

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN
TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

TRABAJO PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

QUE PRESENTA:
OLGER EDUARDO PASCACIO BIELMA

CON EL TEMA:

“Medición de la eficiencia y beneficio en la carga y descarga de autotanques al aumentar la capacidad de llenado de 400 GPM a 600 GPM en la terminal de almacenamiento y reparto (TAR) PEMEX Tuxtla Gutiérrez”

MEDIANTE:

OPCION I
(TITULACION INTEGRAL)

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

JUNIO 2013

"2013, Año de la Lealtad Institucional y Centenario del Ejército Mexicano"

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. **07 DE MAYO 2013**

OFICIO DEP-CT-83-2013

C. OLGER EDUARDO PASCACIO BIELMA
PASANTE DE LA CARRERA DE **INGENIERÍA INDUSTRIAL**
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la liberación del informe técnico del proyecto denominado:

**"MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA Y BENEFICIO EN LA CARGA Y DESCARGA DE AUTOTANQUES AL
AUMENTAR LA CAPACIDAD DE LLENADO DE 400 A 600 GALONES EN LA TERMINAL DE
ALMACENAMIENTO Y REPARTO (TAR) PEMEX TUXTLA GUTIÉRREZ."**

Y en cumplimiento con los requisitos normativos para obtener el Título Profesional, comunico a Usted que se **AUTORIZA** la impresión del Trabajo Profesional.

Sin otro particular quedo de usted reiterándole mis más finas atenciones.

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"


M.I. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.
C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
M'APL/l'eeam

1



Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez
Div. de Est. Profesionales



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 21 de Diciembre del 2012.
Oficio: No. PXR-SAR-GARG-TGUTIERREZ-664/2012
Número de expediente REF2C6842100004C23000001012012

Gerencia de Almacenamiento y Reparto golfo.
Terminal de Almacenamiento y Reparto
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Area Administrativa.

Instituto Tecnológico de Tuxtla

At'n M.C. Jorge Antonio Orozco Torres
Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial.

Asunto: Carta de Termino.

El que suscribe **C. Alfredo Miy López**, Superintendente de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Tuxtla Gutiérrez, tiene a bien informarle que el **C.PASCACIO BIELMA OLGER EDUARDO**, con numero de control **08270602** alumno de la Carrera de Ingeniería Industrial ha sido aceptado su término del Proyecto de Residencia Profesional denominado: **Medición de la Eficiencia y Beneficio en la Carga y Descarga de Autotanques al Aumentar la Capacidad de Llenado de 400 a 600 Galones en la Terminal de Almacenamiento y Reparto Tuxtla Gutiérrez**, durante el periodo comprendido de Agosto a Diciembre del 2012.

Atentamente,


Ing. Alfredo Miy López.
Superintendente
T.A.R Tuxtla Gutiérrez


Supervisor Ing. Walter Beutelspacher Baigts.
Ing. de Operacion.


Elabora: CP. Adela Castellanos Zenteno
Ayudante Administrativo.

Vbc*

Índice

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Caracterización del proyecto	
1.1 Antecedentes del problema	4
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Justificación.....	5
1.6 Delimitación.....	6
1.6.1 Alcances.....	6
1.6.2 Limitantes.....	6
Capítulo 2. Descripción de la empresa..	
2.1 Antecedentes de la empresa	8
2.2 Razón social.....	8
2.3 Ubicación de la empresa	9
2.3.1 Micro-localización.....	9
2.4 Misión, visión y valores de Pemex Refinación	10
2.4.1 Misión.....	10
2.4.2 Visión	10
2.4.3 Valores	10
2.5 Organigrama de la empresa	11
2.6 Distribución actual de la planta	12
2.7 Descripción de operaciones en (TAR)	13
2.8 Productos que se almacenan en Pemex Refinación	14
2.8.1 Características y capacidad de los tanques de almacenamiento	14

Capítulo 3. Fundamento Teórico

3.1	Teoría del flujo de fluidos en tuberías	16
3.1.2	Definición de un fluido	16
3.1.3	Propiedades físicas de los fluidos	17
3.1.3.1	Viscosidad	17
3.1.3.2	Viscosidad absoluta o dinámica	18
3.1.3.3	Viscosidad cinemática.....	19
3.1.4	Densidad y peso específico	19
3.2	Mecánica de fluidos	20
3.2.1	Estática de fluidos	21
3.2.2	Dinámica de fluidos	21
3.3	Regímenes de flujo de fluidos en tuberías: laminar y turbulento	21
3.4	Número de Reynolds	23
3.5	Ecuación general de energía. Teorema de Bernoulli	24
3.6	Perdida de energía en tuberías.....	26
3.7	Ecuación general del flujo de fluidos. Formula de Darcy Weisbach	26
3.8	Tipos de válvulas y accesorios usados en sistemas de tuberías.....	27
3.8.1	Pérdida de presión debida a válvulas y accesorios.....	28
3.8.2	Coeficiente de resistencia K, longitud equivalente LID y coeficiente de flujo ...	29
3.9	Definición de bombas	31
3.9.1	Clasificación de las bombas	31
3.9.2	Bombas centrifugas	32
3.9.3	NPSH requerida de la bomba	33
3.10	Cavitación.....	33
3.11	Funcionamiento de una bomba centrifuga	34
3.12	Bombas horizontales	36
3.13	Bombas verticales	37
3.13.1	Bombas verticales de funcionamiento en seco.....	38
3.13.2	Bombas verticales sumergidas	38
3.14	Conceptos de efectividad, eficiencia y eficacia	39
3.14.1	Relación entre la eficiencia, la efectividad y la eficacia	40
3.14.2	Eficiencia	40
3.14.3	Tipos de eficiencia	41
3.14.4	Indicadores de eficiencia y eficacia	42

Capítulo 4. Metodología Propuesta

4.1 Fases de la metodología de los sistemas de descarga y carga de auto-tanques.....	46
4.2 Fase 1. Análisis y descripción del sistema de descarga-----	47
4.2.1 Datos y ecuaciones para determinar la eficiencia del sistema actual en descarga -----	49
4.2.2 Aplicación de cálculos para determinar la eficiencia actual del sistema en descarga-----	53
¡Error! Marcador no definido.	
4.2.3 Determinación de la velocidad de fluidos en las tuberías del sistema de descarga-----	58
¡Error! Marcador no definido.	
4.2.4 Resultados de la eficiencia del sistema-----	60
¡Error! Marcador no definido.	
4.2.5 Análisis de información y determinación de área de oportunidad.....	63
4.3 Fase 2. Análisis y descripción del sistema de carga-----	66
4.3.1 Descripción del sistema de carga-----	67
4.3.2 Aplicación de cálculos para determinar la eficiencia actual del sistema en descarga-----	70
¡Error! Marcador no definido.	
4.3.3 Determinación de las pérdidas de presión en el sistema-----	72
¡Error! Marcador no definido.	
4.3.4 Resultado de la eficiencia del sistema de carga-----	75
¡Error! Marcador no definido.	
4.3.5 Análisis de información y determinación de área de oportunidad.....	78
4.4 Fase 3. Planteamiento y análisis de propuestas-----	78
4.4.1 Análisis de propuesta 1. Eliminación de válvulas check y mariposa manteniendo bomba actual.....	79
4.4.2 Análisis de propuesta 2. Cambio de bomba centrífuga de 600 GPM en sistema de descarga y ampliación de tuberías de 4" Ø en patín de medición	79
4.4.3 Análisis de propuesta 3. Cambio de bomba centrífuga de 600 GPM en área de carga	80
4.5 Fase 4. Comparación de propuestas	80

Capítulo 5. Aplicación de la metodología propuesta

5.1 Introducción.....	83
5.2 Objetivo	83

5.3	Propuesta 1. Eliminación de válvulas check y mariposa manteniendo bomba actual	84
5.4	Propuesta 2. (Descarga) cambio de bomba centrífuga de 600 GPM	89
5.5	Propuesta 3. Cambio de bomba centrífuga de 600 GPM en área de carga	102
5.6	Propuestas adicionales de mantenimiento y seguridad, para mantener siempre eficiente el sistema de tuberías válvulas y bomba centrífuga	103
5.6.1	Sistema de seguridad industrial SSPA (Seguridad, Salud y Protección Ambiental)	103
5.6.2	Aplicación del mantenimiento preventivo en el área de operaciones	105
Capítulo 6. Análisis de resultados obtenidos		
6.1	Resultados esperados para el área de descarga	107
6.2	Resultados esperados para el sistema de carga	110
6.3	Costos aproximados de las propuestas del sistema de descarga y carga de auto-tanques	113
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones		
7.1	Conclusiones	116
7.2	Recomendaciones	117
Bibliografía.....		118
ANEXOS.....		119

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el desarrollo del proyecto para medir la eficiencia y beneficio en la carga y descarga de auto-tanques al aumentar la capacidad de llenado de 400 GPM a 600 GPM en la terminal de almacenamiento y reparto (TAR) PEMEX Tuxtla Gutiérrez.

Hoy en día las empresas quieren ser altamente competentes por lo que día a día están en busca de las mejores opciones para optimizar sus operaciones, productos o servicios. La ingeniería ha jugado un papel muy importante en los avances tecnológicos que benefician a todos y nos hace la vida más sencilla, de tal manera que la ingeniería es una parte fundamental para las empresas.

Una parte fundamental de las industrias son los fluidos, si bien es cierto hace 100 años el agua era el único fluido importante que se transportaba por tuberías, hoy en día, hay una gran cantidad de fluidos importantes que son transportados en su mayoría por una red de tuberías impulsados por una bomba centrífuga especial para cada fluido.

La variedad de las aplicaciones de la hidráulica y de la mecánica de fluidos es tan grande, que cualquier ingeniero ha sentido la necesidad de familiarizarse por lo menos con los conceptos básicos de flujo de fluidos.

La transportación de fluidos no es la única parte de la hidráulica que demanda la atención. Existen mecanismos hidráulicos y neumáticos que son usados bastante en la tecnología actual.

Analizar la eficiencia en un sistema de tuberías depende de variables que son importantes como la longitud de la tubería, temperatura, densidad, viscosidad, presión y accesorios que causan pérdidas de presión en un trayecto determinado.

Este proyecto toma como base el sistema de tuberías que comprende de bomba centrífuga, válvulas, accesorios y tuberías de acero comercial con

diferentes diámetros. La mayor parte de los datos sobre el flujo de fluidos en válvulas y accesorios se obtuvieron del libro Flujo de fluidos de la división de ingeniería CRANE.

En el primer capítulo se describen las características del proyecto, tales como el problema que presenta la empresa, los objetivos que se pretenden alcanzar, la justificación y la delimitación.

En el capítulo dos se detallan las características de la empresa como los antecedentes relevantes de la empresa, razón social, ubicación actual, su estructura orgánica y los productos que ofrecen.

En el tercer capítulo se precisa los conocimientos y los fundamentos teóricos que se aplicaran durante todo el proyecto.

El cuarto capítulo se describe la metodología que se llevó a cabo para realizar este proyecto, detallando cada una de sus etapas, analizando el sistema actual de llenado y descarga.

En el capítulo cinco se desarrollan las propuestas establecidas para mejorar la eficiencia del sistema de carga y descarga.

El capítulo seis se plantea los resultados obtenidos y se compararan cada uno de ellos.

Las conclusiones y recomendaciones se describen en el capítulo siete.

Capítulo 1

Caracterización del proyecto



1.1 Antecedentes del problema

La terminal de almacenamiento y reparto (PEMEX), cuenta con 6 áreas de llenado y 6 de descarga conforman un total de 12 islas¹, que permiten cargar y descargar auto-tanques de gasolina Premium, magna y diésel.

Estas islas cuentan con un equipo de bombeo que permite el flujo de fluidos a los tanques de almacenamiento verticales (TVS)². Mediante un sistema de conexiones de tuberías en acero comercial.

El problema principal se ubica en el área de descargas ya que existen diversas modificaciones que se han hechos con el paso de los años, como ampliaciones y reducciones en el diámetro de las tuberías así como codos de 90° y 45°, conexiones en T y diversas válvulas que ocasionan una pérdida de presión en el flujo de los diferentes hidrocarburos que ofrece la empresa.

1.2 Descripción del problema

El sistema de descarga y carga de auto-tanques no trabaja a su capacidad ideal que es a 400 GPM, esto se debe a diversos factores como modificaciones en tuberías, válvulas y accesorios por lo que esto ha ocasionado una disminución de la eficiencia del sistema.

El problema antes mencionado provoca grandes tiempos de espera principalmente en la descarga de auto-tanques.

¹ Denominación del área de descarga y carga que conforman al sistema de bombeo de hidrocarburos.

² Tanques verticales de almacenamiento de hidrocarburos.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Conocer la eficiencia del sistema actual y determinar si es benéfico modificar el sistema de carga y descarga en auto-tanques al aumentar la capacidad de 400 GPM a 600 GPM.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar los cálculos de pérdidas de presión con la capacidad actual de 400 galones por minuto.
- Determinar si es factible aumentar la capacidad a 600 galones por minuto.
- Dibujar los planos de carga y descarga que conducen a los tanques de almacenamiento

1.4 Hipótesis

Al disminuir las caídas de presión aumentara la velocidad de flujo de los hidrocarburos y disminuirá los tiempos de llenado y descarga en los auto-tanques por los que será más eficiente ambos sistemas.

1.5 Justificación

- Medir la eficiencia en la carga y descarga del sistema actual
- Aumentar el flujo en las tuberías.
- Reducir los tiempos de espera de los auto-tanques.
- Contar con planos del área de operaciones.



1.6 Delimitación

1.6.1 Alcances

El proyecto se realiza en la Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) Tuxtla Gutiérrez. Se beneficiara específicamente el área de operaciones al analizar las pérdidas de presión en las tuberías actuales y proponer si es eficiente aumentar la capacidad a 600GPM.

1.6.2 Limitantes

- Información por parte de la empresa en pérdidas de presión.
- Equipos y herramientas inexistentes para desarrollar un buen trabajo de campo
- Inexistencia de planos y medidas exactas en el sistema de tuberías
- Falta de presupuestos para desarrollar los cambios necesarios en la empresa

Capítulo 2
Descripción de la empresa



2.1 Antecedentes de la empresa

La terminal de Almacenamiento y Reparto Tuxtla Gutiérrez se encuentra dentro de la zona de influencia de la Refinería Antonio Dovalí Jaime de Salina Cruz, Oaxaca y Terminal de Almacenamiento y Reparto Pajaritos, actualmente comercializa Pemex Magna, Pemex Premium y Pemex Diesel.

Pertenece a la Gerencia de Almacenamiento y reparto Golfo. Se encuentra ubicada en la carretera Panamericana Km. 1080 Col. Plan de Ayala en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas C.P. 029020.

La terminal inicio sus operaciones el 16 de febrero de 1981 al día 13 de julio, se llevan 10,374 días sin accidentes que generen incapacidad, un total de 28 años con 70 días.

Cuenta con una planta laboral de 86 trabajadores, 79 sindicalizados y 8 de confianza, laborando en dos turnos (T2 y T3) de seis días a la semana, actualmente se está trabajando con el turno 1 (t1) para descarga de AT con 6 plazas extraordinarias.

La terminal se abastece por medio de auto tanques que provienen de la Terminal de Almacenamiento y Reparto de Salina Cruz, Oaxaca y Terminal de Almacenamiento y Reparto Pajaritos, Veracruz. Así como de manera excepcional de la Terminal de Almacenamiento y Reparto de Minatitlán, Veracruz.

2.2 Razón social

Pemex - Refinación

2.3 Ubicación de la empresa

La terminal de almacenamiento y reparto (TAR) PEMEX Refinación, tiene por domicilio en la carretera Panamericana Kilómetro 1080, colonia Plan de Ayala, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas C.P. 29020.

2.3.1 Micro-localización

En la **figura 2.1**. Se muestra la localización de la TAR Tuxtla en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en la que también se divisan sus componentes topográficos.



Figura 2.1. Localización topográfica de Pemex Refinación
(Fuente: Pemex refinación 2012)



2.4 Misión, visión y valores de Pemex Refinación

2.4.1 Misión

La Gerencia de Almacenamiento y Distribución Golfo controla la calidad, transporta, almacena y distribuye los hidrocarburos requeridos para satisfacer las necesidades del mercado.

2.4.2 Visión

Ser una organización moderna e integrada que sea reconocida por la calidad con que se desarrolla el transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos en el país.

2.4.3 Valores

- Nacionalismo
- Innovación
- Liderazgo
- Trabajo en equipo
- Calidad-Productividad
- Servicio
- Seguridad
- Sentido Ecológico

2.5 Organigrama de la empresa

En la **figura 2.2.** Se detalla de forma jerárquica los puestos existentes en la terminal de almacenamiento y reparto.

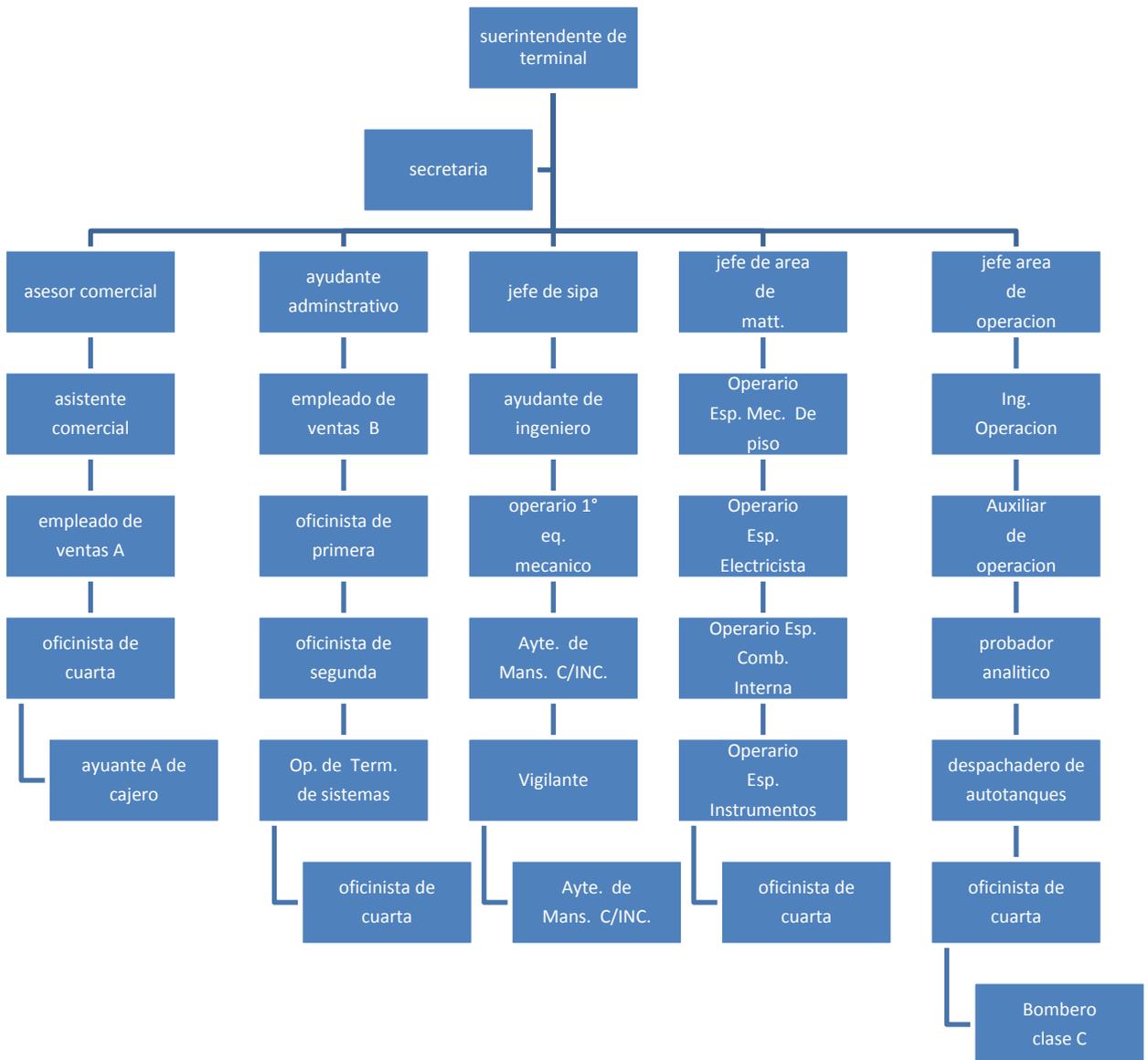


Figura 2.2. Organigrama de la TAR.
(Fuente. Pemex Refinación 2012)

2.6 Distribución actual de la planta

En la **figura 2.3**. Se muestra la distribución de la planta de la TAR Tuxtla, así como el flujo de los auto-tanques y las ubicaciones de los puntos estratégicos.

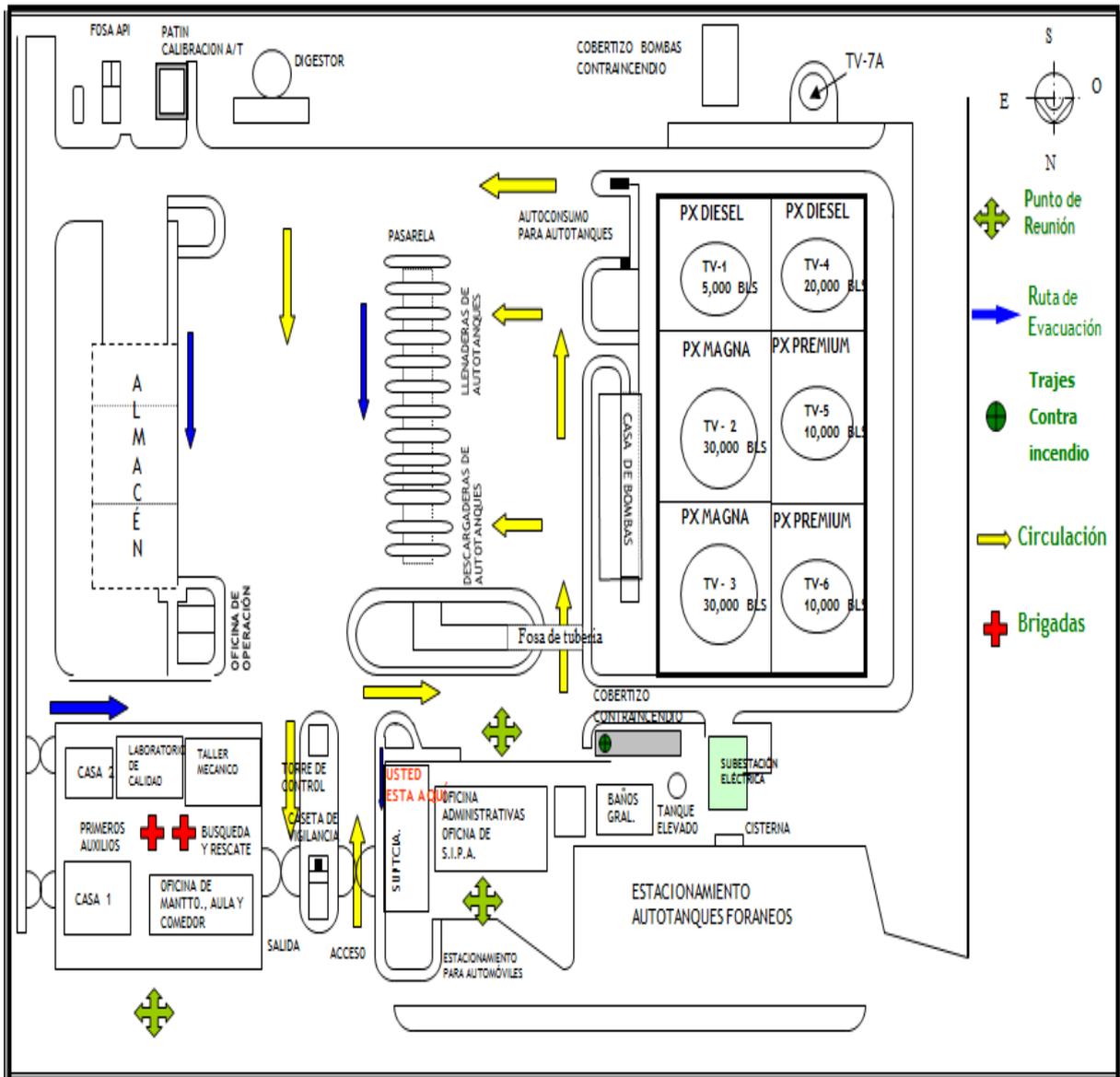


Figura 2.3. Distribución de la TAR.
(Fuente: PEMEX Refinación 2012)

2.7 Descripción de operaciones en (TAR)

En el diagrama mostrado en la **figura 2.4**. Se muestra el proceso de operación del sistema de carga y descarga de auto-tanques.

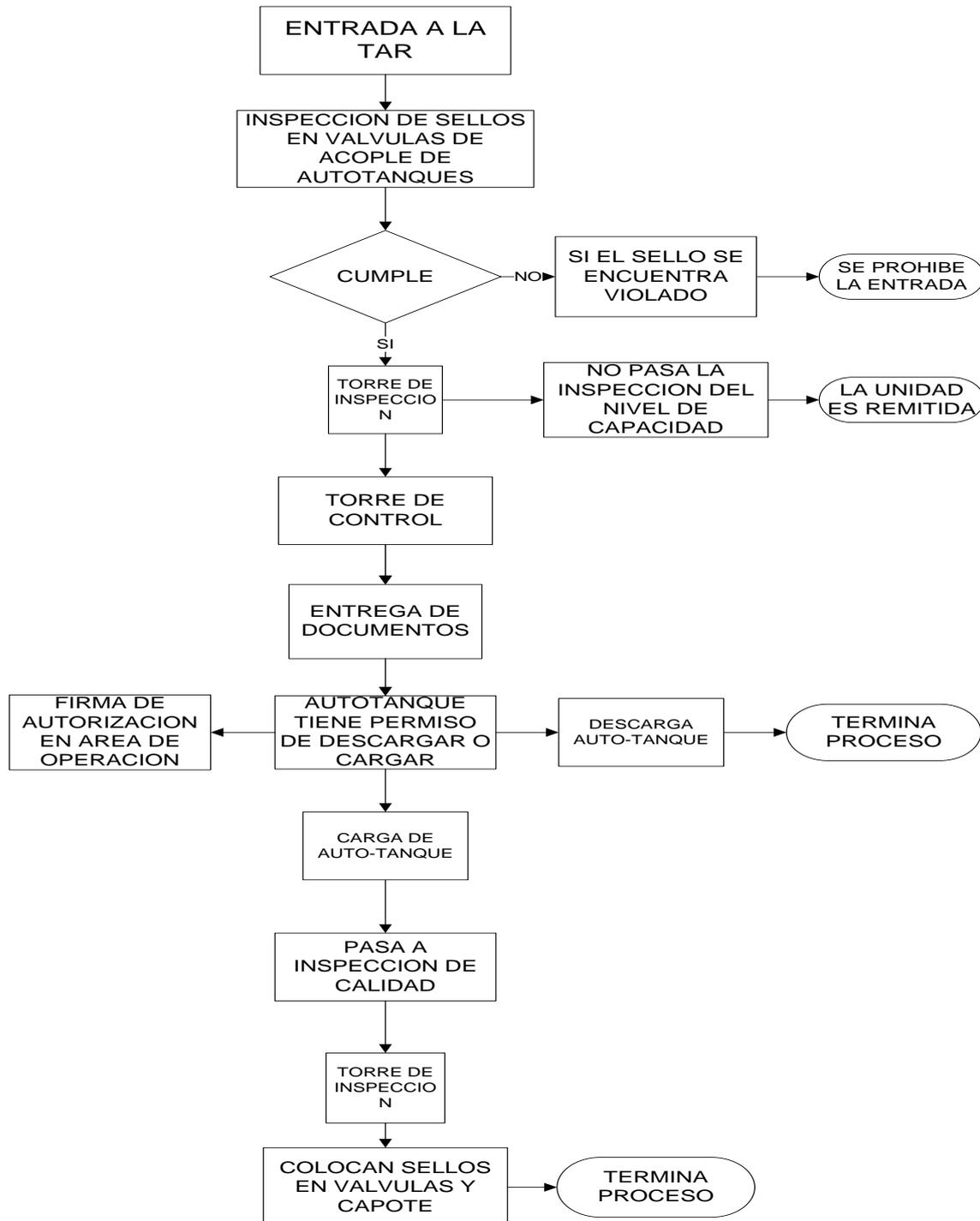


Figura 2.4. Diagrama de procesos de la TAR.
(Fuente: Elaboración propia)



2.8 Productos que se almacenan en Pemex Refinación

- PEMEX Premium
- PEMEX Magna
- PEMEX Diesel

2.8.1 Características y capacidad de los tanques de almacenamiento

Los seis tanques de almacenamiento se encuentran controlados y monitoreados, por los sistemas SIMCOT (Sistema de Medición y Control en Terminales) y SICCI (Sistema Integral de Control contra incendio); además de contar con instrumentos como radares para la medición del producto, así como sondas las cuales miden la temperatura y el nivel de agua. Independientemente de todos los instrumentos de seguridad que más adelante se mencionan.

En la siguiente **tabla 2.1**. Se muestran las características esenciales de los tanques, teniendo en cuenta que se tiene seis tanques verticales con una capacidad total de 105,000 Barriles.

Tabla 2.1. Características y capacidad de los tanques
(Fuente: Pemex refinación 2012)

TANQUE	PRODUCTO	CAPACIDAD NORMAL (BLS)	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)	FONDAJE	ESTADO
TV-01	PEMEX Diesel	5,000	4,581	207	En operación
TV-02	PEMEX Magna	30,000	23,682	1,424	En operación
TV-03	PEMEX Magna	30,000	23,682	1,424	En operación
TV-04	PEMEX Diesel	10,000			
TV-05	PEMEX Premium	10,000	8,073	365	En operación
TV-06	PEMEX Diesel	10,000	8,073	365	En operación

Capítulo 3
Fundamento teórico



3.1 Teoría del flujo de fluidos en tuberías

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro, es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no solo mayor resistencia estructural, sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma. (División de ingeniería CRANE, 1992).

Muy pocos problemas especiales de mecánica de fluidos, como es el caso del flujo en régimen laminar por tuberías, pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales; todos los 6 problemas necesitan métodos de resolución basados en coeficientes determinados experimentalmente.

Muchas fórmulas empíricas han sido propuestas como soluciones a diferentes problemas de flujo de fluidos en tuberías, pero son muy limitadas y pueden aplicarse solo cuando las condiciones del problema se aproxima a las condiciones de los experimentos de los cuales se derivan las formulas.

Debido a la gran variedad de fluidos que se utiliza en los procesos industriales. Modernos, una ecuación que puede ser usada para cualquier fluido ofrece ventajas obvias. Una ecuación de este tipo es la de Darcy-Weisbach, que puede ser deducida por análisis dimensional; sin embargo, una de las variables en la formula, es el coeficiente de fricción debe ser determinado experimentalmente. Esta fórmula tiene una extensa aplicación en el campo de la mecánica de fluidos y se utilizara en este análisis del cálculo.

3.1.2 Definición de un fluido

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar que tan pequeño sea ese esfuerzo cortante. Un esfuerzo cortante es la componente de fuerza tangente a una



superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie es el esfuerzo cortante promedio sobre dicha superficie. El esfuerzo cortante en un punto es el valor límite de la fuerza por unidad de área a medida que el área se reduce a un punto. (Streeter V. L., Wylie B, Bedford. 2000)

Dentro de la clasificación de fluidos, los líquidos y gases presentan propiedades diferentes. Ambos tipos de fluidos, tienen la propiedad de no tener forma propia y que estos fluyen al aplicarles fuerzas externas. La diferencia está en la llamada compresibilidad. Para el caso de los gases estos pueden ser comprimidos reduciendo su volumen. Por lo tanto:

- Los gases son compresibles,
- Los líquidos son prácticamente incompresibles.

Otra característica entre los sólidos y los fluidos es que los primeros se resisten a cambiar de forma ante la acción de los agentes externos, en cambio los fluidos prácticamente no se resisten a dichos agentes.

3.1.3 Propiedades físicas de los fluidos

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión. Los valores exactos de las propiedades de los fluidos que afectan a su flujo, principalmente su viscosidad, el peso específico, ha sido establecida por muchas autoridades en la materia para todos los fluidos utilizados normalmente y muchos de estos datos se encuentran en tablas estándares. (División de ingeniería CRANE, 1992)

3.1.3.1 Viscosidad

La división de ingeniería de CRANE (1992) define que: La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad



absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La melaza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en comparación con el agua.

Se puede predecir la viscosidad de la mayor parte de los fluidos; en algunos la viscosidad depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos. La tinta de imprenta, las papillas de pulpa de madera y la salsa de tomate, son ejemplos de fluidos que tienen propiedades tixotrópicas de viscosidad.

Existe gran confusión respecto a las unidades que se utilizan para expresar la viscosidad; de ahí la importancia de utilizar las unidades adecuadas cuando se sustituyen los valores de la viscosidad en las fórmulas.

3.1.3.2 Viscosidad absoluta o dinámica

La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (*Pas*) o también newton segundo por metro cuadrado ($n \frac{s}{m^2}$), o sea kilogramo por metro segundo (*kg/ms*). Esta unidad se conoce también con el nombre de poiseuille (*Pl*) en Francia, pero debe tenerse en cuenta que no es la misma que el poise (*P*) descrita a continuación.

El poise es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado o de gramos por centímetro segundo. El submúltiplo centipoise (*cP*), $10m^2$ poises, es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica y esta situación parece que va a continuar durante algún tiempo. Por esta razón, y ya que la mayor parte de los manuales y tablas siguen el mismo principio, toda la información sobre viscosidad en este texto se expresa en centipoises. La relación entre el Pascal segundo y el centipoise es:

$$1 \text{ Pas} = 1 \text{ N} \frac{\text{s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}} = 10^3 \text{ cP}$$



$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pas}$$

3.1.3.3 Viscosidad cinemática

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo ($\frac{m^2}{s}$). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), $10e^2$ stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

$$1 \frac{m^2}{s} = 10^6 \text{ cSt}$$
$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$
$$v (\text{centistokes}) = \frac{\mu (\text{centipoise})}{\rho (\frac{\text{gramos}}{\text{cm}^3})}$$

La medida de la viscosidad absoluta de los fluidos (especialmente de gases y vapores) requiere de instrumental adecuado y de una considerable habilidad experimental. Por otro lado, se puede utilizar un instrumento muy simple, como es un viscosímetro de tubo, para medir la viscosidad cinemática de los aceites y otros líquidos viscosos. Con este tipo de instrumentos se determina el tiempo que necesita un volumen pequeño de líquido para fluir por un orificio y la medida de la viscosidad cinemática se expresa en términos de segundos.

3.1.4 Densidad y peso específico

La división de ingeniería de CRANE (1992) nos define los siguientes conceptos: La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. La



unidad de densidad en el SI es el kilogramo por metro cúbico ($\frac{kg}{cm^3}$) y se denota por el símbolo (ρ).

El peso específico es una medida relativa de la densidad. Como la presión tiene efectos insignificantes sobre la densidad de los líquidos, la temperatura es la única variable que debe ser tomada en cuenta al sentar las bases para el peso específico.

La densidad relativa de un líquido es la relación de su densidad a cierta temperatura, con respecto al agua a una temperatura Si se usa un hidrómetro para medir directamente la densidad relativa de un líquido, normalmente se utilizan dos escalas a saber: la escala API que se utiliza para productos de petróleo y la escala Baume.

3.2 Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos es el estudio del comportamiento de los fluidos en reposo y en movimiento; en él se relacionan las diversas propiedades físicas de los fluidos y sus efectos sobre los patrones de flujo resultantes; así mismo, las fuerzas que se presentan dentro del fluido y entre el fluido y sus fronteras. Para cuantificar los resultados se aplican algunas leyes fundamentales de la mecánica, como son:

- Conservación de la materia
- Las leyes del movimiento de Newton
- La primera y segunda ley de Termodinámica

La aplicación de estos principios fundamentales permite comprender la naturaleza del comportamiento de los fluidos y resolver problemas numéricos (Beltrán, 1990).



3.2.1 Estática de fluidos

La estática de fluidos estudia las condiciones de equilibrio bajo las cuales un fluido está en reposo, sabiendo que para ello se requiere que todos los elementos que lo forman se mueven a la misma velocidad, es decir que no se desplacen los unos a los otros y por lo tanto no haya escurrimiento. El fluido esta entonces detenido o se mueve como si fuera un cuerpo rígido sin deformarse.

3.2.2 Dinámica de fluidos

Esta rama de la mecánica de fluidos se ocupa de las leyes de los fluidos en movimiento, estas leyes son enormemente complejas, y aunque la hidrodinámica tiene una importancia practica mayor que la hidrostática, solo se trataran aquí algunos conceptos básicos.

3.3 Regímenes de flujo de fluidos en tuberías: laminar y turbulento

Según la división de ingeniería de CRANE indica que: Un experimento simple (el que se muestra abajo), muestra que hay dos tipos diferentes de flujo de fluidos en tuberías. El experimento consiste en inyectar pequeñas cantidades de fluido coloreado en un líquido que circula por una tubería de cristal y observar el comportamiento de los filamentos coloreados en diferentes zonas, después de los puntos de inyección.

Si la descarga o la velocidad media son pequeñas, las láminas de fluido coloreado se desplazan en líneas rectas, como se ve en la figura 3.1. A medida que el caudal se incrementa, estas láminas continúan moviéndose en líneas rectas hasta que se alcanza una velocidad en donde las láminas comienzan a ondularse y se rompen en forma brusca y difusa, según se ve en la **figura 3.2**. Esto ocurre en la llamada velocidad crítica. A velocidades mayores que la crítica

los filamentos se dispersan de manera indeterminada a través de toda la corriente, según se indica en la **Figura. 3.1.**

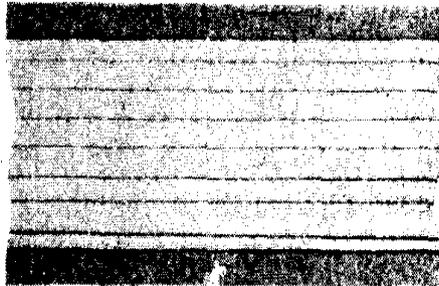


Figura. 3.1. Flujo laminar
(Fuente: Libro de Flujo de fluidos en válvulas y accesorios ,1992)

A medida que el caudal se incrementa, estas láminas continúan moviéndose en líneas rectas hasta que se alcanza una velocidad en donde las láminas comienzan a ondularse y se rompen en forma brusca y difusa, según se ve en la **figura 3.2.**

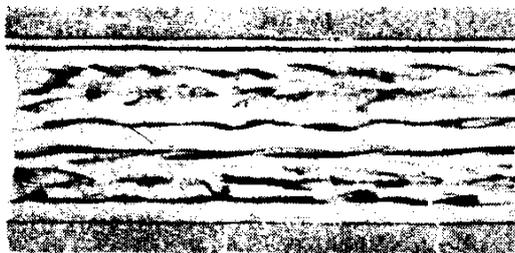


Figura. 3.2 Flujo en la zona crítica, entre las zonas laminar y de transición
(Fuente: libro de fluidos en válvulas y accesorios, 1992)

A velocidades mayores que la crítica los filamentos se dispersan de manera indeterminada a través de toda la corriente, según se indica en la **Figura. 3.3.**

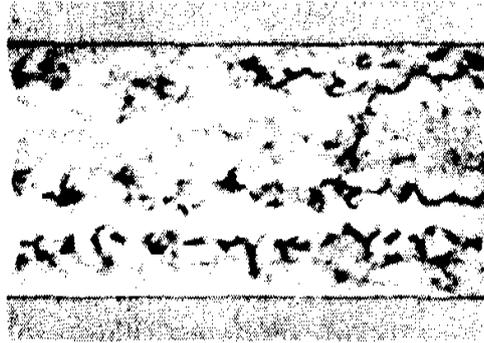


Figura. 3.3 Flujo turbulento.

(Fuente: libro de flujo de fluidos en válvulas y accesorios, 1992)

El tipo de flujo que existe a velocidades más bajas que la crítica se conoce como régimen laminar y a veces como régimen viscoso. Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

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

3.4 Número de Reynolds

Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías. Es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación dimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de



las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. (CRANE, 1992)

El número de Reynolds es:

$$Re = \frac{Dvp}{\mu'} \text{ o } \frac{dvp}{\mu} \quad (\text{Ecuación 3.1.})$$

DONDE:

D: diámetro de la tubería.

V: velocidad del fluido.

μ : viscosidad del fluido.

P: densidad del fluido.

Según el número de Reynolds, los fluidos se definen en:

$Re < 2000$ Flujo laminar

Re 2000 – 4000 Flujo de transición

$Re > 4000$ Flujo turbulento

3.5 Ecuación general de energía. Teorema de Bernoulli

La división de ingeniería CRANE (1992) describe que el teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho gn} + \frac{v^2}{2gn} = H \quad (\text{Ecuación 3.2.})$$

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido, según se indica en el ejemplo de la **figura 3.4.**

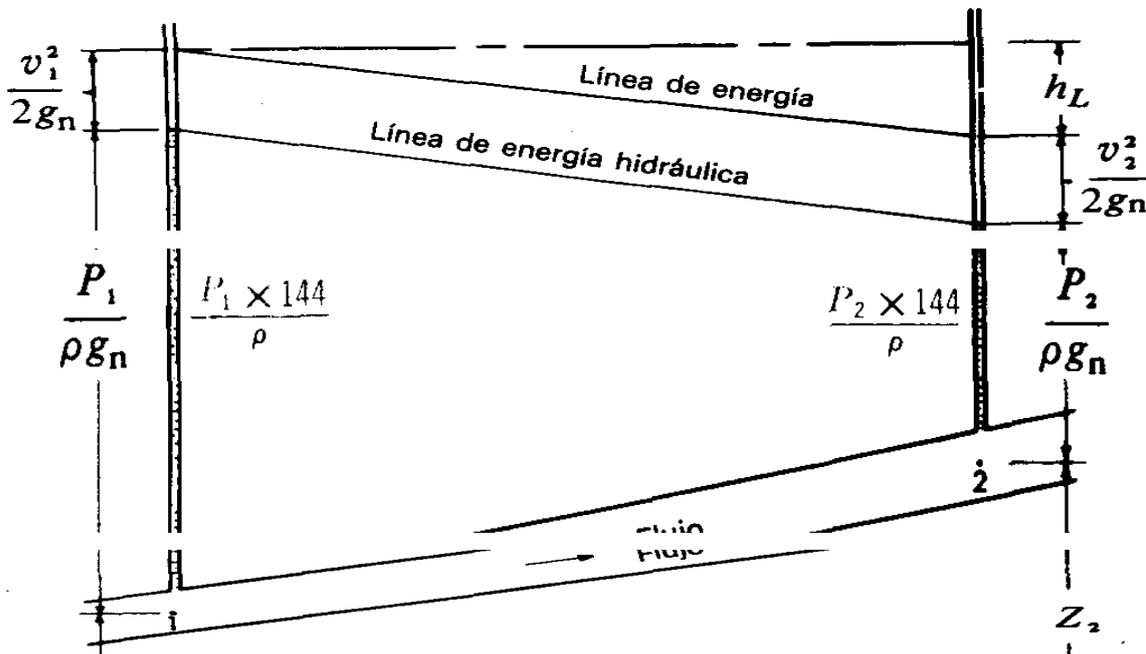


Figura 3.4. Balance de energía para dos puntos de un fluido
(Fuente: libro de flujo de fluidos en válvulas y accesorios, 1992)

Nótese que la pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto uno al punto dos (h_L) se expresa como la pérdida de altura en metros de fluido (pies de fluido). La ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g_n} + \frac{v_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g_n} + \frac{v_2^2}{2g_n} + h_L \quad (\text{Ecuación 3.3.})$$



Todas las fórmulas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas al rozamiento.

3.6 Pérdida de energía en tuberías

La ecuación de Bernoulli se establece que:

$$\sum \text{de energía en } A - \text{Pérdidas} = \sum \text{de energía en } B$$

Cuando un fluido circula por una tubería, sufre pérdidas por diferentes causas, siendo las más comunes las pérdidas por:

- Rozamiento
- Entrada del fluido
- Salida del fluido.
- Ensanchamiento brusco del tubo.
- Contracción brusca del tubo
- Obstrucciones (válvulas y accesorios)
- Cambio de dirección del fluido.

3.7 Ecuación general del flujo de fluidos. Formula de Darcy Weisbach

Según la división de ingeniería CRANE (1992) nos dice: El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y que se expresa en metros de fluido, es:

$$hL = \frac{f Lv^2}{D2g} \quad \text{(Ecuación 3.4)}$$

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería. Sin embargo, puede suceder que debido a velocidades extremas, la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a igualar la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales obtenidos por cálculo serán inexactos.

3.8 Tipos de válvulas y accesorios usados en sistemas de tuberías

Válvulas: La variedad en diseños de válvulas dificulta una clasificación completa. En la siguiente **figura (3.5)** se observan algunos tipos de válvulas.

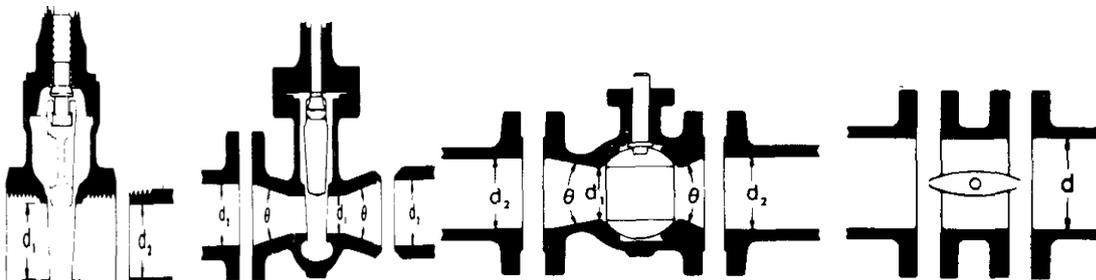


Figura 3.5. Tipos de válvulas
(Fuente libro de flujo de fluidos en válvulas y accesorios, 1992)

Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, las que presentan un paso directo del flujo, como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenecen al grupo de baja resistencia; las que tienen un cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia.

Accesorios: Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios que

conforman el sistema de tuberías como conectores, cruces, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación.

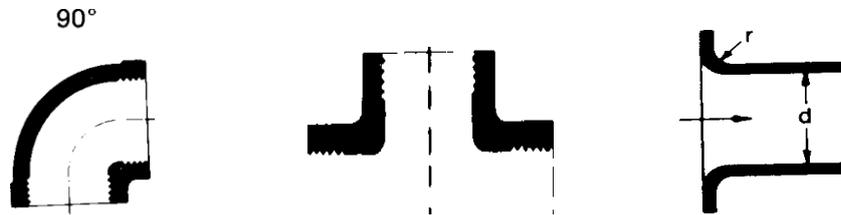


Figura 3.6 Diferentes tipos de accesorios como codos, salidas y entradas de tuberías.
(Fuente: libro de flujo de fluidos en válvulas y accesorios, 1992)

Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso del fluido. En esta clase están las reducciones y los manguitos. Los accesorios de desvío, curvas, codos, curvas en U, etc., son los que cambian la dirección de flujo.

3.8.1 Pérdida de presión debida a válvulas y accesorios

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional.

La pérdida de presión total producida por una válvula consiste en:

1. La pérdida de presión dentro de la válvula.
2. La pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea. Este efecto es pequeño.



3. La pérdida de presión en tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea. Este efecto puede ser muy grande.

Desde el punto de vista experimental es difícil medir las tres caídas por separado. Sin embargo, su efecto combinado es la cantidad deseada y puede medirse exactamente con métodos bien conocidos.

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

La división de ingeniería de CRANE indica que existen datos sobre pruebas de pérdida de presión para una amplia variedad de válvulas y accesorios, fruto del trabajo de muchos investigadores. Se han realizado estudios en este campo por los laboratorios de CRANE, debido al tiempo y costo de tales pruebas, en la práctica es imposible obtener datos de pruebas de cada medida, tipo de válvula y conexión.

Por lo anterior, es deseable proporcionar medios confiables de extrapolación de la información disponible sobre pruebas para abarcar aquellos elementos que no han sido o no pueden ser probadas con facilidad. Los conceptos que a menudo se usan para llevar a cabo esto son la “longitud equivalente L/D ”, “coeficiente de resistencia K”, y “coeficiente de flujo C_y ; o K_y ”.

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

- Rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interior de la misma, del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
- Cambios de dirección del flujo.
- Obstrucciones en el paso del flujo.



- Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo.

Por ello, el coeficiente de resistencia K se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, que puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado (por ejemplo, válvula o accesorio) en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo, incluida la de régimen laminar.

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

$$hl = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2gn} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

De donde resulta que:

$$k = \left(f \frac{L}{D}\right) \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

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

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



3.9 Definición de bombas

El autor Sotelo A. nos dice que una bomba es un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido.

Se tiene constancia de la existencia de algún tipo de bomba sobre el 300 A.C., Arquímedes (matemático y físico griego) construyó una de diseño sencillo, aunque poco eficiente, con un tornillo que gira en una carcasa e impulsa el líquido.

3.9.1 Clasificación de las bombas

Existen infinidad de formas de clasificación de bombas pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo, entre las que se encuentran por ejemplo las alternativas, rotativas y las neumáticas, pudiendo decir a modo de síntesis que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago.
- Bombas dinámicas o de energía cinética: fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes, las centrífugas.

En todos los tipos de bombas para líquidos deben emplearse medidas para evitar el fenómeno de la cavitación, que es la formación de un vacío que reduce el flujo y daña la estructura de la bomba.

A las bombas empleadas para gases y vapores se las denominan compresores.



Dado que las bombas que se emplean en la terminal son centrífugas, nos enfocaremos en ellas, ya que mencionar cada tipo de bombas es extenso.

3.9.2 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido.

En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.

En el caso de flujos bajos y altas presiones, la acción del rotor es en gran medida radial. En flujos más elevados y presiones de salida menores, la dirección de flujo en el interior de la bomba es más paralela al eje del rotor (flujo axial). En ese caso, el rotor actúa como una hélice. La transición de un tipo de condiciones a otro es gradual, y cuando las condiciones son intermedias se habla de flujo mixto.

3.9.3 NPSH requerida de la bomba

Sotelo A., menciona que es una característica propia de la bomba, se define como la energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y aumentar la velocidad. En definitiva es la energía del líquido que una bomba necesita para funcionar satisfactoriamente. Su valor puede determinarse tanto por prueba como por cálculo.

Para una bomba centrífuga el *NPSH requerido* es la cantidad de energía necesaria, expresada en metros columna de líquido para:

- Vencer las pérdidas de carga desde la abertura de admisión (entrada) a los álabes del impulsor.
- Crear la velocidad deseada de corriente a los álabes, ya que es necesaria una velocidad mínima.

3.10 Cavitación

Este fenómeno sucede cuando un líquido se mueve por una región (tubería) donde la presión del líquido es menor que la tensión de vapor, lo que hace que el líquido hierba y se formen burbujas de vapor en su seno. Estas burbujas de vapor son arrastradas con el líquido hasta una región donde se alcanza una presión más elevada y allí desaparecen violentamente, provocando que el líquido se introduzca a alta intensidad en áreas reducidas³.

Estas sobrepresiones que se producen pueden sobrepasar la resistencia a la tracción del material y arrancar partículas del metal dándole una apariencia esponjosa (picado de los álabes del impulsor).

³ Sotelo A., G., Hidráulica general. Volumen I, Editorial LIMUSA S.A.



Cuando estas burbujas de vapor llegan a la zona de alta presión desaparecen, ocasionando ruido y vibración, pudiendo llegar a producir averías en rodamientos, rotura del eje y otros fallos, ya que el material está desgastado.

En resumen la cavitación es la formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión, y cuyas consecuencias son:

- Disminución de la capacidad de bombeo.
- Disminución del rendimiento de la bomba.

La cavitación indica un NPSH disponible insuficiente, ocasionado por una altura estática baja, alta temperatura o excesiva pérdida de carga en la aspiración. Este fenómeno puede evitarse manteniendo la presión del líquido por encima de la presión de vapor.

3.11 Funcionamiento de una bomba centrífuga

La misión de las bombas centrífugas es mover un cierto volumen de líquido entre dos niveles, por tanto son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

Los elementos que forman una instalación de este tipo son:

- A) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- B) Un impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Estos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo este la parte móvil de la bomba.



El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, en las bombas centrífugas, o permaneciendo axial en las axiales, acelerándose y absorbiendo un trabajo

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

C) La voluta es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión.

Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía al líquido antes de introducirlo en la voluta.

D) Una tubería de impulsión, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba. Ver **figura 3.7.**

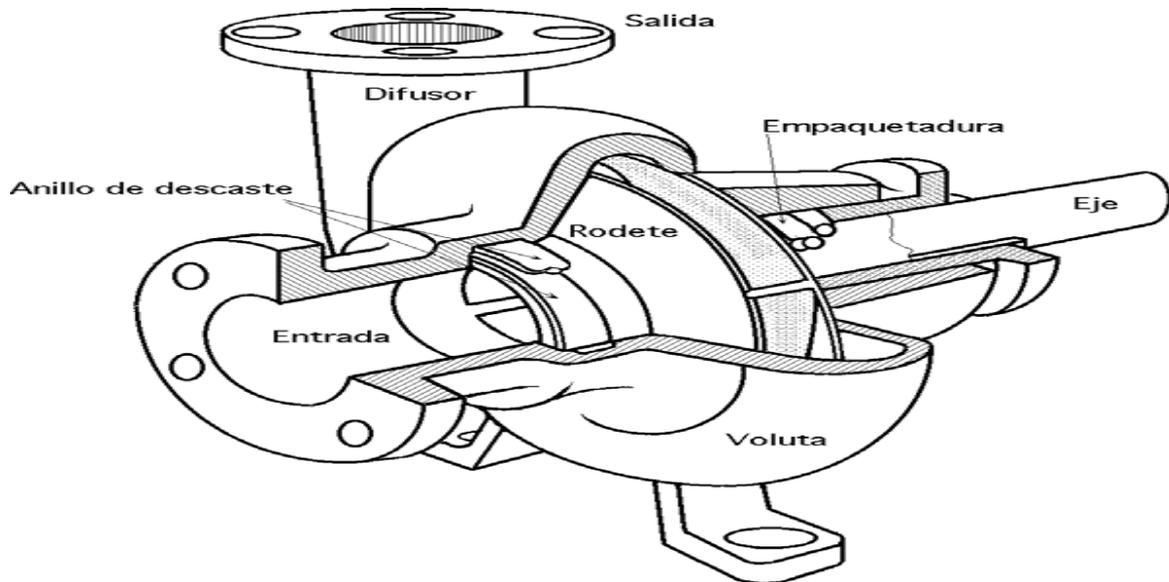


Figura. 3.7. Bomba centrífuga
(Fuente: Sotelo, A. Hidráulica general, 1982)

Este es, en general, el funcionamiento de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes.

La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvando que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

3.12 Bombas horizontales

La disposición del eje de giro horizontal presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura; éste tipo de bombas se utiliza para funcionamiento en



seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de aspiración.

Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rodantes e impulsor, y entre empaquetadura y eje.

Como no son auto aspirantes requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en carga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (aspiración), y los distintos sistemas de cebado.

Como ventajas específicas se puede decir que las bombas horizontales, (excepto para grandes tamaños), son de construcción más barata que las verticales y, especialmente, su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico; el desmontaje de la bomba se suele hacer sin necesidad de mover el motor y al igual que en las de cámara partida, sin tocar siquiera las conexiones de aspiración e impulsión.

3.13 Bombas verticales

Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible, al contrario que en las horizontales, que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, estando, sin embargo, el motor por encima de éste⁴.

⁴ Sotelo A., G., Hidráulica general. Volumen I, Editorial LIMUSA S.A.



3.13.1 Bombas verticales de funcionamiento en seco

En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta. El elevarlo responde a la necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo.

El eje alargado puede ser rígido o flexible por medio de juntas universales, lo que simplifica el siempre difícil problema del alineamiento.

Se emplean muy a menudo las mismas bombas horizontales modificadas únicamente en sus cojinetes.

La aspiración es lateral, (horizontal); en las bombas grandes, frecuentemente, es por abajo, aunque a veces se transforma en lateral mediante un simple codo.

La ventaja de las bombas verticales, es que requieren muy poco espacio horizontal que las hace insustituibles en barcos, pozos, etc.; sin embargo se necesita un espacio vertical superior suficiente para permitir su cómodo montaje y desmontaje.

Para bombas de gran caudal, la construcción vertical resulta en general más barata que la horizontal. Las bombas verticales se emplean normalmente en aplicaciones marinas, para aguas sucias, drenajes, irrigación, circulación de condensadores, etc.

3.13.2 Bombas verticales sumergidas

El funcionamiento sumergido de las bombas centrífugas elimina el inconveniente del cebado, por lo que el impulsor se halla continuamente, aún parado rodeado por el líquido a impulsar y, por lo tanto, la bomba está en disposición de funcionar en cualquier momento.



El control de la unidad requiere únicamente la puesta en marcha del motor de accionamiento, sin necesidad de dispositivos adicionales de cebado previo.

La aspiración, que es siempre por abajo, se hace a una cierta profundidad con respecto al nivel libre del líquido.

Si esta profundidad es menor de lo debido, 2 o 3 veces el diámetro del orificio de aspiración, se pueden crear en la superficie vórtices o remolinos por cuyo centro se introduce aire en la bomba, con la consiguiente pérdida de caudal y deficiente funcionamiento.

3.14 Conceptos de efectividad, eficiencia y eficacia

Sander, B. (1990); describe los siguientes conceptos:

Eficacia: Grado en que se logra los objetivos y metas de un plan, es decir, cuanto de los resultados esperados se alcanzó. La eficacia consiste en concentrar los esfuerzos de una entidad en las actividades y procesos que realmente deben llevarse a cabo para el cumplimiento de los objetivos formulados.

Eficiencia: Es el logro de un objetivo al menor costo unitario posible. En este caso estamos buscando un uso óptimo de los recursos disponibles para los objetivos deseados.

Efectividad: Este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles. Supone hacer lo correcto con gran exactitud y sin ningún desperdicio de tiempo o dinero.

En estas condiciones resulta válido hablar de tres conceptos que aunque diferentes en su significado e implicaciones, encajan perfectamente entre si y



proporcionan los parámetros necesarios para afirmar que hemos realizado una labor con óptima calidad. Estos conceptos son: **Eficacia + eficiencia = efectividad.**

3.14.1 Relación entre la eficiencia, la efectividad y la eficacia

Hablando de eficiencia, hay otras maneras de precisar este concepto cuando se le relaciona con los términos de efectividad y eficacia.

Se dice que hay efectividad en una actividad administrativa cuando se alcanza una meta deseada con gran precisión. Es decir se logra producir el efecto deseado. Dada una acción se produce un efecto. Es lo que se llama éxito. Se dice que se ha obrado con eficiencia cuando para lograr una meta se utiliza un procedimiento adecuado. Es decir se pone en juego medios idóneos que tienen en sí el alcanzar y lograr un efecto.

Hay una estrecha relación entre la eficiencia, la efectividad y la eficacia. No basta lograr metas con alto rendimiento y mínimo de costos y de esfuerzo sino que debe precisarse que la acción administrativa sea útil es decir, eficiencia y eficaz. Hay aquí un problema de valor y ética que es de gran importancia tomar en cuenta en el proceso administrativo.

3.14.2 Eficiencia

Herbert A. Simon ha indicado que el concepto de eficiencia se entiende mejor en el campo de los negocios en donde se puede hacer comparaciones entre lo que se invierte y lo que se gana. Si en un trabajo se logran los resultados que se esperan es porque ha habido eficiencia. Si en un negocio se logran las utilidades que se esperan, es porque ha habido eficiencia.



Se ha definido la eficiencia como el logro de las metas propuestas con el menor costo, el menor esfuerzo y el máximo de rendimiento.

3.14.3 Tipos de eficiencia

Eficiencia técnica, eficiencia administrativa, eficiencia personal.

- **Eficiencia técnica:** se refiere a la idoneidad de los métodos que se emplean en el proceso así como también en la adecuación de las instalaciones, máquinas y equipos que se utilizan, todo lo cual debe conducir a un producto bien elaborado o aun servicio de óptima calidad.
- **La eficiencia administrativa:** se refiere a las técnicas aplicadas en el proceso administrativo. Al alto grado de racionalidad en la planeación, organización, dirección y control del trabajo.
- **La eficiencia personal:** es la resultante de una combinación de los conocimientos, habilidades, aptitudes y destrezas personales de los individuos y de su vocación y entusiasmo en el trabajo. Es el arte de administrar.

Eficiencia técnica

Los ingenieros miden la eficiencia técnica por la relación entre la producción física y el consumo físico. Cuanto mayor sea esta relación mayor será la eficiencia física. Si un motor, por ejemplo, consume 100 unidades de energía para generar 75 unidades de producto diremos que la eficiencia del motor es del 75 por ciento. Si el motor produce 80 unidades de energía por cada 100 de consumo diremos que su eficiencia es del 80 por ciento.



Se dice que una empresa, un sector industrial o una economía es técnicamente cuando logra una producción máxima utilizando plenamente las inversiones o entradas disponibles.

El concepto de eficiencia técnica puede generalizarse pasando de un sistema simple de producción a otros más complejos, como empresas, sectores o a la economía en su conjunto.

Ecuación para determinar la eficiencia de un equipo

Eficiencia: Es la razón entre la producción real obtenida y la producción estándar esperada.

$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 3.7.})$$

3.14.4 Indicadores de eficiencia y eficacia

Eficacia y eficiencia son elementos básicos para cumplir con los objetivos propuestos en las empresas

La eficacia mide los resultados alcanzados en función de los objetivos que se han propuesto, presuponiendo que esos objetivos se cumplen de manera organizada y ordenada sobre la base de su prelación.

La eficiencia consiste en la medición de los esfuerzos requeridos para alcanzar los objetivos. El costo, el tiempo, el uso adecuado de factores materiales y humanos, cumplir con la calidad propuesta, constituyen elementos inherentes a la eficiencia.



Los resultados más eficientes son alcanzados cuando se hace uso adecuado de estos factores, en el momento oportuno, al menor costo posible y cumpliendo con las normas de calidad requeridas.

La eficiencia es un factor muy importante en el éxito de las empresas pero la eficacia es aún más decisiva.

La efectividad se encuentra en el equilibrio bajo la premisa de que para que una empresa funcione debe tener un mínimo nivel de eficiencia y eficacia en sus procesos.

Indicadores de eficacia

Son comparaciones de lo realizado con los objetivos previamente establecidos, es decir, miden si los objetivos y metas se cumplieron.

Algunos indicadores de la eficiencia son:

- Comparación de lo realizado con el objetivo previamente establecido.
- Se determina si, de acuerdo con lo planeado, los objetivos y las metas han sido llevadas a buen término.
- Se efectúan pruebas a los individuos que intervienen para que sean analizados y evaluados.
- Se verifica la parte del proceso que servirán para medir la eficacia de las áreas es cuestión.
- Se evalúa la coordinación entre las áreas que intervienen.

La eficiencia es la relación de la magnitud entre las metas y objetivos previstos en los programas y presupuestos, con las realizaciones alcanzadas.



Indicadores de eficiencia

Son el resultado de comparar el rendimiento real del personal en sus acciones o condiciones actuales con una norma de rendimiento previamente definida y aceptada.

La eficiencia es la relación entre el trabajo útil desarrollado por el individuo y el esfuerzo y tiempo empleado en realizarlo. En este sentido relaciona el costo de los recursos utilizados con el logro alcanzado.

El criterio de eficiencia toma en cuenta la productividad en el uso de los recursos disponibles para conseguir determinados fines.

La calificación de la eficiencia exige que el costo analizado por sus elementos y la dimensión de lo alcanzado sea proporcional entre sí. Cuando esto no suceda, las operaciones se evaluarán con criterios adecuados a cada situación en particular.

Capítulo 4
Metodología Propuesta

4.1 Fases de la metodología de los sistemas de descarga y carga de auto-tanques

El área de descarga y carga de auto-tanques es un sistema complejo, ya que está conformado por una serie de tuberías, válvulas, codos, ampliaciones y reducciones, todo esto produce pérdidas de presión en el sistema y esto produce una disminución en la eficiencia por lo que se presenta el análisis de los sistemas por medio de fases que se observan en la **figura 4.1**.

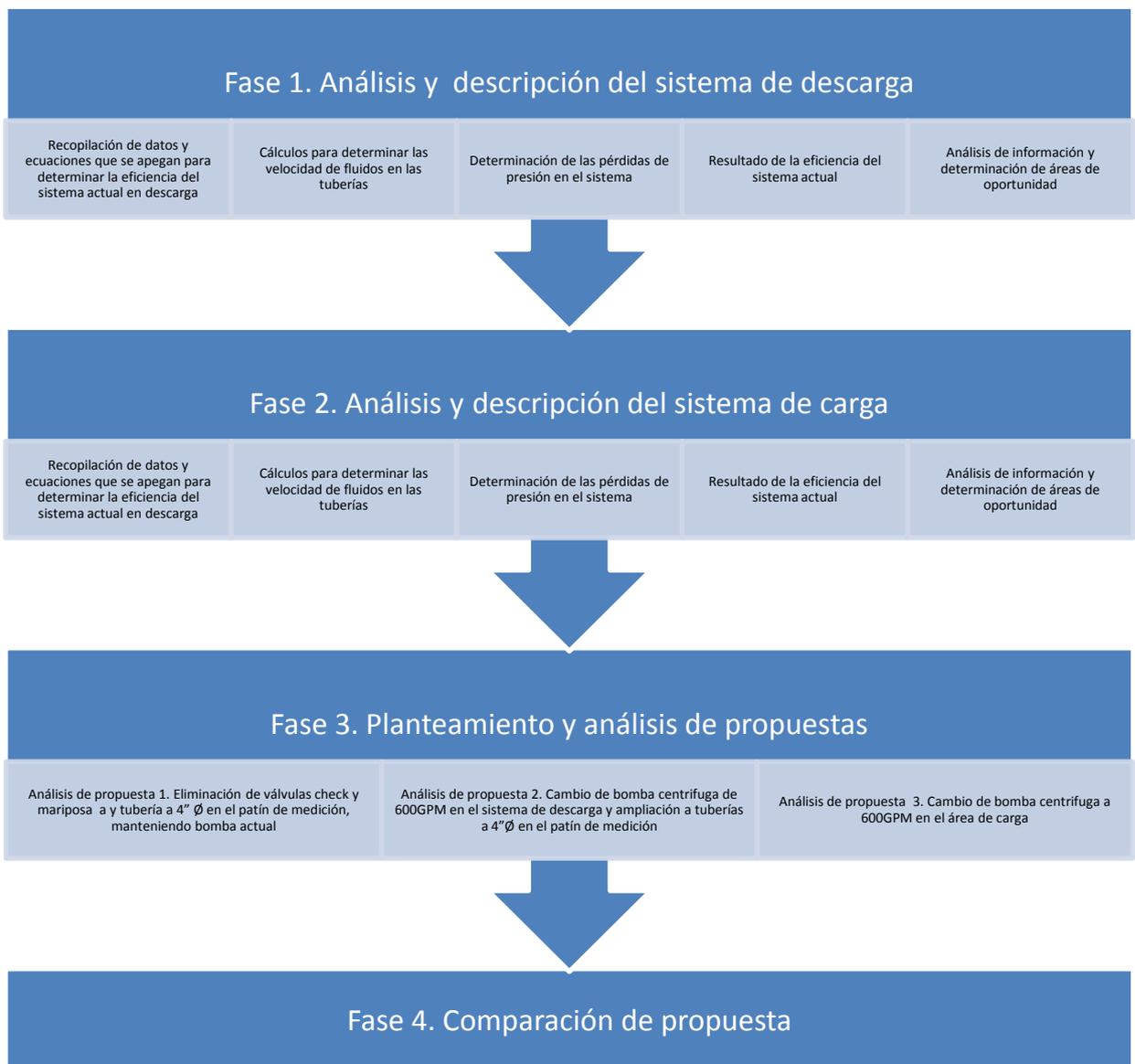


Figura 4.1. Fases del análisis en descarga y carga
(Fuente: Elaboración propia)



4.2 Fase 1. Análisis y descripción del sistema de descarga

En la primera fase se describen las partes que conforman el sistema de descarga de auto-tanques, así como el funcionamiento del sistema, con el propósito de conocer en qué área del sistema se encuentra la mayor caída de presión y brindar propuestas que aumenten la eficiencia del sistema.

Para realizar el análisis de la fase uno se plantean los siguientes pasos a desarrollar.

1. Recopilación de datos y ecuaciones que se apegan para determinar la eficiencia del sistema actual en descarga

Consiste en recabar información para conocer detalladamente el funcionamiento del sistema de descarga y determinar las ecuaciones que se emplearan en el proyecto.

2. Cálculos para determinar las velocidades de fluidos en las tuberías

En esta actividad se desarrollan las ecuaciones para conocer el caudal de cada sección de las tuberías que conforman el sistema de descarga ya que es requerimiento conocer dichos caudales para realizar otras operaciones.

3. Determinación de las pérdidas de presión en el sistema

Esta actividad consiste en desarrollar mediante la ecuación de Darcy-Weisbach las pérdidas de presión que existen en el sistema de descarga y con ello determinar en qué sección de dicha área existe una mayor caída de la presión.



4. Resultado de la eficiencia del sistema actual

Consiste en utilizar la tabla de la curva característica de la bomba, ya que en ella se conoce la eficiencia del sistema, comparando la carga dinámica con el gasto obtenidos del paso anterior.

5. Análisis de información y determinación de áreas de oportunidad

En esta actividad se da a conocer el funcionamiento actual del sistema de descarga, para posteriormente formular soluciones que aumenten la eficiencia de dicha área.

4.2.1 recopilación Datos y ecuaciones que se apegan para determinar la eficiencia del sistema actual en descarga

La terminal cuenta con un área de descarga de hidrocarburos compuesta por los siguientes elementos: patín de medición, red de tuberías y válvulas.

El patín de medición está compuesto por una bomba centrífuga, diferentes tipos de válvulas, tuberías y un brazo mecánico, como se observa en la **figura 4.2.**

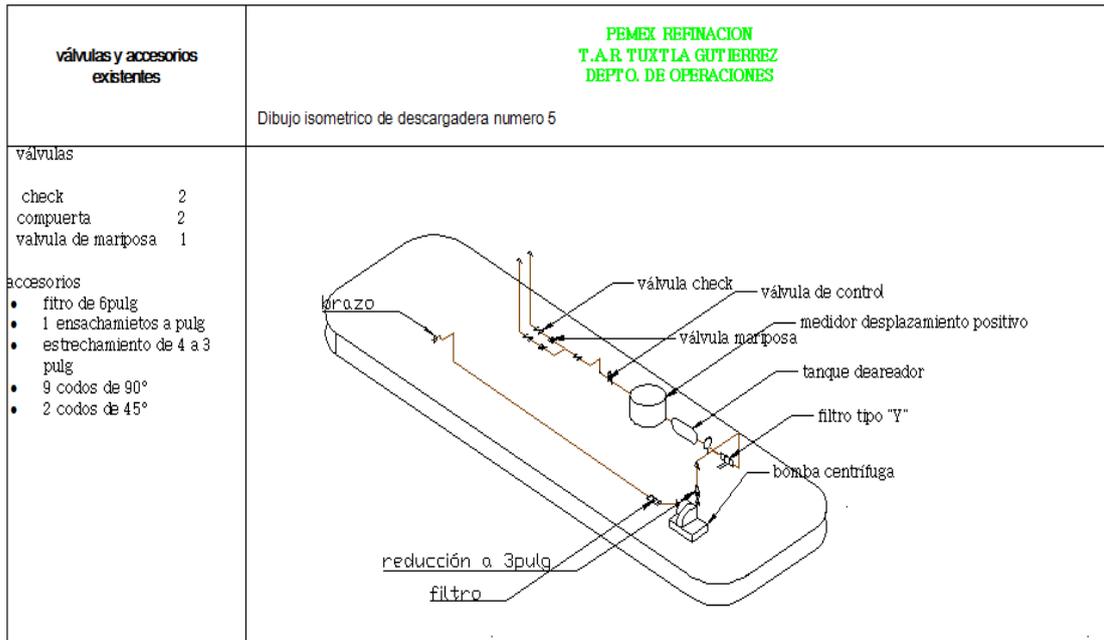


Figura 4.2. Estructura del patín de medición.
(Fuente: Elaboración propia)

El brazo mecánico se acopla con la válvula de compuerta del auto-tanque y se acciona el sistema de succión de la bomba con la que cuenta el patín para descargar los hidrocarburos y transportarlos a los tanques de almacenamiento.

En esta parte se realizan las indagaciones para conocer las características técnicas del sistema de descarga de hidrocarburos, donde se especifican los siguientes componentes que intervienen en el sistema de descarga actual.

- Bomba centrífuga
- Tuberías
- Válvulas y accesorios
- Fluidos

La bomba trabaja bajo las siguientes especificaciones

- Líquido: hidrocarburos (magna, Premium y diesel).
- Temperatura ambiente.
- Gasto de diseño: 400 GPM.

- Velocidad: 1770 RPM.
- Ø del impulsor: 6”
- Ø de descarga: 4”
- Ø de succión: 10”
- Potencia del motor: 15 H.P.
- Tamaño de la bomba: 6x4x10

Las tuberías trabajan bajo las siguientes especificaciones:

El hidrocarburo al ser descargado pasa por una red de tuberías que cambian de diámetros como se observa en la **tabla 4.1**. La tubería de igual manera tiene las siguientes especificaciones, que ayudaran para realizar los cálculos que se efectuaran posteriormente para determinar la eficiencia actual. Ver **Anexo 1**.

- Tiempo de vida útil: 45 a 50 años.
- Material de composición: acero comercial.
- Rugosidad relativa de tuberías. 0.2
- Tiempo de funcionamiento: 31 años.

Tabla 4.1 Diámetro y medidas de la red de tuberías en área de descarga
(Fuente: Pemex Refinación, 2012)

Diámetro de la tubería en pulgadas	Diámetro interno de la tubería en mm	Longitud de largo de la tubería en m	Temperatura °C	Rugosidad relativa E	Tiempo de uso de las tuberías	Cédula de la tubería	Material
3" Ø	0.0779 Ø	7 m	27º C – 32ºC	0.2	31 años	40	Acero Comercial
4" Ø	102.33 Ø	6.8 m	27º C – 32ºC	0.2	10 años	40	Acero comercial
6" Ø	154.1 Ø	7 m	27º C – 32ºC	0.2	31 años	40	Acero comercial
10" Ø	254.5 Ø	171.5 m	27º C – 32ºC	0.2	31 años	40	Acero comercial



Válvulas y accesorios que conforman el sistema de descarga:

Las válvulas son accesorios que se utilizan para regular y controlar el fluido en una red de tuberías. Las válvulas son necesarias en este proceso ya que el fluido es muy costoso y es necesario controlar su circulación por la red de tuberías.

Las válvulas y accesorios que se encuentran en este sistema son diversos y cada una de ellas tiene valores diferentes en resistencia, ya que existen válvulas de baja resistencia con las de alta resistencia.

Las válvulas que conforman el sistema de descarga son de baja resistencia y se presentan en la **tabla 4.2**.

TABLA 4.2. Válvulas y accesorios en patín de medición
(Fuente: Pemex Refinación, 2012)

Nombre de válvula	Cantidad
Válvula check	2
Válvula compuerta	2
Válvula mariposa	1
Codos de 90 ^a	9
Codos de 45 ^a	2

Propiedades del fluido en el área de descarga

La terminal descarga los tres hidrocarburos (Magna, Premium y Diesel), en este caso se selecciona el Diesel para la realización del análisis de las pérdidas de presión, ya que es el hidrocarburo que presenta una mayor resistencia a fluir debido a su densidad. Las propiedades del hidrocarburo se presentan en la **tabla 4.3**.



Tabla 4.3. Características del Diesel
(Fuente: Pemex Refinación, 2012)

Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Densidad	Peso específico
1.5 <i>cp</i>	0.0159219 $\frac{kg}{m - s}$	829.1240 $\frac{kg}{m^3}$	0.8318

Para determinar la eficiencia del sistema se contemplan varios factores que se incluyen en un todo. El sistema está compuesto por una bomba centrífuga, válvulas, accesorios y tubos de acero comercial que transportan el líquido a los tanques de almacenamiento.

Para determinar la eficiencia del sistema se contempla los siguientes pasos y ecuaciones:

Nota: de los 5 pasos empleados en la sección 4.2

- Ecuaciones y propiedades de fluido en el sistema
- Determinación de la velocidad de fluidos en las tuberías del sistema
- Ecuaciones para determinar las pérdidas de presión en el sistema
- Eficiencia del sistema actual en el sistema actual

Ecuaciones y propiedades de fluido en el sistema

El sistema de llenado cuenta con 3 fluidos los cuales son: gasolina Premium, magna y diésel. Para el análisis se contempla el hidrocarburo más pesado el cual es diésel.



Para realizar los cálculos en pérdidas de presión es necesario contemplar los siguientes datos:

- Viscosidad dinámica
- Viscosidad cinemática
- Densidad
- Peso específico

Los valores de los diferentes datos anteriores son expresados en la siguiente **tabla 4.4.**

Tabla 4.4 Características del Diesel
(Fuente: Pemex Refinación)

Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Densidad	Peso específico
1.5 <i>cp</i>	0.0159219 $\frac{kg}{m - s}$	829.1240 $\frac{kg}{m^3}$	0.8318

Los valores anteriores serán empleados para determinar las caídas de presión ya que cada uno de ellos tiene una resistencia que ejerce sobre las tuberías, causando así pérdidas por fricción.

En este mismo punto se aplica el número de Reynolds señala que si da como resultado un valor mayor a 4000 es un flujo turbulento, por lo que es importante señalar que todos los flujos en los diversos tramos son turbulentos debido a la presión con que bombea el sistema a los tanques de almacenamiento.

Ecuaciones para determinar las velocidades de fluidos en las tuberías del sistema

Una parte fundamental para determinar las caídas de presión es conocer el caudal con el que el fluido pasa por la sección transversal de las tuberías del sistema, por lo que es de suma importancia conocer dicho caudal.



Es necesario determinar la velocidad ya que con ello se conocen las fricciones ocasionadas por el fluido en su recorrido por los diferentes tramos de las tuberías por lo que se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 4.1.})$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{Ecuación 4.2.})$$

Ecuaciones para determinar las pérdidas de presión en el sistema

La ecuación de Darcy- Weisbach, que determina las pérdidas de presión en un sistema hidráulico y se aplicara al mismo tiempo el coeficiente de resistencia K que son los accesorios del sistema como válvulas, codos, ampliaciones.

La ecuación que se describe en este paso es muy importante ya que es la de mayor aplicación para estos casos. Se presentan las ecuaciones a utilizar para determinar las diferentes caídas de presión en los tramos que contienen válvulas y accesorios como también para tuberías rectas.

$$hf_{tr} = f \left(\frac{L}{D_i} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$hfa = \Sigma k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{Ecuación 4.4.})$$

Estas ecuaciones son fundamentales en el análisis para determinar la eficiencia del sistema ya que debemos conocer donde se encuentra la mayor pérdida de presión en el sistema.



Eficiencia del sistema actual en el sistema actual

El sistema actual fue descrito anteriormente y se toma como un todo a válvulas, accesorios, tuberías y bomba centrífuga. Por lo tanto se calcula la eficiencia a partir de las pérdidas de presión resultante del análisis contra el gasto de la bomba centrífuga esto determina la eficiencia del sistema.

Se utiliza la ecuación de Bernoulli para obtener un resultado más real y así comparar el gasto de la bomba con las caídas de presión. Otra forma es calcular la eficiencia mediante la ecuación de la eficiencia interna. La ecuación se basará en los galoneos reales obtenidos contra los galoneos esperados.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho_1 g_n} + \frac{v_1}{2g_n} = z_2 + \frac{p_2}{\rho_2 g_n} + \frac{v_2}{2g_n} \quad (\text{Ecuación 4.5.})$$

$$\text{eficiencia} = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 4.6.})$$

De esta manera se determina la eficiencia del sistema actual y posteriormente los propuestos. Contemplando que los cálculos contienen grados de error por lo que la eficiencia que arroje cada cálculo serán aproximados.

4.2.2 Cálculos para determinar las velocidades de fluidos en las tuberías

Desarrollo de las propiedades en los fluidos

Viscosidad en Cp. = 1.5

$$\frac{1 \text{ poise}}{x} = \frac{100 \text{ cp}}{1.5 \text{ cp}} = 0.015 \text{ poise} = 31.328 \times 10^{-6} \frac{\text{slug}}{\text{ft.s}} = 10.70 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft.s}} =$$

$$48.53 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{ft.s}} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$



$$\text{Viscosidad} = 0.0159219 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$P_{\text{Diesel}} = 829.1240 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$\dot{U} = \frac{m}{p} = \frac{0.0159219}{829.1240} = 19.20 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Nota: estos datos se utilizan para cada tramo de los diversos diámetros de las tuberías

$$Re = \frac{(2.03)(0.1023)}{19.20 \times 10^{-6}} = 10816.094 \quad \text{Por lo tanto es un flujo turbulento}^5 \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Nota: el factor de fricción se obtiene del diagrama de moddy que se muestra en el **anexo 2**.

$$F = 0.029$$

Flujo con un caudal real de: 264 GPM (tomado del patín de medición 5)

Flujo en tubería= 264 GPM = 1000 L/min = 1.000 m³/min.

Tubería de 3" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 77.9 mm

Aplicando ecuación 4.1. Y 4.2. Se obtiene.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (77.9)^2}{4} = 4766.118 \text{ mm}^2 = 0.004766 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1.000}{0.004766} = 209.82 \text{ m/min.} = 3.497 \text{ m/seg.}$$

⁵ División de ingeniería CRANE. Flujo de fluidos en válvulas y accesorios.(1992)



Tubería de 4" Ø cedula 40 Diámetro interior de 102.33 mm aplicando ecuación 4.1. Y 4.2. Se obtiene:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(102.3)^2}{4} = 8219.412 \text{ mm}^2 = 0.00821941 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1.000}{0.00821941} = 121.66 \text{ m/min.} = 2.03 \text{ m/seg.}$$

Tubería de 6" Ø cedula 40 Diámetro interior de 154.1 mm aplicando ecuación 4.1. Y 4.2. Se obtiene:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(154.1)^2}{4} = 18650.7 \text{ mm}^2 = 0.01865 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1.000}{0.01865} = 53.62 \text{ m/min.} = 0.89 \text{ m/seg.}$$

Tubería de 10" Ø cedula 40 Diámetro interior de 254.5 mm aplicando ecuación 4.1. Y 4.2. Se obtiene:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(254.5)^2}{4} = 50870.4 \text{ mm}^2 = 0.05087 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1.000}{0.05087} = 19.66 \text{ m/min.} = 0.33 \text{ m/seg.}$$



4.2.3 Determinación de las pérdidas de presión en el sistema

En este paso se aplica la ecuación de Darcy- Weisbach, que determina las pérdidas de presión en un sistema hidráulico y se aplicara al mismo tiempo el coeficiente de resistencia K que son los accesorios del sistema como válvulas, codos, ampliaciones.

Cálculo de pérdidas de presión por tubería recta en 4" Ø (succión) cédula 40 Diámetro interior de 254.5 mm

Esta ecuación está compuesta por el factor de fricción, longitud en metros de la tubería, diámetro y la velocidad del flujo al cuadrado entre la gravedad. Aplicando ecuación 4.3 se obtiene:

$$hf_{trs} = \left(f \frac{l}{Di} \right) \frac{v^2}{2g} = = \frac{(0.029)(6.8)}{0.1023} \frac{(2.03)^2}{19.62} = 0.405m$$

Cálculo de pérdidas por accesorios (k) en 4" Ø (succión)

En la **tabla 4.5**. Se muestran los accesorios que conforman el tramo de tubería de 4" Ø.

Tabla 4.5. Valor del coeficiente de resistencia K.
(Fuente: Elaboración propia.)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
6	Codo de 90°	0.90	5.4
2	Codos de 45°	0.75	1.5
		Total	6.9

Aplicando fórmula para perdida por accesorios

Esta ecuación es la suma del coeficiente del accesorio entre la velocidad al cuadrado entre gravedad por 2.



Aplicando ecuación 4.4 se obtiene:

$$h_{fas} = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(6.9)(2.03)^2}{19.62} = 1.45 \text{ m.}$$

Sumatoria de caída de presión en succión = $h_{ftrs} + h_{fas} = 0.405 + 1.45 = 1.855 \text{ m}$

Cálculo de pérdidas de presión para el tramo de 3" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 77.9 mm. Aplicando ecuación 4.3. Se obtiene:

$$V_s = 3.497$$

$$Re = 1.41 \times 10^4$$

$$\mu = 0.0159219 \frac{kg}{ms}$$

$$f = 0.032 \text{ (factor de fricción)}$$

$$\dot{U} = 19.20 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$H_{ftr1} = \frac{(0.032)(7)}{0.0779} \frac{(3.497)^2}{19.62} = 1.80 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios (k) en tramo 3" Ø

En la **tabla 4.6**. Se muestran los accesorios y sus coeficientes de resistencia.

Tabla 4.6. Coeficiente de valores de resistencia.
(Fuente: Elaboración Propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
1	Válvula mariposa	0.9	0.9
1	Válvula control	3.0	3.0
2	válvulas check	2.5	5.0
1	válvula doble sello	0.5	0.5



1	válvula compuerta	0.25	0.25
8	Codos de 90°	0.90	7.2
3	Tees	2.0	6.0
	Total		22.85

Aplicando ecuación 4.4 se obtiene:

$$hfa1 = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(22.85)(3.497)^2}{19.62} = 14.24 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas de presión en tramo de Tubería de 6" Ø cedula 40
Diámetro interior de 154.1 mm. Aplicando ecuación 4.3 se obtiene:

$$Vs = 0.89$$

$$\mu = 0.0159219 \frac{kg}{ms}$$

$$U = 19.20 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Re = 7.14 \times 10^4$$

$$f = 0.031 \text{ (factor de fricción)}$$

$$hftr2 = \frac{(0.031)(7)}{0.1541} \frac{(0.89)^2}{19.62} = 0.0406$$

Pérdidas por accesorios (k) en tramo 6" Ø

En la **tabla 4.7**. Se muestran los accesorios que conforman el tramo de 6" Ø.

Tabla 4.7. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración Propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
2	Codos de 45°	0.75	1.5
	Total		1.5

Aplicando ecuación 4.4 se obtiene:



$$h_{fa2} = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.5)(0.89)^2}{19.62} = 0.0605 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas de presión en tramo de Tubería de 10" Ø cedula 40
Diámetro interior de 254.5 mm. Aplicando ecuación 4.1 y 4.3 se obtiene:

$$V_s = 0.33$$

$$Re = 4374.21875$$

$$\mu = 0.0159219 \frac{kg}{ms}$$

$$f = 0.001807 \text{ (factor de fricción)}$$

$$\bar{U} = 19.20 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$h_{ftr3} = \frac{(0.028)(171.5)}{0.2545} \frac{(0.33)^2}{19.62} = 0.105 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios (k) en tramo 10" Ø

La cantidad de accesorios y su coeficiente de resistencia se presentan en la **tabla 4.8**.

Tabla 4.8. coeficientes de resistencia.
 (Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
2	Válvulas compuerta	0.25	0.5
6	Codos de 90°	0.90	5.4
8	Codos 45°	0.75	6.0
1	Tees	2.0	2.0
	Total		13.9

Aplicando ecuación 4.4 se obtiene:



$$hfa3 = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(13.9)(0.33)^2}{19.62} = 0.0771 \text{ m}$$

Pérdida en succión.

$$\Sigma hftrs + hfas = 0.405 + 1.45 = \mathbf{1.855 \text{ m}} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Pérdida total por tubería recta

$$\Sigma tr = hftr1 + hftr2 + hftr3 = \mathbf{1.9456 \text{ m}} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

Pérdidas totales por accesorios

$$\Sigma a = hfa1 + hfa2 + hfa3 = \mathbf{14.38 \text{ m}} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

Pérdidas totales en el sistema de descarga

$$\Sigma tr + \Sigma a = 1.9456 \text{ m} + 14.38 \text{ m} = \mathbf{16.3256 \text{ m}} \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

H = Pérdidas en succión + Pérdidas en tuberías rectas y accesorios

$$\mathbf{H = 1.855 + 16.3256 = 18.19 \text{ m}} \quad (\text{Ecuación 4.16})$$



4.2.4 Resultado de la eficiencia del sistema actual

Este es el último paso a realizar para determinar qué tan eficiente es el sistema actual y se emplearan dos formas diferentes de medir dicha eficiencia.

La primera es mediante el empleo de la curva característica de la bomba, que mide la eficiencia del sistema hidráulico.

Ecuación de Bernoulli

Aplicando ecuación 4.5 se obtiene:

$$0 + \frac{(2.03)^2}{19.62} + 0.5 + \sum\alpha = 0 + \frac{(1.34)^2}{19.62} + 8.5 + 18.19 \text{ m.}$$
$$\sum\alpha = (8.5 - 0.5) + \frac{(1.34)^2 - (2.03)^2}{19.62} + 18.1 = 26.071 \text{ m.}$$

Pérdida total en sistema = 26.071 m

Pérdida total en sistema (pies)=85.5345 ft

En el sistema de descarga actual de la terminal tenemos como resultados que el caudal (Q) y la carga dinámica o perdida de presión (H) son:

$$Q = 264 \text{ GPM}$$

$$H = 85.5345 \text{ FT}$$

La eficiencia del sistema de descarga se obtiene mediante la aplicación de la curva característica y es sencillo de interpretar, ya que al tener la carga dinámica total se compara con el gasto, es decir el caudal, como se muestra en la **figura 4.3.**

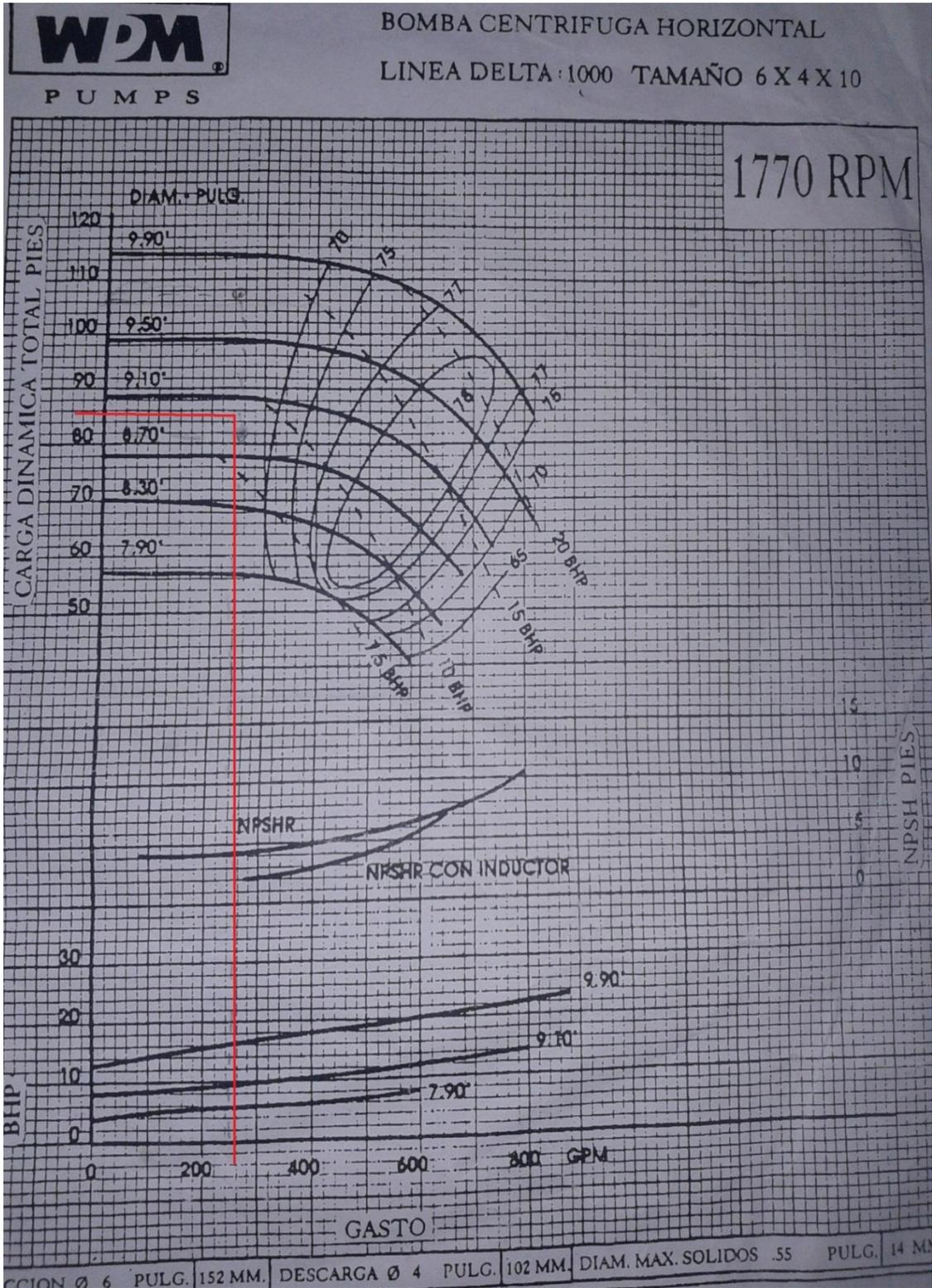


Figura 4.3. Efectividad del sistema de descarga actual.
(Fuente: elaboración propia)

Efectividad del sistema = 60% nota: dato obtenido de la tabla característica de bombas.



Otra manera de determinar la eficiencia de un sistema es utilizando la ecuación 4.6.:

$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100$$

Datos:

Resultados real obtenido: 264 GPM

Resultado estándar esperado: 400 GPM

Aplicando ecuación 4.6. Se obtiene:

$$eficiencia = \left(\frac{264 \text{ GPM}}{400 \text{ GPM}} \right) \times 100 = 66\%$$

La eficiencia del sistema de descarga es de 66%

4.2.5 Análisis de información y determinación de áreas de oportunidad

Después de haber analizado el sistema de descarga de auto-tanques y recabar datos de su funcionamiento actual se observan ciertas fallas en dicha área que afectan la potencia de descarga de la bomba, que repercute o se denota en la eficiencia de todo el sistema.

El sistema de tuberías como se mencionó anteriormente está compuesto por diversos diámetros de tuberías por lo que en cada uno de ellos se presentaron diferentes pérdidas de presión, cabe mencionar que entre más pequeño sea el diámetro de la tubería esta presentara una mayor resistencia al fluido.

Un problema que afecta enormemente al sistema de descargas son las tuberías con diámetro de 3" Ø, ya que en dicha sección del sistema de tuberías se presenta una mayor pérdida de presión que afecta el caudal del dicho sistema.



Otro problema que se suscita es el tiempo de uso que lleva la bomba ya que se encuentra operando desde hace 30 años y esto ha ocasionado junto con las modificaciones hechas a las tuberías con el paso del tiempo ya sea reducciones o ampliaciones que disminuya la eficiencia de la bomba.

Un reto importante a vencer es el de no implementar un mayor diámetro al brazo mecánico que succiona el hidrocarburo del auto-tanque, ya que a nivel nacional los auto-tanques cuentan con válvulas de acople de 4" Ø y esto representa una restricción al momento de realizar propuestas que mejoren la eficiencia.

4.3 Fase 2 Análisis y descripción del sistema de carga

Esta fase hace mención al sistema de carga de auto-tanques, que aunque parezca igual al sistema de descarga no lo es, ya que en esta área las tuberías son de diferentes diámetros a las que se encuentran en el sistema de descarga y las especificaciones de la bomba o también conocido como el tamaño que es de 4x3x13 que es diferente al sistema de descarga a pesar de que ambos sistemas tienen capacidad para trabajar a 400 GPM. La siguiente **figura 4.5** muestra el patín de medición en el área de carga.

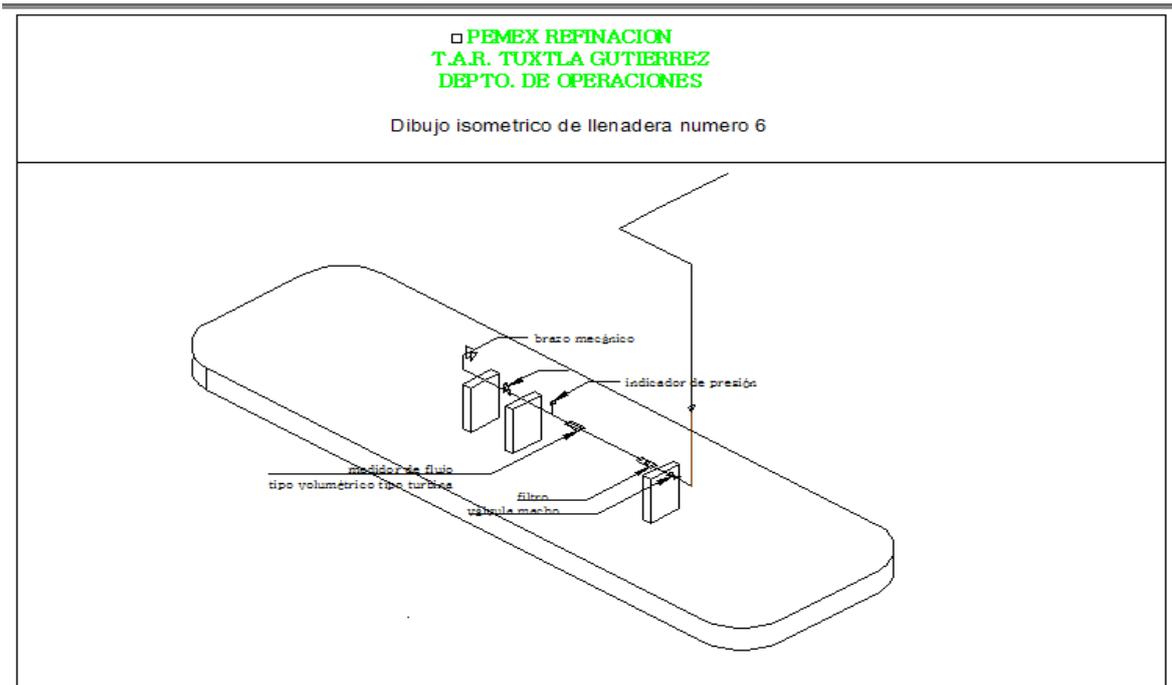


Figura 4.4. Dibujo isométrico en el área de carga
(Fuente: Elaboración propia)

1.- Recopilación de datos y ecuaciones que se apegan para determinar la eficiencia del sistema actual en carga

Consiste en recabar información para conocer detalladamente el funcionamiento del sistema de carga y determinar las ecuaciones que se emplearan en el proyecto.

2.- Cálculos para determinar las velocidades de fluidos en las tuberías

En esta actividad se desarrollan las ecuaciones para conocer el caudal de cada sección de las tuberías que conforman el sistema de carga ya que es requerimiento conocer dichos caudales para realizar otras operaciones.

3.- Determinación de las pérdidas de presión en el sistema

Esta actividad consiste en desarrollar mediante la ecuación de Darcy-Weisbach las pérdidas de presión que existen en el sistema de carga y con ello determinar en qué sección de dicha área existe una mayor caída de la presión.



4.- Resultado de la eficiencia del sistema actual

Consiste en utilizar la tabla de la curva característica de la bomba, ya que en ella se conoce la eficiencia del sistema, comparando la carga dinámica con el gasto obtenidos del paso anterior.

5.- Análisis de información y determinación de áreas de oportunidad

En esta actividad se da a conocer el funcionamiento actual del sistema de carga, para posteriormente formular soluciones que aumenten la eficiencia de dicha área.

4.3.1 Recopilación de datos y ecuaciones que se apegan para determinar la eficiencia del sistema actual en carga

El área de carga de auto-tanques, es similar al sistema de descarga anteriormente descrito, por lo que solo se dará una breve explicación de su funcionamiento y se procederá a la realización de los cálculos para determinar qué tan eficiente es el sistema actual de carga de hidrocarburos.

Esta área a diferencia del sistema de descarga cuenta con una casa de bombas donde se localiza el patín de medición que tiene la misma función que el de descarga sola que este succiona el hidrocarburo desde los tanques de almacenamiento y los conduce hasta la isla de carga que está compuesta por una tubería de 4" y válvulas que se conectan con un brazo mecánico que se acopla a la válvula del tonel del auto-tanque.

Nota: Debido a que en el sistema de carga se realizaron los mismos pasos a seguir que en el área de descarga se procede a la realización de los cálculos para determinar la eficiencia del sistema actual de carga de auto-tanques.



El área de carga de auto-tanques cuenta con 6 islas de carga que están compuestas por una serie de tuberías y válvulas adaptadas a un brazo mecánico que se acopla al tonel para llenar al auto-tanque.

Se mencionan las características de los accesorios con los que cuenta el sistema de carga ya que tanto el tamaño de la bomba como los diámetros de las tuberías cambian respecto al área de descarga.

La bomba trabaja bajo las siguientes especificaciones:

- Líquido: hidrocarburos (magna, Premium y diesel).
- Temperatura ambiente.
- Gasto de diseño: 400 GPM.
- Velocidad: 1770 RPM.
- Ø del impulsor: 4"
- Ø de descarga: 3"
- Ø de succión: 13"
- Potencia del motor: 15 H.P.
- Tamaño de la bomba: 4x3x13

Las tuberías trabajan bajo las siguientes especificaciones:

El sistema de tuberías del área de carga cuenta a diferencia del área de descarga con 3 diámetros diversos siendo de mayor longitud uniforme como se muestra en la **tabla 4.9**.

TABLA 4.9 Diámetros internos de las tuberías, temperaturas y tipo de bombas.
(Fuente: Elaboración propia)

Diámetro de la tubería en pulgadas	Diámetro interno de la tubería en mm	Longitud de largo de la tubería en m	Temperatura °C	Rugosidad relativa <i>E</i>	Tiempo de uso de las tuberías	Cédula	Material de la tubería
8" Ø	202.7mm Ø	21.4 m	27° C – 32°C	0.2	31 años	40	Acero comercial
6" Ø	154.1 mm Ø	179.8 m	27° C – 32°C	0.2	31 años	40	Acero comercial
4" Ø	102.33 mmØ	6.5 m	27° C – 32°C	0.2	31 años	40	Acero comercial

- Tiempo de vida útil: 45 a 50 años.
- Material de composición: acero comercial.
- Rugosidad relativa de tuberías. 0.2
- Tiempo de funcionamiento: 31 años.

Las válvulas que conforman el sistema de descarga se muestran a continuación. Ver **tabla 4.10**.

TABLA 4.10. Válvulas y accesorios en patín de medición
(Fuente: Elaboración propia)

Nombre de válvula
Válvula check
Válvula compuerta
Válvula mariposa
Codos de 90 ^a
Codos de 45 ^a

4.3.2 Cálculos para determinar las velocidades de fluidos en las tuberías

Nota: las propiedades del fluido seleccionado son iguales a las que mostraron en el sistema de descarga.



Se presentan las velocidades del fluido que alcanzan en los diversos diámetros con el que cuenta el sistema por medio de la ecuación de continuidad.

Flujo con un caudal real de: 1500 LPM (tomado del patín de medición 2 de llenado)

$$\text{Flujo en tubería} = 1500 \text{ L/min} = 1.500 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0.025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De la ecuación de la continuidad tenemos que:

$$Q = AV; V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi DI^2}$$

Tubería de 8" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 202.7 mm. Aplicando ecuación 4.2 se obtiene:

$$V_s = \frac{4(0.025)}{\pi (0.2027)^2} = 0.77 \text{ m/seg}$$

Tubería de 6" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 154.1 mm. Aplicando ecuación 4.2 se obtiene:

$$V_s = \frac{4(0.025)}{\pi (0.1541)^2} = 1.34 \text{ m/seg}$$

Tubería de 4" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 102.3 mm. Aplicando ecuación 4.2 se obtiene:

$$V_s = \frac{4(0.025)}{\pi (0.1023)^2} = 3.04 \text{ m/seg}$$



4.3.3 Determinación de las pérdidas de presión en el sistema

Se desarrollan los cálculos para obtener las pérdidas de presión que tiene el sistema en las diversas secciones que lo conforman mediante el empleo de la ecuación de Darcy-Weisbach misma que se empleó para el área de descarga.

Por otra parte se desarrollaran a la par las pérdidas de presión por accesorios por cada sección de los diámetros de las tuberías.

Cálculos por pérdidas en tubería recta de 8" Ø

Aplicando ecuación 4.3 se obtiene:

$$hf_{trs} = \frac{(0.026)(21.4)}{0.2027} \frac{(0.77)^2}{19.62} = 0.083 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas por accesorios (k) en 8" Ø (succión)

En la **tabla 4.11**. Se detallan los coeficientes de resistencia.

TABLA 4.11. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
2	Válvula compuerta	0.25	0.5
3	Codos de 45°	0.75	2.25
1	"Tee"	2.0	2.0
		Total	4.75

Aplicando ecuación 4.4. Se obtiene:

$$hf_{as} = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(4.75)(0.77)^2}{19.62} = 0.014 \text{ m}$$



Una reducción de 8" a 3" Ø

Aplicando ecuación 4.2. Se obtiene:

$$V_s = 5.24 \frac{m}{s}$$

$$K = 0.15$$

$$H_a = (0.15) \frac{(5.24)^2}{19.62} = 0.21$$

Sumatoria de caída de presión en succión

$$0.083 + 0.14 + 0.21 = 0.433m$$

1 ampliación de 3" a 6" Ø

Aplicando ecuación 4.4. Se obtiene:

$$V_s = 1.34 \frac{m}{s}$$

$$K = 0.30$$

$$h_a = \frac{(0.30)(5.24 - 1.34)^2}{19.62} = 0.23 m$$

Pérdidas de presión en el tramo de tubería recta hacia isla de llenado 2

Aplicando ecuación 4.3. Se obtiene:

$$V = 1.34 \frac{m}{s}$$

$$hf_{tr1} = \frac{(0.028)(179.8)}{0.1541} \left(\frac{(1.34)^2}{19.62} \right) = 2.99 m$$



Pérdidas por accesorios k en tramo recto de 6" Ø

En la **tabla 4.12** se muestran los siguientes datos.

TABLA 4.12. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
8	Codos de 90°	0.90	8
5	Codos de 45°	0.75	3.75
2	"T"	2.0	4.0
	Total		14.95

Aplicando ecuación 4.4. Se obtiene:

$$h_{fa1} = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(14.95)(1.34)^2}{19.62} = 1.37 \text{ m}$$

Pérdidas de presión en tramo de 4"Ø. Aplicando ecuación 4.3. Se obtiene:

$$H_{ftr2} = \frac{(0.032)(6.5)}{0.1023} \left(\frac{(3.04)^2}{19.62} \right) = 0.96 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios k en tramo de 4" Ø

En la **tabla 4.13.** Se muestran los siguientes datos.



TABLA 4.13. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
1	Válvula mariposa	0.9	0.9
1	Válvula control	3.0	3.0
1	Válvula doble sello	0.5	0.5
10	Codos de 90°	0.90	9
		Total	13.4

Aplicando ecuación 4.4. Se obtiene:

$$hfa2 = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(13.4)(3.04)^2}{19.62} = 6.31 \text{ m}$$

Velocidad de llenado de autotanques.

Aplicando ecuación 4.3. Se obtiene:

$$VLL = 3.04 \frac{m}{s}$$

Pérdida en succión. Aplicando ecuación 4.13. Se obtiene:

$$\Sigma hftrs + hf as = 0.405 + 1.45 = \mathbf{0.433 \text{ m}}$$

Pérdidas totales por tubería recta. Aplicando ecuación 4.14. Se obtiene:

$$\Sigma tr = hftr1 + hftr2 + hftr3 = \mathbf{3.95 \text{ m}}$$

Pérdidas totales por accesorios. Aplicando ecuación 4.15. Se obtiene:

$$\Sigma a = hfa1 + hfa2 + hfa3 = \mathbf{7.91 \text{ m}}$$



Pérdidas totales en el sistema de llenado. Aplicando ecuación 4.16. Se obtiene:

$$\Sigma tr + \Sigma a = 3.95 \text{ m} + 7.91 \text{ m} = \mathbf{11.86 \text{ m}}$$

Pérdidas totales del sistema. Aplicando ecuación 4.17. Se obtiene:

$$H = \textit{perdidas en succión} + \textit{perdidas en tuberías rectas y accesorios}$$

$$H = 0.433 + 11.86 = \mathbf{12.293 \text{ m}}$$

$$H = \mathbf{40.33 \text{ ft}}$$

4.3.4 Resultado de la eficiencia del sistema actual

Se presenta los dos resultados obtenidos a partir de la curva característica del sistema como también se utiliza la ecuación interna de eficiencia.

Aplicando ecuación 4.5. Se obtiene:

$$0 + \frac{(0.77)^2}{19.62} + 0.5 + \Sigma \alpha = 0 + \frac{(5.24)^2}{19.62} + 8.5 + 12.293 \text{ m.}$$

$$\Sigma \alpha = (8.5 - 0.5) + \frac{(5.24)^2 - (0.77)^2}{19.62} + 12.293 = \mathbf{20.36 \text{ m.}}$$

$$\mathbf{Total \textit{caída de presión} = 21.66 \text{ m}}$$

$$H = \mathbf{71.062 \text{ ft}}$$

La eficiencia del sistema se obtiene mediante la curva característica del sistema como se muestra en la **figura 4.4.**

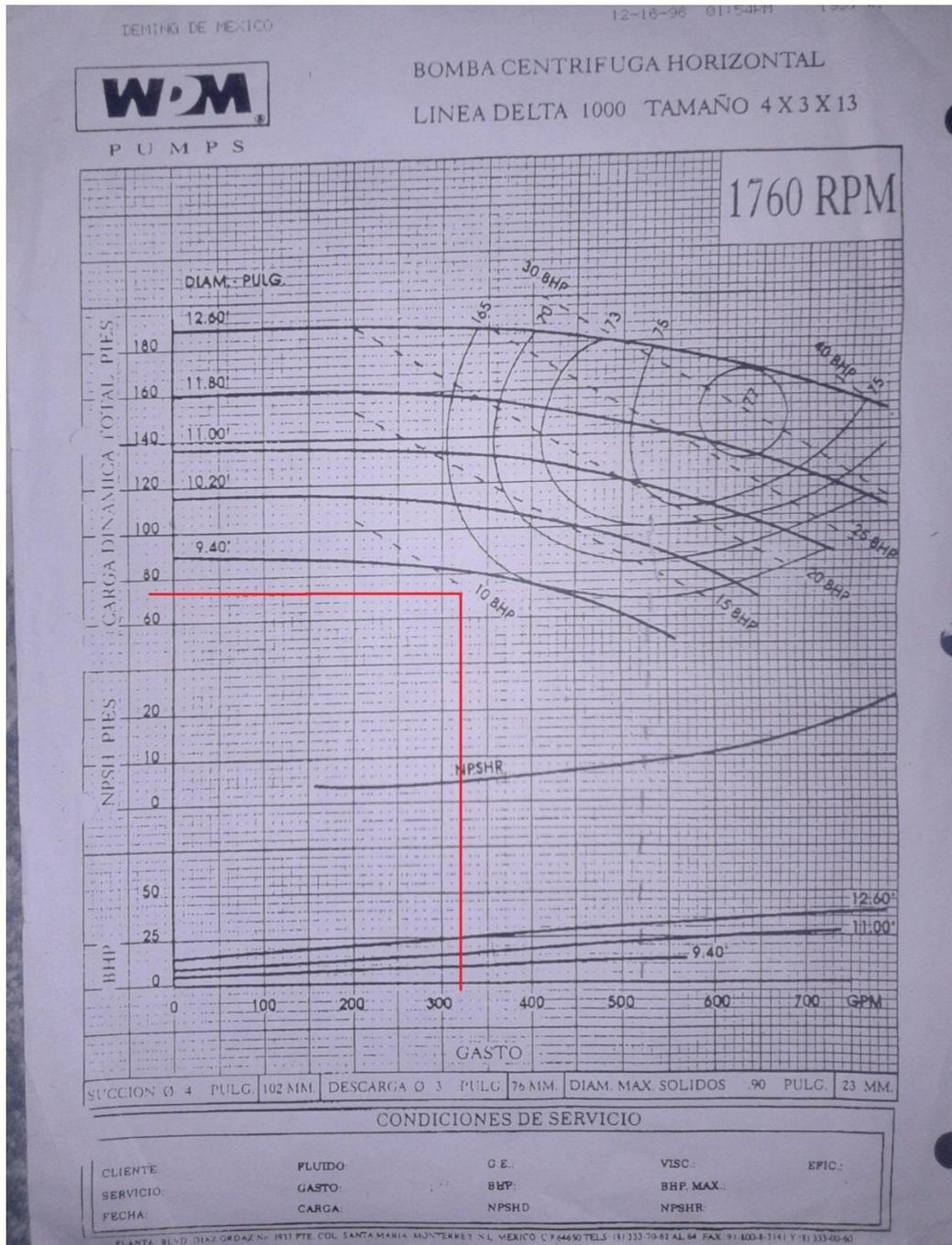


Figura 4.5. Eficiencia del sistema de carga actual.
(Fuente: elaboración propia)

La efectividad es de un 63% nota: dato obtenido de la tabla característica de bombas

$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100$$



Aplicando ecuación 4.6. Se obtiene:

$$eficiencia = \left(\frac{317 \text{ GPM}}{400 \text{ GPM}} \right) \times 100 = 79\%$$

La efectividad del sistema actual de carga es de 79 %

4.3.5 Análisis de información y determinación de áreas de oportunidad

En dicha área se trabaja a un 63% de su capacidad por lo que no está trabajando como debería, sin embargo el sistema carga a los auto-tanques a más de 300 GPM que es mucho mayor a la cantidad con que se descarga un auto-tanque.

Esto ocurre debido a que el tamaño de la bomba es mayor a la que se encuentra en el área de descarga y esto es porque el diámetro de succión es de 13" Ø debido a que de donde se está extrayendo el hidrocarburo es de los tanques de almacenamiento, por lo que es necesario un mayor diámetro de impulsor y descarga que el que se requiere para descargar un auto-tanque.

El sistema de carga presenta una pérdida de presión en el patín de medición o isla de descarga ya que las tuberías de esta sección son de 4" Ø ya que en los tramos anteriores no presentan una mayor pérdida sin embargo esto cambiara aumentando el caudal mediante la instalación de una bomba con mayor capacidad de bombeo.

4.4 Fase 3. Planteamiento y análisis de propuestas

En esta fase se dan a conocer las propuestas que surgen después de conocer el funcionamiento actual de los sistemas de descarga y carga.



Esto es posible, ya que se conoce en que secciones del sistema se presenta una mayor caída de presión y es cuestión de enfocar los esfuerzos en dichas áreas para reducir las pérdidas de presión y mejorar la eficiencia de los sistemas.

El área de descarga presenta una menor eficiencia en comparación con el sitio de carga, puesto que el problema crítico se encuentra en dicho sistema por lo que se plantean dos propuestas para el mejoramiento de esta misma.

En el sistema de carga existe una mayor eficiencia por lo que se propone una sola mejora para aumentar la eficiencia que es bastante ambiciosa pero dejara mayor beneficio al área de carga.

4.4.1 Análisis de propuesta 1. Eliminación de válvulas check y mariposa a tubería a 4" Ø en el patín de medición, manteniendo bomba actual

Se propone eliminar dos válvulas, una tipo check y una mariposa, ya que este tipo de válvulas genera una mayor pérdida de presión en los sistemas y con ello se pretende disminuir las caídas de presión y aumentar la eficiencia del sistema de descarga de auto-tanques.

Esta propuesta sería la más económica de todas y en caso de comprobar el aumento de la eficiencia del sistema sería una excelente opción el implementarla.

4.4.2 Análisis de propuesta 2. Cambio de bomba centrífuga a 600 GPM en sistema de descarga y ampliación de tuberías de 4" Ø en patín de medición

Se propone instalar una bomba centrífuga de 600 GPM que cumplan con las condiciones de trabajo de la terminal de almacenamiento y reparto, que



permitan la reducción del tiempo de descarga y por consecuencia un mayor tránsito de auto-tanques, ya que existe mucho tiempo en espera.

Al implementar dicha propuesta también se recomienda eliminar las tuberías de 3" Ø y ampliarlas a 4" Ø para que el caudal que se alcanzara con la nueva bomba sea asimilado por el patín de medición y sea benéfico para el sistema de descarga.

4.4.3 Análisis de propuesta 3. Cambio de bomba centrífuga a 600 GPM en área de carga

Esta propuesta es básicamente la misma que la segunda, solo que difiere que va destinada al área de carga de auto-tanques y en ella no es necesario cambiar las tuberías del patín de carga ya que actualmente son de 4" Ø. Con ello se trata de ganar más eficiencia. Tratando así de reducir los tiempos de llenado en auto-tanques.

Es muy importante señalar que el área de carga presentara una mayor fluidez de auto-tanques por lo que esto beneficiaría a la TAR ya que aumentaría considerablemente el número de unidades que cargarían y esto se traduce a un mayor ingreso económico al día para la institución.

4.5 Fase 4. Comparación de propuestas

Las propuestas antes mencionadas tienen como finalidad el aumentar el caudal de descarga o carga de auto-tanques, para reducir los tiempos y aumentar la eficiencia de los sistemas para optimizar los tiempos y el flujo de los auto-tanques dentro de la terminal.



La propuesta número 1. Es la más económica de todas y se pretende aumentar la eficiencia del sistema de descarga solo con el cambio de las tuberías a 4" Ø y con esto se reducirán los tiempos de espera que sufren los auto-tanques.

Es importante mencionar que esta propuesta no por ser la más económica sea la mejor opción. Más adelante se harán en el capítulo 5 el desarrollo de dicha propuesta donde se determinara cual es la mejor.

La propuesta número 2. Es la que representa un mayor costo, ya que no solo implica instalar una bomba con caudal de 600 GPM, sino que para llevar a cabo dicha implementación es necesario cambiar las tuberías de 3" Ø por tuberías de 4" Ø

Cabe destacar que estas modificaciones al sistema permitirán una mayor eficiencia de descarga y permitirá reducir los tiempos de descarga considerablemente lo que traerá un mayor beneficio para la terminal.

Una gran restricción para esta propuesta es que no es factible ampliar las tuberías a 5" Ø ya que las válvulas de acople de los auto-tanques a nivel nacional es de 4" Ø.

La propuesta número 3. Es similar a la 2, solo que esta es destinada al área de carga, cabe mencionar que en ella no es necesario otra implementación más que de la bomba de 600 GPM que se instalaría en casa de bombas, ya que las tuberías de dicho sistema son las indicadas para manejar un mayor caudal.

La restricción mencionada en la propuesta dos de las válvulas de acople de los auto-tanques también afectan en esta propuesta, ya que sería mucho más benéfico si a parte de implementar una bomba de 600 GPM se ampliaran las tuberías en el patín de medición del sistema de carga.

Capítulo 5
**Aplicación de la metodología
propuesta**



5.1 Introducción

En este capítulo se muestra el desarrollo de las propuestas sugeridas para aumentar la eficiencia y el beneficio en la carga y descarga de auto-tanques en la Terminal de Almacenamiento y Reparto Tuxtla Gutiérrez, por lo que se describe las actividades requeridas para cada paso a seguir al realizar los cálculos de la eficiencia de ambos sistemas.

Se toma como base la isla número 5 y la isla de descarga número 7 con el hidrocarburo más denso (Diesel).

El desarrollo de las propuestas es basada en la ecuación Darcy-Weisbach del libro flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías (Crane; 1992) la ecuación incluye cálculos en accesorios y válvulas determinando así las diferentes caídas de presión en los tramos de tuberías con accesorios y válvulas.

Para determinar la eficiencia del sistema es necesario conocer el total de las pérdidas de presión y de esta manera graficar con el gasto que genera la bomba en tuberías.

Con la ecuación de la eficiencia interna se calcula en porcentaje la eficiencia de las diferentes propuestas.

5.2 Objetivo

El objetivo de las siguientes propuestas es aumentar la eficiencia en llenado y descarga de auto-tanques con ello lograr disminuir los tiempos en ambos sistemas. Se pretende reducir las pérdidas de presión en ambos sistemas ya que existen



elevadas caídas en el área de descarga y esto disminuye el flujo correcto del hidrocarburo hacia los Tanques de almacenamiento.

5.3 Propuesta 1. Eliminación de válvulas check y mariposa manteniendo bomba actual

Para desarrollar la siguiente propuesta se deben efectuar las siguientes fases

Fase A. Cálculo de las velocidades del fluido en los diversos tramos de la tubería.

Para desarrollar el cálculo de las velocidades es necesario aplicar la ecuación de continuidad:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Para el área tenemos que

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

Datos necesarios para desarrollar los cálculos

Flujo con un caudal real de: 264 *GPM* (tomado del patín de medición 5)

Flujo en tubería= 264 *GPM* = 1000 *L/min* = 1.000 *m³/min*.

Diámetro de las diferentes tuberías en el sistema propuesto.

Tubería de 3" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 77.9 mm



Tubería de 4" Ø cedula 40 Diámetro interior de 102.33 mm

Tubería de 6" Ø cedula 40 Diámetro interior de 154.1 mm

Tubería de 10" Ø cedula 40 Diámetro interior de 254.5 mm

Aplicación y resultado de ecuaciones. Aplicando ecuación 5.1. Y 5.2. Se obtiene:

$$\text{velocidad en tramos de 3" } \emptyset = 3.4829 \frac{m}{s}$$

$$\text{velocidad en tramos de 4" } \emptyset = 2.019 \frac{m}{s}$$

$$\text{velocidad en tramos de 6" } \emptyset = 0.89 \frac{m}{s}$$

$$\text{velocidad en tramos de 10" } \emptyset = 0.3263 \frac{m}{s}$$

Fase B. Cálculo de las pérdidas de presión en el sistema.

En esta fase se propone eliminar las siguientes válvulas para aumentar el caudal de descarga.

Válvulas a eliminar:

- Válvula mariposa
- Válvulas check

Se aplica la ecuación de Darcy- Weisbach para determinar las caídas de presión del sistema.



Resultados en caídas de presión en los diferentes diámetros de tubería

Aplicando ecuación 5.3. Y 5.4. Se obtiene los siguientes resultados:

Perdidas en tubería y accesorios en tramo de 4"

$$\textit{Tubería de 4" Tramo 1} = 0.4007m$$

$$\textit{Accesorios en 4" Tramo 2} = 1.434 m$$

Perdidas en tubería y accesorios en tramo de 3" (patín de medición)

$$\textit{Tuberías de 3" Tramo 3} = 1.77 m$$

$$\textit{Accesorios de 3" Tramo 4} = 12.0 m$$

Perdidas en tubería y accesorios en tramo de 6"

$$\textit{Tuberías de 6" Tramo 5} = 0.040 m$$

$$\textit{Accesorios de 6" Tramo 6} = 0.060 m$$

Perdidas en tubería y accesorios en tramo de 10"

$$\textit{Tubería de 10" Tramo 7} = 0.102 m$$

$$\textit{Accesorio en 10" Tramo 8} = 0.075 m$$



Fase C. eficiencia del sistema propuesto

La eficiencia del sistema se calcula de dos formas siendo la aplicación de la curva característica la de mayor precisión en cuanto a medición de eficiencia de un sistema, al igual que también se aplica una segunda ecuación de eficiencia.

$$\text{Total en pérdidas de presión en el sistema} = 15.89 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

$$\text{Total en pies} = 52.1325 \text{ ft}$$

Eficiencia del sistema con la propuesta planteada.

Ecuación de Bernoulli

La energía de la bomba es:

$$0 + \frac{(2.019)^2}{19.62} + 0.5 + \sum \alpha = 0 + \frac{(3.48)^2}{19.62} + 8.5 + 15.89 \text{ m}. \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

$$\sum \alpha = (8.5 - 0.5) + \frac{(3.48)^2 - (2.019)^2}{19.62} + 15.89 = 24.3 \text{ m}. \quad (\text{Ecuación 5.5})$$

$$\text{Pérdida total en sistema} = 24.3 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida total en sistema (pies)} = 79.724 \text{ ft}$$

En la **figura 5.1**. Se presenta la tabla característica de la eficiencia del sistema. Esta se interpreta de la siguiente manera: la carga dinámica total contra el gasto.

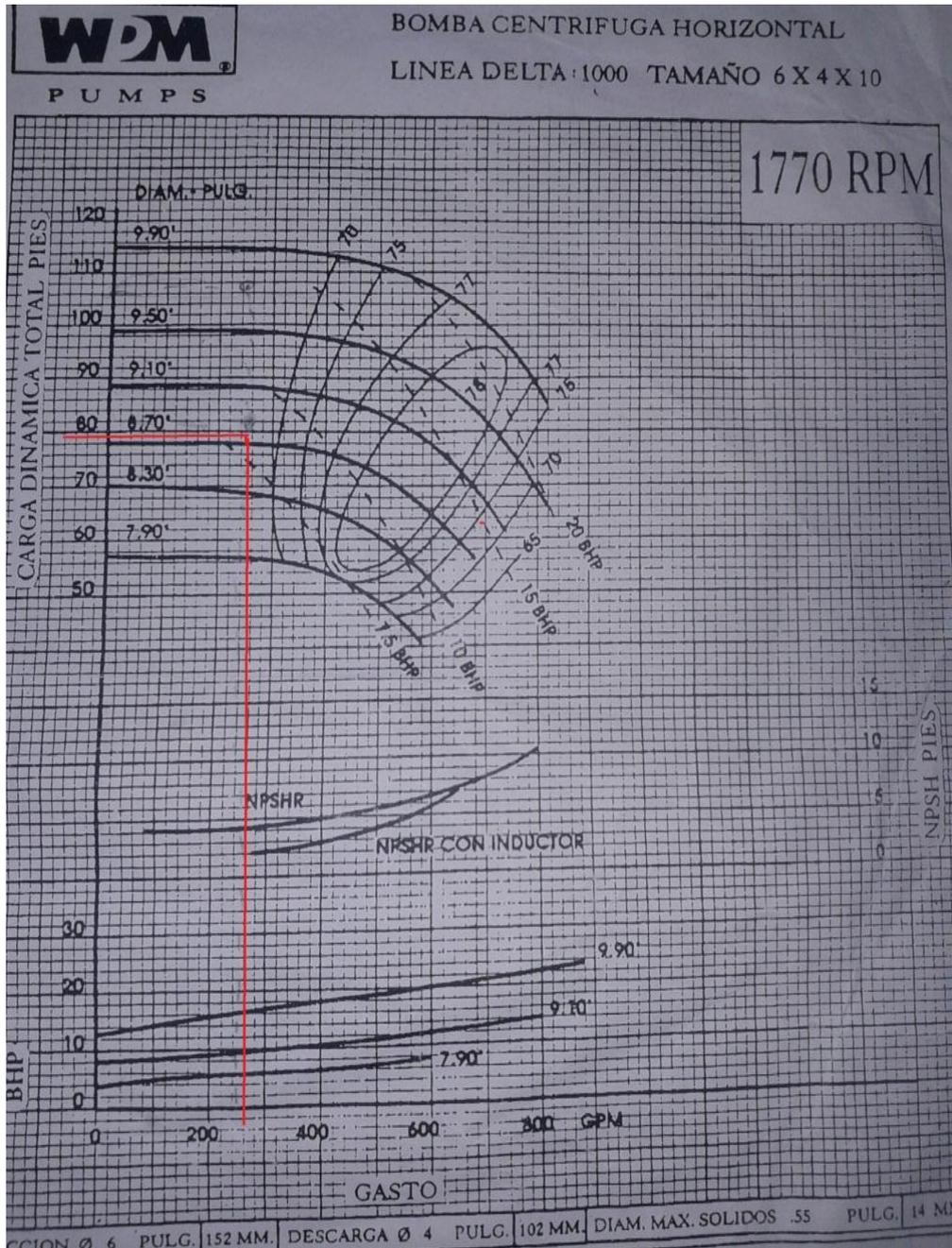


Figura 5.1. Tabla característica de bomba para terminar la eficiencia del sistema
(Fuente: Elaboración propia)

La eficiencia del sistema es de un 67% nota: dato obtenido de la tabla característica de bombas

Aplicando la ecuación de eficiencia interna



$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

$$eficiencia \text{ del sistema} = \left(\frac{268 \text{ GPM}}{400 \text{ GPM}} \right) \times 100 = 67\%$$

5.4 Propuesta 2. (Descarga) cambio de bomba centrífuga de 600 GPM

Esta segunda propuesta se origina con el propósito de aumentar la eficiencia en el sistema de descarga. Es una propuesta muy costosa ya que es necesario cambiar la bomba actual por una de 600 GPM. De igual manera se propone modificar la tubería de 3" Ø por una de 4" Ø.

La bomba que se cotizo cumple con la norma API610 antiincendios que es un requerimiento que debe de cumplir la bomba centrífuga y sus especificaciones son:

La bomba trabajara bajo las siguientes condiciones de operación:

- Líquido: hidrocarburos (diésel, gasolina turbosina)
- Temperatura: ambiente
- Gravedad específica: 0.85
- Viscosidad: 5.4 C.p.
- Gasto de diseño: 600.00 GPM
- Presión de descarga: 3.00 kg/cm²
- Carga dinámica total: 100.00 ft.
- Velocidad: 1770 rpm
- ø del impulsor máx.: 9.00 pies



- \varnothing del impulsor dis: 9.75 pies
- \varnothing del impulsor min: 7.90 pies
- Eficiencia: 80.00 %
- curva no,: p15986
- Potencia del motor: 25 hp, 1770 rpm, 4 polos
- Presión a válvula cerrada: 110.00 ft.

Para desarrollar la propuesta se emplean los pasos mostrados en la sección 4.2 del capítulo 4.

Fase A. Cálculo de las velocidades del fluido en los diversos tramos de la tubería

En esta propuesta se modifica el caudal a 600 GPM para determinar si eficiente en el área de llenado, además se elimina las tuberías de 3" \varnothing por lo que se elimina dicho cálculo.

Desarrollo de cálculos de velocidades en tubería.

$$\text{Flujo en tuberías} = 600 \text{ GPM} = 2271 \frac{l}{\text{min}} = 2.271 \frac{m^3}{\text{min}} = 0.03785 \frac{m^3}{s}$$

Tubería de 4" \varnothing cedula 40 Diámetro interior de 102.33 mm

Aplicando las ecuaciones 5.1 y 5.2 se obtienen los resultados siguientes.

$$A = 0.00821941 m^2$$

$$V = 4.60 \frac{m}{s}$$



Tubería de 6" Ø cedula 40 Diámetro interior de 154.1 mm

Aplicando las ecuaciones 5.1 y 5.2 se obtienen los siguientes resultados

$$A = 0.01865 \text{ m}^2$$

$$V = 2.030 \text{ m/s}$$

Tubería de 10" Ø cedula 40 Diámetro interior de 254.5 mm

$$A = 0.01865 \text{ m}^2$$

$$V = 0.744 \text{ m/s}$$

Fase B. Cálculo de las pérdidas de presión en el sistema.

**Cálculo de pérdidas de presión por tubería recta en 4" Ø (succión) cedula 40
Diámetro interior de 254.5 mm**

Aplicando la ecuación 5.3 tenemos los siguientes resultados.

$$Re = 24509.375 \therefore \text{flujo turbulento}$$

$$Vs = 4.60$$

$$f = 0.029 \text{ (factor de fricción)}$$

$$hf_{trs} = \frac{(0.029)(6.9)}{0.1023} \frac{(4.60)^2}{19.62} = 2.078 \text{ m.} \quad \text{(Ecuación 5.3)}$$



Cálculo pérdidas por accesorios (k) en 4" Ø (succión)

En la **tabla 5.1** se muestran los accesorios encontrados en dicho tramo.

TABLA 5.1. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
6	Codos de 90°	0.90	5.4
2	Codos 45°	0.75	1.5
		Total	6.9

$$h_{fas} = \sum k \frac{v^2}{2g} = \frac{(6.9)(4.60)^2}{19.62} = 7.44 \text{ m.} \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Pérdida total en succión = $h_{ftrs} + h_{fas} = 2.078 + 7.44 = 9.518 \text{ m}$ (Ecuación 5.5)

Cálculo de pérdidas de presión por tubería recta en 4" Ø en patín de medición cedula 40 Diámetro interior de 254.5 mm

Nota: solo se representaran resultados aplicando las mismas formulas empleadas en la fase B de este capítulo con diferentes datos obtenidos en el análisis.

se aplican la ecuación 5.3 y 5.4 respectivamente.

$$tuberia \ Hf \ tr1 = 2.04 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios proponiendo eliminar 1 válvula chek y válvula mariposa.



$$\text{accesorios } H_f \text{ tra1} = 20.07 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas de presión en tramo de Tubería de 6" Ø cedula 40 Diámetro interior de 154.1 mm

$$\text{tuberia recta } H_f \text{ tr2} = 0.175 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios (k) en tramo 6" Ø

$$\text{accesorios } h_f \text{ tra2} = 0.299 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas de presión en tramo de Tubería de 10" Ø cedula 40 Diámetro interior de 254.5 mm

$$\text{tuberia recta } h_f \text{ tr3} = 0.45 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios (k) en tramo 10" Ø

$$\text{accesorios } h_f \text{ tr3} = 0.37 \text{ m}$$

Fase C. eficiencia del sistema propuesto

Pérdidas totales en el sistema de descarga

$$9.518(\text{perdida en succión}) + 23.404 = 32.922$$



Aplicando la ecuación de Bernoulli obtenemos que:

$$H = 106.64 \text{ ft} \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

En la siguiente **figura 5.2**. Se presenta la tabla característica de la bomba y se compara con el gasto y las pérdidas de presión.

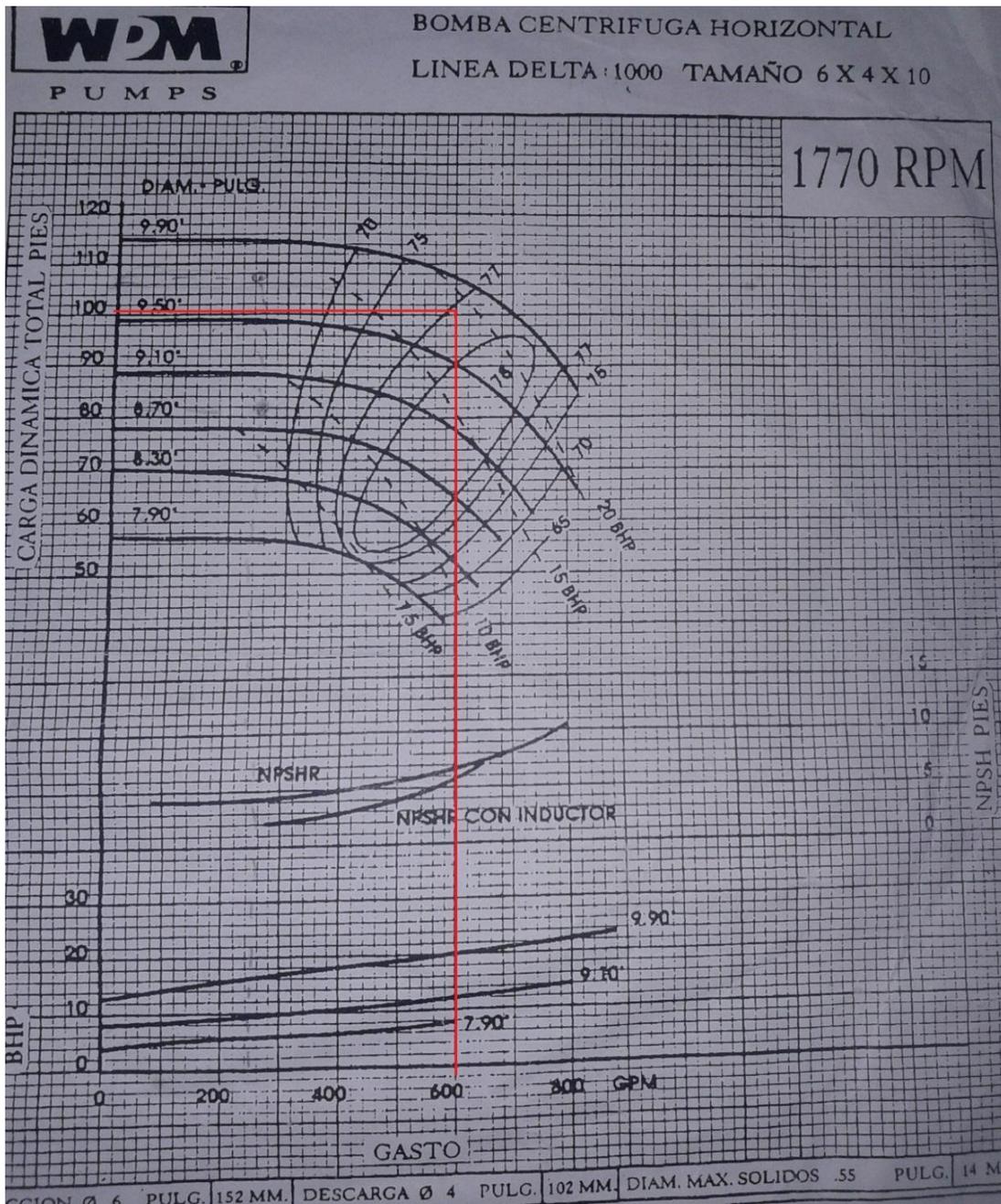




Figura 5.2. Tabla característica de bombas para determinar la eficiencia del sistema
(Fuente: elaboración propia)

La eficiencia del sistema es de un 78% nota: dato obtenido de la tabla característica de bombas

Aplicando la ecuación de eficiencia interna

$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 5.7})$$

$$eficiencia \text{ del sistema} = \left(\frac{468 \text{ GPM}}{600 \text{ GPM}} \right) \times 100 = 78\%$$

5.5 Propuesta 3. Cambio de bomba centrífuga de 600 GPM en área de carga

Esta propuesta se desarrolla básicamente al igual que la anterior pero únicamente se modifica la bomba a de 600 GPM. Con el objetivo de ganar mayor eficiencia.

Fase A. Cálculo de las velocidades del fluido en los diversos tramos de la tubería y cálculo de pérdidas de presión.

En esta fase se unen los cálculos de velocidades de fluido con el cálculo de pérdidas de presión causadas por accesorios y fricciones.

Flujo con una cauda de: 600 GPM

$$Flujo \text{ en tubería} = 2.271 \frac{m^3}{min} = 0.037 \frac{m^3}{s}$$



Tubería de 8" Ø cedula 40 con Diámetro interior de 202.7 mm

Aplicando la ecuación 5.1 se obtiene:

$$VS = \frac{4(0.037)}{\pi (0.2027)^2} = 1.15 \frac{m}{s}$$

Cálculo del tramo TV-1 a succión de la bomba con una tubería de 8" Ø cedula 40 con diámetro interior de 202.7 mm

$$\text{viscosidad} = 0.0159219 \frac{kg}{m-s} \quad (\text{Ecuación 5.8})$$

$$D_{diesel} = 829.1240 \frac{kg}{m^3} \quad (\text{Ecuación 59})$$

$$\dot{U} = 19.20 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad (\text{Ecuación 5.10})$$

Núm. De Reynold = 12140.88 *por lo tanto es un flujo turbulento* (Ecuación 5.11)

$$F = 0.026$$

Cálculos por pérdidas en tubería recta de 8" Ø

Aplicando las ecuaciones 5.3 y 5.4 respectivamente se obtienen los datos:

$$hf_{trs} = \frac{(0.026)(21.4)}{0.2027} \frac{(1.15)^2}{19.62} = 0.185 m$$



Cálculo de pérdidas por accesorios (k) en 8" Ø (succión)

En la **tabla 5.2** se mencionan los accesorios en dicha sección.

TABLA 5.2. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
2	Válvula compuerta	0.25	0.5
3	Codos de 45°	0.75	2.25
1	"T"	2.0	2.0
		Total	4.75

Aplicando fórmula para pérdida por accesorios

$$h_{fas} = \sum k \frac{v^2}{2g} = \frac{(4.75)(1.15)^2}{19.62} = 0.320 \text{ m}$$

Una reducción de 8" a 3" Ø

Aplicando la ecuación 5.1 se obtiene:

$$V_s = 7.76 \frac{m}{s}$$

$$K = 0.15$$



$$h_a = (0.15) \frac{(7.76)^2}{19.62} = 0.460 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.12})$$

Sumatoria de caída de presión en succión

$$0.185 + 0.320 + 0.460 = 0.965 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.13})$$

1 ampliación de 3" a 6" Ø

Aplicando la ecuación 5.1 se obtiene la velocidad de succión

$$V_s = 1.98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_a = \frac{(0.30)(5.24 - 1.98)^2}{19.62} = 0.510 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.14})$$

Pérdidas de presión en el tramo de tubería recta de 6" Ø hacia llenadora 2

Datos para realizar los cálculos obtenidos de las ecuaciones 5.8 a la 5.11.

$$\text{Viscosidad} = 0.0159219 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$D_{\text{diesel}} = 829.1240 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{U} = 19.20 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Núm. De Reynold = 15891.56 ∴ *por lo tanto es un flujo turbulento*

$$F = 0.028$$



Aplicando las ecuaciones 5.2 y 5.3 respectivamente se obtiene:

$$V = 1.98 \frac{m}{s}$$

$$hf_{tr1} = \frac{(0.028)(179.8)}{0.1541} \left(\frac{(1.98)^2}{19.62} \right) = 6.53 m$$

Pérdidas por accesorios k en tramo recto de 6" Ø

En la **tabla 4.3** se presenta los accesorios que componen dicha sección de la tubería.

TABLA 5.3. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
8	Codos de 90°	0.90	8
5	Codos de 45°	0.75	3.75
2	"T"	2.0	4.0
	Total		14.95

Aplicando las ecuaciones 5.4 se obtiene:

$$hf_{a1} = \Sigma k \frac{v^2}{2g} = \frac{(14.95)(1.98)^2}{19.62} = 1.51 m$$

Pérdidas de presión en tramo de 4" Ø

Aplicando la ecuación 5.3 se obtiene:

$$hf_{tr2} = \frac{(0.032)(6.5)}{0.1023} \left(\frac{(4.50)^2}{19.62} \right) = 2.10 m$$



Pérdidas por accesorios k en tramo de 4" Ø

En la **tabla 5.4** se mencionan los accesorios existentes en dicha sección.

TABLA 5.4. Coeficientes de resistencia.
(Fuente: Elaboración propia)

Número de accesorios	Tipo de accesorios	Valor "k"	Resultado
1	Válvula mariposa	0.9	0.9
1	Válvula control	3.0	3.0
1	Válvula doble sello	0.5	0.5
10	Codos de 90°	0.90	9
		total	13.4

Aplicando la ecuación 5.4 da como resultado:

$$h_{fa2} = \sum k \frac{v^2}{2g} = \frac{(13.4)(4.50)^2}{19.62} = 13.83 \text{ m}$$

Velocidad de llenado de auto-tanques

Aplicando la ecuación 5.2 se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{LL} = 4.50 \frac{m}{s}$$

Fase C. eficiencia del sistema propuesto

Con los cálculos anteriores se llega a obtener los siguientes resultados

Pérdida total en el sistema: 25.445 *m* (Ecuación 5.15)



$$H = 83.48 \text{ ft}$$

(Ecuación 5.16)

Aplicando Ecuación de Bernoulli obtenemos que

$$\text{Total caída de presión} = 36.45\text{m}$$

(Ecuación 5.17)

$$H = 119.58 \text{ ft}$$

La figura 5.3. Se presenta la tabla característica de la bomba en el sistema de llenado, esta bomba contiene diferentes características a las anteriores.

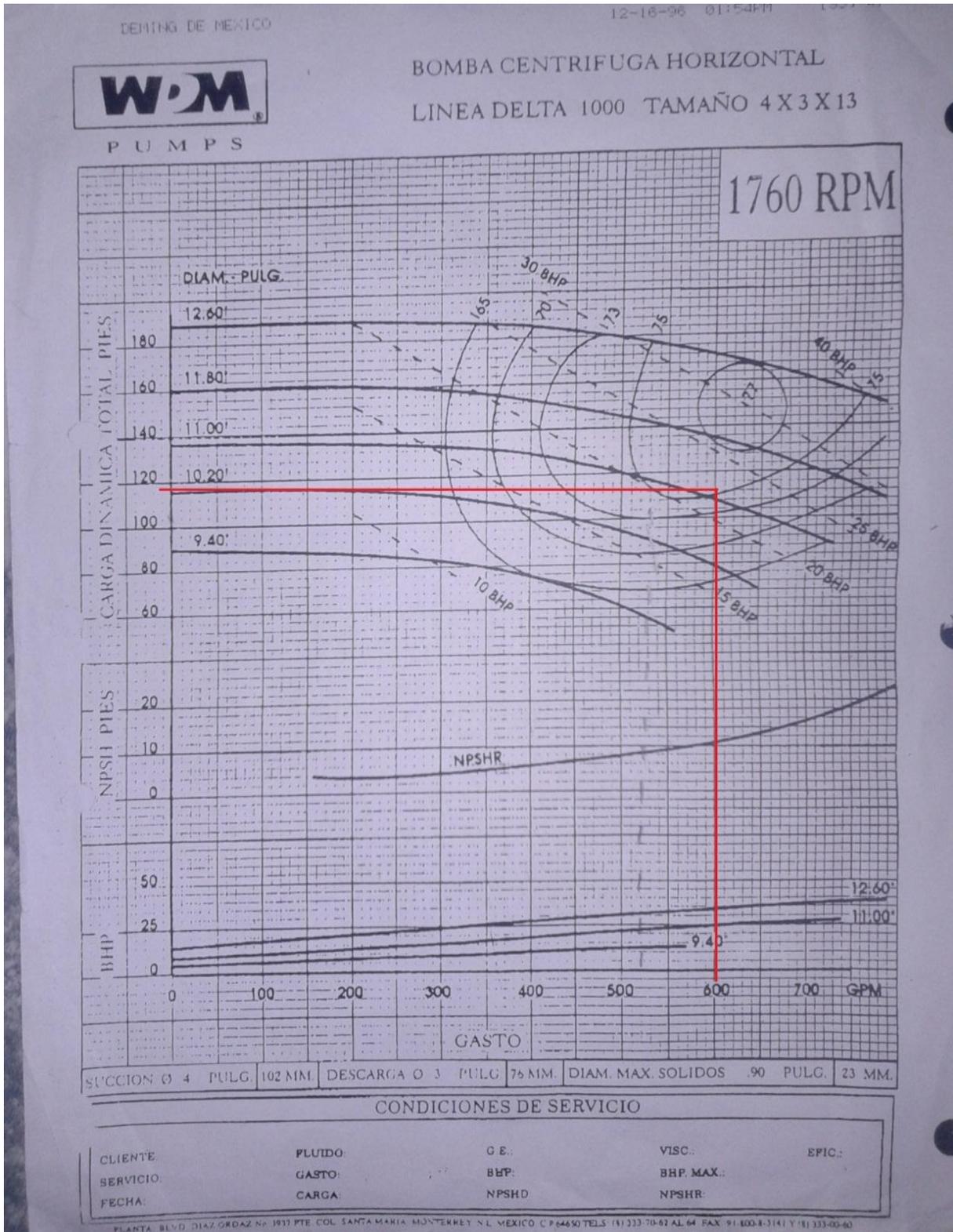


Figura 5.3. Tabla característica de bomba en área de llenado para determinar la eficiencia del sistema (Fuente: Elaboración propia)



La eficiencia del sistema es de un 80% nota: dato obtenido de la tabla característica de bombas

Aplicando la ecuación de eficiencia interna

$$eficiencia = \left(\frac{\text{resultado real obtenido}}{\text{resultado estandar esperado}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 5.18})$$

$$eficiencia \text{ del sistema} = \left(\frac{480 \text{ GPM}}{600 \text{ GPM}} \right) \times 100 = 80\%$$

5.6 Propuestas adicionales de mantenimiento y seguridad, para mantener siempre eficiente el sistema de tuberías válvulas y bomba centrífuga

La eficiencia depende de muchas variables para mantenerla una de ellas muy importante es el mantenimiento preventivo y la seguridad en el trabajo.

5.6.1 Sistema de seguridad industrial SSPA (Seguridad, Salud y Protección Ambiental)

Este sistema es el que rige actualmente a la terminal de almacenamiento de Tuxtla Gutiérrez y está compuesto por una extensa gama de subsistemas ya que abarcan desde la seguridad personal, tanto la grupal, programas de seguridad contra incendios, que a su vez se divide por otros subsistemas que se encargan de cumplir con el sistema principal de seguridad contra incendio.



Es sumamente extenso el sistema **SSPA** (Seguridad, Salud y Protección Ambiental) por lo que solo se mencionan los más importantes.

El **SICCI** (Sistema Integral de Control Contra Incendios), rige a nivel nacional las múltiples plantas de almacenamiento y reparto, así como las refinerías y el área de exploración de PEMEX.

Los elementos más destacados que conforman al sistema **SICCI** (Sistema Integral de Control Contra Incendios), son los detectores de mezclas de explosivos, detectores de humo, anillos de enfriamiento en los tanques de almacenamiento, sistema de tuberías de agua ubicadas junto a los ductos petroleros.

Otro subsistema que conforma al **SSPA** es el sistema eléctrico contra incendios, que son cables especiales que cortan la corriente eléctrica para evitar incendios provocados por fallas eléctricas.

Otro subsistema importante es el **SAP** (Sistema Administrativo de Procesos), que es un software que se encuentra en el área de operaciones donde está monitoreando permanentemente la temperatura de los tanques verticales, la cantidad en *lts/min* en que descargan o cargan los auto-tanques.

Existe otro subsistema que es de alarmas mecánicas ubicadas en cada tanque vertical (TVs), que se escuchan en un radio de 1 km, así como cada TV, cuenta con sistema de sensores de temperatura y nivel de capacidad.

Este sistema **SSPA**, es excelente para cualquier terminal de almacenamiento y reparto y la sucursal de Tuxtla Gutiérrez no es la excepción ya que a dado resultados palpables ya que cuenta con reconocimientos de excelencia en seguridad y cuidado al medio ambiente.

Es por ello que este sistema debe seguir administrando dicha terminal ya que no se han suscitado ningún siniestro que afecte o haya puesto en riesgo la integridad física de los trabajadores y del medio que rodea a dicha planta.



5.6.2 Aplicación del mantenimiento preventivo en el área de operaciones

El autor Newbrough (1976), nos dice que el mantenimiento preventivo es la conservación planeada de fábrica y equipo, producto de inspecciones periódicas que descubren condiciones defectuosas.

Es por ello que el mantenimiento preventivo es muy importante para evitar fallos o paros en este caso el paro del sistema por derrame o fuga de combustible y así se eviten riesgos de explosión.

Esta propuesta se recomienda ampliamente debido a que se carece de esta actividad, ya que no se realizan las inspecciones diarias que se deben de realizar en las áreas de descarga y carga, así como en el área de casa de bombas y los tanques de almacenamiento.

También se propone que se capaciten a los operarios del área de operaciones a revisar las tuberías y válvulas que conforman la red de tuberías tanto en el área de descarga como de carga de auto-tanques y con ello los propios operarios tengan la capacidad de reportar una anomalía y se eviten accidentes.

El mantenimiento preventivo es un instrumento que ahorra dinero a las empresas en cuanto a conservación y operación, por lo que es muy importante llevarlo a cabo en la Terminal de almacenamiento de Tuxtla Gutiérrez.

Capítulo 6

Análisis de resultados obtenidos



6.1 Resultados esperados para el área de descarga

El área de descarga actual se encuentra laborando a un 60% de su capacidad, por ello es importante comparar los resultados que arrojan las propuestas sugeridas y determinar cuál de ellas es la más factible de aplicar en la terminal.

Las diferentes propuestas no fueron implementadas únicamente son datos arrojados por las ecuaciones esperando un resultado aproximado. Observar la **tabla 6.1**.

Tabla 6.1 tabla comparativa en descarga
(Fuente: Elaboración propia)

Propuesta	Perdida de presión en metros	Perdida de presión en pies ft	Eficiencia del sistema	Aumento de rendimiento al sistema actual
Sistema actual	24.3 m	79.724 ft	60%	
Propuesta 1. Eliminación de válvulas check y mariposa y ampliar tubería a 4" Ø en el patín de medición manteniendo bomba actual	32.483 m	106.57	67%	7 %
Propuesta 2. Cambio de bomba centrífuga de 600GPM en el sistema de descarga y ampliación a tuberías a 4" Ø en el patín de medición	32.922m	106.64	80%	20%

En la siguiente gráfica se muestran las eficiencias esperadas que se pretenden lograr. **Ver figura 6.1**.

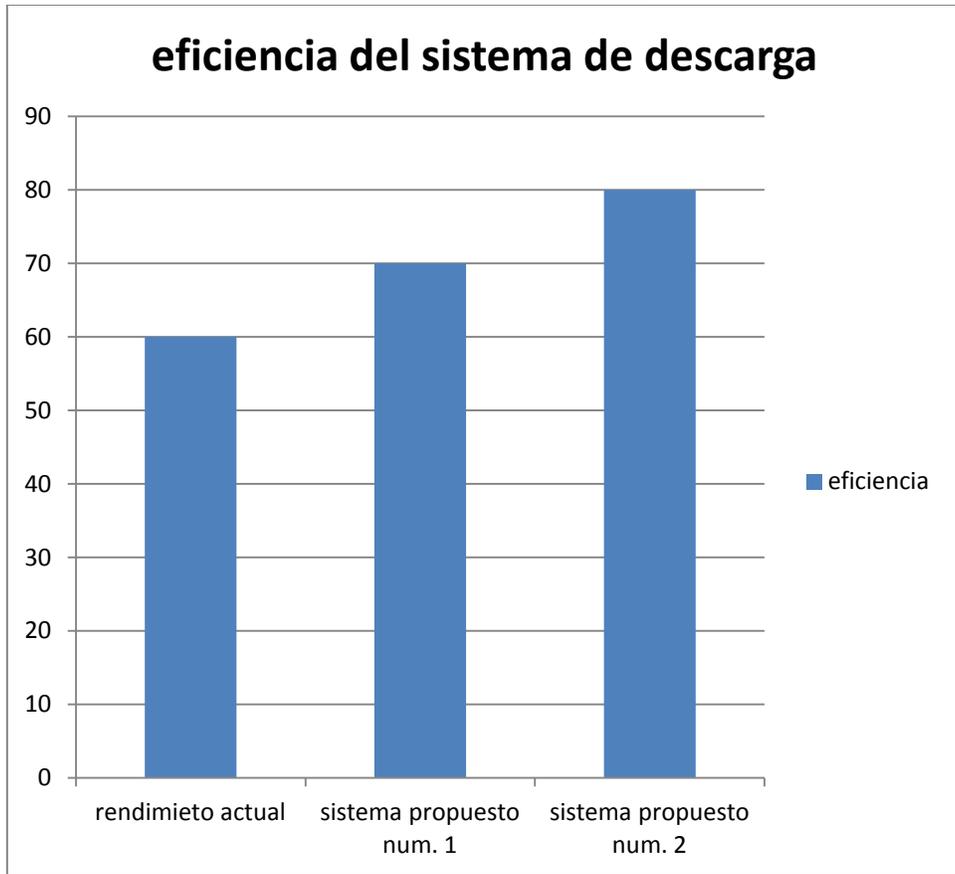


Figura 6.1. grafica de eficiencia en descarga actual contra eficiencia esperada
(Fuente: elaboración propia)

Los tiempos que se esperan obtener con las propuestas realizadas se presentan junto con los tiempos de descarga actual como se observa en la **tabla 6.2.**

Los tiempos son obtenidos a partir de litros por minuto que descargaría un auto-tanque con las diferentes propuestas está basada en la eficiencia del sistema de llenado.

Tabla 6.2 Comparación estimados de tiempos en descarga de auto-tanques
(Fuente: Elaboración propia)

Características del auto-tanque	Sistema actual	Sistema sin válvulas	Sistema propuesto A 600 GPM
Tiempo de descarga a 30 mil litros de hidrocarburo	30 min.	28.30 min	16.51 min
Tiempo de descarga con dos toneles de haciendo un total de 62 mil litros	62 min	58.49 min	34.12 min

Se muestran dos graficas una con tiempos de descarga a 30,000 lts y a 62,000 lts respectivamente comparando el sistema actual y las propuestas. Ver **figura 6.2** y **6.3** respectivamente.

Gráfica comparativa a 30 mil litros de descarga

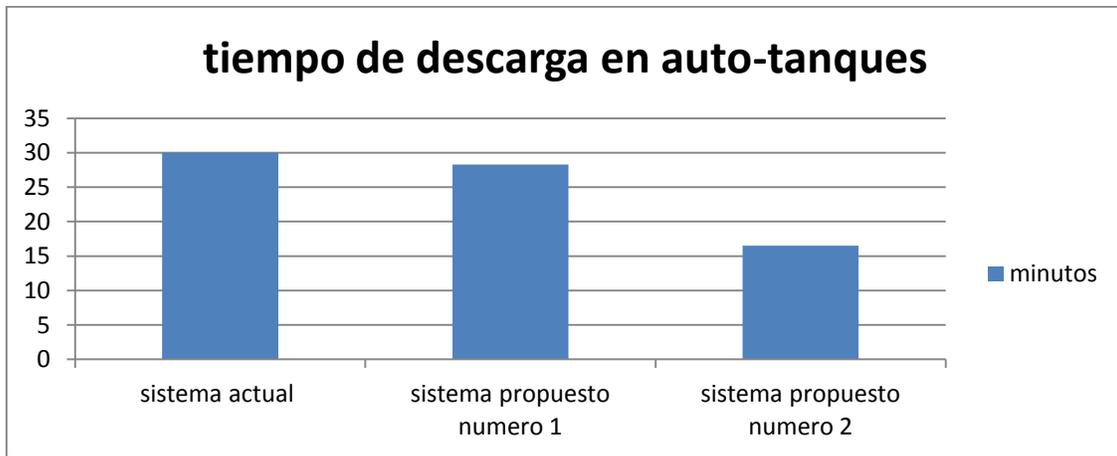


Figura 6.2. Tiempos de descarga de tonel de 30,000 lts. (Tiempos estimados)
(Fuente: elaboración propia)

Gráfica comparativa a 62 mil litros de descarga

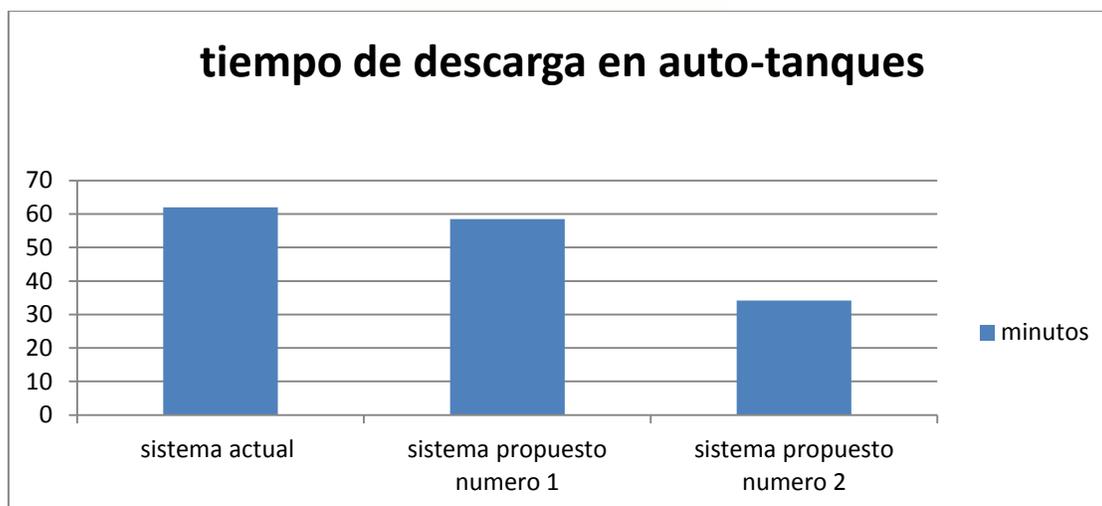


Figura 6.3. Tiempos de descarga de doble tonel. (Tiempos estimados)
(Fuente: elaboración propia)

6.2. Resultados esperados para el sistema de carga

El sistema de carga de auto-tanques se encuentra laborando a un 63% de su capacidad, por lo que la propuesta de aumentar la capacidad de llenado a 600 GPM es una excelente opción y se comparan en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Comparación del sistema actual con el propuesto
(Fuente: Elaboración propia)

Propuesta	Pérdida de presión en metros	Pérdida de presión en pies ft	Eficiencia del sistema	Aumento de rendimiento al sistema actual
Sistema actual	21.66	71.062	63%	
Cambio de bomba centrífuga a 600GPM en el área de carga	36.45m	119.58	80%	17%

Se muestra la gráfica que indica la eficiencia a la que trabaja el sistema actual con el propuesto en el cual se observa un incremento en el beneficio de aplicar dicha propuesta. Ver **figura 6.3**.

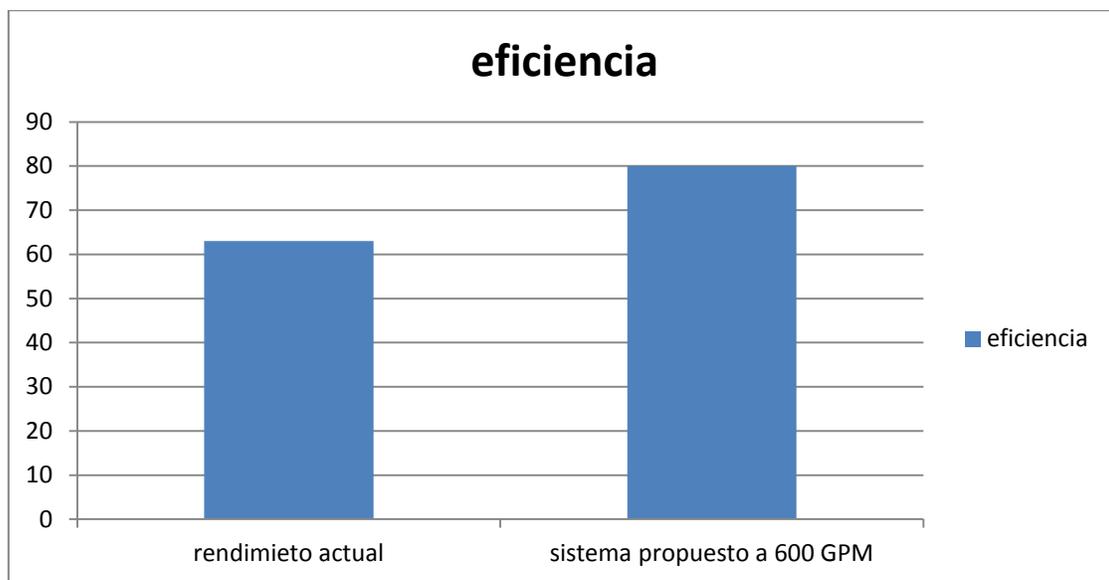


Figura 6.4. Grafica de eficiencia en llenado
(Fuente: Elaboración propia)

Los tiempos que se esperan obtener con la propuesta se comparan en la **tabla 6.4**.

Tabla 6.4 Comparación de tiempos en llenado
(Fuente: Elaboración propia)

	Sistema actual	Sistema propuesto a 600 GPM
Tiempo de llenado a 30 mil litros de hidrocarburo	20 min	13 min
Tiempo de llenado con dos toneles de haciendo un total de 62 mil litros	41.33 min	27 min



La mayoría de los auto-tanques que van a cargar son de un solo tonel, aunque una pequeña parte son de doble tonel, por lo que se presentan las **figuras 6.4 y 6.5** respectivamente

Tiempo de llenado a 30 mil litros de hidrocarburo

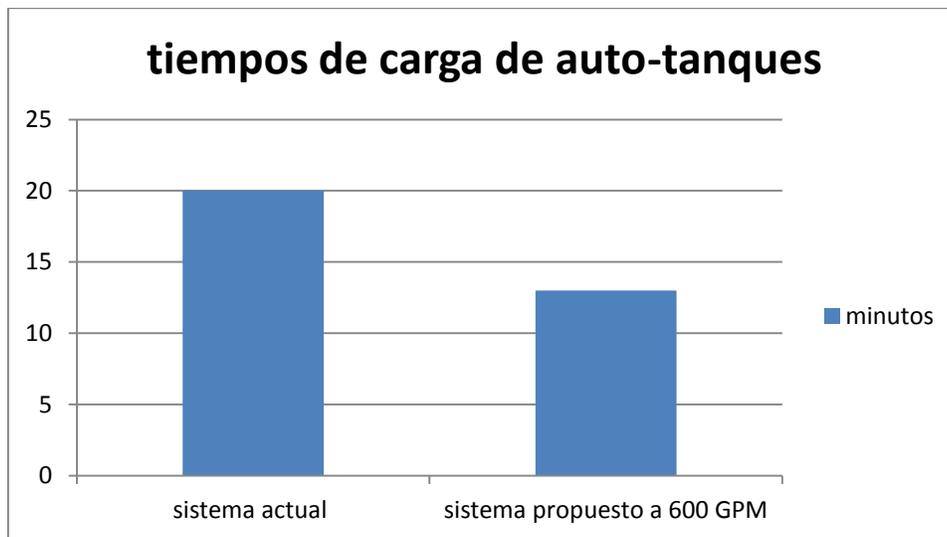


Figura 6.5. Tiempo de llenado a 30 mil litros
(Fuente: Elaboración propia)

Tiempo de llenado con dos toneles de haciendo un total de 62 mil litros

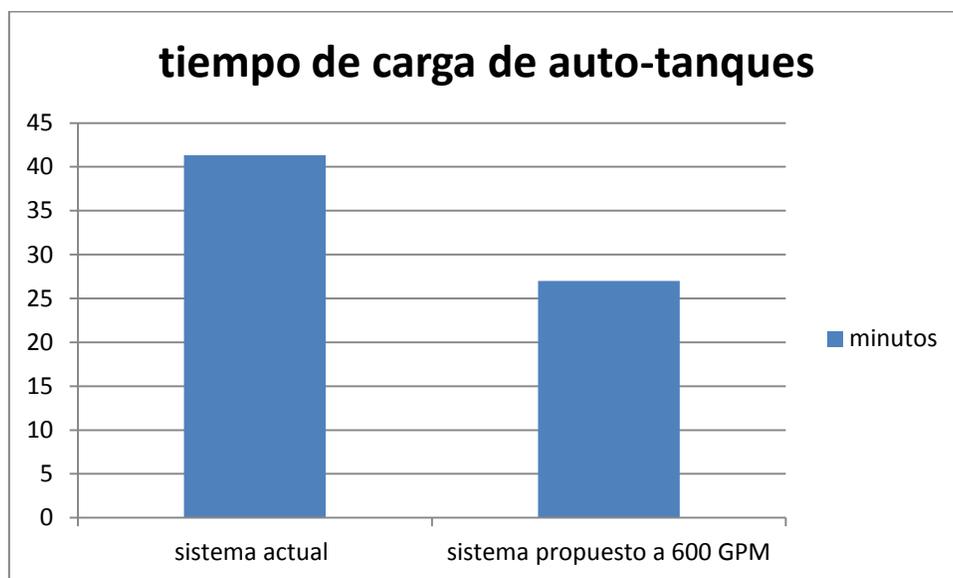


Figura 6.5. Tiempo de llenado con doble tonel
(Fuente: Elaboración propia)

6.3 Costos aproximados de las propuestas del sistema de descarga y carga de auto-tanques

Para obtener costos de bombas de 600 GPM se contactó con una empresa que vende equipos de bombeo a las diversas terminales del país y se expuso las características con que el sistema actual trabaja. Ver **Anexo 4**

Al cotizar una bomba centrífuga se requieren de muchas variables. Estas variables fueron descritas en los capítulos anteriores, mismos que fueron utilizadas para realizar las ecuaciones de flujo en válvulas y accesorios.

Los costos se cotizaron a partir de una bomba de 600 GPM y con cumplimiento a la norma API 610.



Los arrancadores suaves se cotizaron ya que es necesario cambiarlos al instalar una bomba y se muestra en el **Anexo 5**.

Los costos de las bombas y arrancadores suaves ya se muestran en la **tabla 6.5.**

Tabla 6.5 análisis de costos para llenado y descarga
(Fuente: Elaboración propia)

Propuestas	Costo unitario de bomba	Costo unitario de arrancadores suaves	Costo de inversión
Eliminación de válvulas check y mariposa y tubería a 4" en el patín de medición (descarga)	\$ 7,500.00	No requiere ya que se conserva el sistema.	\$ 7,500.00
Cambio de bomba centrífuga de 600GPM en el sistema de descarga y ampliación a tuberías a 4" en el patín de medición.	\$ 479,592.00	\$ 10,128.00	\$ 489,720.00
Cambio de bomba centrífuga a 600GPM en el área de carga.	\$ 479,592.00	\$ 10,128.00	\$489,720.00

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones



7.1 Conclusiones

En este proyecto se realizó los diferentes análisis para aumentar la eficiencia del sistema. El primer objetivo fue analizar el sistema actual de 400 GPM, en los sistemas de carga y descarga. Durante el desarrollo del proyecto los sistemas anteriores nos arrojaron datos que determinan los principales problemas actuales.

En primer punto el tramo llamado patín de medición existe una gran pérdida de presión por los diferentes accesorios y la tubería que es muy reducida.

En el proyecto se plantearon tres propuestas para aumentar la eficiencia. La modificación primordial es cambiar el caudal a 600 GPM y analizar si con ello aumenta la eficiencia de los dos sistemas.

Aumentar el llenado a 600 GPM resulto ser de gran beneficio ya que en descarga se aumenta la eficiencia en un 20 % con este resultado se pretende disminuir la descarga de auto-tanques y hacer más ágil el proceso.

Se concluye que la propuesta que brindara una mayor eficiencia y beneficio en el área de descarga y carga es la implementación de una bomba centrífuga con capacidad de 600 GPM, al igual que unificar a 4" \varnothing las tuberías que conforman el patín de medición de ambos sistemas



7.2 Recomendaciones

De acuerdo al resultado de las propuestas realizadas surgen las recomendaciones siguientes que permitan aumentar la eficiencia y beneficio en la terminal de almacenamiento y reparto.

- Se recomienda cambiar la tubería de 3" Ø existente en el patín de medición (descarga) por una de 4" Ø uniforme para disminuir las caídas de presión en el sistema.
- Eliminar dos válvulas (check y mariposa) en el patín de medición para obtener mejores resultados.
- Instalar la bomba centrífuga de 600 GPM en el sistema de carga y descarga.
- Realizar el mantenimiento preventivo en casa de bombas y áreas de los tanques de almacenamiento cada 4 meses.
- Realizar recorridos diarios en el área de operaciones ya que no realizan dichas inspecciones.



Bibliografía

- 1.- Beltrán, R. 1990. "Introducción a la mecánica de fluidos". Editorial McGraw-Hill. Bogotá Colombia.
- 2.- Cardono, C. R. 2002. "Fundamentos de Administración". Ecoe Ediciones. Colombia.
- 3.- División de ingeniería de CRANE. 1992."Flujo de fluidos en válvulas, Accesorios y Tuberías". 1ª Edición. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- 4.- Newbrough, E.T. 1976. "Administración de Mantenimiento Industrial". Editorial Diana. México.
- 5.- Saldarriaga, J. 1998. "Hidráulica de Tuberías". Editorial McGraw-Hill. Colombia.
- 6.- Sotelo, A. G. 1982. "Hidráulica general". 6ª Edición. Editorial LIMUSA S.A. México.
- 7.- Streeter, V. L. y Wylie B, B. 2000. "Mecánica de Fluidos". 9ª Edición. Editorial McGraw-Hill. Bogotá, Colombia

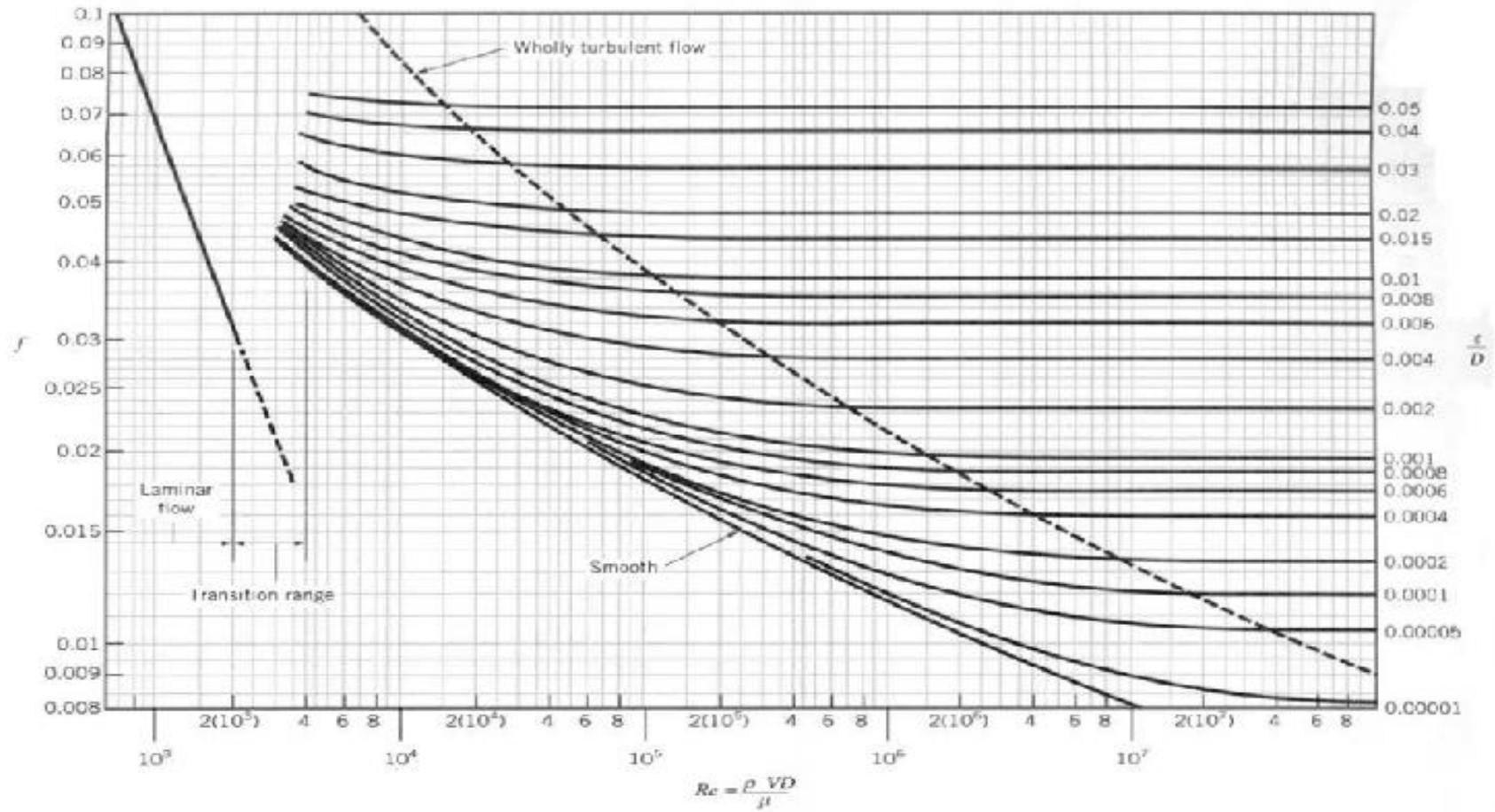
ANEXOS

Anexo 1. Cédulas de tuberías

Espesor de la tubería según número de cédula										
Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior	Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior			
								Pulgadas	mm	mm
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 80 (continuación)	3 1/2	101.6	8.08	85.4	
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.56	97.2	
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3	
	20	508.0	6.35	495.3		6	168.3	10.97	146.4	
	24	609.6	6.35	596.9		1	219.1	12.70	193.7	
Cédula 20	30	762.0	7.92	746.2	10	273.0	15.09	242.8		
	8	219.1	6.35	206.4	12	323.9	17.47	289.0		
	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 100	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	26.19	354.0	
	12	323.9	8.38	307.1		18	457.2	29.36	398.5	
	14	355.6	9.52	336.6		20	508.0	32.54	442.9	
Cédula 40	16	406.4	9.52	387.4	24	609.6	38.89	531.8		
	18	457.2	11.13	434.9	Cédula 120	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	581.1		6	168.3	14.27	139.8	
	30	762.0	15.88	730.2		8	219.1	18.26	182.6	
	1 1/8	10.3	1.73	6.8		10	273.0	21.44	230.1	
	1 1/4	13.7	2.24	9.2		12	323.9	25.40	273.1	
1 1/2	17.1	2.91	12.5	14		355.6	27.79	300.0		
Cédula 60	1 3/4	21.3	2.77	15.8	Cédula 140	16	406.4	30.96	344.5	
	2	26.7	2.87	21.0		18	457.2	34.92	387.4	
	2 1/4	33.4	3.38	26.6		20	508.0	38.10	431.8	
	2 1/2	42.2	3.56	35.1		24	609.6	46.02	517.6	
	3	48.3	3.68	40.9		Cédula 160	1 1/8	21.3	4.78	11.7
	3 1/2	60.3	3.91	52.5			1 1/4	26.7	5.56	15.6
	4	73.0	5.16	62.7			1 1/2	33.4	6.35	20.7
	4 1/2	88.9	5.49	77.9	2		42.2	6.35	29.5	
	5	101.6	5.74	90.1	2 1/2		48.3	7.14	34.0	
	6	114.3	6.02	102.3	3		60.3	8.74	42.8	
	8	141.3	6.55	128.2	3 1/2		73.0	9.52	54.0	
	Cédula 80	10	168.3	7.11	154.1	4	88.9	11.13	66.6	
		12	219.1	8.18	202.7	Cédula 80	4	114.3	13.49	87.3
		14	273.0	9.27	254.5		5	141.3	15.88	109.5
		16	323.9	10.31	303.3		6	168.3	18.26	131.8
		18	355.6	11.13	333.3		8	219.1	23.01	173.1
		20	406.4	12.70	381.0		10	273.0	28.58	215.8
24		457.2	14.27	428.7	12		323.9	33.34	257.2	
30	508.0	15.09	477.8	14	355.6		35.71	284.2		
Cédula 100	36	609.6	17.48	574.6	16	406.4	40.49	325.4		
	8	219.1	10.31	198.5	18	457.2	45.24	366.7		
	10	273.0	12.70	247.6	20	508.0	50.00	408.0		
	12	323.9	14.27	296.4	24	609.6	59.54	490.5		
	14	355.6	15.09	325.4						
	16	406.4	16.64	373.1						
	18	457.2	19.05	419.1						
20	508.0	20.62	466.8							
24	609.6	24.61	560.4							
Cédula 120	1 1/8	10.3	2.41	5.5						
	1 1/4	13.7	3.02	7.7						
	1 1/2	17.1	3.20	10.7						
	1 3/4	21.3	3.73	13.8						
	2	26.7	3.91	18.9						
	2 1/4	33.4	4.55	24.3						
	2 1/2	42.2	4.85	32.5						
3	48.3	5.08	38.1							
3 1/2	60.3	5.54	49.2							
4	73.0	7.01	59.0							
4 1/2	88.9	7.62	73.7							

(Fuente: División de ingeniería CRANE, 1992)

Anexo 2 Diagrama de Moody



(Fuentes: División de ingeniería CRANE, 1992)

Anexo 3. Cotización de bomba centrífuga



REFACCIONES CENTRIFUGAS HORIZONTALES S.A. DE C.V.

MANUFACTURA, REFACCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBO

PAGINA 1 DE 2

CLIENTE	COTIZACION REF. No. 12-748	REV.
PEMEX REFINACION	FECHA:	16 DE OCTUBRE DE 2012
Gerencia de Almacenamiento y Reparto Golfo	ATENCION:	ING. WALTER SIEGFRIED BEUTELSPACHER BAIGTS
Terminales de Almacenamiento y Reparto	SU REQ.:	ING. OLGER EDUARDO PASCACIO VIELMA
Tuxtla Gutierrez Chiapas.	SU PLANTA EN:	TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS
Jorge.luis.avalos@pemex.com, Tel. 961 61 51418		

MUY SEÑORES NUESTROS:
EN ATENCION A SU SOLICITUD, NOS COMPLACE SOMETER A SU CONSIDERACION NUESTRA MEJOR OFERTA QUE AMPARA LO SIGUIENTE.

PART	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	1	<p>SUMINISTRO DE BOMBA CENTRIFUGA PARA TAR TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS</p> <p>SUMINISTRO DE BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL EN CANTLIVER DE UN PASO COMPLETA TIPO SUSPENDIDA (DE PROCESO, SIMPLE SUCCION, DISEÑADA Y FABRICADA DE ACUERDO AL API 610 9ª EDICION, CON CODIGO DE DISEÑO CH2 DE LA BOMBA DE ACUERDO A API 610 9ª EDICION, MONTADA EN LINEA DE CENTROS, IMPULSOR CERRADO FABRICADO EN ACERO INOXIDABLE, MARCA WORTH-LINE 6, MODELO PWR-9, TAMAÑO 4 X 3 - 18 C, CON BRIDA DE SUCCION DE 8" DE Ø 386 # TIPO R.F., POSICION HORIZONTAL, BRIDA DE DESCARGA DE 4" DE Ø 386 # R.F., POSICION VERTICAL AL CENTRO, LUBRICADA POR ANILLO DE ACEITE Y CUENTA CON EL ARREGLO PARA SER LUBRICADA POR SISTEMA DE NEBLA SEGUN LA NORMA API 610, CONSTRUIDA DE ACUERDO A LA COLUMNA DE MATERIALES S-4 DEL API 610 9ª EDICION:</p> <p>CARCAZA DE ACERO A 216 GR WCS. IMPULSOR EN A-217 GR CA 15 PARTES INTERNAS: 12 % CROMO ANILLOS DE DESGASTE CARCAZA E IMPULSOR: A-217GR CA 15 END. FLECHA AISI 4140 (A 434 CLASS BB).</p> <p>LA BOMBA TRABAJARA BAJO LAS SIGUIENTES CONDICIONES DE OPERACION:</p> <p>LIQUIDO: HIDROCARBUROS (DIESEL, GASOLINA TURBOGNA) TEMPERATURA: AMBIENTE GRAV. ESPECIFICA: 0.85 VISCOSIDAD: 5.4 C.P. GASTO DE DISEÑO: 699.00 GPM PRESION DE DESCARGA: 3.00 KG/CM2 CARGA DINAMICA TOTAL: 100.00 FT. VELOCIDAD: 1770 RPM NPSH REQ: 7.20 FT Ø DEL IMPULSOR MAX: 9.00 PIES Ø DEL IMPULSOR DIS: 9.75 PIES Ø DEL IMPULSOR MIN: 7.90 PIES EFICIENCIA: 80.00 % BHP DIS / MAX: 16.00 HP / 18.71 HP CURVA No.: P18888 POTENCIA DEL MOTOR: 25 HP, 1770 RPM, 4 POLOS GIRO: CW VISTO DESDE EL LADO COUPLE PRESION A VALVULA CERRADA: 110.00 FT.</p>		

CONDICIONES COMERCIALES	SPP 60989401311	ATENTAMENTE
PRECIOS ANTERIORES MAS	16 % I.V.A.	 ING. JORGE ESCOBAR SUI POON GERENTE DE VENTAS
VIGENCIA DE ESTA COTIZACION	30 DIAS A PARTIR DE ESTA FECHA	
CONDICIONES DE PAGO	30 DIAS PRESENTACION FACTURA	
	L.A.B. SU PLANTA	
TIEMPO DE ENTREGA	130 DIAS	
DESPUES DE RECIBIR SU PEDIDO ORIGINAL Y ANTICIPO EN SU CASO		

GOLFO DE SAN MATIAS No. 13 COL. TACUBA 11400 MEXICO, D.F. FAX: (55) 5527-7675
 TEL: (55) 5386-2600 CON 10 LINEAS e-mail: refaceth@data.net.mx ventas@worth-line.com
 VISITENOS: www.worth-line.com

Anexo 4.

r (Ctrl+1)

CLIENTE PEMEX REFINACION Gerencia de Almacenamiento y Reparto Golfo Terminales de Almacenamiento y Reparto Tuxtla Gutierrez Chiapas. Jorge.luis.avalos@pemex.com, Tel. 961 61 51418	COTIZACION REF. NO. 12-740 REV. FECHA: 16 DE OCTUBRE DE 2012 ATENCION: ING. WALTER BIEGFRIED BEUTELSPACHER BAIGTS SU REQ. ING. OLGIER EDUARDO PASCACIO VIELMA SU PLANTA EN: TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MUY SEÑORES NUESTROS:
 EN ATENCION A SU SOLICITUD, NOS COMPLACE SOMETER A SU CONSIDERACION NUESTRA MEJOR OFERTA QUE AMPARA LO SIGUIENTE.

PART	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
		DICHA BOMBA INLCUYE BASE DE ACERO ESTRUCTURAL DE ACUERDO AL API 610 5ª EDICION PROVISITA CON CHAROLA Y ACOPLAMIENTO FLEXIBLE TIPO LANAS NO LUBRICADO CON ESPACIADOR DE 5.20", MARCA JOHN CRANE, MODELO TSCB-2633-2655-1275, CON GUARDACOPLE DE MATERIAL ANTICHISPA (ALUMINIO) DESMONTABLE Y SERA ACCIONADA POR UN MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION HORIZONTAL TOTALMENTE CERRADO A PRUEBA DE EXPLOSION TIPO JAULA DE ARDILLA, ALTA EFICIENCIA, MARCA SIEMENS DE 25 HP, 1770 RPM, 4 POLOS, ARM. 284 T, CORRIENTE ALTERNA, 480 VOLTS, 3 FASES, 60 CICLOS, ENFRIADO POR AIRE, DISEÑO NEMA B, TEMP. AMBIENTE 40° C, F.S. = 1.50, AISLAMIENTO CLASE F. BOMBA EQUIPADA CON SELLO MECANICO DOBLE NO PRESURIZADO MARCA JOHN CRANE TIPO 2848-2, CARTUCHO COMPLETO, PARA CAJA 4 DE API 682, CODIGO A.P.J. BTPIN, CODIGO DE MATERIALES XSP1471XSD81H 316HC, CUMPLIENDO CON API 682, CON EL PLAN 11 Y PLAN 52 (TANQUE DE 5 GALONES DE CAPACIDAD, MIRILLA DE NIVEL TIPO SOLDABLE, SERPENTIN DE ENFRIAMIENTO, CONEXIONES DE SUMINISTRO Y RETORNO DE 1/2" NPT CONSTRUIDO EN ACERO INOXIDABLE 316 L, VALVULAS TIPO COMPUERTA PARA VENTEO Y DRENADO, VALVULA MULTIPUESTOS PARA BLOQUEO, MANOMETRO CON INTERIORES DE INOXIDABLE, SWITCH DE PRESION Y SWITCH DE NIVEL CON CAJA A PRUEBA DE EXPLOSION INCLUYE PEDESTAL, INSTALACION Y TUBERIA) DE ACUERDO A LA NORMA API 682. PRECIO DEL EQUIPO COMPLETO NOTA: EL EQUIPO SE GARANTIZA POR UN PERIODO DE 12 MESES EN OPERACION O 18 MESES EN ALMACENAMIENTO, LO QUE OCURRA PRIMERO, POR DEFECTOS DE FABRICACION NO POR MAL USO DE ELLOS.	\$ 39,966.00 USD	\$ 39,966.00 USD

CONDICIONES COMERCIALES	SPP 60989401311
PRECIOS ANTERIORES MAS	16 % I.V.A.
VIGENCIA DE ESTA COTIZACION	30 DIAS A PARTIR DE ESTA FECHA
CONDICIONES DE PAGO	30 DIAS PRESENTACION FACTURA
	L.A.B. SU PLANTA
TIEMPO DE ENTREGA	130 DIAS
DESPUES DE RECIBIR SU PEDIDO ORIGINAL Y ANTICIPO EN SU CASO	

ATENTAMENTE



ING. JORGE OSCAR SUI PUON
GERENTE DE VENTAS

GOLFO DE SAN MATIAS No. 13 COL. TACUBA 11400 MEXICO, D.F. FAX: (55) 5527-7675
TEL: (55) 5386-2600 CON 10 LINEAS e-mail: refaceth@data.net.mx ventas@worth-line.com
VISITENOS: www.worth-line.com

Anexo 5. Cotización de arrancadores suaves para bomba centrífuga



REFACCIONES Y SERVICIO INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

Cotización

23 de octubre de 2012



Compañía. Pemex

No. WG12- PMX201



Dirección. Domicilio conocido

Atención. Ing. Macos Aguilar

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Solicita.

Tel. 0

Fax/ Cel.

0

Realiza. Ing. Wendy De La Garza



Pda	Cant	Unid	Descripción	Tiempo de entrega	Precio Unitario	Importe
-----	------	------	-------------	-------------------	-----------------	---------



Arrancador suave SSW07, a 220 volts, marca Weg



1 1 pza

para 20 hp

\$ 844.00 \$ 844.00

2 1 pza

para 30 hp

\$ 797.00 \$ 797.00



Arrancador suave SSW07, a 440 volts, marca Weg



1a 1 pza

para 20 hp

\$ 654.00 \$ 654.00



2a 1 pza

para 30 hp

\$ 754.00 \$ 754.00



CONDICIONES.

50% con orden, resto contra entrega
Libre a bordo su almacén
Precios sujetos a cambio sin previo aviso
Materiales disponibles salvo previa venta

NOTA

Se cotiza en dólares por el cambio
constante de la moneda

Subtotal \$ 3,049.00

IVA 16% \$ 487.84

Total \$ 3,536.84

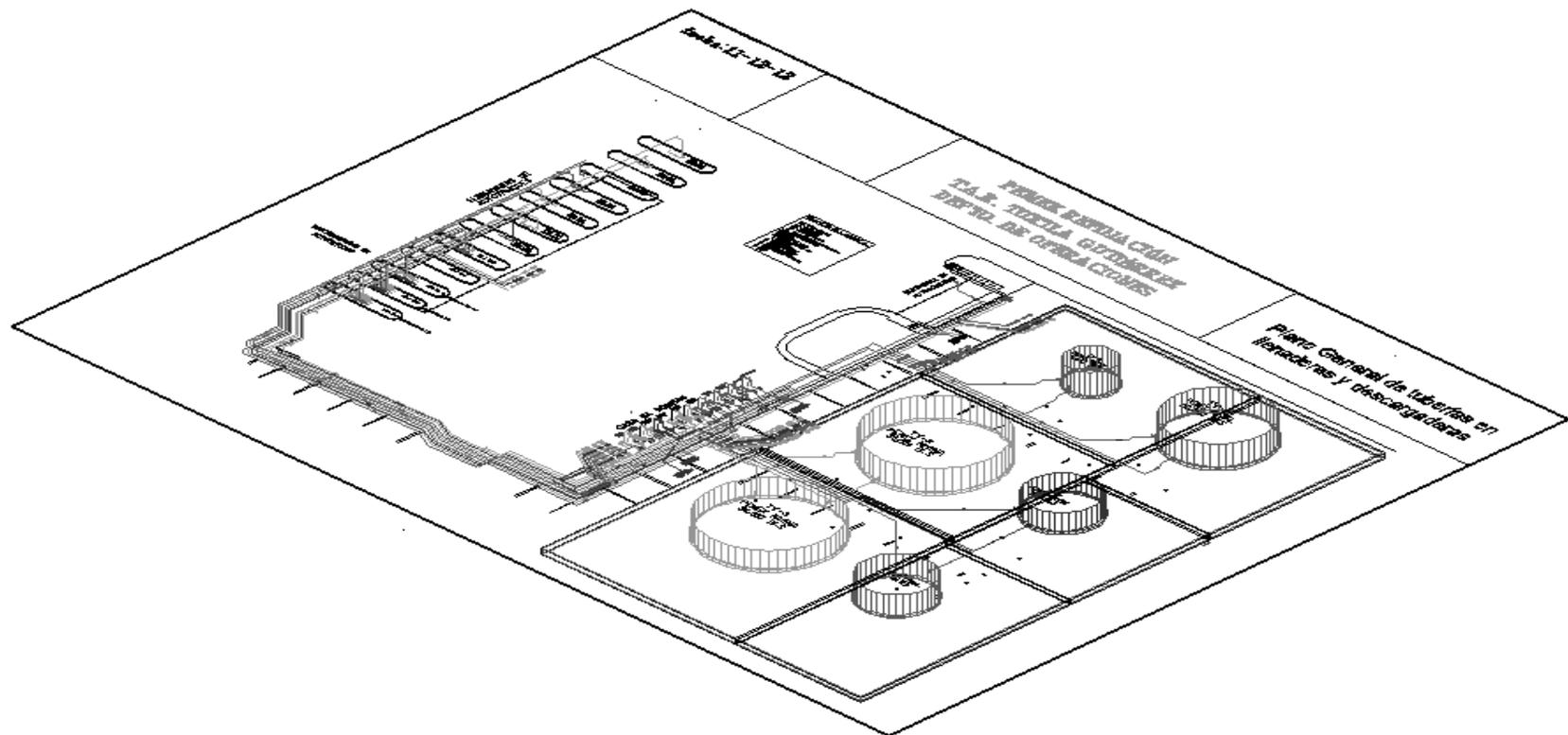
DLLS

AV. UNIVERSIDAD No. 624 BODEGA 5, COL. JOSE MARIA PINO SUAREZ

VILLAHERMOSA, TABASCO. C.P. 86029, TEL. (993) 142 0082, 1420083 FAX 142 0084

rsi_chiapas@rsi.com.mx

Anexo 6. Dibujo isométrico del sistema actual



Dibujo isométrico del sistema actual
(Fuente elaboración propia)