPB, MSS SP/95		
<b>Conexiones</b>							
Codo 90° Codo 45° Te recta Te reducida Cople Cople Reducido	4.1	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Caja para soldar	ASTM A105, ASME B16.11		
Tapón cachucha	4.2	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Roscado	ASTM A105, ASME B16.11, rosca ASME B1.20.1		
Tapón de barra sólida	4.5	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Roscado	ASTM A105, ASME B16.11, rosca ASME B1.20.1		
Codo calle	4.5	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Roscado	ASTM A105, ASME B16.11, roscas (hembra-macho ASME B1.20.1)		
Codo 90° radio largo	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, ASME B16.9		
Codo 90° radio largo	5.1 5.2	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9		
Codo 45°	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9		

 <b>Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios</b>	<b>SISTEMAS DE TUBERÍA EN PLANTAS INDUSTRIALES DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES</b>	<b>NRF-032-PEMEX-2012 T-A05T1 Página 2 de 6</b>
---	--	---

Codo 45°	5.1 5.2	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
Te recta	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9
Te recta	5.1 5.2	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
Te reducida	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9
Te reducida	5.1 5.2	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
Red. Concéntrica	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9
Reducción Concéntrica	5.1 5.2	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
Reducción Excéntrica	5.1 5.3	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9
Reducción Excéntrica	5.1,5.2 5.3	650 a 900 (26 a 36)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
Tapón capa	5.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A234 –Gr WPB, S/C, ASME B16.9
		650 a 900 (26 a 36)			ASTM A234 –Gr WPBW, con costura longitudinal recta (C/C), Ej=1.0, ASME B16.9
<b>Conexiones integralmente reforzadas</b>					
Threadolet o equivalente	6.1 6.2	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Biselado- Roscado	ASTM A105, MSS SP/97
Sockolet o equivalente	6.1 6.3	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Biselado-Caja para soldar	ASTM A105, MSS SP/97
Latrolet o equivalente	6.1 6.3	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Biselado-Caja para soldar	ASTM A105, ASME B31.3 (302.2,304.3, 326, 328.5.4)
Weldolet	6.1	80 a 350 (3 a 14)	Cédula igual al de la tubería	Biselados	ASTM A105, MSS SP/97
Nipolet o Niple pipeta	6.1	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Biselado-plano	ASTM A105, ASME B31.3 (302.2,304.3, 326, 328.5.4)
	6.3				
<b>Bridas</b>					
Bridas caja para soldar	7.1	20 a 50 (3/4 a 2)	150	RF	ASTM A105 ASME B16.5, cédula 160
Bridas cuello soldable	7.2	80 a 600 (3 a 24)	150	RF	ASTM A105 ASME B16.5, cédula igual y bore diámetro interior al de la tubería.
Bridas cuello soldable	7.2	650 a 750 (26 a 36)	150	RF	ASTM A105 ASME B16.47A (MSS-SP44), cédula igual y bore diámetro interior al de la tubería.
Bridas ciega		20 a 600 (3/4 a 24)	150	RF	ASTM A105 ASME B16.5.
Bridas ciega		650 a 900 (26 a 36)	150	RF	ASTM A105 ASME B16.47A (MSS-SP44).
Bridas porta placa de orificio	7.3	50 a 900 (2 a 36)	300	RF	ASTM A105, ASME B16.36, cuello soldable, bore diámetro interior al de la tubería.

 <b>Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios</b>		<b>SISTEMAS DE TUBERÍA EN PLANTAS INDUSTRIALES DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES</b>			<b>NRF-032-PEMEX-2012 T-A05T1 Página 3 de 6</b>	
Brida de cuello largo	7.4	25 a 50 (1 a 2)	300	RF	ASTM A105, ASME B16.5.	
<b>Válvulas</b>						
Válvulas compuerta	8.1	20 a 50 (3/4 a 2)	800	Caja para soldar	ASTM A105, Trim 5, OS&Y, ISO 15761, volante fijo, vástago ascendente, bonete atomillado, cuña sólida.	
Válvulas compuerta	8.1 8.3	80 a 600 (3 a 24)	150	RF	ASTM A216 - Gr WCB, Trim 5, OS&Y, ISO 10434, volante fijo, vástago ascendente, bonete bridado, cuña sólida.	
Válvulas compuerta	8.1	650 a 900 (26 a 36)	150	RF	ASTM A216 - Gr WCB, Trim 5 (ver ISO 10434), OS&Y, ASME B16.34, ASME B16.47A, volante fijo, vástago ascendente, bonete bridado, cuña sólida o flexible para aceites limpios.	
Válvulas compuerta expansión sencilla (doble disco)	8.2	80 a 600 (3 a 24)	150	RF	ASTM A216 Gr. WCB, Trim 5, asientos paralelos, vástago saliente, cuerda exterior y yugo, bonete atomillado, operada con volante, ISO 10434.	
Válvulas compuerta de doble expansión	8.2	80 a 900 (3 a 36)	150	RF	ASTM A216 Gr. WCB, paso completo, requerimientos de diseño, materiales, recubrimientos en compuerta, asientos y vástago, pruebas, operadores y documentación en base a la NRF-211-PEMEX-2008.	
Válvulas compuerta sólida	8.2	80 a 900	150	RF Caja para soldar	ASTM A216 Gr. WCB, paso completo, requerimientos de diseño, materiales, inserto de los asientos, recubrimientos en compuerta, asientos y ASTM A105, Trim 5, OS&Y, ISO 15761, volante y vástago ascendente, bonete atomillado.	
Válvulas Globo	8.1	20 a 50 (3/4 a 2)	800			
Válvulas Globo	8.1	80 a 300 (3 a 12)	150	RF	ASTM A216 - Gr WCB, Trim 5 (ver ISO 10434), OS&Y, ASME B16.34, volante y vástago ascendente, bonete bridado.	
Válvulas Retención	8.1 8.4	20 a 50 (3/4 a 2)	800	Caja para soldar	ASTM A105, Trim 5, ISO 15761, tipo bola o pistón para trabajar en posición horizontal/ vertical, tapa atomillada.	
Válvulas Retención	8.1 8.4 8.6	80 a 600 (3 a 24)	150	RF	ASTM A216 - Gr WCB, Trim 5, API STD 594 tipo B, tapa bridada, tipo columpio y tope integrado al cuerpo que limite la apertura del disco.	
Válvulas Bola montada sobre muñón	8.1 8.2 8.5	80 a 900 (3 a 36)	150	RF	ASTM A105 o ASTM A216 Gr WCB, diseñadas, fabricadas y probadas según ISO 14313 y requerimientos de NRF-211-PEMEX-2008, a prueba de fuego API SPC 6FA, ISO 10497, paso completo, cuerpo atomillado o soldado, sello suave, con limitaciones por temperatura de asientos.	
Válvula de Mariposa	8.1, 8.6 8.20 8.21	80 a 600 (3 a 24)	150	RF	ASTM A216 Gr WCB, triple excentricidad, anillo de sello sólido de una sola pieza, asiento integral al cuerpo, sello metal-metal, diseño API 609 categoría B, a prueba de fuego ISO 10497. El diseño debe cumplir con los numerales 8.1.2.1.1 y 8.1.5.1 de la NRF-204-PEMEX-2008	
<b>Empaques</b>						
Empaques		20 a 600 (3/4 a 24)	150	RF	Espiro-metálico, con anillos metálicos centrador (exterior) y de respaldo (interno), relleno de grafito flexible (libres de asbesto), enrollamiento y anillos de Acero Inox tipo 304, ASME B16.20 para bridas ASME B16.5, bore diámetro interior al de la tubería.	



 <b>PEMEX®</b> Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios		<b>SISTEMAS DE TUBERÍA EN            PLANTAS INDUSTRIALES            DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE            MATERIALES</b>			<b>NRF-032-PEMEX-2012</b> <b>T-A05T1</b> <b>Página 4 de 6</b>	
Empaques		650 a 900 (26 a 36)	150	RF	Espero-metálico, con anillos metálicos centrador (exterior) y de respaldo (interno), relleno de grafito flexible (libre de asbesto), enrollamiento y anillos de A Inox tipo 304, ASME B16.20, para bridas ASME B16.47A (MSS-SP44), bore diámetro interior al de la tubería.	
Empaques	9.1	25 a 600 (1 a 24)	300 para brida porta placa de orificio	RF	Espero-metálico, con anillos metálicos centrador (exterior) y de respaldo (interno), relleno de grafito flexible (libre de asbesto), enrollamiento y anillos de Acero Inox tipo 304, ASME B16.20 para bridas ASME B16.5, bore diámetro interior al de la tubería.	
Empaques	9.1	650 a 900 (26 a 36)	300 para brida porta placa de orificio	RF	Espero-metálico, con anillos metálicos centrador (exterior) y de respaldo (interno), relleno de grafito flexible (libre de asbesto), enrollamiento y anillos de A Inox tipo 304, ASME B16.20 para bridas ASME B16.47A (MSS-SP44), bore diámetro interior al de la tubería.	
<b>Tornillería</b>						
Birlos	10.1				Extremos roscados, ASTM A193 - Gr B7, roscas ASME B1.1 clase 2A.	
Tuercas					ASTM A194 - Gr 2H, roscas ASME B1.1 clase 2A.	
<b>Varios</b>						
Figuras ocho (integral)	11.1	20 a 300 (3/4 a 12)	150	RF	ASTM A515 - Gr 70, ASME B 16.48	
Figuras ocho (junta ciega y espaciador separados)	11.1	350 a 900 (14 a 36)	150	RF	ASTM A515 - Gr 70, ASME B 16.48	
Filtros tipo Te	12.1	80 a 600 (3 a 24)	Cédula igual al de la tubería	Soldable	ASTM A234 -Gr WPB, S/C, extremos soldables	
	12.1	20 a 50 (3/4 a 2)	3000	Caja para soldar	ASTM A105, extremos ASME B16.11	
<b>Conexiones para ramales</b>					GráficaT-A05T1 Conexiones para Ramales	



## **ANEXO B**

Tabla de tuberías comerciales de acero

**Tuberías comerciales de acero. con base en ANSI B36.10: 1979 y BS**

**1600: Parte 2: 1970- Espesor de la tubería según el número de cédula**

Medida nominal de la tubería pulgadas		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm	Medida nominal de la tubería pulgadas	Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm	
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 80 (continuación)	3 ½	101.6	8.08	85.4
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.56	92.2
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3
	20	508.0	6.35	494.6		6	168.3	10.97	146.4
	24	609.6	6.35	596.9		8	219.1	12.70	193.7
	30	762.0	7.92	746.2		10	273.0	15.09	242.8
Cédula 20	8	219.1	6.35	206.4	Cédula 100	12	323.9	17.49	298.0
	10	273.0	6.35	260.3		14	355.6	19.05	317.5
	12	323.9	6.35	311.2		16	406.4	21.44	363.5
	14	355.6	7.92	339.8		18	457.2	23.82	409.6
	16	406.4	7.92	390.6		20	508.0	26.19	455.6
	18	457.2	7.92	441.4		24	609.6	30.96	547.7
Cédula 30	20	508.0	9.52	489.0	Cédula 120	8	219.1	15.09	188.9
	24	609.6	9.52	590.6		10	273.0	18.26	236.5
	30	762.0	12.70	736.6		12	323.9	21.44	281.0
	8	219.1	7.04	205.0		14	355.6	23.82	308.0
	10	273.0	7.80	257.4		16	406.4	26.9	354.0
	12	323.9	8.38	307.1		18	457.2	29.36	398.5
Cédula 40	14	355.6	9.52	336.6	Cédula 140	20	508.0	32.54	442.9
	16	406.4	9.52	387.4		24	609.6	38.89	531.8
	18	457.2	11.13	434.9		4	114.3	11.13	92.0
	20	508.0	12.70	482.6		5	141.3	12.70	115.9
	24	609.6	14.27	681.1		6	168.3	14.27	139.8
	30	762.0	15.88	730.2		8	219.1	18.26	182.6
Cédula 60	8	219.1	10.31	198.6	Cédula 160	10	273.0	21.44	230.1
	10	273.0	12.70	247.6		12	323.9	25.40	273.1
	12	323.9	14.27	295.4		14	355.6	27.79	300.0
	14	355.6	15.09	325.4		16	406.4	30.96	344.5
	16	406.4	16.64	373.1		18	457.2	34.92	387.4
	18	457.2	19.05	419.1		20	508.0	38.10	442.9
	20	508.0	20.60	466.8		24	609.6	46.2	517.6
	24	609.6	24.61	560.4		8	219.1	20.62	177.9
	8	273.0	10.31	198.6		10	273.0	25.40	222.2
	10	323.9	12.70	247.6		12	323.9	28.58	266.7
	12	374.8	14.27	296.5		14	355.6	31.75	292.1
	14	425.7	15.09	325.4		16	406.4	36.52	333.4
	16	476.6	16.64	373.1		18	457.2	39.69	377.8
	18	527.5	19.05	419.1		20	508.0	44.45	419.1
	20	578.4	20.60	466.8		24	609.6	52.59	504.8
	24	629.3	24.61	560.4		½	21.3	4.78	11.7
	8	219.1	10.31	198.6		¾	26.7	5.56	15.6
	10	273.0	12.70	247.6		1	33.4	6.35	20.7
12	323.9	14.27	295.4	1 ¼	42.2	6.35	29.5		
14	355.6	15.09	325.4	1 ½	43.6	7.14	34.0		
16	406.4	16.64	373.1	2	60.3	8.74	42.8		
18	457.2	19.05	419.1	2 ½	73.0	9.52	54.0		
20	508.0	20.60	466.8	3	88.9	11.13	66.6		
24	609.6	24.61	560.4	4	114.3	13.49	87.3		
1/8	10.3	2.31	5.5	5	141.3	15.88	109.5		
¼	13.7	3.02	7.7	6	168.3	18.26	131.8		
3/8	17.1	3.20	10.7	8	219.1	23.01	173.1		
½	21.3	3.73	13.8	10	273.0	28.58	215.8		
¾	26.7	3.91	18.9	12	323.9	33.34	257.2		
1	33.4	4.55	24.3	14	355.6	35.71	284.2		
1 ¼	42.2	4.85	32.5	16	406.4	40.49	325.4		
1 ½	48.3	5.08	38.1	18	457.2	45.24	366.7		
2	60.3	5.54	49.2	20	508.0	50.01	408.0		
2 ½	73.0	7.01	59.6	24	609.6	59.54	490.5		
3	88.9	7.62	73.7						



## ANEXO C

Tabla de densidad relativa y viscosidad cinemática de algunos líquidos

**TABLA RELATIVA Y VISCOSIDAD CINEMATICA  
DE ALGUNOS LIQUIDOS**  
(Viscosidad cinemática = valor de la tabla 10E-6)

Temp. (°C)	Agua**		Disolvente comercial		Tetracloruro de carbonato		Aceite lubricante medio	
	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)
5	1,000	1,520	0,728	1,476	1,620	0,763	0,905	471
10	1,000	1,308	0,725	1,376	1,608	0,696	0,900	260
15	0,999	1,142	0,721	1,301	1,595	0,655	0,896	186
20	0,998	1,007	0,728	1,189	1,584	0,612	0,893	122
25	0,997	0,897	0,714	1,101	1,572	0,572	0,890	92
30	0,995	0,804	0,710	1,049	1,558	0,532	0,886	71
35	0,993	0,727	0,706	0,984	1,544	0,504	0,883	54,9
40	0,991	0,661	0,703	0,932	1,522	0,482	0,875	39,4
50	0,990	0,566					0,866	25,7
65	0,980	0,442					0,865	15,4

Temp. (°C)	Aceite a prueba de polvo*		Fuel-oil medio*		Fuel-oil pesado*		Gasolina*	
	Densid. relat.	Visc. Cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. Cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. Cinem. (m <sup>2</sup> /s)
5	0,917	72,9	0,865	6,01	0,918	400	0,737	0,749
10	0,913	52,4	0,861	5,16	0,915	290	0,733	0,710
15	0,910	39,0	0,857	4,47	0,912	210	0,729	0,638
20	0,906	29,7	0,855	3,94	0,909	156	0,725	0,648
25	0,903	23,1	0,852	3,44	0,906	118	0,721	0,625
30	0,900	18,5	0,849	3,11	0,904	89	0,717	0,595
35	0,897	15,2	0,846	2,77	0,901	67,9	0,713	0,570
40	0,893	12,9	0,842	2,39	0,898	52,8	0,709	0,545

Algunos otros líquidos

Líquido y temperatura	Densid. relat.	Visc. cinem (m <sup>2</sup> /s)
Turpentina a 20° C	0,862	1,73
Aceite de linaza a 30° C	0,925	35,9
Alcohol etílico a 20° C	0,789	1,53
Benceno a 20°C	0,879	0,745
Gliserina A 20° C	1,262	661
Aceite de gastor a 20° c	0,960	1.031
Aceite ligero de maq. a 16,5° C	0,907	137

\*Kessler y Lenz, Universidad de Wisconsin, Madison.

\*\*ASCE Manual 25.

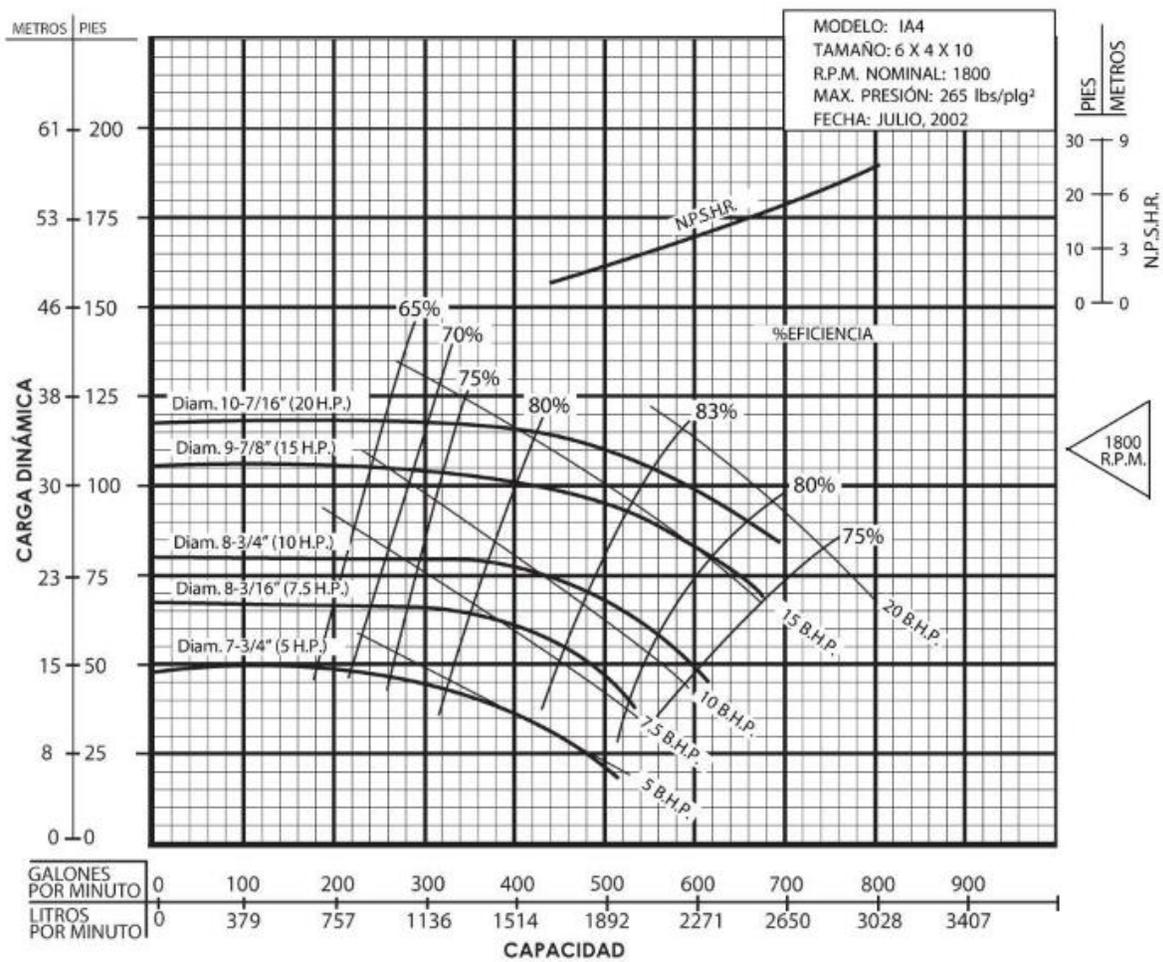


## ANEXO D

Curva de rendimiento de bomba centrífuga

## Barmesa

### Curva de rendimiento de bomba centrífuga





## GLOSARIO

**Autotanque:** Vehículo automotor que en su chasis tiene instalado en forma permanente uno o más recipientes no desmontables para transportar y suministrar combustible líquidos a las estaciones de servicio.

**Circuitos de tubería:** Conjunto de tubería y equipos que manejan una sustancia de la misma composición, en el que pueden variar las condiciones de operación en sus diferentes partes.

**Dique:** Muro de contención de concreto armado, construido alrededor de uno o más tanques de almacenamiento, para contener un derrame de producto.

**Fluido:** Es aquella sustancia líquida o gaseosa que, por sus características fisicoquímicas, no tienen forma propia, sino que adaptan las del producto que las contiene.

**Isométrico de tubería:** Dibujo con la representación ortogonal de una tubería, donde se muestra su trayectoria, componentes, dimensiones, localización, características de la misma.

**Llenadera:** Área acondicionada para el llenado de los autotanques.

**Petrolíferos:** son los productos que se obtienen de la refinación del petróleo, tales como gasolinas, diésel, combustóleo, entre otros.

**Tanque de almacenamiento:** Recipiente metálico del tipo cilíndrico-vertical, con, usado para almacenamiento de hidrocarburos o líquidos en general, practicante a presión atmosférica.

**Tubería:** Ensemble de tubos y componentes de tubería, usado para transportar, distribuir, mezclar, separar, descargar, medir, controlar o repulsar los flujos de un fluido o sustancia.

**Tuberías:** Sistema de tubería, circuito de tubería, red de tubería



## CONTENIDO DE TABLAS

2.1 Valores de rugosidad de tubos.....	24
2.2 Valores de K.....	26
2.3 Valores de K para contracciones y ensanchamientos.....	27
2.4 Clasificación de bombas centrifugas.....	33
2.5 Datos generales de la gasolina Premium.....	37
2.6 Propiedades físicas- químicas de la gasolina Premium .....	37
2.7 Índice de servicios para tubería .....	39
4.1 Accesorios del tramo 1 de la línea de descarga.....	61
4.2 Accesorios del tramo 2 de la línea de descarga.....	63
4.3 Accesorios del tramo 3 de la línea de descarga.....	65



## CONTENIDO DE FIGURAS

1.1 Ubicación geográfica de la terminal de almacenamiento y despacho Tuxtla Gutiérrez (Pemex).....	10
1.2 Proceso de almacenamiento y distribución de la TAD Tuxtla Gutiérrez.....	14
2.1 Elementos de fluidos en una tubería.....	19
2.2 Sistema de tubería en serie.....	28
2.3 Sistema de tubería en paralelo.....	29
2.4 Bomba centrífuga.....	32
3.1 Equipo de protección personal.....	41
3.2 Plano de la Terminal de Almacenamiento y Despacho Tuxtla Gutiérrez.....	43