



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO
DE GASOLINA Y DIESEL EN PEMEX REFINACIÓN”.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A N:

**HÉCTOR PÉREZ HERNÁNDEZ
Y
EXAL ARMANDO REYES LÓPEZ**



MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE DEL 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/023/07

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: PÉREZ HERNÁNDEZ HÉCTOR
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. Raúl Ramón Mora Hernández
VOCAL	Ing. Víctor Manuel Rodríguez Reyes
SECRETARIO	I. Q. Gabriel Cruz Zepeda
SUPLENTE	I. Q. Alejandro Juvenal Guzmán Gómez
SUPLENTE	I. Q. Fausto Calderas García

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

México D. F., a 19 de Junio de 2007

JEFE DE LA CARRERA


I. Q. RAÚL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/022/07

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: REYES LÓPEZ EXAL ARMANDO
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. Raúl Ramón Mora Hernández
VOCAL	Ing. Víctor Manuel Rodríguez Reyes
SECRETARIO	I. Q. Gabriel Cruz Zepeda
SUPLENTE	I. Q. Alejandro Juvenal Guzmán Gómez
SUPLENTE	I. Q. Fausto Calderas García

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

México D. F., a 19 de Junio de 2007

JEFE DE LA CARRERA

I. Q. RAÚL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ



AGRADECIMIENTOS

Héctor Pérez Hernández

Agradezco a mis padres:

Ramón Pérez Sánchez.
Natalia Hernández Gómez.

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: Amor.
A quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme.
A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho.
Por esto y más... "Gracias".

A mi esposa e hijos:

Norma Angélica Cíntora Carrillo.
Héctor Eduardo, Isai Emanuel , Alan Daniel, Yael Joshua.

No es fácil llegar, se necesita perseverancia, lucha y deseo, pero sobre todo apoyo. Como el que he recibido durante este tiempo. Ahora más que nunca se acredita mi amor, admiración y respeto. Gracias por lo que hemos logrado.

A mis hermanos:

José Luís, Sonia, Leticia, Ramón, Manuel, Ángel, Fernando y Daniel.

Porque son de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de si mismos sin esperar nada a cambio... Porque saben escuchar y brindar ayuda cuando es necesario... Porque se han ganado el cariño, admiración y respeto. Sinceramente. Gracias.

Gracias:

A la Universidad Nacional Autónoma de México FES Zaragoza por haberme permitido concluir mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Exal Armando Reyes López

Agradezco a mi madre:

María Guadalupe López Rodríguez

Por que sólo la superación de mis ideales me ha permitido comprender cada día mas la difícil posición de ser padres, mis conceptos, mis valores morales, mi superación se la debo a usted; por que gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos mas grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se deposito y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado mas grande que pudiera recibir y por lo cual le viviré eternamente agradecido.

Con admiración y respeto.

A mis hermanas:

María Teresa Reyes López y Adriana Reyes López.

Como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por el apoyo moral y estímulos brindados con infinito amor y confianza y por infundir en mi, ese camino que inicio con toda la responsabilidad que representa el término de mi carrera profesional.

Gracias.

A mis amigos:

Héctor Pérez Hernández y Jorge Javier Pérez Heredia.

Como un pequeño testimonio por el gran apoyo brindado durante los años más difíciles y más felices de mi vida, en los cuales he logrado terminar mi carrera profesional, la cual constituye un aliciente para continuar con mi superación.

Gracias.

Gracias:

A esta Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por la oportunidad que me brindo para seguir estudiando y por que...

“He llegado al final de este camino y en mi han quedado marcadas huellas profundas de este recorrido. Son madre tu mirada y tu aliento. Son maestros sus palabras y sabios consejos, mi trofeo es también vuestro”.

**"Hay hombres que luchan un día y son buenos.
Hay otros que luchan un año y son mejores.
Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos.
Pero hay los que luchan toda la vida:
Esos son los imprescindibles".**

Bertolt Brecht

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO
DE GASOLINA Y DIESEL EN PEMEX REFINACIÓN”.**

INDICE

RESUMEN * 1

OBJETIVOS * 2

INTRODUCCIÓN * 3

CAPITULO 1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LÍQUIDOS

1.1 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

1.1.1 Fluido newtoniano * 6

1.1.2 Fluidez * 6

1.1.3 Temperatura * 6

1.1.4 Viscosidad * 7

1.1.5 Densidad * 7

1.1.5.1 Peso específico * 7

1.1.5.2 Densidad referida * 8

1.1.5.3 Densidad relativa o gravedad específica * 8

1.1.5.4 Gravedad específica en línea * 8

1.1.5.5 Los grados API * 8

1.1.5.6 Volumen específico * 8

1.1.5.7 Vaporización * 9

1.2 PRESIÓN.

1.2.1 Definición de la presión * 9

1.2.2 Presión estática * 9

1.2.2.1 Columna de líquido * 9

1.2.2.2 Columna estática * 9

1.2.3 La medición de la presión * 10

1.2.3.1 Presión atmosférica * 10

1.2.3.2 Presión manométrica y absoluta * 10

1.2.3.3 Presión de vapor * 10

1.3 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS.

1.3.1 Número de Reynolds (R_e) * 11

1.3.1.1 Régimen de flujo * 12

1.4 ECUACIONES GENERALES.

1.4.1 Teorema de Bernoulli * 13

1.4.2 Fórmula de Darcy * 14

1.4.2.1 Factor de fricción * 15

CAPITULO 2. BOMBAS

2.1 BOMBAS ROTODINÁMICAS.

2.1.1 Definición * 16

2.1.2 Clasificación * 16

2.1.3 Elementos constitutivos * 16

2.1.4 Pérdidas, potencias y rendimiento * 18

2.1.4.1 Pérdidas * 18

2.1.4.2 Perdidas hidráulicas * 18

2.1.4.3 Perdidas volumétricas * 18

2.1.4.4 Perdidas mecánicas * 18

2.1.5 Potencia y rendimiento * 19

2.1.5.1 Potencia de accionamiento * 19

2.1.5.2 Potencia interna * 19

2.1.5.3 Potencia útil * 20

2.1.6 Rendimiento * 20

2.1.6.1 Rendimiento hidráulico * 20

2.1.6.2 Rendimiento volumétrico * 20

2.1.6.3 Rendimiento interno * 20

2.1.6.4 Rendimiento mecánico * 20

2.1.6.5 Rendimiento total * 20

2.1.7 Terminología * 20

2.1.7.1 Columna o carga total de bombeo * 20

2.1.7.2 Carga neta de succión positiva (CNSP o NPSH) * 24

2.1.7.3 CNSP disponible en casos típicos * 25

2.1.8 Uso de curvas * 25

2.1.9 Curva característica de la bomba * 26

2.1.10 Curva del sistema * 29

2.1.11 Operación en paralelo o en serie * 30

2.1.12 Punto de operación * 30

2.1.13 Punto de corte * 31

2.1.14 Cambios de columna * 31

2.1.15 Especificaciones de la columna de la bomba * 31

2.2 TUBERIAS.

2.2.1 Tuberías usadas en sistemas de abastecimiento de combustibles * 32

2.2.2 Tubería de acero * 32

2.2.3 Observaciones y recomendaciones para la selección de tubería * 33

2.2.4 Piezas especiales y dispositivos de control de flujo * 33

2.3 VÁLVULAS.

- 2.3.1 Tipos de válvulas * 34**
- 2.3.2 Válvulas eliminadoras de aire * 36**
- 2.3.3 Válvulas de retención * 38**
- 2.3.4 Válvulas de mariposa * 39**
- 2.3.5 Válvulas de globo * 39**
- 2.3.6 Válvulas de compuerta * 39**
- 2.3.7 Válvulas de alivio contra golpe de ariete * 43**
- 2.3.8 Selección de válvulas * 44**
- 2.3.9 Capacidades de presión y temperatura * 44**
- 2.3.10 Material de empaquetaduras y juntas * 44**
- 2.3.11 Mecanismos de control de flujo * 45**
- 2.3.12 Materiales de construcción * 47**

CAPITULO 3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

- 3.1 ESTUDIO DE LA OFERTA-DEMANDA *48**
 - 3.1.1 Gráficos oferta-demanda * 49**
- 3.2 ESPECIFICACIÓN DEL DUCTO *55**
 - 3.2.1 Justificación para la construcción de nuevos ductos * 55**
 - 3.2.2 Localización del ducto * 57**
 - 3.2.3 Cálculo del diámetro para la línea de conducción * 59**
 - 3.2.4 Propiedades físicas de los hidrocarburos a conducir * 60**
 - 3.2.5 Presión interna * 61**
 - 3.2.6 Presión máxima de operación * 62**

3.2.7 Tubería comercial * 62

3.3 CÁLCULO DE PI, POM Y GRADIENTE HIDRÁULICO * 63

3.4 CÁLCULO DEL COSTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

TUXPAN-AZCAPOTZALCO 16" * 65

3.5 ESTUDIO ECONÓMICO * 68

3.5.1 Payback o período de recuperación * 69

3.5.2 Valor presente neto (VPN) * 69

3.5.3 Tasa interna de rendimiento (TIR) * 70

CONCLUSIONES * 72

BIBLIOGRAFIA * 73



RESUMEN

Para PEMEX Refinación el sistema de ductos es de vital importancia para ofrecer un servicio eficiente económico y oportuno en el suministro de hidrocarburos, por lo cual uno de sus principales retos es mantener en óptimas condiciones su infraestructura y funcionamiento, así como aumentar el número de redes de conducción de combustibles.

La información sobre el problema que tiene la zona centro para distribuir y almacenar gasolinas ya está plenamente identificada por el área de ductos de Pemex Refinación por lo que nos referiremos a su estudio.

De acuerdo a lo mencionado con anterioridad se llevó a cabo el estudio de factibilidad para la implementación del ducto Tuxpan-Azcapotzalco 16" de la siguiente manera:

Se hizo el cálculo de lo que cuesta transportar las gasolinas para dar apoyo a la zona centro la cual nos dio un valor de 37002900.5 dólares por año esta cantidad es exageradamente alta en comparación con lo que cuesta transportar por ducto. Por lo que se propone la ruta que debe seguir esta línea de conducción.

Se establecen los requisitos para el diseño y selección del material del ducto para recolección y transporte de gasolinas considerando las condiciones de operación, de acuerdo a la norma NRF-030 de Pemex.

Posteriormente se realiza el cálculo de lo que cuesta implementar la línea de conducción la cual tiene un monto de 50513157.42 millones de dólares.

Finalmente se realiza un estudio económico donde se calcula el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).



OBJETIVOS

El objetivo de esta tesis es realizar un estudio de factibilidad para la implementación de una nueva línea de conducción Tuxpan-Azcapotzalco 16", para tener una mejor distribución y un mayor almacenamiento de gasolinas en las terminales de almacenamiento y distribución.

Aplicar la norma NRF-030-PEMEX-2003 diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos, ya que de acuerdo a esta los ingenieros de PEMEX especifican sus ductos.



INTRODUCCIÓN

PEMEX Refinación es un Organismo Subsidiario de Petróleos Mexicanos, quien por mandato constitucional es el encargado de extraer, producir y distribuir de primera mano productos petrolíferos en la República Mexicana, para cumplir con esta misión PEMEX Refinación se encuentra constituida por áreas de administración, producción, distribución y comercialización. El área de distribución, la cual se encarga de suministrar el crudo a las 6 refinerías ubicadas en: Madero, Cadereyta, Tula, Salamanca, Salina Cruz y Minatitlán, el cual consiste en separar las diferentes fracciones que lo constituyen como son: gasolina, turbosina, diesel, combustóleo, etc.

Los productos terminados de las refinerías para su comercialización son: Pemex Magna, Pemex Magna Oxigenada, Pemex Premium, Pemex Diesel, Turbosina y Combustóleo.

Dentro de la Subdirección de Almacenamiento y Distribución se encuentra la Gerencia de Coordinación de Operación y Ductos la cual se encarga de la obtención del crudo y distribución de los productos destilados provenientes de la refinación del crudo mediante la elaboración y control de un programa de bombeo diario de las refinerías a las Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) las cuales surten de productos a las Estaciones de Servicio ubicadas a todo lo largo y ancho de la República Mexicana.

Para satisfacer las necesidades de hidrocarburos a los centros de demanda, en Pemex ha sido necesario rehabilitar y construir una extensa red de ductos, debido a que los centros de consumo también son los de más abundante población, con mayor desarrollo industrial y distanciamiento de los centros de producción.

Los Ductos, son un medio de conducción eficiente abasteciendo los centros de almacenamiento y distribución a tiempo sin importar condiciones climatológicas, ni las variaciones de gasto requeridas. Contribuyen a descongestionar el transporte terrestre, garantizan el abastecimiento de combustibles con la calidad solicitada por el mercado y satisfacen la demanda al mínimo costo del suministro. Se tienden sobre la superficie a nivel de tierra natural o si es necesario sepultados en una sepa. El tendido se realiza salvando los obstáculos topográficos que condicionan el trazo (ríos, lagunas, pantanos, barrancos, canales, carreteras y vías de ferrocarril).

Para PEMEX el sistema de ductos es de vital importancia para ofrecer un servicio eficiente económico y oportuno en el suministro de hidrocarburos, por lo cual uno de sus principales retos es mantener en óptimas condiciones su infraestructura y funcionamiento, así como aumentar el número de redes de conducción de combustibles.

En PEMEX Refinación se tienen actualmente 13,406 Km. de ductos en operación, Integrados por:

- 4,601 Km. de Oleoductos
- 8,805 Km. de Poliductos y Otros



Principales Características de Oleoductos y Poliductos.

CARACTERÍSTICAS	OLEODUCTOS	POLIDUCTOS
Diámetros	12" – 48"	6" – 24"
Transporte Aproximado	1,289 MBD	1,502 MBD
Capacidad Aproximada	2,600 MBD	2,065 MBD
Productos Transportados	Crudos - Maya - Olmeca - Istmo - Pozoleo - Marfo - Muro - Horcón - Alamo - Naranjos - Papaloapan Otros - Gasóleo de Vacío - Despuntado	Productos Terminados - Pemex Premium - Pemex Magna - Pemex Magna Oxigenada - Pemex Diesel - Turbosina - Combustible Industrial - Combustóleo Productos Intermedios - Premium Componente - Gasolina Regular - Alquilado - MTBE - Gasolina Estabilizada - Diesel Desulfurado - Gasóleo de Vacío

MBD.- Miles de barriles diarios

DESPLAZAMIENTO DE GASOLINAS Y DIESEL

Para ello, existen:

- **83 Estaciones de Bombeo y Rebombeo para Poliductos**

La capacidad instalada es de 652,169 H.P. (486,322 Kw), equivalente a 6,521 vehículos de 100 H.P.

CONSUMO PROMEDIO DIARIO EN EL VALLE DE MEXICO

PRODUCTO	BARRILES	LITROS
Gasolina Pemex Magna	110,000	17,490,000
Gasolina Pemex Premium	12,000	1,908,000
Pemex Diesel	35,000	5,565,000

Para la realización del informe ejecutivo, se recauda la información de una hoja de cálculo de Excel de recibo de destilados y combustóleo en el Sistema Nacional de Poliductos.

El Sistema Nacional de Poliductos mueve el producto de las seis Refinerías del sistema, Terminales de ventas y Marítimas. Contiene:

- Recibos diarios en Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD's).
- Recibos de Refinerías.
- Recibos de Terminales Marítimas.

Para la transportación de todos los productos provenientes de TAD's, Refinerías y Terminales Marítimas, PEMEX utiliza los ductos como medio principal de transportación.



Los ductos, a su vez, están divididos en Oleoductos y Poliductos; los Oleoductos son los que llegan a las refinerías transportando el crudo para luego poder ser procesado. Los Poliductos, salen de las refinerías llevando los productos obtenidos de la refinación del crudo.

Estos últimos están en red unos con otros distribuyendo los productos a lo largo de toda la República Mexicana. Por su ubicación, se encuentran divididos en zonas:

- Zona Centro (Guanajuato, Morelos, Guerrero, Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, Aguascalientes, Guadalajara, Michoacán, Nayarit y Zacatecas).
- Zona Golfo (Tamaulipas, Veracruz, Puebla, Campeche, Yucatán y Tabasco).
- Región Norte (Nuevo León, Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Coahuila y Tamaulipas).
- Zona Pacífico (Sonora, Michoacán, Colima, Sinaloa, Baja California Norte y Baja California Sur).
- Zona Sureste (Guerrero, Oaxaca y Chiapas).



C A P Í T U L O 1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LÍQUIDOS.

1.1 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS.

1.1.1 Fluido newtoniano.

Es el fluido en el cual existe una relación lineal entre la fuerza y la rapidez de corte, su viscosidad generalmente no es función de la presión. Muchos fluidos comunes tales como el aire y otros gases, el agua y la mayoría de soluciones simples son Newtonianos, así como la mayoría de productos derivados del petróleo. Las soluciones que están compuestas en su estructura molecular por cadenas largas de polímeros así como lodos y suspensiones generalmente no son Newtonianos.

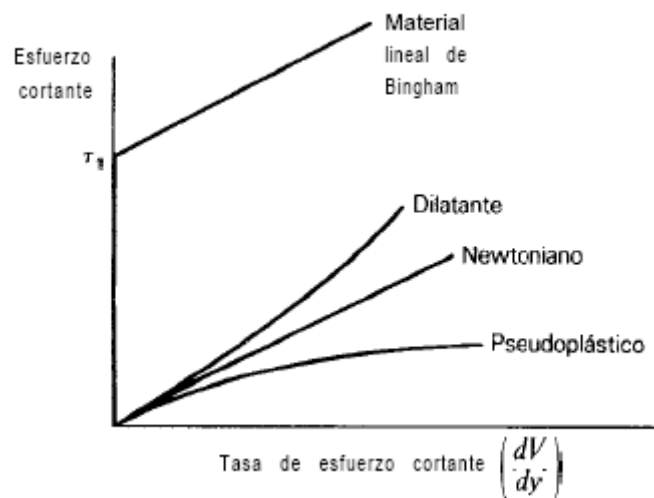


Figura 1.1

1.1.2 Fluidez.

Indica la capacidad del líquido a deformarse bajo la acción de fuerzas por pequeñas que estas sean, tales como cuando se le sujeta a una fuerza natural como la gravedad, o cuando se le impone una fuerza de presión por un medio mecánico (bomba). En los líquidos, las moléculas que los componen están en rápido movimiento entre si, debido a este movimiento los líquidos no tienen una forma definida y adoptan la forma del recipiente que los contenga. Esta es la propiedad de fluidez que hace posible su conducción. Y se considera a su recíproco la viscosidad.

$$\sum F = ma$$

1.1.3 Temperatura.

La temperatura se puede definir como una propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico.

Se puede expresar diversos valores numéricos de la temperatura con respecto a varias escalas. Algunas son absolutas (donde la temperatura se expresa como un valor relativo a la menor temperatura posible, el cero absoluto), y algunas escalas no lo son (las temperaturas se expresan en relación con un valor de referencia arbitrario). Las escalas no absolutas más comunes de temperatura son Fahrenheit y la de Celsius. Las escalas absolutas correspondientes (iguales excepto por el nivel de referencia) son respectivamente la Rankine y la Kelvin.



Las relaciones entre las escalas de temperaturas son las siguientes:

$$T (\text{Rankine}) = T (\text{Fahrenheit}) + 459.67$$

$$T (\text{Kelvin}) = T (\text{Celsius}) + 273.15$$

$$T (\text{Rankin}) = 1.80 T (\text{Kelvin})$$

$$T (\text{Celsius}) = 5/9(T \text{ Fahrenheit}-32)$$

$$T (\text{Fahrenheit}) = 9/5 T \text{ Celsius} + 32$$

1.1.4 Viscosidad.

Es la propiedad del líquido de oponerse al desplazamiento o al resbalamiento de sus capas. La viscosidad es la propiedad inversa de la fluidez; los líquidos con mayor viscosidad (glicerina, aceites lubricantes y otros) son menos fluidos y viceversa.

Al fluir el líquido viscoso a lo largo de una pared sólida, la corriente es frenada por la viscosidad. La velocidad de traslación de las capas "v" disminuye a medida que se reduce la distancia hasta la pared "y", llegando a ser "v = 0", cuando "y = 0", mientras que entre las capas tiene lugar un deslizamiento que va acompañado por el surgimiento de "fuerzas de rozamiento"(fuerzas tangenciales).

Hay dos bases de unidades de viscosidad: Viscosidad dinámica (μ) medida en términos de fuerza x tiempo / superficie, y viscosidad cinemática (ν) medida en términos de superficie / tiempo.

La viscosidad cinemática (ν) de un fluido es obtenida por la relación de la viscosidad absoluta entre la densidad del fluido.

$$\nu(\text{Centistokes}) = \frac{\mu(\text{cenpoise})}{\rho(\text{gramos} / \text{cm}^3)}$$

Las unidades, usualmente se expresan en términos que más sean convenientes, las unidades más usuales son:

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt}$$

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

La viscosidad varía muchísimo según la naturaleza del líquido, siendo completamente independiente de la densidad relativa del mismo y dependiente de la temperatura disminuyendo con el incremento de ésta. En los líquidos una molécula está mucho más próxima a la otra, puesto que en ellos la viscosidad se debe a las fuerzas de cohesión molecular, con el aumento de la temperatura estas fuerzas disminuyen, por lo cual la viscosidad disminuye.

La viscosidad puede verse afectada también por la presión, aunque en la mayor parte de las aplicaciones prácticas puede despreciarse su efecto.

Es un parámetro muy importante para determinar las pérdidas por rozamiento del líquido a través del sistema y afecta el diseño y construcción de la bomba.

1.1.5 Densidad o masa específica (ρ).

Se define a la densidad de una sustancia como su masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el SI es el Kilogramo por metro cúbico y se denota por Rho (libras por pie cúbico).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

1.1.5.1 Peso específico (γ).

Peso específico de una sustancia, es el peso por unidad de volumen y depende de la aceleración de la gravedad.

$$\gamma = \rho g$$

Puesto que depende de la gravedad, toma diferentes valores dependiendo la localidad.



El peso específico (o densidad relativa) es una medida relativa de la densidad. Como la presión tiene un efecto insignificante sobre la densidad de los líquidos, la temperatura es la única variable que debe ser tomada en cuenta.

1.1.5.2 Densidad referida.

Es la densidad estimada de un líquido a una presión y temperatura predefinida; ó sea, este valor de la densidad tiene un valor para ciertas condiciones particulares de presión y temperatura dadas, ejemplo:

Densidad del agua a "20° C y 0.023368. Bar abs ." es de: 998.2 Kg/m^3

1.1.5.3 Densidad Relativa o Gravedad Específica (GE).

Es la densidad de un líquido a una temperatura predefinida dividida por la densidad del agua a la misma temperatura predefinida. La gravedad específica no tiene dimensiones.

Gravedad específica:

$$GE = \frac{\rho_L}{\rho_{\text{Agua}}}$$

GE = Gravedad Específica.

ρ_L = Densidad del líquido.

ρ_{Agua} = densidad del agua.

También puede expresarse como la relación del peso específico de una sustancia a su correspondiente peso específico del agua:

$$GE = \frac{\gamma_L}{\gamma_{\text{Agua}}}$$

GE = Gravedad Específica.

γ_L = peso específico.

γ_{Agua} = densidad del agua.

1.1.5.4 Gravedad específica en línea (GI).

Es la gravedad específica del líquido a su presión y temperatura de flujo en el conducto.

1.1.5.5 Los Grados API.

Son una escala expandida para medir la gravedad específica. La conversión entre la gravedad específica a 60/60 °F (GE) y grado API puede ser realizada con la siguiente ecuación:

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{GE} - 131.5$$

1.1.5.6 El volumen específico (V_s)

El volumen específico de una sustancia es el recíproco de la densidad " ρ ", es decir, el volumen ocupado por la unidad de masa del fluido.

$$V_s = \frac{1}{\rho}$$

1.1.5.7 Vaporización.

La vaporización es propia a todo líquido (cambio del estado líquido al gaseoso), pero su



intensidad es diferente para diversos líquidos y depende de las condiciones en las cuales se encuentre el líquido. Uno de los índices que caracterizan la evaporación del líquido es la temperatura de ebullición, a la presión atmosférica normal (Pero se puede modificar el punto de ebullición variando la presión que se ejerce al líquido). Cuanto más alto es la temperatura de ebullición, tanto menor es la evaporación del líquido. Su valor se puede encontrar en tablas de los manuales para los diferentes líquidos.

1.2 PRESIÓN.

1.2.1 Definición de la Presión (P)

Es la fuerza ejercida por unidad de área, sus unidades comunes son Kgf/cm^2 o *psi*. Usualmente escrita:

$$P = F/A$$

F= fuerza.

A= area.

1.2.2 Presión estática.

Las moléculas de un líquido se encuentran en movimiento con dirección arbitraria, cada una es afectada por la fuerza gravitacional y tiende a desplazarse hacia el centro de la tierra. Cuando este movimiento descendente es impedido por un recipiente, la fuerza provoca que las moléculas se empujen unas con otras en todas direcciones y contra la pared del contenedor. Este empuje es llamado presión y en cualquier punto es proporcional a la distancia vertical bajo la superficie del líquido. El tamaño y forma del recipiente no altera esta presión.

Para los diferentes tipos de líquidos la altura estática es proporcional a sus propiedades. Es conveniente indicar el peso del líquido comparado con el peso del agua, la comparación o gravedad específica puede ser usada para calcular la altura estática a cualquier profundidad del líquido.

La unidad de presión más común para registrarla son las libras fuerza por pulgada cuadrada esta unidad se visualiza en un tubo vertical de una sección transversal uniforme de una pulgada cuadrada, llenado con agua a una altura 2.31 pies o 27.7 pulgadas con una gravedad específica de 1.0. Para esta cantidad de agua su peso sería de una libra, ósea, la presión estática en el fondo del tubo sería de una libra por pulgada cuadrada.

1.2.2.1 Columna de líquido.

Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo.

Esta presión puede expresarse en kilogramos por centímetro cuadrado kg/cm^2 , o como el número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como columna sobre la superficie. Nótese que el peso del líquido que actúa sobre la superficie es lo que produce la presión.

Considérese una columna vertical de agua fría (0 a 27°C) aproximadamente, con una altura de 10 metros. Un medidor de presión conectada en la parte inferior de la columna, mostrará una presión de 1 kg/cm^2 , en la base.

Así, columna y presión son términos intercambiables, siempre y cuando se expresen en sus unidades correctas. Para convertir una a la otra, úsese la fórmula:

$$\text{Columna líquida, metros} = [10 (\text{presión } \text{kg/cm}^2)] / \text{densidad}$$

1.2.2.2 Columna estática:

Se entiende por columna estática (*h*), a la distancia vertical desde la superficie libre hasta el punto bajo observación. Su medición es dada en unidades de longitud "*m, ft*". Por ejemplo, una presión de una atmósfera es equivalente a la presión en la base de una columna de mercurio de 760mm de longitud o de una columna de agua de 10.3 metros.



En las aplicaciones de bombas, generalmente se le llama a la altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba, columna estática en la entrada o salida, y se expresa como un cierto número de metros de líquido. La columna estática es la diferencia de elevación y puede calcularse para una variedad de condiciones que se encuentren en una instalación de bombeo.

1.2.3 La medición de la presión.

En la práctica, la presión se mide siempre por medio de la determinación de una diferencia de presión. Si la diferencia es la existente entre la presión del fluido en estudio y el vacío, entonces se conoce el resultado de presión absoluta del fluido. Si la presión del fluido se encuentra por debajo de la atmosférica, se le denomina de vacío o de succión; la presión absoluta siempre es positiva, pero las presiones manométricas son positivas si son mayores que la atmosférica y negativa si son menores a la atmosférica.

Por otro lado las propiedades de los líquidos se afectan por la presión absoluta de un líquido puede ser importante cuando ésta se encuentra en el punto de vaporización.

1.2.3.1 Presión atmosférica.

La gravedad provoca que las moléculas de los fluidos de la atmósfera se precipiten hacia el centro de la tierra. Esta precipitación origina una presión. La presión estática es originada por el peso de la atmósfera, a este peso se le denomina presión atmosférica. Al nivel de mar y a una temperatura de $32^{\circ}F$ su valor será de 14.7 psi .

1.2.3.2 Presión manométrica y absoluta.

La presión manométrica se mide con relación a la presión local. La presión que se mide (o que se define) en relación con una presión cero se denomina presión absoluta. La presión manométrica y absoluta se relacionan con la siguiente fórmula:

Presión absoluta = presión manométrica + presión atmosférica alrededor del manómetro

Las presiones menores que la presión atmosférica local a veces reciben el nombre de presiones de vacío. Una presión de vacío se expresa como un número positivo, por lo que:

Presión de vacío = presión atmosférica – presión absoluta = - presión manométrica

1.2.3.3 Presión de vapor.

Todos los líquidos tienen una tendencia a vaporizarse, esto es, a pasar de la fase líquida a la fase gaseosa. Esta vaporización ocurre porque continuamente se proyectan moléculas a través de la superficie libre del líquido, y se pierden del cuerpo mismo, como consecuencia de sus vibraciones térmicas naturales. Las moléculas expulsadas, por ser gaseosas, ejercen entonces su propia presión parcial, que se conoce como la presión de vapor "Pv" del líquido. Debido al aumento de actividad molecular por el aumento de temperatura, la presión de vapor aumenta al aumentar la temperatura del líquido.

La ebullición (formación de burbujas de vapor a través de la masa de fluido) ocurrirá (cualquiera que sea la temperatura) cuando la presión absoluta exterior impuesta sobre el líquido sea igual o menor que la presión de vapor del líquido. Esto significa que el punto de ebullición de un líquido, depende tanto de la presión impuesta sobre él como de su temperatura.

La baja presión de vapor del mercurio aunada a su alta densidad, hace que este líquido sea muy adecuado para usarse en barómetros y en otros dispositivos para la medición de presión. Los líquidos más volátiles, que se vaporizan más fácilmente, poseen las presiones de vapor más altas. Si se coloca un líquido en un recipiente sellado, con un espacio vacío arriba de la superficie del líquido, la vaporización continuará hasta que el vapor ejerza su presión de vapor, Pv, en el espacio antes vacío. En esta etapa el número de moléculas que escapa del líquido iguala exactamente al número de las que retornan al mismo. No obstante, si el espacio es demasiado grande, no se alcanza esta condición de equilibrio y el líquido continúa vaporizando



o evaporándose hasta que desaparece como tal, y sólo queda vapor a una presión menor o igual a P_v .

Los líquidos tienen una presión de vapor correspondiente que debe considerarse cuando se calcula un sistema de bombeo. La reducción de la presión en el tubo de succión de una bomba debajo de la presión de vapor del líquido, puede causar vaporización, es decir, formación de vapor del líquido. Puesto que una bomba para líquidos de diseño ordinario no puede bombear únicamente vapor, el flujo del líquido a la bomba se interrumpe y se dice que la unidad se encuentra “en vapor”. El método más comúnmente usado para evitar esta condición es el dar suficiente columna a la succión de la bomba para que la presión en el tubo de succión sea mayor que la presión de vapor líquido que se maneja.

La presión de vapor es un factor importante en las condiciones de succión de las bombas que manejan líquidos de todos los tipos. En cualquier sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, porque el líquido formará vapor que puede parcial o totalmente hacer que cese el flujo del líquido en la bomba.

Otro ejemplo que ilustra el porque se debe evitar reducir la presión de vapor de un líquido es el siguiente: Durante el flujo de un líquido a través de un estrechamiento local del tubo surge el aumento de la velocidad y la caída de presión. Si la presión absoluta alcanza un valor igual a la presión de vapor saturado de este líquido a una temperatura dada, en este lugar del flujo comienza la formación intensiva de vapor y el desprendimiento de gases, es decir, la ebullición local del líquido. En la parte donde el flujo se ensancha, la velocidad disminuye, pero la presión aumenta, y la ebullición cesa, el vapor desprendido se condensa parcial o totalmente.

Esta ebullición local del líquido, condicionada por la caída de presión local en el flujo con la subsiguiente condensación de los vapores en los lugares de presión elevada, se denomina cavitación.

1.3 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS.

1.3.1 Número de Reynolds (R_e).

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 adimensional de estas cuatro variables, es conocido como el número de Reynolds.

La longitud (l) y la velocidad (V) que aparecen en el número, son cantidades que se seleccionan como representativas. Es natural que la longitud y velocidad seleccionadas para el propósito, afecten el valor numérico de R_e , pero no afectan su significado fundamental. En muchas aplicaciones se han normalizado por convención la longitud y la velocidad que deben considerarse, por ejemplo, para el flujo dentro de un tubo de sección circular, la medición de la longitud representativa es el diámetro y la velocidad representativa es la velocidad promedio.

El número Reynolds es, un factor adimensional utilizado para determinar el régimen de flujo, la ecuación para tubos tiene la forma siguiente:

$$R_e = \frac{Vd}{\nu}$$

Donde:

V = velocidad de flujo ft/s.

d = Diámetro interno del ducto ft.

ν = Viscosidad cinemática ft^2/s .



Debido a que:

$$(V = Q / A)$$

Entonces:

$$R_e = \frac{2,214Q}{dv}$$

Donde:

A = área transversal del ducto,

Q = flujo BPH.

d = Diámetro interno del ducto pulgadas

v = Viscosidad cinemática.

La clasificación del régimen de flujo de acuerdo al número de Reynolds es:

Valor	Régimen de flujo.
$R_e < 2,000$	Laminar
$2,000 < R_e < 4,000$	Critico
$R_e > 4,000$	Turbulento

Tabla 1.1

1.3.1.1 Régimen de Flujo.

Régimen de flujo Laminar. Es caracterizado por partículas del fluido desplazándose en una fase lineal y existe a bajas velocidades de flujo, de acuerdo a esto, las partículas de fluido se mueven por completo según líneas rectas, aun cuando la velocidad con la que las partículas se mueven a lo largo de una línea no sea necesariamente la misma que a lo largo de otra línea. Ya que por lo anterior se puede considerar que el fluido se mueve en capas, o en laminas paralelas al eje del tubo, esta clase de flujo por lo general se denomina flujo laminar.

Régimen de flujo de transición. Si las láminas continúan moviéndose en línea recta hasta que se alcanza una velocidad en donde las laminas comienzan a ondularse y se rompen en forma brusca y difusa. Esto ocurre en la velocidad crítica.

Régimen de flujo Turbulento. Es caracterizado por el movimiento irregular y aleatorio de las partículas del fluido.



De acuerdo a la clasificación de la tabla 1.1 el régimen de flujo se muestra de la siguiente manera.

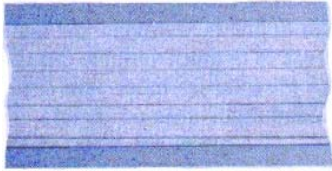
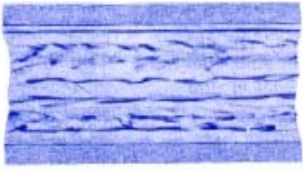
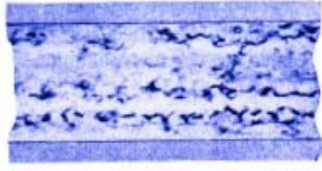
		
Flujo laminar. En la figura se muestra como las partículas del fluido se mueven en línea recta.	Flujo transición. En la figura se observa como comienzan a ondularse.	Flujo turbulento. Se observa el movimiento irregular y aleatorio.

Figura 1.2

1.4 ECUACIONES GENERALES.

1.4.1 Teorema de Bernoulli

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:

$$Z + \frac{P}{\rho g_n} = H$$

$$Z + \frac{144P}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = H$$

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 1.3.

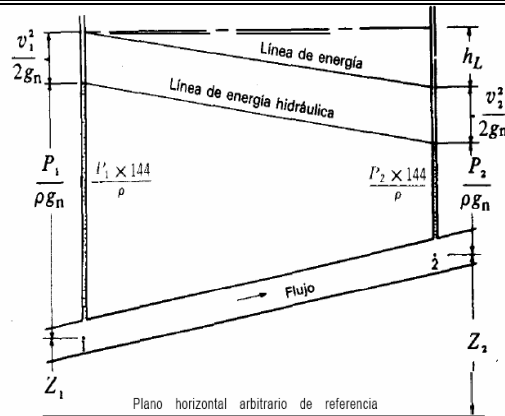


Figura 1.3

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:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g_n} + \frac{v_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g_n} + \frac{v_2^2}{2g_n} + h_L$$

$$Z_1 + \frac{144P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

1.4.2 Fórmula de Darcy.

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. Si se conectan dos manómetros Bourdon a una tubería por la que pasa un fluido, según se indica en la figura 1-4, el manómetro P_1 indicaría una presión estática mayor que el manómetro P_2 .

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y que se expresa en metros de fluido, es: $h_f = fL v^2 / D 2g_n$. Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión en newton por m^2 (pascales) sustituyendo las unidades correspondientes de la manera siguiente:

$$\Delta P = \frac{\rho f L v^2}{2D} \quad (\text{ya que } \Delta P = h_f \rho g_n)$$

$$\Delta P = \frac{\rho f L v^2}{144 D 2g}$$

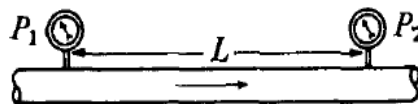


Fig. 1.4

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.



Con la ecuación se obtiene la pérdida de presión debida al rozamiento y se aplica a tubería de diámetro constante por la que pasa un fluido cuya densidad permanece razonablemente constante, a través de una tubería recta, ya sea horizontal, vertical o inclinada. Para tuberías verticales, inclinadas o de diámetro variable, el cambio de presión debido a cambios de elevación, velocidad o densidad del fluido debe hacerse de acuerdo con el teorema de Bernoulli.

1.4.2.1 Factor de fricción: La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción f , que debe ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re, < 2000$) es función sólo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ($Re, > 4000$) es también función del tipo de pared de la tubería. La región que se conoce como la "zona crítica" aparece entre los números de Reynolds de 2000 a 4000. En esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de varios factores; éstos incluyen cambios de sección, de dirección del flujo y obstrucciones tales como válvulas corriente arriba de la zona considerada. El factor de fricción en esta región es indeterminado y tiene límites más bajos si el flujo es laminar y más altos si el flujo es turbulento. Para números de Reynolds superiores a 4000, las condiciones de flujo vuelven a ser más estables y pueden establecerse factores de rozamiento definitivos. Esto es importante, ya que permite al ingeniero determinar las características del flujo de cualquier fluido que se mueva por una tubería, suponiendo conocidas la viscosidad y la densidad en las condiciones del flujo.

Si el flujo es laminar ($Re, < 2000$), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu}{Dv\rho} = \frac{64\mu}{dv\rho}$$
$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu}{Dv\rho} = \frac{64\mu}{124dv\rho}$$

Si esta ecuación se sustituye en la ecuación la pérdida de presión en newton por m^2 , la caída de presión en libras por pulgada cuadrada es:

$$\Delta P = 0.000668 \frac{\mu Lv}{d^2}$$

Que es la ley de Poiseuille para flujo laminar.

Cuando el flujo es turbulento ($Re, > 4000$) el factor de fricción depende no sólo del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, E/d , es decir, la rugosidad de las paredes de la tubería (E) comparada con el diámetro de la tubería (d). Para tuberías muy lisas, como las de latón extruido o vidrio, el factor de fricción disminuye más rápidamente con el aumento del número de Reynolds, que para tuberías con paredes más rugosas.

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



C A P Í T U L O 2

BOMBAS

2.1 BOMBAS ROTODINÁMICAS

2.1.1 Definición.

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

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche, etcétera; estas últimas constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias). También se emplean las bombas para bombeo de líquidos espesos, con sólidos en suspensión como pasta de papel, melazas, fangos, desperdicios, etcétera.

Las bombas se clasifican según el Institute of Hydraulic en:

1. Bombas rotodinámicas. Conocidas también como turbomáquinas ya que son siempre de movimiento rotativo y la dinámica de la corriente juegan un papel esencial en la transmisión de energía. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama impulsor.
2. Bombas de desplazamiento positivo. A este grupo pertenecen no sólo las bombas alternativas, sino las rotativas llamadas rotoestáticas porque son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo.

2.1.2 Clasificación.

Estas se pueden clasificar:

- Según la dirección del flujo: en flujo radial, axial y radioaxial (mixto).
- Según la posición del eje: en eje horizontal, vertical e inclinado.
- Según la presión generada: de baja, mediana y alta presión.
- Según el número de succiones en la bomba: de simple aspiración o de un flujo y de doble aspiración o de dos flujos.
- Según el número de impulsores: de un escalonamiento o de varios escalonamientos (etapas).
- Según el número específico de revoluciones: los impulsores se representan en una familia geoméricamente semejante.

2.1.3 Elementos Constitutivos.

Entre los elementos principales que conforman una bomba, se enumeran los elementos siguientes:

Impulsor, que gira solidario con el eje de la máquina y consta de un cierto número de álabes que imparten energía al flujo en forma de energía cinética y energía de presión.

El impulsor reviste formas muy variadas y aún caprichosas, cuando la aplicación particular lo requiere. Los impulsores se clasifican en cuatro tipos según la forma de sujeción de los álabes. Estos cuatro pueden ser del tipo:



- Cerrado de simple aspiración.
- Cerrado de doble aspiración.
- Semiabierto de simple aspiración: sin la cara anterior, los álabes se fijan sólo en la cara posterior.
- Abierto de doble aspiración sin cara anterior ni posterior: los álabes se fijan en el núcleo o cubo del impulsor.

Si la bomba tiene varios pasos, entonces el caudal recogido a la salida de un impulsor se dirige al siguiente y se conoce como impulsores en serie.

El impulsor de la bomba va cambiando insensiblemente de forma para adaptarse a las diferentes condiciones de servicio.

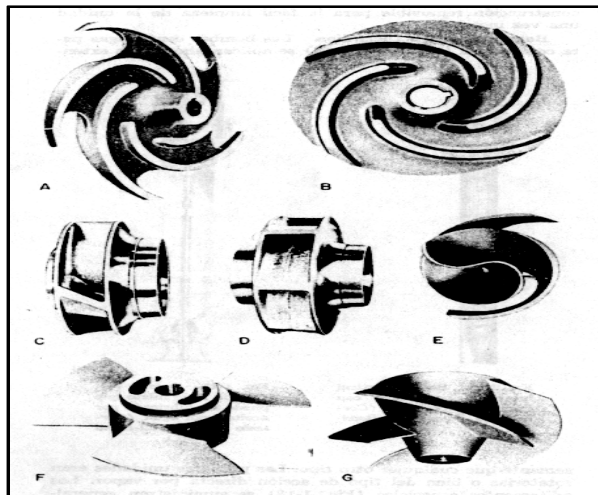


Figura 2.1. Impulsores típicos

Corona directriz o corona de alabes fijos, que recoge líquido del impulsor y transforma la energía cinética comunicada por el impulsor en energía de presión, ya que la sección de paso aumenta en esta corona en la dirección del flujo. Esta corona directriz no existe en todas las bombas; porque encarece su construcción; aunque hace a la bomba más eficiente.

1. Caja espiral, que transforma también energía dinámica en energía de presión, y recoge además con pérdidas mínimas de energía el fluido que sale del impulsor, conduciéndolo hasta la tubería de salida o tubería de impulsión.
2. Tubo difusor troncocónico, que realiza una tercera etapa de difusión o sea de transformación de energía dinámica en energía de presión.



2.1.4 Pérdidas, Potencias y Rendimiento.

2.1.4.1 Perdidas.

Todas las pérdidas en la bomba (entre las secciones de entrada y salida) se pueden clasificar en tres grupos:

- Pérdidas hidráulicas.
- Pérdidas volumétricas.
- Pérdidas mecánicas.

2.1.4.2 Pérdidas hidráulicas.

Las pérdidas hidráulicas disminuyen la energía específica aprovechable que la bomba comunica al fluido y consiguientemente de la altura útil. Son de dos clases, pérdidas de superficie y pérdidas de forma: las pérdidas de superficie se producen por el rozamiento del fluido con las paredes de la bomba (impulsores, corona directriz...) o de las partículas del fluido entre sí; las pérdidas de forma se producen por el desprendimiento de la capa límite en los cambios de dirección y en toda forma difícil al flujo, en particular a la entrada de los impulsores si la tangente del alabe no coincide con la dirección de la velocidad relativa a la entrada, o a la salida de los impulsores si la tangente del alabe de la corona directriz no coincide exactamente con la velocidad absoluta a la salida. Las pérdidas hidráulicas se originan, en:

- La entrada del impulsor.
- En el impulsor.
- En la corona directriz, si existe.
- En la caja espiral.
- Desde la salida de la caja hasta la salida de la bomba, o punto S.

2.1.4.3 Pérdidas volumétricas

Estas pérdidas, que se denominan también pérdidas intersticiales, son pérdida de caudal y se divide en dos clases: pérdidas exteriores y pérdidas interiores qi.

Las pérdidas volumétricas exteriores que: constituyen una salpicadura de fluido al exterior, que se escapa por juego entre la carcasa y el eje de la bomba, que la atraviesa. Para reducirlas se utiliza la caja de empaquetadura, que se llena de estopa o material de cierre, provista de su correspondiente tapa o prensaestopas con pernos, que permiten comprimir el prensaestopas contra el eje de la máquina mejorar el cierre. Esta presión, sin embargo, no puede ser excesiva para no aumentar las pérdidas mecánicas. Como material de cierre se utiliza mucho el amianto grafitado.

Las pérdidas volumétricas interiores, son las más importantes y reduce mucho el rendimiento volumétrico de algunas bombas; aunque que se haya reducido prácticamente a cero por un material de alta calidad. La explicación de esta pérdida es la siguiente: a la salida del impulsor de una bomba o de un ventilador hay más presión que a la entrada. Luego parte del fluido en vez de seguir a la caja espiral retrocederá, por el conducto que forma el juego del impulsor con la carcasa, a la entrada del impulsor, para volver a ser impulsado por la bomba. Este caudal, llamado caudal de cortocircuito, absorbe energía del impulsor.

Para reducir las pérdidas se construye un laberinto que aumenta fuertemente las pérdidas hidráulicas disminuyendo consiguientemente el caudal.

2.1.4.4 Pérdidas mecánicas

Este tipo de pérdidas son debidas al rozamiento de las partes mecánicas de la bomba como en el:

- Prensaestopas
- Eje con los cojinetes.
- Rozamiento de disco. Se deben al rozamiento de la pared exterior del impulsor con la atmósfera del fluido que le rodea. Es decir, el impulsor de una bomba en esquema, es un disco o mejor una caja en cuyo interior circula el fluido; pero en el



exterior, o sea en el juego entre el impulsor y la carcasa, inevitablemente penetra también el fluido: el disco no gira, pues, en el vacío, sino en una atmósfera viscosa donde se produzca un rozamiento que incluimos en las pérdidas mecánicas y se denominan pérdidas por rozamiento de disco.

2.1.5 Potencia y Rendimiento.

En las potencias se utiliza la nomenclatura siguiente:

P_a es la potencia de accionamiento = potencia absorbida = potencia al freno = potencia del eje. Los cuatro nombres se utilizan en la práctica. Así, en un grupo de moto-bombas (motor eléctrico - bomba) P_a no es la potencia absorbida de la red, sino la potencia libre en el eje (potencia absorbida de la red multiplicada por el rendimiento de motor eléctrico).

P_i es la potencia interna: potencias suministrada al impulsor, igual a la potencia de accionamiento menos las pérdidas mecánicas.

P es la potencia útil: el incremento de potencia que experimenta el fluido en la bomba.

Aquí mismo se representan además los equivalentes en potencia de las pérdidas siguientes:

- P_h^r son las pérdidas hidráulicas: P_{h1}^r son las pérdidas por rozamiento de superficie; P_{h2}^r son las pérdidas por rozamiento de forma.
- P_v^r son las pérdidas volumétricas: P_{v1}^r son las pérdidas por caudal al exterior; P_{v2}^r son las pérdidas por cortocircuito.
- P_m^r son las pérdidas mecánicas: P_{m1}^r son las pérdidas por rozamiento en el prensaestopas; P_{m2}^r son las pérdidas por rozamiento en los cojinetes y accionamiento de auxiliares; P_{m3}^r son las pérdidas por rozamiento de disco.

2.1.5.1 Potencia de accionamiento, P_a

Es la potencia en el eje de la bomba o potencia mecánica de que la bomba absorbe. Esta potencia según la mecánica tiene la siguiente expresión:

$$P_a = M\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot nM$$

o también

$$P_a = 0.1047 nM$$

Esta expresión es muy útil en los ensayos de bombas realizados en los bancos de prueba, donde se mide n con un cuentarrevoluciones y M con un torciómetro o midiendo el par de reacción con un motor de accionamiento basculante.

2.1.5.2 Potencia interna, P_i

Es la potencia total transmitida al fluido, o sea la potencia de accionamiento, descontando las pérdidas mecánicas;

$$P_i = P_a - P_m^r$$

2.1.5.3 Potencia útil, P

Es la potencia de accionamiento descontando todas las pérdidas de la bomba o equivalentemente la potencia interna descontando todas y sólo las pérdidas internas (hidráulicas y volumétricas). Luego:

$$P = P_a - P_m^r - P_v^r - P_h^r \\ = P_i - P_v^r - P_h^r$$



2.1.6 Rendimiento.

2.1.6.1 Rendimiento hidráulico η_h

Tiene en cuenta sólo las pérdidas de altura total, H_{r-int} en la bomba. Como, $H = H_u - H_{r-int}$, el valor de η_h es:

$$\eta_h = \frac{H}{H_u}$$

2.1.6.2 Rendimiento volumétrico, η_v

Se tienen en cuenta todas y sólo las pérdidas volumétricas, y su valor es:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q_e + q_i}$$

Donde Q es el caudal útil o caudal efectivo impulsado por la bomba; $(Q + q_e + q_i)$ es el caudal teórico o caudal bombeado por el rodete.

2.1.6.3 Rendimiento interno, η_i

Tiene en cuenta todas y sólo las pérdidas internas, o sea las hidráulicas y volumétricas y engloba ambos rendimientos hidráulico y volumétrico.

$$\eta_i = \eta_h \cdot \eta_v$$

2.1.6.4 Rendimiento mecánico, η_m

Se tienen en cuenta todas y sólo las pérdidas mecánicas, y su valor es:

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_a}$$

2.1.6.5 Rendimiento total η_{tot}

Tiene en cuenta todas las pérdidas en la bomba y su valor es:

$$\eta_{tot} = \eta_i \cdot \eta_m = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$

2.1.7 Terminología.

2.1.7.1 Columna o carga total de bombeo.

En un sistema de bombeo, se le da el nombre de columna o carga total, a la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro. De acuerdo con lo anterior, la carga total (H) para una bomba centrífuga horizontal, es igual a la diferencia entre la carga de descarga (HD) y la carga de succión (HS) es decir:

En la fig.2.2 se presentan dos casos típicos de instalación de bombas centrífugas horizontales; difieren entre si, en el caso A) la bomba se localiza en un nivel superior al de la superficie libre del agua en la succión, actuando únicamente la presión atmosférica, tanto en la succión como en la descarga.

En el caso B) la bomba se encuentra a un nivel inferior al del agua en la succión, y además se supone que, en la succión o en la descarga o bien en ambos, actúa una presión P_s y P_d respectivamente, que es diferente a la atmosférica.

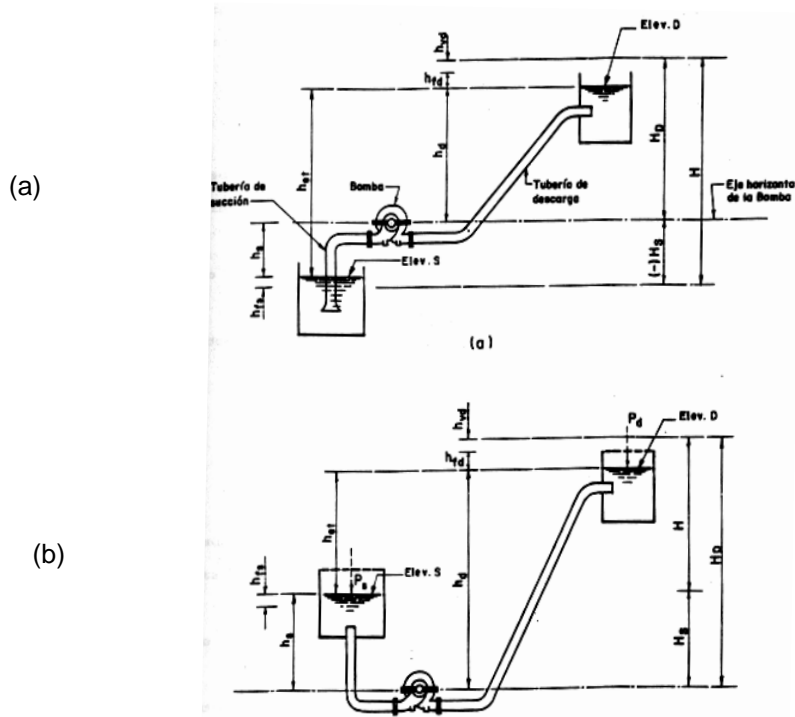


Figura 2.2. Instalaciones típicas de bombas centrífugas horizontales.

Para determinar el valor de la columna en el caso A), tenemos que la carga de succión es una carga negativa, por lo que, la columna valdrá numéricamente, la suma de HD y HS, es decir:

$$HS = -hs - hfs \quad (a)$$

$$HS = hs + hfs$$

$$HD = hd + hfd + hvd \quad (b)$$

Sustituyendo (a) y (b), tenemos que el valor de la carga total es:

$$H = hd + hfd + hvd + hs + hfs$$

O también

$$H = het + hfd + hvd + hfs$$

dónde:

$$het = hd + hs = \text{Elevación. D} - \text{Elevación. S}$$

Para el caso b), se tiene que el valor de la columna es:

$$H = hs - hfs \quad (a')$$

$$HD = hd + hfd + hvd \quad (b')$$

Sustituyendo (a') y (b'), tenemos que el valor total de la carga es:

$$H = hd + hfd + hvd - hs + hfs$$



O también

$$H = h_{et} + h_{fd} + h_{vd} + h_{fs}$$

Donde:

$$h_{et} = h_d - h_s = \text{Elev. D} - \text{Elev. S}$$

Si se considera que se tienen las presiones (P_s) y (P_d) diferentes a la atmosférica, el valor de la carga será:

$$H_S = h_s - h_{fs} + P_s$$

$$H_D = h_d + h_{fd} + h_{vd} + P_d$$

$$H = h_d + h_{fd} + h_{vd} + P_d - h_s + h_{fs} - P_s$$

$$H = h_d + h_{fd} + h_{vd} - h_s + h_{fs} + P_d - P_s$$

Considerando que, $h_d - h_s = h_{et}$, se tiene que:

$$H = h_{et} + h_{fd} + h_{vd} + h_{fs} + (P_d - P_s)$$

En todas las expresiones anteriores, los términos representan lo siguiente:

H (Carga total).- Es la suma de las energías que se tienen en el sistema cuando se trabaja la bomba a determinada capacidad. Se expresa en metros de columna de agua absoluta o manométrica.

HS (Elevación de succión o carga de succión).- Se le da el primer nombre cuando la bomba se localiza arriba del nivel del agua en la succión (caso A), y el segundo, cuando la elevación de ese nivel es superior al sitio de la bomba (caso B). Su valor es igual a la carga estática de succión, menos todas las pérdidas de energía que se tengan en la succión más alguna otra presión (diferente a la atmosférica) que se tenga en ese sitio, convertida naturalmente en metros de columna de agua.

Hs (Elevación estática de succión o carga estática de succión).- Recibe uno u otro nombre según que la bomba se encuentre arriba o abajo del nivel de la superficie libre del agua en la succión. Su valor es igual a la diferencia de elevaciones entre el eje horizontal de la bomba y la superficie del agua en el suministro. En el caso A, por ejemplo, se tiene un valor negativo pero se suma algebraicamente en el cálculo de la columna.

Hfs (Carga de fricción en la succión).- Es la carga equivalente en metros, que se necesita para vencer todas las pérdidas de energía debidas al flujo en la tubería de succión.

Las pérdidas son principalmente:

Pérdidas por entrada.- Su magnitud dependerá del diseño del extremo de la tubería en la entrada del agua.

Pérdidas por accesorios.- Es debida a codos, válvulas, etc. que se tengan en la succión. Se acostumbra incluir estas pérdidas en el cálculo de la fricción, para lo que se expresa en longitud equivalente a la tubería que se use.

HD (Carga de descarga).- Es la suma de las cargas estática (h_d), de fricción (h_{fd}) y de velocidad (h_{vd}) en la línea de descarga. Ocasionalmente se considera la presión P_d diferente a la atmosférica que se pudiera tener en el sitio de descarga. Normalmente, tanto la carga (HD) como la de succión (HS) se expresan con relación al eje horizontal de la bomba, sin embargo, puede tomarse como referencia otra elevación haciendo la aclaración correspondiente.

En la fig. 2.3 se tienen 3 casos más de descarga. En el sistema (a), la carga estática (h_d) de descarga, es mayor que como se define generalmente, en el sistema (b), se muestra un caso



típico de descarga con sifón y en el sistema (c), la carga se suma con signo negativo ya que actúa a favor del escurrimiento.

La descarga con sifón se usa con el objeto de reducir la columna o carga total de la bomba durante la operación, aprovechando la forma de trabajo de este dispositivo, se consigue por lo tanto, reducir la potencia y probablemente un equipo de menor capacidad.

hd (Carga estática de descarga).- Es la diferencia de elevación entre la superficie libre del agua en la descarga y el eje horizontal de la bomba.

Esta medida vertical se define así, porque generalmente la terminal de la tubería de descarga se ahoga con el objeto de disipar la energía de velocidad o evitar la entrada de aire en ella.

het (Carga estática total).- En general, es la diferencia de la elevación de descarga y la elevación de la superficie libre del agua en la succión.

hfd (Carga de fricción en la descarga).- Esta incluye todas las pérdidas de energía que se tienen a partir de la boquilla de la bomba y en la tubería de descarga. Estas pérdidas son debidas a la fricción a lo largo de dicha tubería, a cambios de dirección y a todos los accesorios que se tengan en la misma.

hvd (Carga de velocidad en la descarga).- Se puede definir como la altura a la cual una cantidad de agua debe caer para adquirir una cierta velocidad. Su valor se calcula con la siguiente expresión:

$$hvd = v^2/2g$$

Donde:

hvd = Carga de velocidad en m.

v = Velocidad del agua en la tubería de descarga en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad, 9.81 m/seg².

Esta carga equivale a la energía cinética que se tiene en un sistema de bombeo. Por lo tanto, para conocer el valor de la columna total (suma de energías cinética y potencial) a la lectura manométrica en un aparato instalado en cualquier punto de una tubería en funcionamiento, deberá sumársele la carga de velocidad ya que un manómetro sólo registra lo relativo a la energía potencial. En general, el valor de la carga de velocidad en la descarga, es relativamente pequeño y considerarlo en la determinación de la columna total no afecta sensiblemente el valor final, en la practica se ha observado que en instalaciones con columnas grandes, su valor no es necesario tomarlo en cuenta, pero cuando se tienen columnas relativamente pequeñas siempre se debe tomar en cuenta.

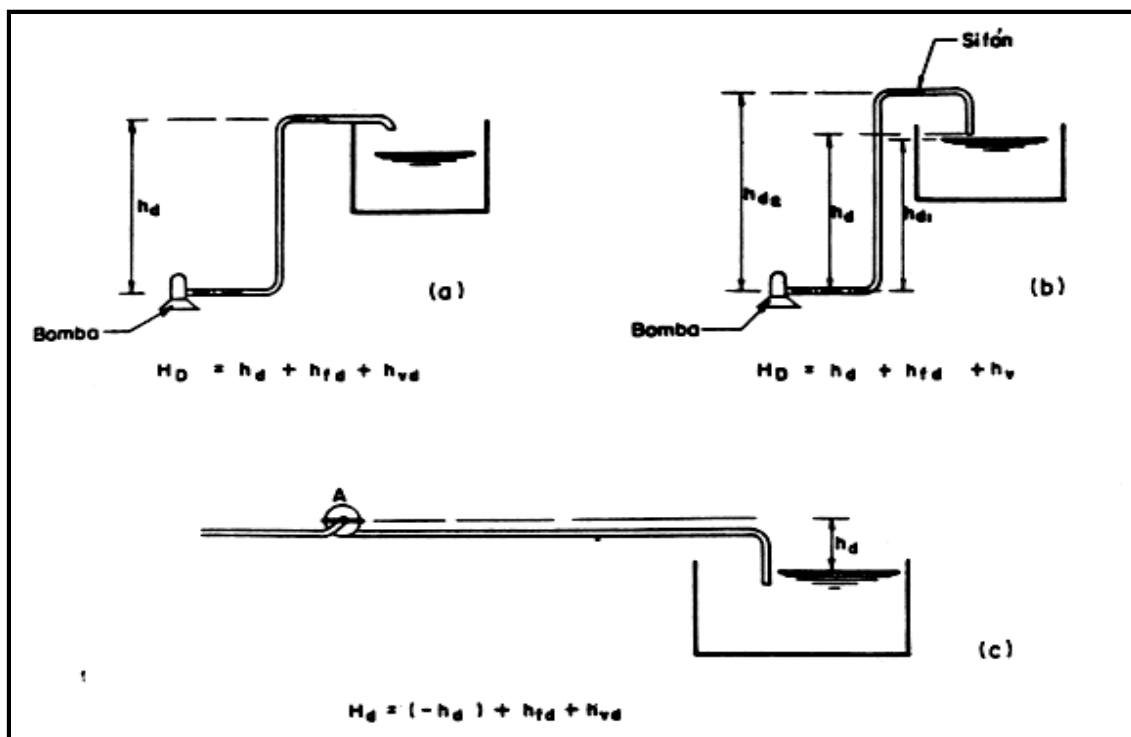


Figura 2.3. Descargas típicas.

2.1.7.2 Carga Neta de Succión Positiva (CNSP o NPSH).

Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido.

En la práctica se ha observado que una determinación incorrecta de la CNSP puede ocasionar fundamentalmente problemas de cavitación, disminución de la eficiencia del equipo y por lo mismo problemas de operación de un sistema de bombeo.

Los fabricantes de bombas usualmente emplean las siglas del nombre en inglés de este concepto, o sea NPSH (Net Positive Suction Head), por lo que es conveniente tener presente también estas siglas para evitar confusiones.

Dentro de este concepto hay dos términos que son de suma importancia para su cálculo correcto, estos son, la CNSP requerida y la CNSP disponible. La CNSP requerida es la diferencia mínima de presión entre la carga de succión y la presión de vapor del líquido manejado, que necesita una bomba para operar a determinada capacidad. En el caso del presente trabajo, la presión del vapor corresponderá al agua.

El valor de la CNSP disponible depende del diseño de cada bomba, siendo diferente para cada tipo y modelo, pero principalmente, es función de la capacidad de trabajo y de las velocidades del agua en la succión y en los impulsores, por lo tanto los siguientes factores influyen para valuar su magnitud: forma y área de los conductos de succión, diámetro del ojo del impulsor, forma y número de álabes, espacio entre ellos, velocidad específica de la bomba y otras características propias de fabricación, como la flecha y cubo del impulsor.

El valor de la CNSP es un dato que proporciona al fabricante, pues es una característica propia de cada modelo de bomba, se puede encontrar en catálogos editados por los distribuidores de bombas. Esta carga generalmente la refieren al eje horizontal de la bomba o del impulsor.



La CNSP disponible es la diferencia entre la presión absoluta que se tiene en una instalación y la presión de vapor del agua. De acuerdo con la definición anterior, la CNSP disponible dependerá fundamentalmente del lugar en el que se lleve a cabo el bombeo y de la presión de vapor del agua a la temperatura dominante en ese lugar, así como de las condiciones físicas de la instalación; considerando lo último, es posible, si se desea alterar su valor (lo cual no se puede hacer con la CNSP requerida) dadas unas características, variando algún elemento de esas condiciones.

Para cualquier condición de trabajo, la CNSP disponible, en cualquier instalación, deberá ser como mínimo igual al valor de la CNSP requerida por la bomba de que se trate; pero se recomienda que ese valor mínimo sea un poco mayor, por lo que se puede expresar de la siguiente manera:

CNSP disponible > CNSP requerida

(CNSP) d > (CNSP) r

2.1.7.3 CNSP Disponible en casos típicos.

A continuación se dan las expresiones matemáticas para el cálculo de la CNSP disponible, de acuerdo con los esquemas de bombeo indicados en la fig. 2.4. En todas las expresiones los términos se expresan en metros y significan lo siguiente:

(CNSP) d = Carga neta de succión positiva disponible.

Pab = Presión absoluta.

Pv = Presión de vapor de agua a la temperatura de bombeo.

Hab = Carga equivalente a la presión absoluta.

Hb = Carga correspondiente a la presión atmosférica.

HS = Carga de succión.

hs = Carga estática de succión.

hfs = Carga de fricción en la succión.

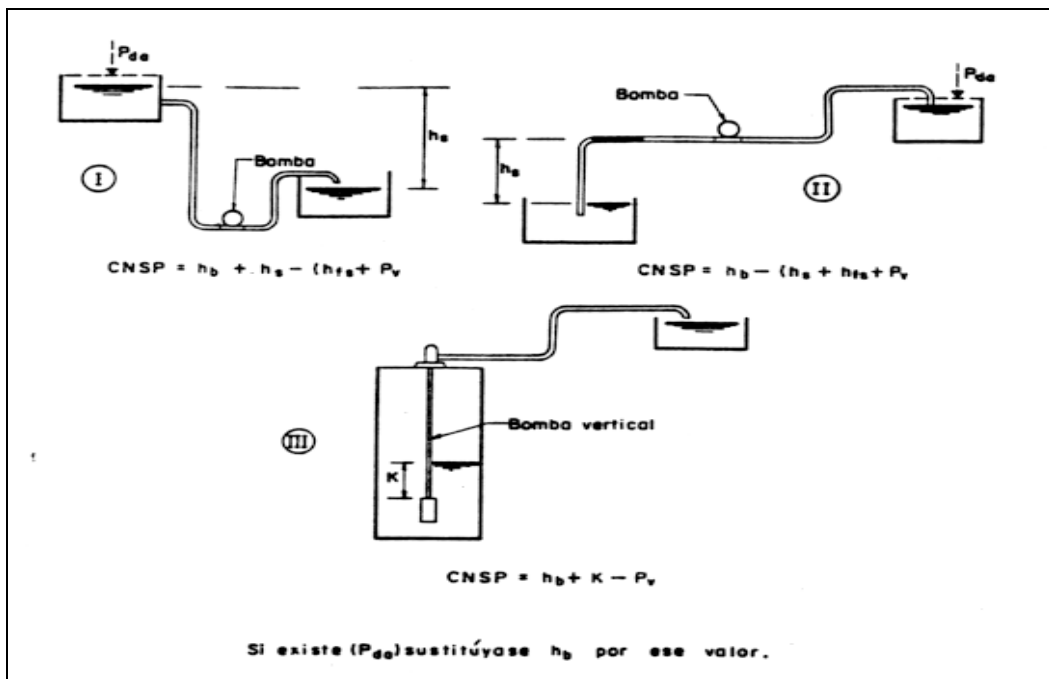


Figura 2.4.CNSP disponible en casos típicos



2.1.8 Uso de curvas.

Para seleccionar una curva apropiadamente para una aplicación dada, debe usarse por lo menos un punto de la curva del sistema de columna. Para algunas aplicaciones, pueden dos o más puntos para obtener la disposición más económica.

En la práctica, cada aplicación debe comprobarse para determinar la magnitud de las diversas pérdidas hidráulicas. Una vez que se conoce la magnitud, puede tomarse una decisión en cuanto a que pérdidas pueden despreciarse en los cálculos de la columna del sistema.

2.1.9 Curva característica de la bomba.

Una bomba centrífuga que se opera a velocidad constante puede suministrar cualquier capacidad de cero a un máximo, dependiendo de la columna, diseño y succión. Las curvas características (Fig. 2.5) muestran la relación existente entre columna de bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa. Es habitual dibujar la columna, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante, como en la fig. 2.5. Pero en casos especiales es posible señalar en las gráficas tres variables cualesquiera contra una cuarta.

La curva de capacidad de columna, conocida como HQ (fig. 2.5), muestra la relación entre la capacidad de columna total, y puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación o casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor usado y de su diseño. En la curva A en la fig. 2.5 la columna desarrollada por la bomba es de 43.80 m de líquido, capacidad de 67 litros por segundo A 36.50 m de columna B la capacidad de la bomba sube a 93.80 litros por segundo.

Aun cuando las bombas centrífugas pueden seleccionarse y generalmente se seleccionan en tablas de clasificación (Tabla 2-1, formada por la elección de ciertos puntos de las curvas características), las curvas de comportamiento dan una imagen mucho más clara de las características de la unidad a una velocidad dada. Las curvas de eficiencia generalmente se eliminan de una gráfica de características compuestas (fig.2.7) debido a que es difícil el trazarlas. Sin embargo, para objetivos de selección fácil, tales gráficas proporcionan los datos normalmente requeridos - capacidad, columna, tamaño de la bomba y HP del motor. Una vez que se ha elegido el tamaño de la bomba, puede usarse como referencia una curva como la mostrada en la fig. 2.6 para el diámetro del impulsor, eficiencia y otros detalles.

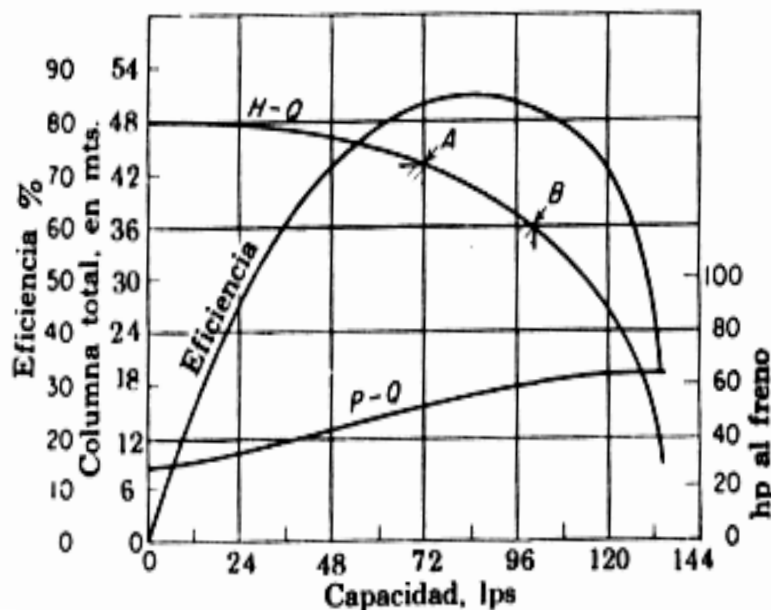


Figura 2.5. Curvas características típicas para una bomba centrífuga.

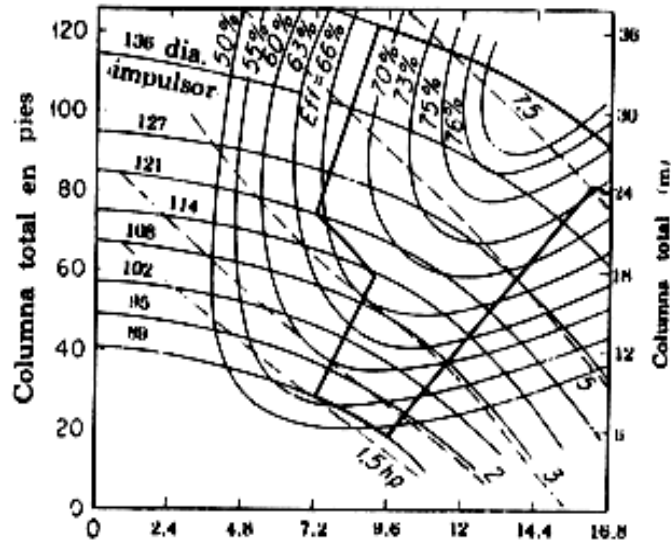


Figura 2.6. Características de una bomba para diferentes diámetros del impulsor dentro de la misma cubierta



Tabla 2-1 Tabla Típica de Características de Bombas Centrífugas*					
Tamaño (lps)	Columna total, en metros				
	3	4.5	6	7.5	9
2C:					
6.3	.....	.....	1000-0.8	1060-1.0	1150-1.2
9.4	.....	.....	1070-1.2	1150-1.5	1240-1.7
12.6	.....	.....	.....	1290-2.1	1360-2.4
3CS:					
9.4	750-0.53	850-0.78	950-1	130-1.2	110-1.5
12.6	.....	950-1.1	1010-1.4	1100-1.7	1170-2
15.8	.....	.....	1170-1.9	1190-2.3	1260-2.6
18.9	.....	.....	.....	.....	1400-3.5
3CL:					
12.6	690-0.63	800-0.95	910-1.3	1010-1.6	1110-2.05
18.9	870-1.2	950-1.6	100-1.9	110-2.4	1170-2.8
25.2	.....	.....	1200-3.1	1230-3.7	1290-4.1
31.5	.....	.....	.....	.....	1490-5.8
4C:					
25.2	750-1.3	850-1.8	940-2.4	1040-3	1120-3.7
37.8	.....	.....	1080-4	1170-4.6	1210-5.5
50.5	.....	.....	.....	.....	140-8.4
11/4D:					
1.6	.....	617-0.21	707-0.03	778-0.40	845-0.51
3.15	.....	680-0.37	760-0.49	865-0.63	900-0.76
4.73	.....	.....	856-0.78	916-0.94	980-1.1
6.3					
7.9					
9.4					
2DL:					
9.4	.....	820-0.93	850-1.1	930-1.35	990-1.6
12.6	.....	.....	970-1.8	1040-2.1	1080-2.3
15.8					
18.9					
Ejemplo: 1080-4 indica que la velocidad de la bomba es 1080 rpm					
Potencia requerida para operar la bomba es de 4 hp.					
*Condensado de datos de Goulds Pumps, Inc.					

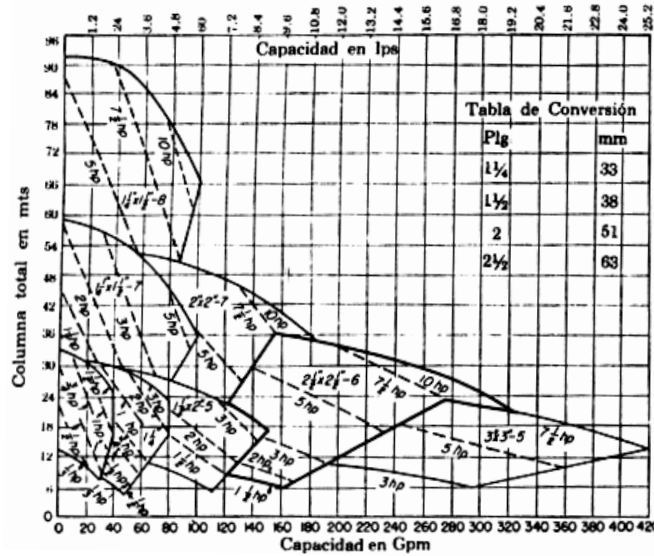


Figura 2.7. Gráfica de características compuestas para una bomba centrífuga típica. Las gráficas de las condiciones en un sistema de bombeo existente o propuesto, pueden ser auxiliares importantes en el análisis del sistema.

2.1.10 Curva del Sistema.

La curva del sistema se obtiene combinando la columna de fricción del sistema con la columna estática del mismo y las diferencias de presiones que puedan existir en él. Una curva de columna de fricción, es una curva de la relación entre el flujo, el tamaño y la fricción en los tubos, longitud, número y tipo de los accesorios, velocidad del flujo del líquido y naturaleza de éste. La fig. 2.8 muestra los elementos que intervienen en un sistema de bombeo típico. Para un sistema dado, Puesto que la columna de fricción varía aproximadamente en forma proporcional al cuadrado del flujo, la curva es generalmente parabólica. La columna estática es la diferencia en elevación entre los niveles líquidos de la succión y la descarga.

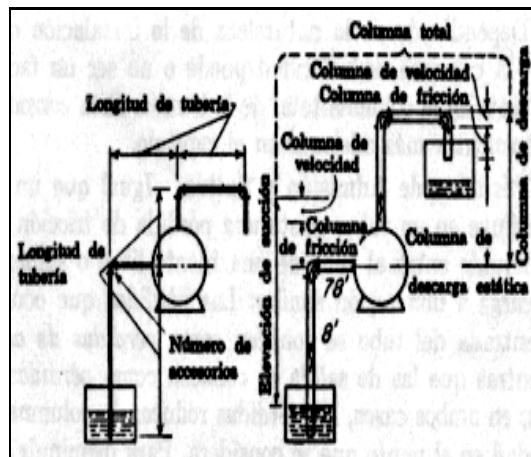


Figura 2.8. Factores que intervienen en la columna total de una bomba.

Cuando una bomba sufre desgaste se tendrá con toda seguridad una pérdida tanto en capacidad como en eficiencia. La cantidad de pérdida para un desgaste determinado, sin



embargo, depende mucho de la forma de la curva de columna del sistema. Para una bomba centrífuga, la pérdida de capacidad es mayor para un desgaste determinado si la curva de columna del sistema es aplanada, comparada con una curva muy inclinada.

2.1.11 Operación en Paralelo o en Serie.

Cualquier tipo de conexión o cualquier clase de bomba puede presentar problemas. Frecuentemente, cuando la demanda es excesivamente variable, pueden operarse dos o más bombas en serie o en paralelo para satisfacer la demanda alta, usando una bomba para las demandas bajas. Para especificar correctamente las bombas y juzgar su comportamiento bajo varias condiciones, debe usarse la curva de columna del sistema en unión de las curvas de comportamiento de las bombas compuestas.

Para bombas en serie el comportamiento se obtiene agregando las columnas a la misma capacidad. Cuando las bombas operan en paralelo el comportamiento se obtiene agregando las capacidades para la misma columna. El superponer la curva de la columna del sistema sobre la de comportamiento de la bomba indica claramente los gastos que pueden esperarse y las columnas a que operará cada bomba.

Cuando los requerimientos de bombeo son variables es mejor instalar varias bombas pequeñas en paralelo, en vez de usar una sola más grande. Cuando cae la demanda una o más bombas pequeñas pueden ser cerradas, de esta forma permite que el resto opere cerca del pico de eficiencia. De forma similar las bombas múltiples en serie pueden ser usadas cuando el líquido deba ser liberado a altas cabezas.

Las unidades para operar satisfactoriamente en paralelo, deben estar trabajando sobre la porción de la curva característica la cual arroja un incremento de capacidad en orden para asegurar una distribución del flujo equilibrado.

Si dos bombas están en serie, la carga combinada para cualquier flujo es igual a la suma de sus cargas individuales.

2.1.12 Punto de Operación.

Superponiendo la curva HQ de la bomba sobre la curva de columna del sistema, se obtiene el punto para el cual una bomba particular opera en el sistema para el cual se ha trazado la curva.

Así, en la fig. 2.9, el punto A muestra una condición columna – capacidad para la bomba cuya curva HQ se ha trazado.

El cambio de la resistencia para un sistema dado de tubería por medio de cierre parcial de una válvula o cualquier otra alteración, cambia la inclinación de la curva de columna del sistema. Así, en la fig. 2.10, el cierre parcial de una válvula en la línea de descarga, produce la curva artificial de columna del sistema que se muestra, cambiando el punto de operación a una columna más elevada pero con menor capacidad. La abertura de la válvula tiene el efecto opuesto.

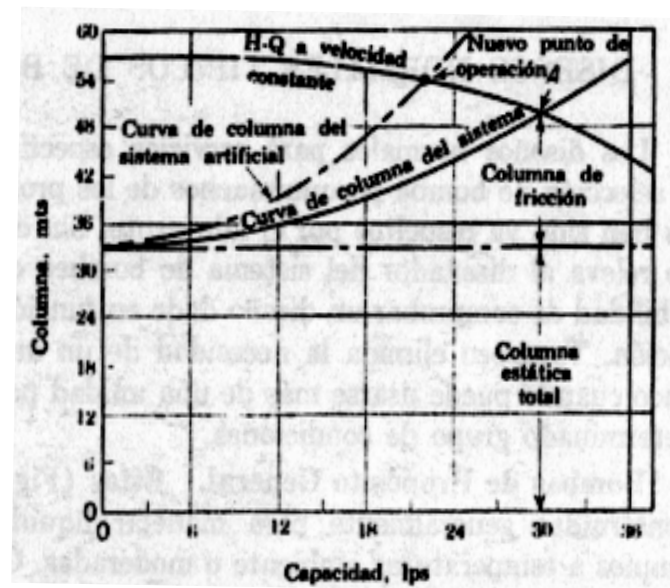


Figura 2.9. Curva de columna del sistema superpuesta sobre la curva de capacidad de columna de la bomba.

2.1.13 Punto de Corte.

Una característica de las bombas centrífugas de baja velocidad específica es una curva relativamente plana HQ en capacidad cercana al corte. Ocasionalmente es necesario elegir una bomba de este tipo debido a que la aplicación puede necesitar una bomba de alta columna y bajo gasto. (Ordinariamente, las bombas son capaces físicamente de operar continuamente cerca de su punto de corte). En este caso, la curva del sistema debe ciertamente examinarse antes de que la bomba sea especificada debido a que es posible que una bomba rotatoria o reciprocante pueda ser la mejor elección desde el punto de vista de confianza de operación.

2.1.14 Cambios de Columna.

La demanda de un sistema puede variar como resultado de cambios en los niveles de succión o de descarga o de un incremento de fricción en la tubería por aumento de la rugosidad de los tubos.

2.1.15 Especificaciones de la Columna de la Bomba.

Aun cuando la columna total de una bomba puede calcularse con gran exactitud, es necesario ejecutar las especificaciones cuidadosamente conforme a las condiciones exactas que existen en la instalación para evitar errores costosos en la selección de la bomba. Quizás la causa más común de tales errores es la acumulación de factores de seguridad que se aplican antes de llegar al punto de operación final de la bomba. Factores de seguridad en exceso o demasiado liberales pueden producir una bomba de capacidad mayor que la realmente necesaria, lo cual conduce a un exceso con el consumo de potencia y posiblemente mayor costo de mantenimiento.

2.2 TUBERIAS

El combustible se transporta desde las refinerías a la comunidad en conductos cerrados, suministrándose la energía necesaria por gravedad o bombeo.

Las obras destinadas al transporte de combustibles reciben el nombre de "Líneas de conducción".

Las tuberías se instalan sobre la superficie, enterradas o combinando estas dos maneras. Esto dependerá de la topografía, clase de tubería y geología del terreno, por ejemplo, en un terreno rocoso es probable que convenga llevarla superficialmente. En el tipo de instalación que se adopte, también se deben considerar otros factores relacionados con la protección de la línea y



así, una tubería que está propensa al deterioro o mal trato de personas y animales es preferible enterrarla, especialmente cuando es de asbesto - cemento. Cualquiera que sea la forma de instalación, se deberán evitar en lo posible los quiebres, tanto horizontales como verticales, con el objeto de eliminar codos y otras piezas especiales necesarias para dar los cambios de dirección. Estos quiebres aumentan las pérdidas de carga, el costo de la instalación y en ocasiones puede propiciar el confinamiento del aire mezclado con el combustible.

Se acostumbra clasificar a las tuberías por la forma de instalarlas en visibles y enterradas; dependiendo de sí llevan juntas de dilatación o no, se clasifican en abiertas y cerradas. En general, cuando se utilizan tuberías de acero se prefieren las visibles y abiertas.

No es por demás recordar que para la instalación de tuberías se consulten los catálogos e instructivos formados por los fabricantes, con el fin de eliminar la posibilidad de alguna falla durante la operación del sistema, causada por una instalación inadecuada. Es conveniente hacer un plano de la instalación de la línea de conducción, que indique claramente la ubicación de las válvulas de protección (Check, Alivio, Eliminadoras de aire, etc.) y control, así como codos, atraques o machones, silletas y juntas de dilatación.

Es importante tener ciertos conocimientos sobre los materiales de uso frecuente en las líneas de conducción, pero incluso también de los más antiguos, porque algunos de los que se usan poco en la actualidad aún se encuentran en servicio.

De los pozos, refinerías y plantas de tratamiento se obtienen diversos productos que se transportan por ductos o tuberías a las terminales de almacenamiento y distribución, o de una planta a otra.

2.2.1 Tuberías usadas en sistemas de abastecimiento de combustibles.

Una tubería se define como el conjunto formado por el tubo y su sistema de unión, y pueden ser tanto subterráneas como superficiales.

Normalmente los tendidos son subterráneos, señalándose la línea de tendido con unos letreros amarillos que indican la zona de precaución, en la cual no debe haber excavación ni ningún tipo de instalaciones.

Son las arterias ocultas en la tierra por donde circulan los millones de litros de hidrocarburos en todas sus modalidades: crudos, gases, refinados y petroquímicos, unos para su transformación, otros listos para su consumo.

Para la fabricación de los tubos, se han utilizado diversos materiales, entre los cuales podemos mencionar la arcilla vitrificada, madera, plomo, cobre, fierro fundido, acero y concreto.

A través del tiempo algunos de estos materiales han sido abandonados y en la actualidad los tubos más utilizados para la industria petrolera son los fabricados a base de acero.

Para este caso se recomienda la tubería de acero, debido al líquido que se va a conducir, ya que son líquidos volátiles, y el tubo de acero es el que da una mayor seguridad para su manejo y una mejor eficiencia en su uso.

El objetivo es transportar por ductos, hidrocarburos producidos por Pemex Exploración Producción, hacia las plantas de proceso. Así como los productos de Pemex Refinación a los centros de consumo del país, para su comercialización, y con esto también dar una mayor eficiencia y seguridad en el transporte y manejo de combustibles y por consiguiente una reducción de costos para Pemex.

2.2.2 Tubería de acero.

En 1943, la Compañía Tubacero de Monterrey, N.L., inicio la fabricación de tubos de acero formados por medio de roladoras y soldadura manual. Posteriormente fue sustituido este método.



Utilizando prensa hidráulica y soldadura por arco sumergido. Actualmente se utilizan en México dos métodos de fabricación: el proceso de soldadura (tubacero, S.A.) y el proceso sin costura (TAMSA). La materia prima es el acero en placa o rollo, para el primero y lingotes y placas para el segundo.

Los tubos de acero se fabrican con diámetros desde 4.5 pulgadas (114.3 mm) hasta 48 pulgadas (1219 mm). Su producción está sujeta a un estricto control de calidad que toma en cuenta las normas DGN – B – 179 – 1978, e internacionales como las del American Petroleum Institute (API), máxima autoridad en el ramo.

Las tuberías de acero son recomendables para líneas de conducción cuando se tienen altas presiones de trabajo. Su utilización obliga a revestirlas contra la corrosión interior y exteriormente. Son muy durables, resistentes, flexibles y adaptables a las distintas condiciones de instalación que se tenga.

Para asegurar su resistencia a los diversos agentes que pueden causar su deterioro, los ductos se revisten con alquitrán de hulla, fibra de vidrio y felpa de asbesto. Con ello se evita la corrosión.

En conducciones y redes de distribución de pequeñas localidades, principalmente rurales, se han utilizado en algunos casos tuberías de acero galvanizado. Estos conductos se fabrican en diámetros de 10, 13, 19, 25, 32, 38, 50, 64, 76 y 102 mm con longitud del tubo de 6.40 m.

2.2.3 Observaciones y recomendaciones para la selección de tubería.

1. - Para la conducción y distribución de gastos pequeños y cuando el diámetro sea igual o menor de 150 mm, son recomendables las tuberías de policloruro de vinilo (PVC).
2. - Cuando se requieren diámetros superiores a 150 mm, para presiones menores de 14 kg/cm², son recomendables las tuberías de asbesto – cemento.
3. - Cuando en líneas de conducción se requieren diámetros superiores a 600 mm y presiones mayores de 10 kg/cm², el proyectista debe elegir entre tuberías de asbesto – cemento, concreto presforzado y acero.
4. - Para conducciones con presiones de trabajo superiores a 14 kg/cm² se hará el estudio económico entre tuberías de acero y concreto presforzado.
5. - Para tomas domiciliarias se recomiendan tuberías de polietileno de alta densidad y, para el cuadro, tubo de acero galvanizado en diámetros de 13 y 19 mm.

Los factores principales que los proyectistas deben tener en cuenta para la selección de tuberías son:

- a) Calidad y cantidad de combustible por conducir.
- b) Características topográficas de la conducción y calidad del terreno.
- c) Costos de suministro e instalación.

2.2.4 Piezas especiales y dispositivos de control de flujo.

Las tuberías de conducción están compuestas: (1) por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos, (2) por cambios que se presentan en la geometría de la sección, y (3) por distintos dispositivos para el control del flujo en la tubería o para asegurar que el funcionamiento de la línea de conducción sea eficiente.

a) Piezas especiales.

Las conexiones de la tubería en las intersecciones, cambios de dirección, variación de diámetros, accesos, válvulas, etc., se denominan comúnmente como “piezas especiales” y se fabrican del mismo material de la tubería (acero). Las piezas especiales de acero son las más empleadas en estas tuberías. Estas piezas se conectan entre sí o a las válvulas por medio de



bridas y tornillos y con un empaque de sellamiento intermedio, que puede ser de plomo, hule o plástico.

b) Dispositivos de control y protección en la línea de conducción.

En las líneas de conducción siempre es necesario el empleo de ciertos elementos cuyo objeto es, proteger a las tuberías y, si lo hay, al equipo de bombeo en general, principalmente del fenómeno llamado golpe de ariete; otros elementos controlan la descarga de la línea de conducción.

A continuación se comentará la función de los elementos de control y protección que se usan con más frecuencia, para lo cual se considera como vía de ejemplo la fig. 2.10 que muestra una instalación de 3 bombas conectadas para operar en paralelo, a una línea de conducción.

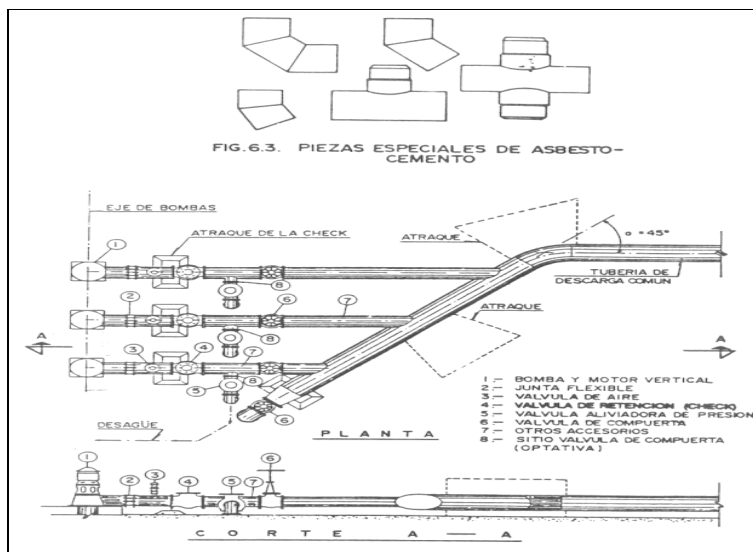


Figura 2.10. Conexión de tres bombas para trabajar en paralelo, mostrando los elementos, de control y protección.

2.3 VÁLVULAS.

2.3.1 Tipo de Válvula.

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar, ya sea de cierre (bloqueo), estrangulación o desvío, es para impedir el flujo inverso o quizá una combinación de todo esto.

Estas funciones se deben determinar después de un estudio cuidadoso de las necesidades de la unidad y del sistema para los cuales se destina la válvula.



Y dado que existen diversos tipos de válvulas disponibles para cada función, también es necesario determinar las condiciones del servicio en que se emplearán las válvulas. Por lo que es de importancia primordial conocer las características químicas y físicas de los fluidos que se manejan. Las funciones de las válvulas, más que cualquier otra cosa son las que limitan la elección. En resumen, se debe prestar atención a que estas se clasifican en cuatro categorías (en las cuales se describen parte de sus características principales y los usos más comunes de estas) y al tipo de servicio:

1. Servicio de corte y paso:

- Válvulas de compuerta: Resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.
- Válvulas de macho: Cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.
- Válvulas de bola: No hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguadas. Cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.

2. Servicio de estrangulación:

- Válvulas de globo.
- Válvulas de mariposa: Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.
- Válvulas de diafragma.
- Válvulas de compresión.

3. Prevención de flujo inverso.

- Válvulas de retención (check).

4. Diversos

Tipo de servicio

- Líquidos.
- Gases.
- Líquidos con gases.
- Líquidos con sólidos.
- Gases con sólidos
- Vapores generados instantáneamente por la reducción en la presión del sistema.
- Con corrosión o sin corrosión.
- Con erosión o sin erosión.

Una vez determinada la función y el tipo de servicio, se puede seleccionar el tipo de válvula según su uso y construcción con el uso de la lista para clasificación de válvulas antes descritas.

En esa lista, las funciones generales de la válvula son sólo guías del uso más adecuado o más común de determinado tipo de construcción. A menudo hay más de un tipo de construcción apto para una función específica.

En la industria petrolera se emplean válvulas para combustibles, desde Gasolina hasta Diesel.

En general, las características más importantes a considerar son: viscosidad, corrosividad y abrasividad; sin embargo, también se deben tener en cuenta los parámetros del proceso, es decir, cualesquiera condiciones anormales, predecibles, a corto plazo. Hay que reconocer otras circunstancias especiales, como el manejo de más de un fluido con la misma válvula o las



posibles altas presiones que puedan ocurrir por un fluido atrapado en el cuerpo de la válvula al cerrarla y que se vaporiza al ser calentado.

La caída de presión en las válvulas puede explicar una parte considerable de las pérdidas totales por fricción en un sistema. La mejor selección de válvulas es la que producirá mínima caída de presión y satisfará otros requisitos. En la actualidad, el alto costo de los energéticos ha dado más importancia a minimizar la caída de presión que hace muchos años.

Las condiciones de operación, o sea, la presión y temperatura coincidentes a que debe trabajar la válvula, a menudo limitan la selección. Quizá se deban excluir las válvulas que tienen sellos de material sintético o materiales de construcción no metálicos, debido a las altas temperaturas del proceso. A la inversa, las bajas temperaturas de operación limitan la elección de válvulas a las fabricadas con aleaciones.

Los materiales de construcción deben ser compatibles con los demás factores que intervienen en la selección. Los cuerpos, revestimientos y guarniciones de válvulas están disponibles en una amplia variedad de materiales para prestar casi cualquier servicio. Con frecuencia, es necesario tener en cuenta el material del cuerpo por separado de las guarniciones (es decir, las partes internas que tienen contacto con el líquido) a fin de optimizar el diseño de la válvula desde un punto de vista económico.

Las válvulas hechas en su totalidad con resinas termoplásticas y las válvulas metálicas con las piezas, que tienen contacto con el fluido, revestidas con plástico se han vuelto muy comunes en servicios corrosivos.

El hierro dúctil, por comparación con el hierro gris, soporta presiones y temperaturas más altas y tiene excelente resistencia a los choques. Dado que el hierro dúctil es menos costoso y tiene mayor resistencia a la corrosión que algunos aceros, ha servido para sustituir éste en muchos casos.

A veces, los materiales de construcción tienen estrecha relación con ciertos tamaños. Las válvulas para agua, aceite o petróleo, gas, aire, etc., se suelen fabricar con latón o bronce en los tamaños pequeños, mientras que en tamaños de 4" y mayores, se suelen utilizar cuerpos de hierro y de acero.

2.3.2 Válvulas eliminadoras de aire.

Algunas se instalan con el objeto de expulsar el aire retenido en la succión cuando la bomba no trabaja. Esta expulsión se efectúa luego de iniciarse la operación de la bomba; se ubican generalmente a continuación de la junta flexible. Uno de los tipos más usados es el que muestra la figura 2.11 al cual puede acoplarse una válvula check con el objeto de amortiguar el golpe del combustible para prolongar su vida útil y evitar ruidos desagradables. La instalación de esta check es sumamente recomendable.

También se instalan válvulas eliminadoras de aire a lo largo de la línea de conducción, pues el aire en las tuberías supone una condición altamente perjudicial y potencialmente peligrosa cualquiera que sea el material que constituye al tubo. Al acumularse en el interior de una conducción, tiende a ocupar los puntos topográficos altos del perfil de la línea y si no se extrae, produce una estrangulación de la sección que puede llegar a interrumpir el flujo de combustible. El mayor peligro, sin embargo, está en la posible compresión de este aire y su expulsión súbita así como en una interrupción repentina del flujo que puede multiplicar enormemente la presión de la bolsa de aire acumulado en la tubería traduciéndose en una verdadera explosión con proyección de fragmentos.

Cuando una línea de conducción no está llena de combustible, es decir "purgada", los inconvenientes descritos se repiten en cada punto alto del perfil de la línea; sus efectos se suman y el rendimiento de la conducción disminuye en forma progresiva. Algunas veces esta disminución se atribuye equivocadamente a las bombas, siendo que con sólo purgar la línea en forma correcta, ésta recuperara su capacidad normal de escurrimiento.



Por las razones expuestas anteriormente, todos los puntos altos deben estar provistos de válvulas que permitan evacuar el aire automáticamente a medida que se acumula; estas "válvulas eliminadoras de aire" se instalarán después de las subidas (Fig. 2.13) y antes de las bajadas bruscas (Fig. 2.14). La figura 2.12 muestra el corte de una válvula de este tipo.

En las figuras 2.16 y 2.18 se observa que en los puntos bajos de la línea se coloca una pieza especial que permite el vaciado de la tubería, eliminándose al mismo tiempo los sedimentos que se acumulan en esos sitios cuando el combustible no esta en movimiento y que pueden llegar a obstruir el flujo.

El diámetro de la válvula de expulsión de aire, como también se le llama, se puede seleccionar de acuerdo al diámetro de la tubería y gasto que conducirá la línea, por medio de las reglas empíricas de la tabla 2.2.

DIAMETRO DE LA TUBERIA	GASTOS EN L/S	DIAMETRO DE LA VALVULA
1/2" a 4"	0 a 12.6	1/2"
6" a 10"	12.7 a 50.4	1"
12" a 18"	50.5 a 201.6	2"
20" a 24"	201.7 a 472.5	3"
26" a 30"	472.6 a 819.0	6" a 8"

TABLA 2.2.

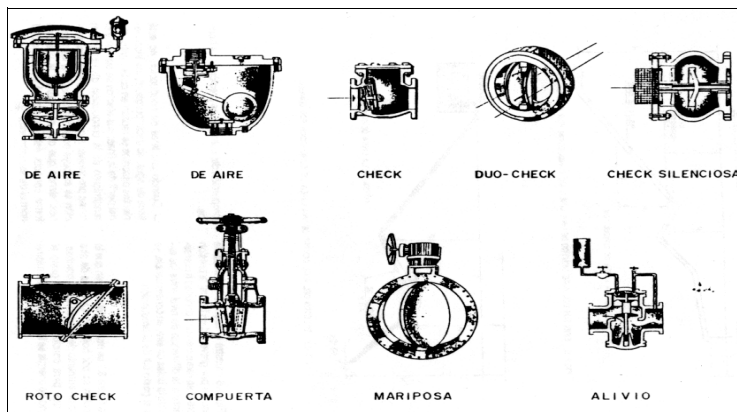


Figura 2.11. Tipos de válvulas.

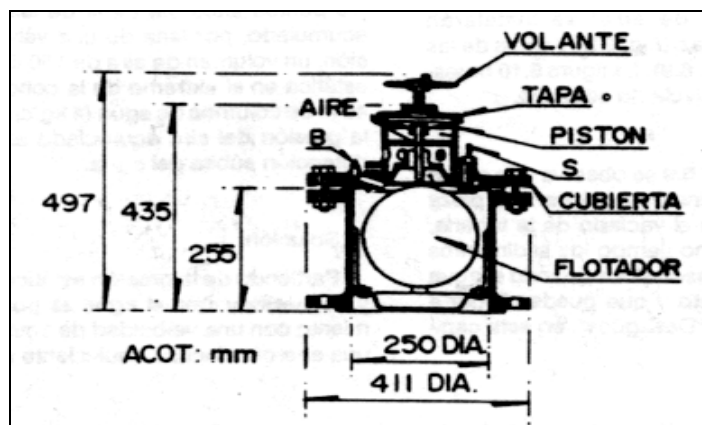


Figura 2.12 Componentes de una válvula.

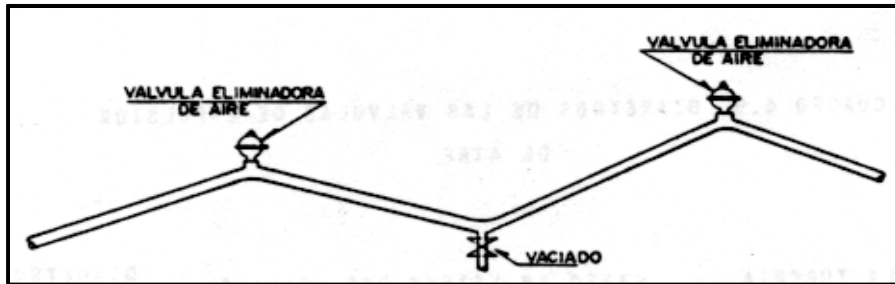


Figura 2.13. Bajadas bruscas después de una válvula.

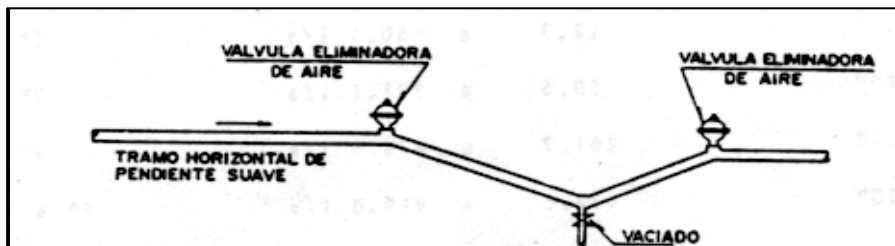


Figura 2.14. Bajadas bruscas después de una válvula.

2.3.3 Válvulas de retención.

Las válvulas de retención (check) son integrales y se destinan a impedir la inversión del flujo en una tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo lo cierran. Los discos y los componentes móviles relativos a los mismos pueden estar en movimiento constante si la fuerza de la velocidad no es suficiente para mantenerlas en su posición estable de apertura total.

Hay diferentes tipos de válvulas de retención y su selección depende de la temperatura, caída de presión que producen y la limpieza del fluido.

Estas válvulas se usan con el objeto de retener la masa de combustible que se encuentra en la tubería, cuando la bomba suspende su operación y con el fin de evitar esfuerzos excesivos en las bombas debido al fenómeno de golpe de ariete. Esto no quiere decir que estas válvulas eliminen el efecto de ese fenómeno, sino que únicamente lo atenúan.

Existen varios tipos en el mercado, la primera representa la válvula check tradicional y comúnmente empleada llamada de columpio; una ampliación de ésta se muestra en la figura 2.15.

La válvula Duo - Check consta esencialmente de dos medias lunas conectadas a un eje vertical, que se abren según el sentido del escurrimiento. Esta válvula en comparación con la tradicional es más liviana, de menor tamaño y, consecuentemente, de menor costo; sin embargo, las pérdidas de carga son mayores que en la tradicional.

La válvula Check silenciosa tercera tiene la característica de efectuar un cierre más o menos lento, con lo cual se consigue prolongar la vida de la válvula y casi eliminar el ruido que producen los otros tipos; suele llamársele.

La selección del tipo de Check para una determinada instalación dependerá del diámetro de la válvula a emplear, de las presiones a que operará y de su costo en el mercado. En varios proyectos, el tiempo de entrega que ofrecen sus fabricantes puede ser determinante para el tipo elegido.

La válvula llamada Roto - Check, cuya operación es semejante a la de columpio. Por su diseño y procedimiento de construcción (se fabrica por mitades y se une con pernos) compite en costo



con la válvula Check tradicional y es especial para cuando se requieran diámetros grandes. Tiene la ventaja de efectuar un cierre lento y hermético.

2.3.4 Válvulas de mariposa.

Las válvulas de mariposa puede sustituir a la de compuerta cuando se requieren diámetros grandes y para presiones bajas en la línea; tienen la ventaja de ser más ligeras, son de menor tamaño y más baratas. Estas válvulas se operan por medio de una flecha que acciona un disco haciéndolo girar centrado en el cuerpo de la válvula; la operación puede ser manual, semiautomática o automática, mediante dispositivos neumáticos, hidráulicos o eléctricos. El diseño hidrodinámico de esta válvula permite emplearla como reguladora de gasto y en ciertos casos para estrangular la descarga de una bomba.

2.3.5 Válvulas de globo.

Son voluminosas y presentan una alta resistencia al paso del combustible, por lo que se emplean, generalmente, solo en tuberías de pequeños diámetros. Constan de un disco horizontal accionado por un vástago para cerrar o abrir un orificio por el que pasa el combustible; este mecanismo se encuentra dentro de una caja de fierro fundido con extremos de brida para los diámetros grandes y de rosca para los pequeños.

2.3.6 Válvulas de compuerta.

La válvula de compuerta se emplea con el objeto de aislar en un momento dado algún elemento o sección del sistema para poder efectuar una reparación, inspección o dar mantenimiento, sin que se interrumpa totalmente el servicio.

La válvula de compuerta se instala con el fin de vaciar la tubería de tiempo en tiempo, lo que permite efectuarle una especie de lavado, ya que así se extraen las arenas y lodos que se depositan a lo largo de ella, según se ha podido observar. El diámetro de la válvula de compuerta para estos fines es la mitad del de la tubería de conducción.

El tipo de válvula de compuerta más empleada se caracteriza por ser bridada y con vástago saliente, es decir que éste se desplaza según su eje vertical. Esto tiene la ventaja de que el operador se puede cerciorar con facilidad cuando la válvula está abierta o cerrada. Se presenta en la fig. 2.16.

Es muy importante señalar que la válvula de compuerta está diseñada propiamente para ser operada cuando se requiera un cierre o abertura total, y NO se recomienda para usarse como reguladora de gasto.

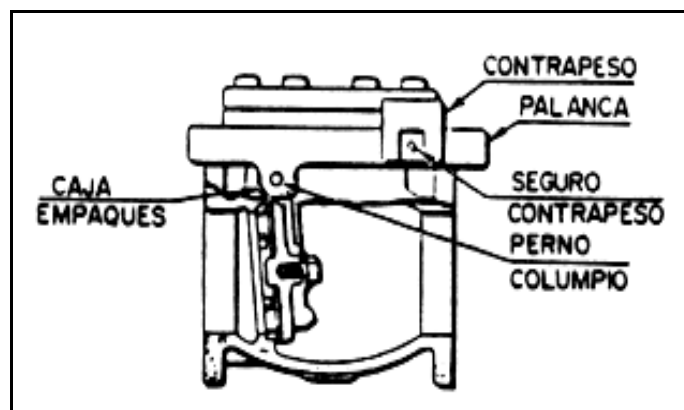


Fig. 2.15. Válvula check o de retención.

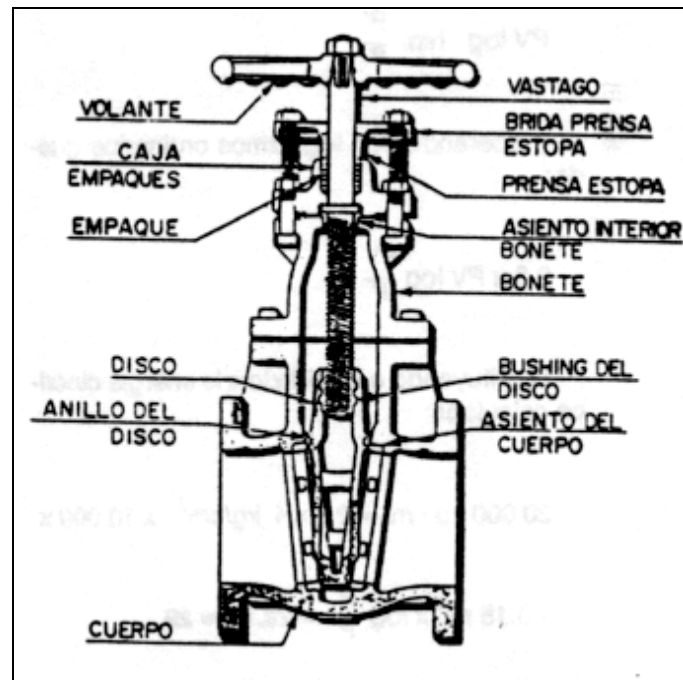


Fig. 2.16. Válvula de compuerta.

En la categoría para cierre y paso, la válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicios donde se requieren circulación ininterrumpida y poca caída de presión, pero aun así tienen limitaciones. Las válvulas de compuerta consisten en un disco que tiene movimiento alternado en el cuerpo. La barrera al flujo es un disco o una represa en forma de cuña que se desliza en ángulo recto con el sentido del flujo y tiene asentamiento hermético en el cuerpo.

La válvula de compuerta ofrece mayor variedad de mecanismos para mover la compuerta. También tiene la desventaja de que es pesada y requiere mucho espacio para instalarla. Si se selecciona una válvula de rosca externa y yugo con vástago elevable, se exige que se determine la dimensión desde la línea de centro de la válvula hasta la parte superior del vástago con la válvula abierta. A veces, hay que seleccionar otro tipo de válvula para disminuir el espacio requerido. Dado que las válvulas de compuerta son sensibles a las cargas impuestas por la tubería se deben incluir soportes adecuados en los tubos.

Estas no se recomiendan para servicios de estrangulación, porque la compuerta, el sello y el asiento tienden a sufrir erosión rápida cuando restringen la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta contra el traqueteo inducido por la velocidad del medio circulante, más los ciclos frecuentes a la presión de la tubería, producen arrastre en el lado de corriente abajo que, combinado con la erosión, ocasiona desgaste del asiento y fugas.

Por eso, estas válvulas no se prestan a un control preciso del flujo porque ocurre un porcentaje anormal de cambio de flujo cuando esta casi cerrada y a alta velocidad. Cuando este tipo de válvula está parcialmente abierta, tiene una abertura en forma de media luna que cambia con gran rapidez su superficie con un ligero ajuste del volante, lo cual la hace indeseable para control parcial del flujo. Y su ventaja más importante es que presentan poca restricción al flujo cuando están abiertas del todo. Hay que cambiar con frecuencia las empaquetaduras porque son de vueltas múltiples y puede haber desgaste serio en el vástago. Otro factor que influye en los altos costos de mantenimiento es el reacondicionamiento periódico de los asientos.



Hay disponibles algunos diseños modificados para eliminar algunas de esas limitaciones. El más común es la compuerta de cuña dividida en la cual el sello es un disco dividido. El sellamiento depende de la torsión aplicada en el volante o la manija, en vez de que sea en la presión corriente arriba.

Cuando la válvula está abierta del todo, se eleva por completo la compuerta fuera del conducto del flujo, por lo cual el fluido pasa en línea recta por un conducto que suele tener el mismo diámetro que la tubería. Aunque hay variaciones, la válvula de compuerta, por lo general, produce menor caída de presión en el sistema que cualquier otro tipo de válvula.

Las características principales del servicio de las válvulas de compuerta incluyen: cierre completo sin estrangulación, operación poco frecuente y mínima resistencia a la circulación.

Los principales elementos estructurales de la válvula de compuerta, como se ilustra en la fig. 2.17 son: volante, vástago, bonete, compuerta, asientos y cuerpo. Estas válvulas están disponibles con vástagos de los siguientes tipos:

- Vástago no elevable, con rosca interna, tiene ventajas cuando hay poca altura.
- Vástago elevable con rosca externa que requiere más espacio libre (y mayor altura en la instalación), pero impide que la rosca esté en contacto con los fluidos del proceso.
- Vástago elevable con rosca interna, que expone la rosca del vástago a los líquidos del proceso; por tanto, no se debe usar con líquidos corrosivos.

Están disponibles, en general, los siguientes tipos de bonetes para válvulas de compuerta:

- Bonetes con rosca interna o externa para válvulas pequeñas y servicio a baja presión.
- Bonetes con unión para válvulas pequeñas donde se necesita mantenimiento frecuente.
- Bonetes con brida y atornillados para válvulas grandes y servicio a presión y temperaturas altas.
- Bonetes con abrazadera en válvulas para presión moderada, donde se necesita limpieza frecuente.
- Bonetes sellados de presión para servicio con altas presiones y temperaturas.
- Bonetes con sello de pestaña para altas presiones y temperaturas.
- Bonetes con cierre de obturador para presión y temperatura altas.

Los siguientes elementos de control del fluido suelen estar disponibles para las válvulas de compuerta.

- Disco macizo o de una sola cuña, suele ser macizo y con asientos de válvula cónicos, para petróleo, gas, aire, pastas aguadas y líquidos pesados.
- Cuñas flexibles (el disco sólo es macizo en el centro y ambas superficies de asentamiento son flexibles) para compensar la desalineación y los cambios dimensionales producidos por las temperaturas y presiones fluctuantes.
- Disco de cuña dividido (un diseño de bola y asiento en el cual dos discos espalda con espalda se pueden ajustar a ambas superficies de asiento, con lo cual cada disco se mueve con independencia para tener buen sellado) para gases no condensables, líquidos a temperaturas normales y fluidos corrosivos, todos a baja presión.
- Disco doble (discos paralelos). En estas, las dos superficies de asiento tienen movimiento relativo entre sí. Esto produce buen cierre aunque los asientos estén desalineados o tengan ángulos diferentes. En un tipo, los discos están sujetos con una articulación esférica o rótula que les permite el movimiento cuando acoplan contra asientos cónicos. En los diseños de doble disco y asientos paralelos se utilizan expansores o cuñas para empujar a los discos contra el asiento. El desgaste del asiento es mínimo, porque el disco hace contacto con el asiento sin movimiento deslizable. Otro diseño, que tiene insertos blandos en los discos y conexiones para drenaje o respiración (venteo) en el cuerpo produce cierre



hermético y permite utilizar la válvula en aplicaciones de doble cierre y purga. Sin embargo, están limitadas a temperaturas de menos de 600°F.

Las fugas por las válvulas de compuerta pueden ocurrir en ambos extremos en donde se conectan a la tubería (cuando la válvula está abierta), en la unión entre el bonete y el cuerpo, en el vástago, y corriente debajo de la compuerta cuando la válvula está cerrada. Se pueden proveer sellos para evitar las fugas al exterior o corriente abajo cuando la válvula está cerrada. Estos sellos pueden ser de metal a metal, metal en contacto con un material elástico, o metal en contacto con un inserto elástico colocado en la cara del metal.

El prensaestopos o estopero es el método más común para sellar el vástago; tiene una brida en el collarín para oprimir la empaquetadura y evitar fugas. Además, los vástagos se pueden sellar con la inyección lateral de grasa hacia un anillo de cierre hidráulico. La empaquetadura o los sellos anulares del vástago se pueden cambiar cuando se requiera. Los materiales de sello pueden ser grafito-asbesto.

Ventajas: El tipo de cierre es tal que el cuerpo de la válvula de compuerta es de perfil delgado comparado con otros tipos de válvulas, lo cual produce menor masa del cuerpo y un costo más bajo, en especial en las válvulas de tamaño mayor.

Su corta dimensión entre carga y cara permite instalarla en tubos con menos espacio que casi todas las otras válvulas.

El flujo rectilíneo y la zona para flujo pleno, que es de la misma configuración que la tubería, sólo agrega una caída de presión muy pequeña en la tubería.

No se requiere lubricante en la cara de las piezas móviles internas, con lo cual no hay riesgo de contaminar el fluido del proceso.

Desventajas: El asiento es parte integral del cuerpo y produce una cavidad que puede retener sólidos y evitar el cierre completo de la válvula. Por ello, las válvulas de compuerta que se suelen preferir para servicio limpio son indeseables para la mayor parte de las pastas fluidas.

Las fugas del fluido por el porta empaquetadura son un problema inherente en estas válvulas que las hace indeseables en servicios con materiales muy tóxicos o inflamables. El problema con la empaquetadura se hace más serio cuando aumenta la temperatura o la presión.

Estas válvulas no se pueden utilizar cuando se requiere modulación del flujo. Para el momento en que la válvula está abierta entre 5% y 10%, el flujo ya es del 85% al 95% del que hay con apertura total. La velocidad en la apertura en forma de media luna abierta 5% a 10% es muy alta y el disco no está diseñado para resistir la fuerza erosiva resultante.

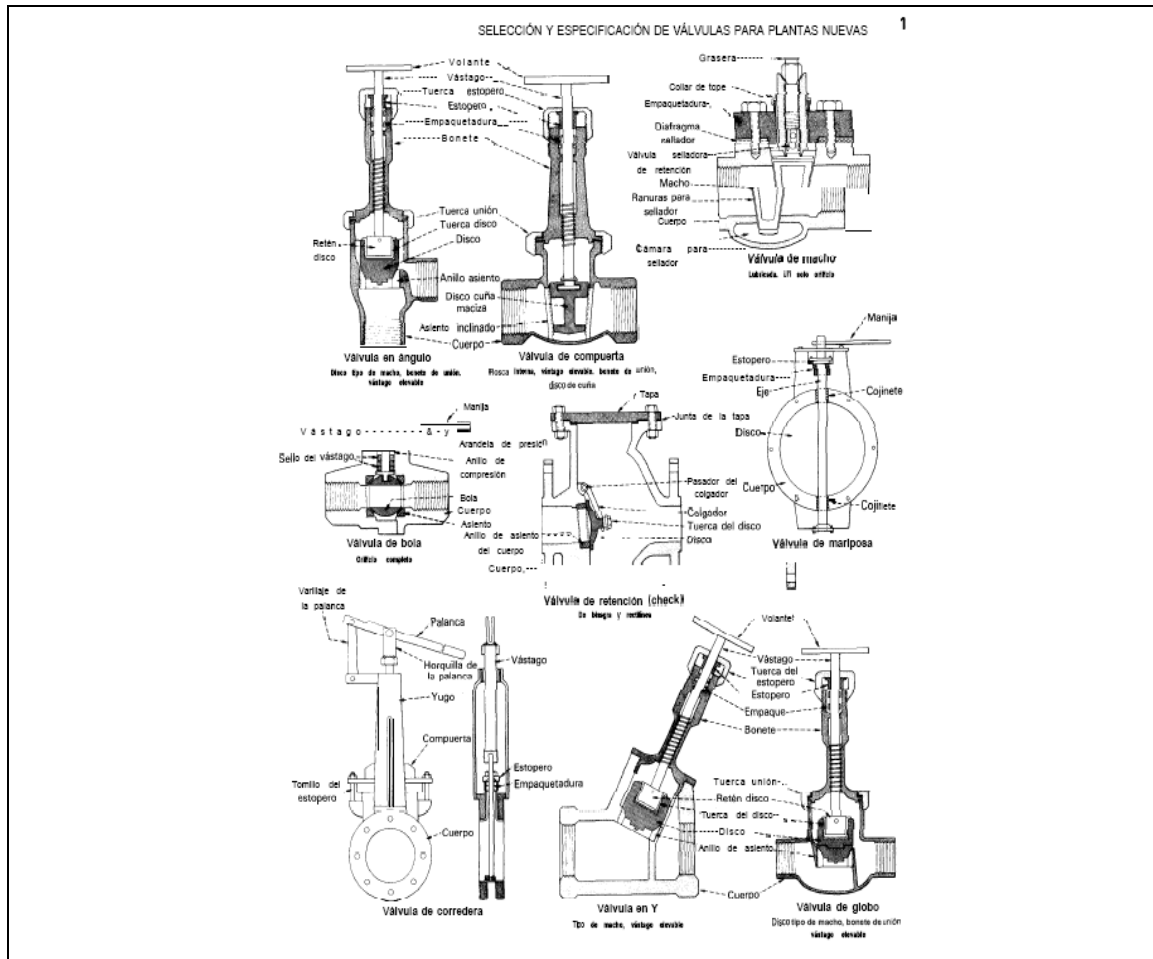


Figura 2.17 Componentes de los diversos tipos de válvulas.

2.3.7 Válvulas de alivio contra golpe de ariete.

Las válvulas aliviadoras de presión son empleadas para proteger al equipo de bombeo, tuberías y demás elementos en la conexión, contra los cambios bruscos de presión que se producen por el arranque o paro del equipo de bombeo.

La válvula está diseñada de tal manera que puede abrirse automáticamente y descargar al exterior cuando la presión en el sistema es mayor que aquella con la que fue calibrada lográndose con ello el abatimiento de la línea piezométrica.

El cierre de esta válvula también es automático y se logra cuando la presión en la línea llega a ser menor que la de su ajuste o calibración.

De acuerdo con lo anterior, el empleo de esta válvula dependerá de la magnitud de las presiones que se tengan debidas al golpe de ariete y de la conveniencia que surja al haber hecho un estudio económico, considerando la posibilidad de emplear elementos (tuberías, válvulas, ect.) resistentes a las presiones que se van a presentar.

En general las válvulas de alivio que existen en el mercado, básicamente tienen el mismo diseño y están constituidas en esencia por dos partes; una que corresponde al cuerpo de la válvula propiamente dicho, y la otra formada por los mecanismos de control. En el cuerpo de la válvula se encuentra el elemento actuador, constituido por un pistón cuya posición regula el



funcionamiento de la válvula. El control de este pistón se efectúa por medio de una válvula piloto calibrada que actúa con una presión determinada y no es más que una válvula de aguja de precisión para pequeños flujos. El piloto de control de esta válvula puede ser hidráulico, eléctrico o de ambos tipos.

Las válvulas que se usan con más frecuencia son las llamadas de pistón y las de diafragma, preferentemente con ambas clases de control. Las dos funcionan satisfactoriamente, pero en ocasiones se prefiere la válvula de pistón, por que la otra requiere de un servicio de mantenimiento más frecuente, debido a que el material del que está hecho el diafragma (hule, neopreno, etc.) se deteriora dependiendo del tipo de combustible que se maneje.

Cuando se ha definido el empleo de válvulas de alivio, su diámetro se determina en función del gasto de escurrimiento en la tubería a la que se conectará, de las presiones originadas por el golpe de ariete y de las pérdidas de carga, normalmente tolerables, ocasionadas por esta válvula. Se recomienda determinar sus diámetros consultando el catálogo de los fabricantes.

Su ubicación se elige después de los elementos de control o al principio de la tubería de descarga común. En una instalación como la de la fig. 2.13, en la cual se ha instalado una válvula de alivio a cada bomba, se sitúa entre la check y la de compuerta, mediante una T de acero o fierro fundido.

El desfogue de la válvula de alivio deberá diseñarse sin posibilidad de ahogamiento y guiar la descarga hacia combustibles debajo de la fuente de abastecimiento.

2.3.8 Selección de válvulas.

Las válvulas constituyen del 20 al 30% del costo de la tubería de una planta de bombeo. Por tanto, la selección de estas es de suma importancia en los aspectos económicos, y de operación en la misma.

Se debe tener en cuenta muchas cosas al seleccionar una válvula. Aunque el grado de importancia asignado a cada una puede variar, se otorga la máxima prioridad, en general, a las funciones de la válvula.

Su selección incluye muchos factores tales como: el tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de resistir presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, costo y disponibilidad.

2.3.9 Capacidades de presión y temperatura.

Una vez determinadas las presiones y temperaturas máximas de operación, se puede establecer la capacidad de presión requerida por la válvula. Comparando su selección con las listas de los fabricantes respecto a las capacidades de presión y temperatura con el fin de asegurarse que se ajustan a ella.

2.3.10 Material de empaquetaduras y juntas.

La selección del material para empaquetaduras y juntas es tan importante como la de los materiales de la válvula para el servicio a que se destinan.

La selección de una empaquetadura inadecuada puede permitir fugas en la válvula y requerir un paro del sistema para reemplazarla. Además, si el fluido que se escapa es tóxico o inflamable, puede ocurrir una grave situación, con posibles lesiones al personal y daños a la planta.

Los riesgos y los costosos paros son inexcusables y son fáciles de evitar. Al seleccionar el material de empaquetaduras de válvulas, se debe consultar la literatura de los fabricantes de empaquetaduras y válvulas y las publicaciones técnicas, para comprobar que el material seleccionado sea compatible con los fluidos que se manejan.

Asimismo, la forma física de la empaquetadura debe ser compatible con las características mecánicas de la válvula. Ciertos materiales de empaquetadura requieren una elevada



compresión, pero hay válvulas que son muy endebles o muy ásperas y no se puede aplicar una gran compresión. Además, las elevadas compresiones requeridas por ciertas válvulas pueden hacer que algunas empaquetaduras fluyan en frío. Ciertas empaquetaduras incompatibles pueden producir desgastes del vástago.

Con base a estos datos y a la experiencia en proyectos anteriores que son muy parecidos a este, se escogió la válvula de compuerta como la más indicada para este proyecto, así como se describió a fondo en los párrafos anteriores.

2.3.11 Mecanismos de control de flujo.

Hay diversas razones por las que las válvulas de compuerta superan en número a las demás, pero quizá la más importante son las muchas variantes en que se fabrican para aplicaciones especializadas. Estas válvulas se pueden clasificar, en general, por el tipo de elemento de control de flujo utilizado. Una de estas clasificaciones de la Norma API 600-1973 tiene dos divisiones importantes, como se ilustra en la fig. 2.18.

La válvula de compuerta más común es la de cuña maciza, lisa con asiento inclinado. Dado que las temperaturas y presiones de operación han aumentado con el paso de los años, el desgaste de la cuña contra el asiento inclinado se ha vuelto un problema. Una solución es la cuña flexible que puede funcionar con asientos desalineados y minimiza el desgaste de las superficies de sellamiento.

Esta cuña es en forma de "H" y su configuración le da la elasticidad.

En el tipo de cuña dividida (disco doble) de bola y cuenca, los dos discos están en contacto entre sí mediante una unión de bola y cuenca. Dado que los discos pueden girar con independencia, se adaptan a los cambios en los ángulos de los asientos y tienen buen sellamiento y más duración. La válvula de cuña dividida se utiliza más en servicios corrosivos de baja presión y tiene asientos integrales.

La válvula de compuerta de disco doble tiene dos discos que están empujados contra asientos paralelos en el punto de cierre mediante un expansor mecánico. Esto produce sellado hermético sin ayuda de la presión del líquido y compensa en forma automática la desalineación angular de los asientos. Además mantiene un cierre hermético durante la contracción longitudinal del cuerpo de la válvula cuando se enfría.

En las tuberías para líquidos o gases se utiliza un tipo de válvulas de compuerta figura 2.19 que permiten la limpieza del interior de la tubería. Por tanto, el diámetro interior de la válvula debe dejar pasar los rascadores o las esferas separadoras de los productos y debe ser igual o mayor que el de la tubería.

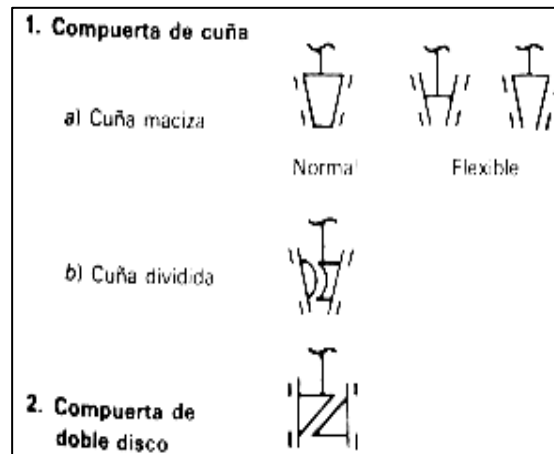


Fig.2.18 Mecanismos de Control de flujo

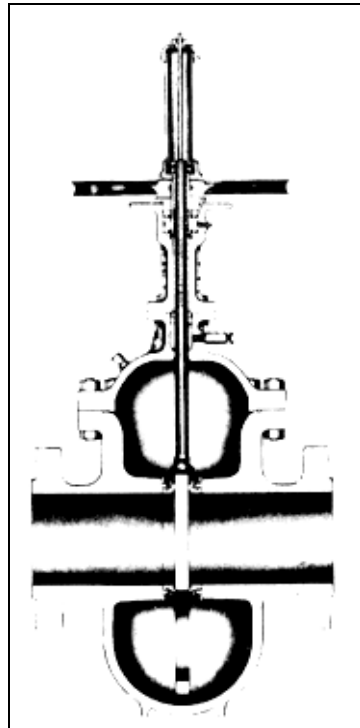


Fig. 2.19 Válvulas se denominan de conducto rectilíneo con orificio total



2.3.12 Materiales de construcción.

Una vez que se establece la función y se ha seleccionado el tipo de válvula, se deben tener en cuenta los materiales de construcción adecuados para el servicio a que se destinará la válvula, teniendo presente que todas las partes de la válvula que están en contacto con el fluido deben tener la resistencia necesaria a la corrosión.

La selección de los materiales de construcción resistentes a la corrosión, esta normada por las recomendaciones de los fabricantes para los diversos tipos de servicios. Y si esa información parece ser inadecuada, habrá que obtener datos de la corrosión mediante pruebas de laboratorio. En general, salvo que se trate de un proceso totalmente nuevo, no habrá problema para determinar los materiales de construcción con base en la información existente.

**C A P I T U L O 3****ESTUDIO DE FACTIBILIDAD****3.1 ESTUDIO DE LA OFERTA-DEMANDA.**

La Oferta-Demanda fue calculada de las hojas de datos de Excel (BALPROM) de PEMEX Refinación del área de la subdirección de distribución.

En esta etapa se describirá de forma general la oferta, la demanda y los costos de la distribución por medio de ductos y autotanque para gasolinas y diesel en cada una de las refinerías en el año 2006.

GASOLINAS

Refinería	Oferta (MBA)	Demanda (MBA)	Volumen transportado por ducto (MBA)	Volumen transportado por autotanque (MBA)	Costo de la distribución por ducto (Dolares)	Costo de la distribución por autotanque (Dolares)
Cadereyta	46,482.37	45,415.01	62,688.44	8,204.13	17,634,457.28	30,923,387.30
Madero	24,814.52	7,246.10	10,169.07	9,214.35	8,288,681.56	42,719,428.40
Minatitlan	44,207.37	35,094.39	53,598.05	9,304.88	16,727,804.44	32,104,601.30
Salamanca	43,211.90	42,683.14	35,642.45	1,202.95	12,356,514.36	3,354,372.60
Salina Cruz	52,338.50	49,080.31	64,133.40	13,902.31	46,690,014.57	40,654,755.30
Tula	89,506.60	79,271.13	145,538.46	3,904.0	42,450,874.33	15,002,234.10

MBA (MILES DE BARRILES POR AÑO)

Tabla 3.1

DIESEL

Refinería	Oferta (MBA)	Demanda (MBA)	Volumen transportado por ducto (MBA)	Volumen transportado por autotanque (MBA)	Costo de la distribución por ducto (Dolares)	Costo de la distribución por autotanque (Dolares)
Cadereyta	27,645.88	26,024.17	37,272.86	6,337.26	11,752,203.90	33,348,505.00
Madero	16,310.58	4,124.71	1,486.40	4,967.93	1,085,354.98	23,412,955.50
Minatitlan	32,418.33	26,922.86	18,265.13	6,295.02	7,800,510.58	24,403,964.30
Salamanca	22,115.98	18,930.88	17,843.95	1,260.95	4,805,142.42	3,054,515.50
Salina Cruz	29,608.21	26,667.38	35,545.55	5,769.69	23,064,072.17	18,761,588.10
Tula	28,453.10	28,101.59	24,753.46	334.47	4,079,168.45	777,699.30

MBA (MILES DE BARRILES POR AÑO)

Tabla 3.2



3.1.1 Gráficos oferta-demanda.

En este capítulo se muestra el comportamiento de la oferta y demanda para gasolinas y diesel en cada una de las refinerías durante el año 2006 (miles de barriles por mes).

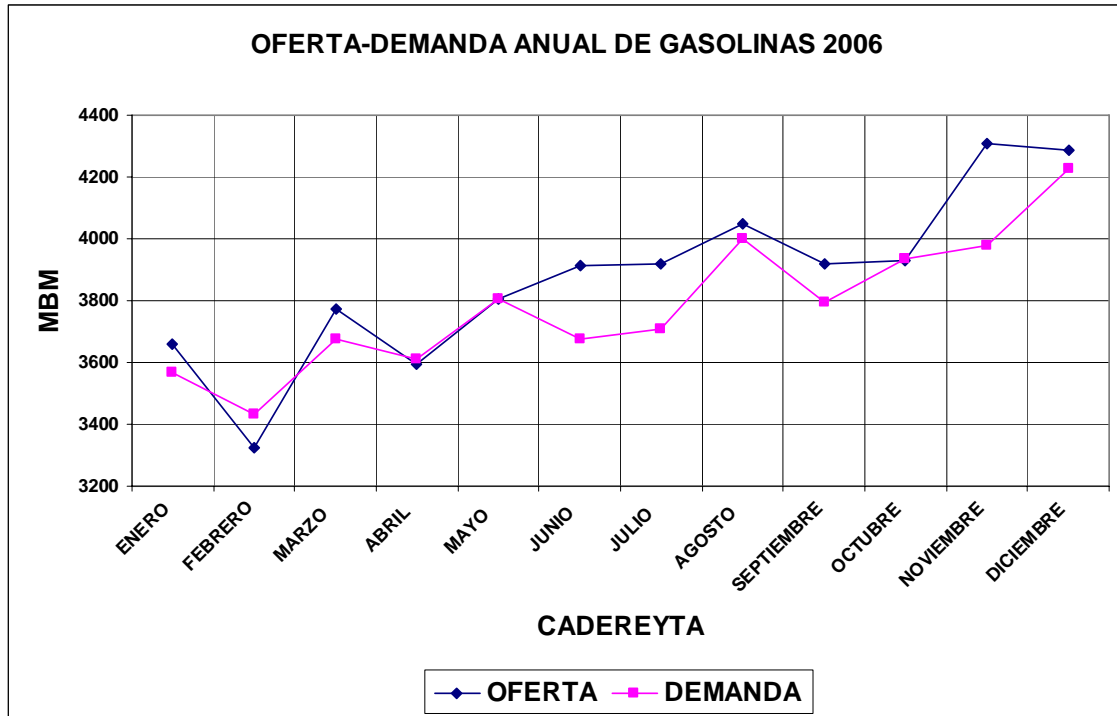


Figura 3.1

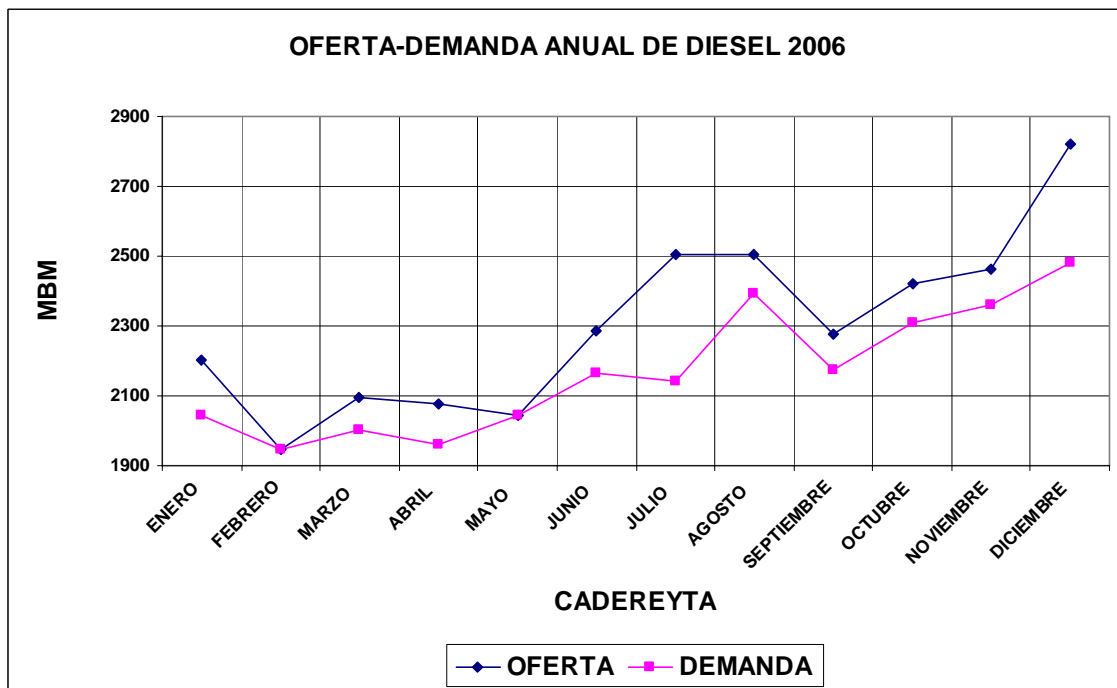


Figura 3.2

Con lo que respecta a la refinería de Cadereyta no tiene ningún problema en la distribución y el almacenamiento para la zona norte.

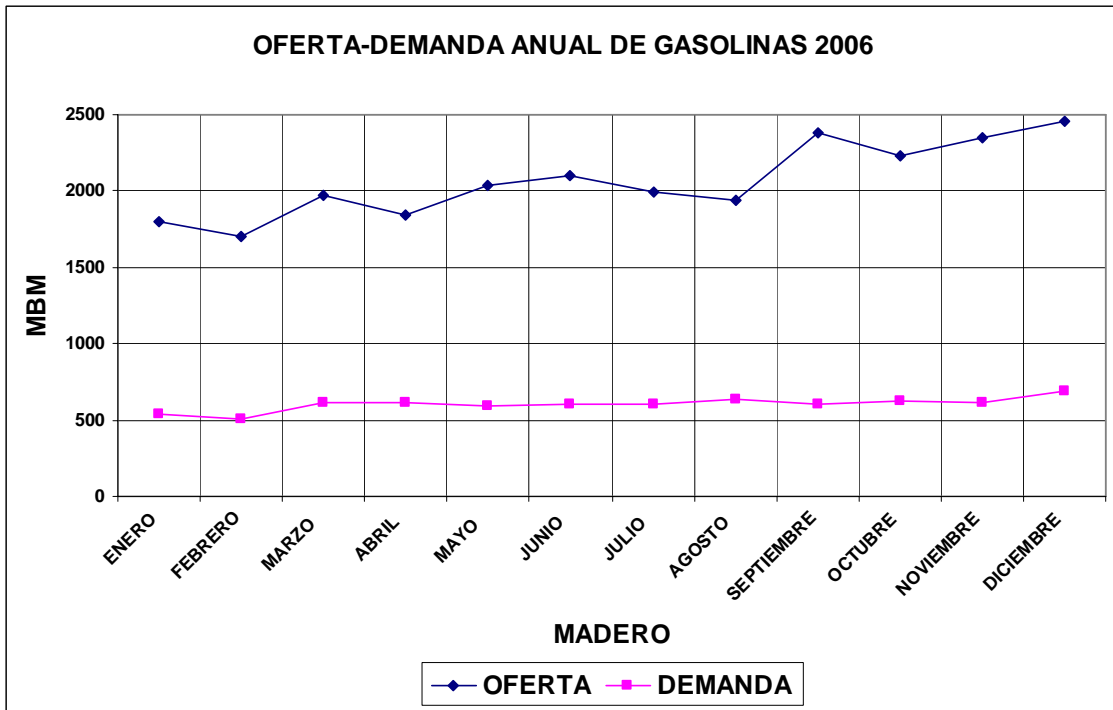


Figura 3.3

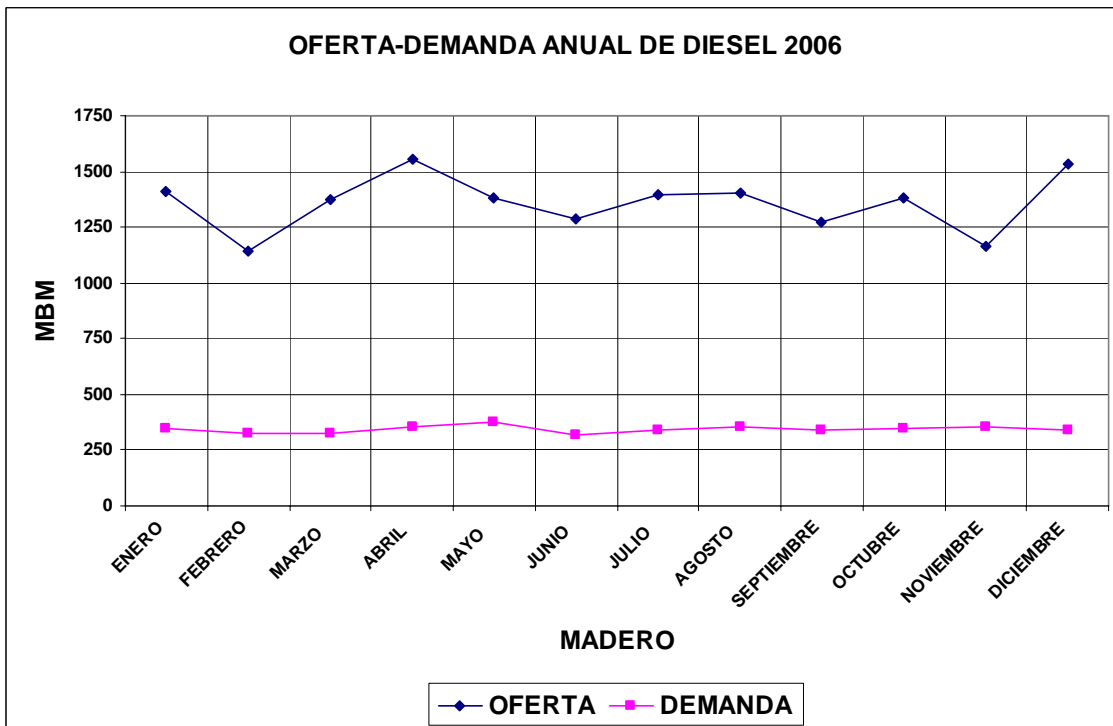


Figura 3.4

La mayor parte de la producción de gasolinas y diesel de la Refinería de Madero es para dar apoyos a otras refinerías y así abastecer sus zonas.

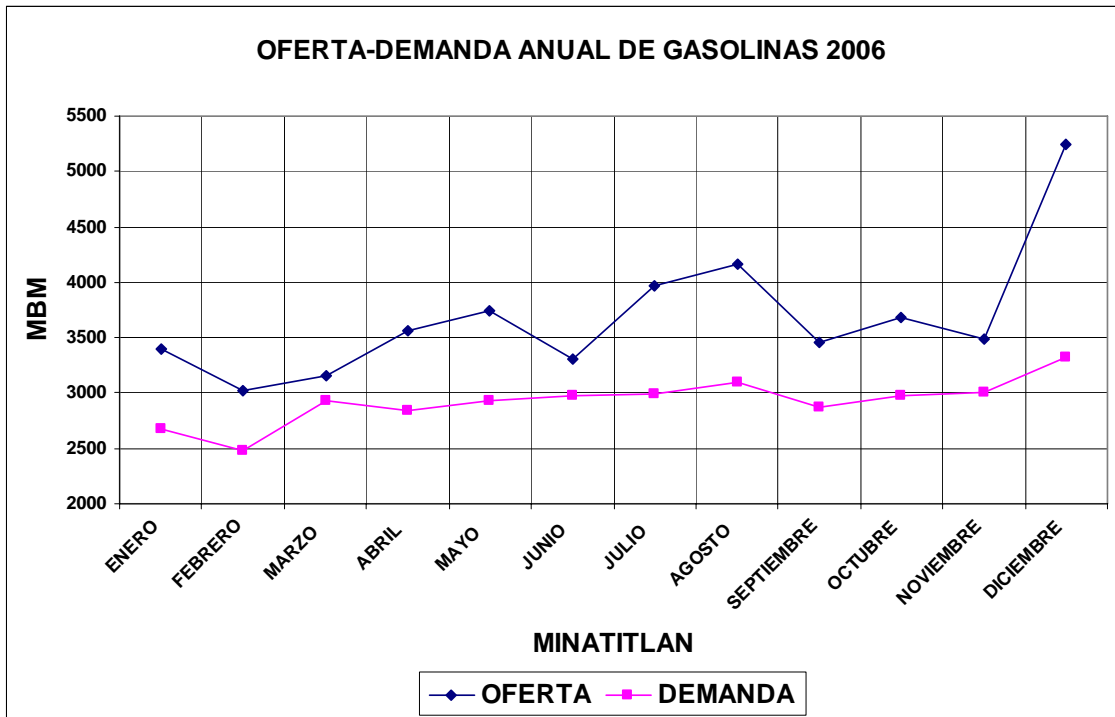


Figura 3.5

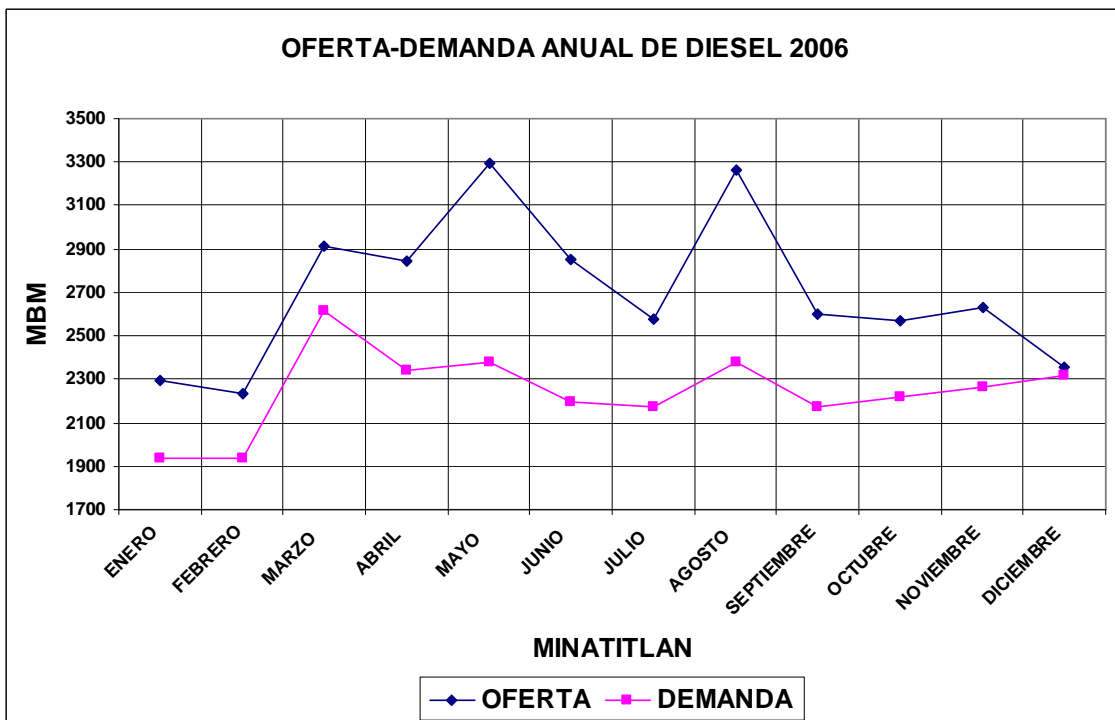


Figura 3.6

Parte de la producción de gasolinas y diesel de la Refinería de Madero llegan por buque tanque al puerto de Pajaritos para dar apoyo a la Refinería de Minatitlán y así almacenar y cubrir la demanda de la zona Golfo.

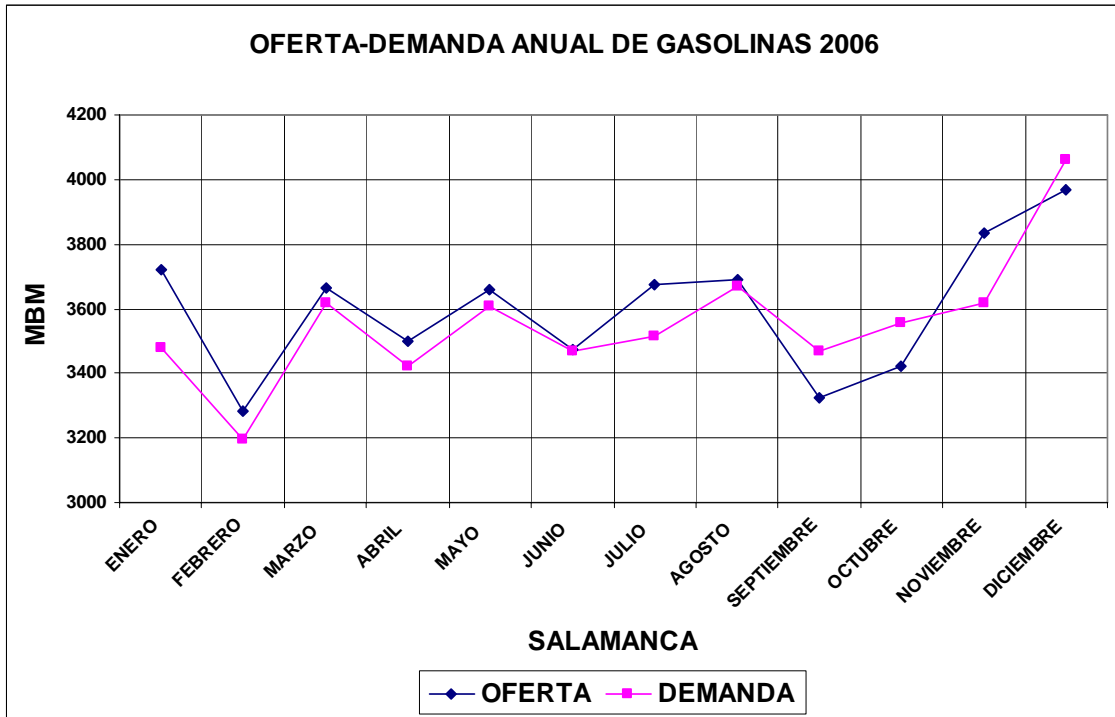


Figura 3.7

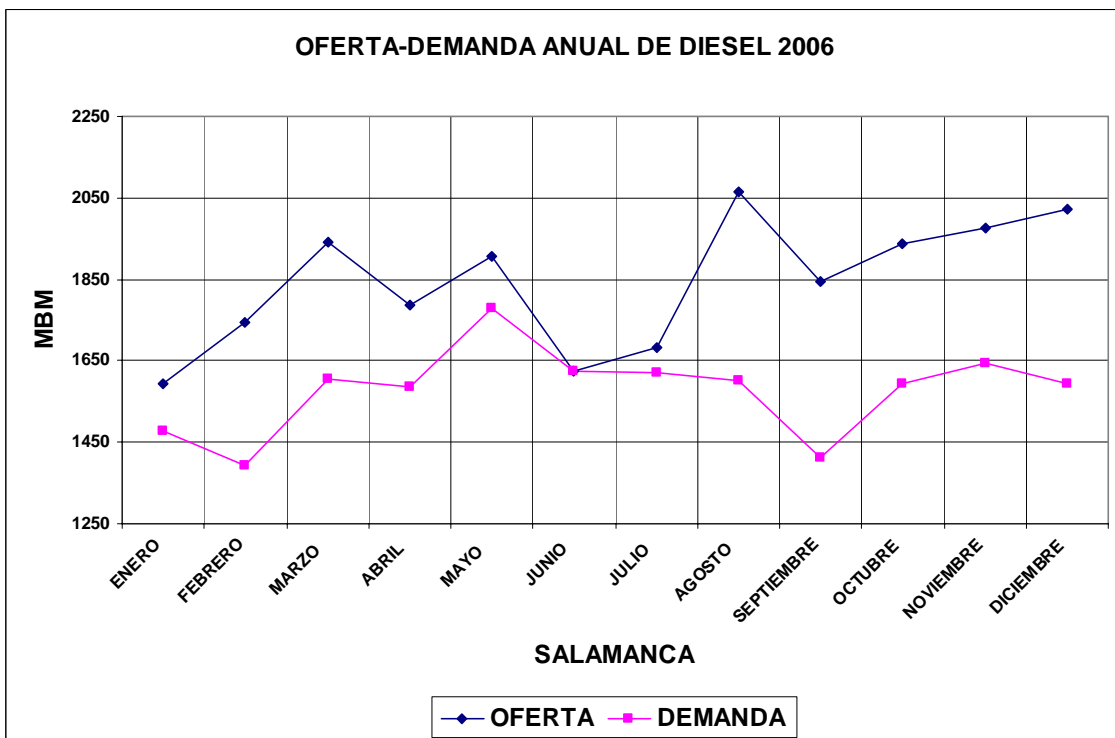


Figura 3.8

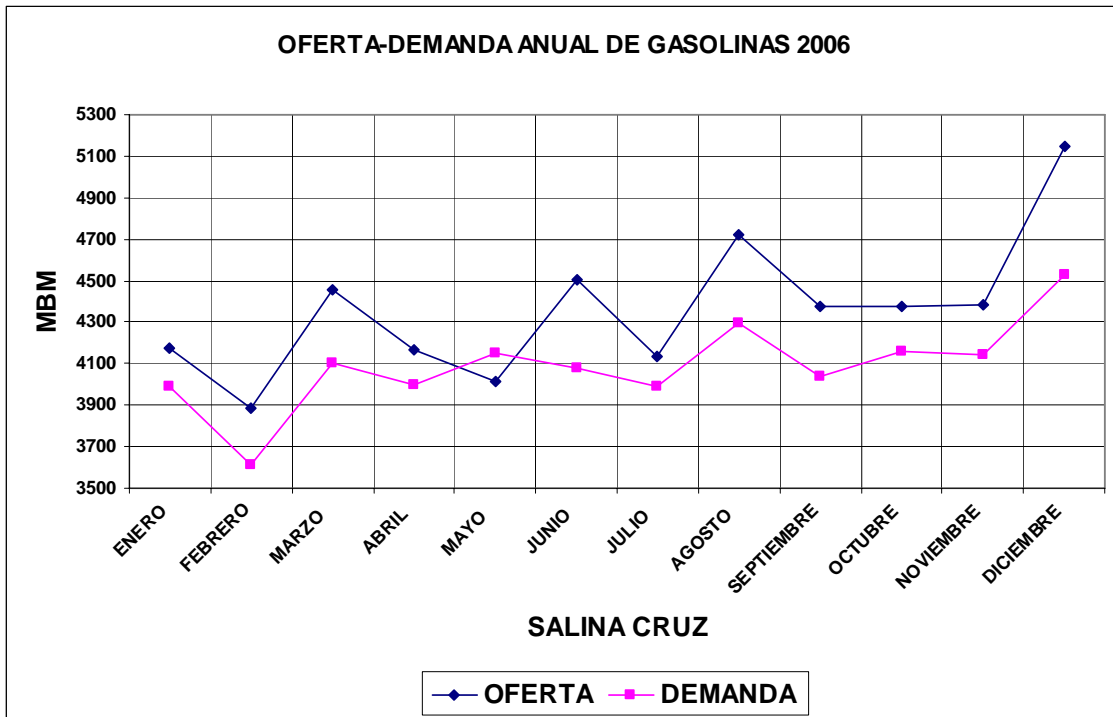


Figura 3.9

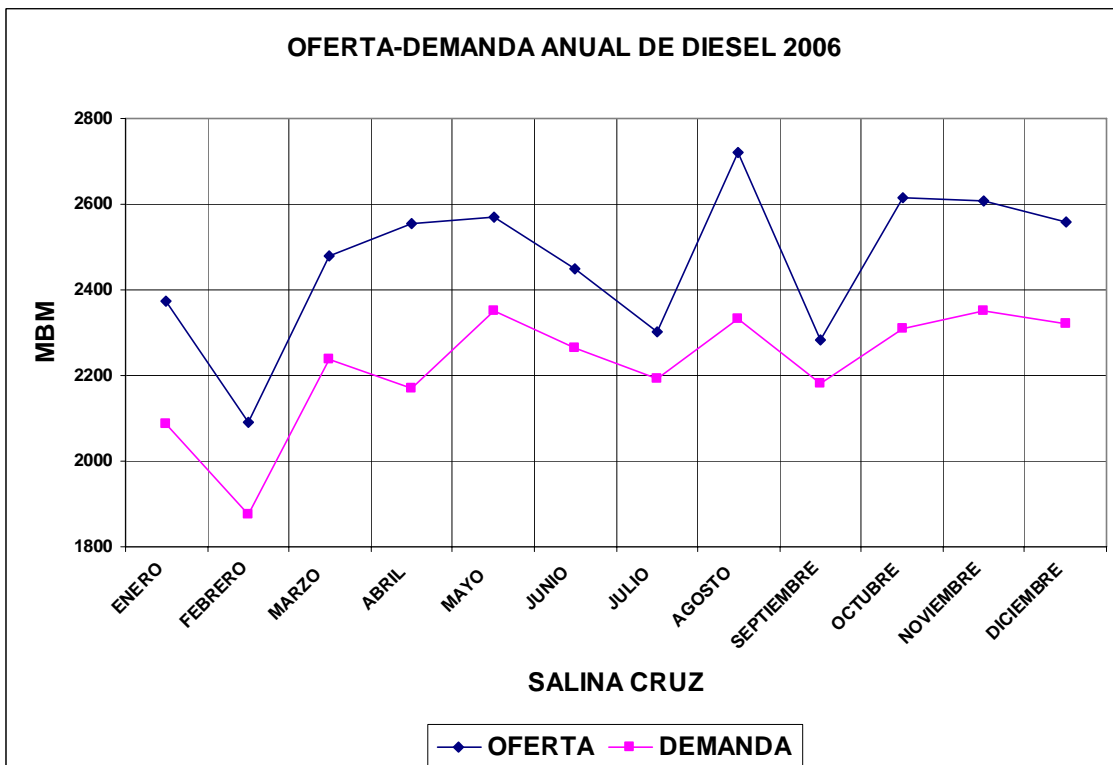


Figura 3.10

Con lo que respecta a la Refinería de Salina Cruz no tiene ningún problema en la distribución y almacenamiento para la zona Sureste.

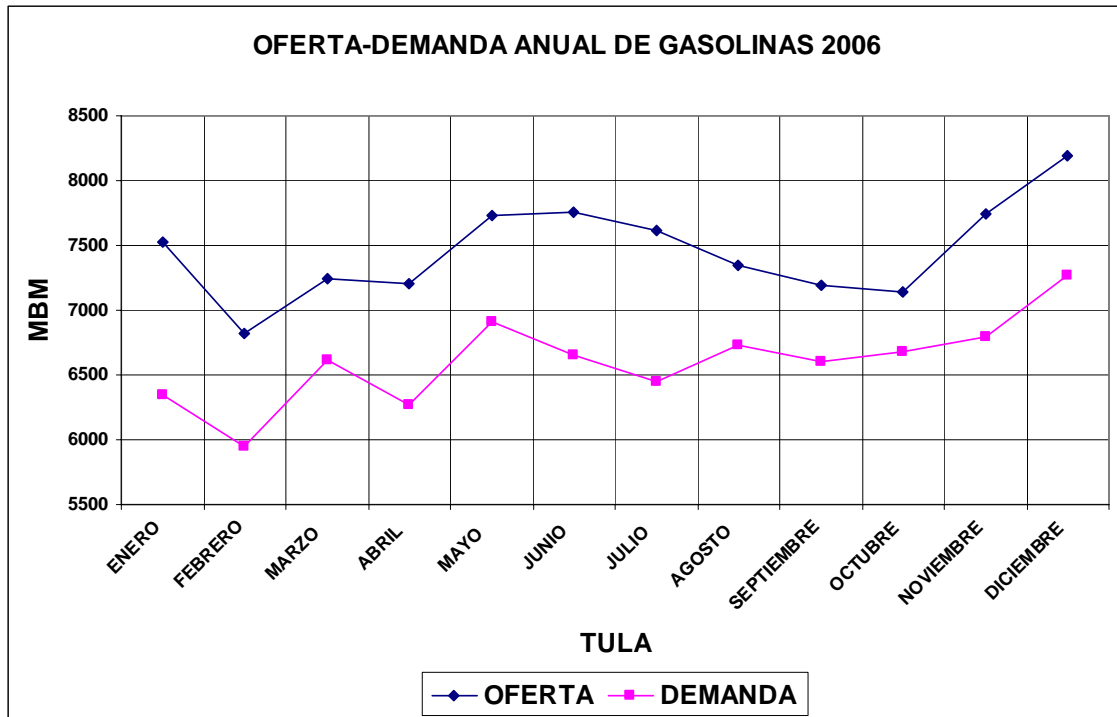


Figura 3.11

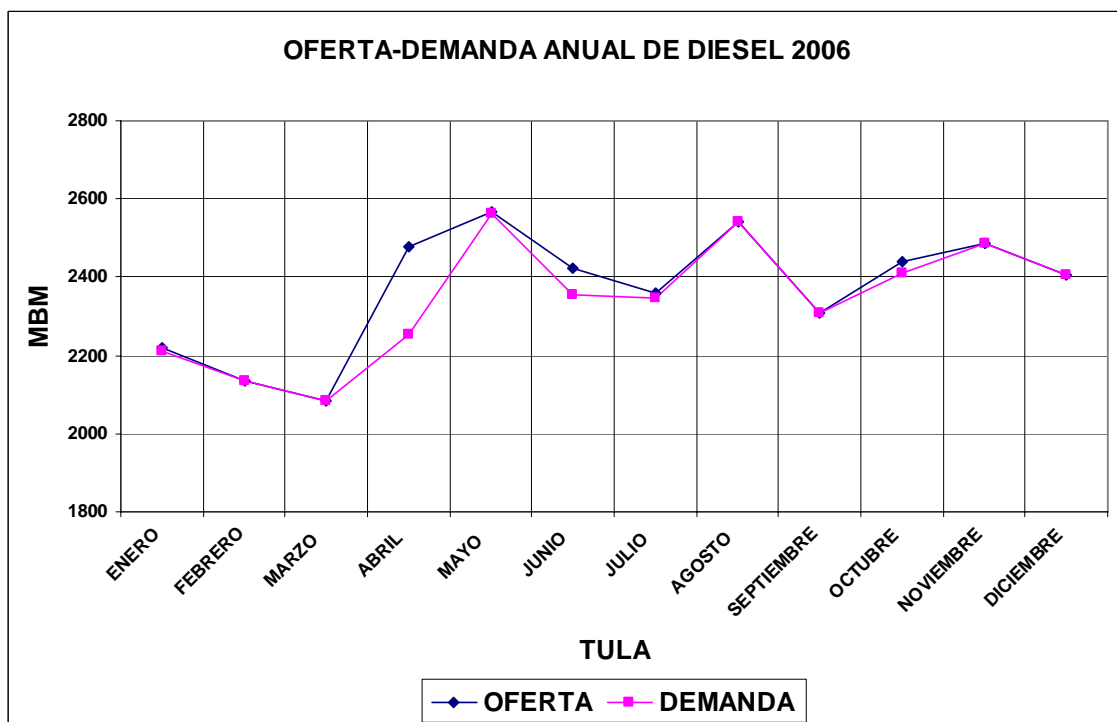


Figura 3.12

La producción de gasolinas de las Refinerías de Salamanca y Tula no cubren la demanda de la zona centro, esto implica que además de importar, se tengan que pedir apoyos a otras refinerías, aquí los apoyos se dan por autotanque, buquetanque y ducto. El apoyo que se da por ductos es del puerto de Tuxpan a Tula y Azcapotzalco, estos ductos trabajan sobresaturados por lo que es de suma importancia la implementación de nuevos ductos en



apoyo a esta zona.

Cabe mencionar que de acuerdo a una revisión previa en documentos con los que cuenta PEMEX Refinación no hay ningún problema para la distribución y almacenamiento del diesel. Por lo que solo se hará un análisis para gasolinas.

3.2 ESPECIFICACIÓN DEL DUCTO.

Los ductos de transporte de hidrocarburos deben diseñarse para su operación y mantenimiento bajo especificaciones y normas de seguridad muy estrictas.

3.2.1 Justificación para la construcción de nuevos ductos.

Los apoyos a la zona centro de las refinerías de Cadereyta, Madero y Salina Cruz son por autotanque con un volumen anual de **7,541,890** barriles, dicho volumen causa un costo de transportación de **37,002,900.5** dólares mostrados en la tabla 3.3 .

Es importante mencionar que el transporte de hidrocarburos por ducto es mucho mas económico que por autotanque. Por lo que se propone la construcción de un ducto paralelo al ya existente, del puerto de Tuxpan a Azcapotzalco, el cual nos ayuda a cubrir de una manera eficiente, segura y económica la demanda de la zona centro.

Se elije la ruta Tuxpan Azcapotzalco porque ya se cuenta con un derecho de vía, estaciones de bombeo, datos topográficos etc.


Calculo de los apoyos que se le dieron de otras zonas a la zona centro por medio de autotanque

Año 2006	AUTOTANQUE O CARROTANQUE	Producto	MBD	Enero (Bls/Mes)	Dls/Bls	Dls
ENERO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	2.77	85,870.00	5.62	482,589.40
FEBRERO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	5.62	0.00
MARZO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	5.03	155,930.00	5.62	876,326.60
ABRIL	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	1.10	33,000.00	5.62	185,460.00
MAYO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	5.62	0.00
JUNIO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	5.31	159,300.00	5.62	895,266.00
JULIO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	3.16	97,960.00	5.62	550,535.20
AGOSTO	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	1.35	41,850.00	5.62	235,197.00
SEPTIEMBRE	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	5.62	0.00
OCTUBRE	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	5.62	0.00
NOVIEMBRE	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	3.42	102,600.00	5.62	576,612.00
DICIEMBRE	CADEREYTA-ZACATECAS	Gasolinas	1.92	59,520.00	5.62	334,502.40
ENERO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	5.32	164,920.00	6.47	1,067,032.40
FEBRERO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	4.28	119,840.00	6.47	775,364.80
MARZO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	6.53	202,430.00	6.47	1,309,722.10
ABRIL	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	2.09	62,700.00	6.47	405,669.00
MAYO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	2.10	65,100.00	6.47	421,197.00
JUNIO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	5.00	150,000.00	6.47	970,500.00
JULIO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	6.77	203,100.00	6.47	1,314,057.00
AGOSTO	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	3.51	108,810.00	6.47	704,000.70
SEPTIEMBRE	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	3.28	98,400.00	6.47	636,648.00
OCTUBRE	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	0.00	0.00	6.47	0.00
NOVIEMBRE	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	4.30	129,000.00	6.47	834,630.00
DICIEMBRE	MADERO-AGUASCALIENTES	Gasolinas	0.00	0.00	4.71	0.00
ENERO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	4.71	0.00
FEBRERO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	3.71	103,880.00	5.79	601,465.20
MARZO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	2.63	81,530.00	5.79	472,058.70
ABRIL	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	1.90	57,000.00	5.79	330,030.00
MAYO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	4.29	132,990.00	5.79	770,012.10
JUNIO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.63	18,900.00	5.79	109,431.00
JULIO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	2.09	62,700.00	5.79	363,033.00
AGOSTO	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.78	24,180.00	5.79	140,002.20
SEPTIEMBRE	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	5.79	0.00
OCTUBRE	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	5.62	174,220.00	5.79	1,008,733.80
NOVIEMBRE	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.88	26,400.00	0.00	0.00
DICIEMBRE	MADERO-ZACATECAS	Gasolinas	0.00	0.00	4.58	0.00
ENERO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	9.36	290,160.00	4.60	1,334,736.00
FEBRERO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	9.33	261,240.00	4.60	1,201,704.00
MARZO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	10.66	330,460.00	4.60	1,520,116.00
ABRIL	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	9.07	272,100.00	4.60	1,251,660.00
MAYO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	10.91	338,210.00	4.60	1,555,766.00
JUNIO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	10.24	307,200.00	4.60	1,413,120.00
JULIO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	8.18	245,400.00	4.60	1,128,840.00
AGOSTO	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	9.87	305,970.00	4.60	1,407,462.00
SEPTIEMBRE	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	7.62	228,600.00	4.60	1,051,560.00
OCTUBRE	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	9.49	294,190.00	4.60	1,353,274.00
NOVIEMBRE	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	11.31	339,300.00	4.60	1,560,780.00
DICIEMBRE	MADERO-SAN LUIS POTOSI	Gasolinas	11.72	363,320.00	4.60	1,671,272.00
NOVIEMBRE	S.L.P.-AGUASCALIENTES	Gasolinas	1.00	30,000.00	2.90	87,000.00
DICIEMBRE	C.D. VICTORIA-AGUASCALIENTES	Gasolinas	2.08	64,480.00	4.71	303,700.80
DICIEMBRE	C.D. VICTORIA-ZACATECAS	Gasolinas	2.10	65,100.00	4.58	298,158.00
ABRIL	MANZANILLO-ZAMORA	Gasolinas	0.29	8,990.00	4.92	44,230.80
MAYO	MANZANILLO-ZAMORA	Gasolinas	5.80	179,800.00	4.92	884,616.00
JUNIO	MANZANILLO-ZAMORA	Gasolinas	5.71	177,010.00	4.92	870,889.20
JULIO	MANZANILLO-ZAMORA	Gasolinas	2.00	62,000.00	4.92	305,040.00
NOVIEMBRE	LAZARO CARDENAS-ZAMORA	Gasolinas	1.20	37,200.00	3.71	138,012.00
DICIEMBRE	LAZARO CARDENAS-ZAMORA	Gasolinas	3.27	101,370.00	3.71	376,082.70
ABRIL	MANZANILLO-EL CASTILLO	Gasolinas	0.26	8,060.00	3.85	31,031.00
ABRIL	MANZANILLO-ZAPOPAN	Gasolinas	0.26	8,060.00	3.85	31,031.00
JUNIO	PAJARITOS-OAXACA	Gasolinas	0.40	12,000.00	1.90	22,800.00
JULIO	PAJARITOS-OAXACA	Gasolinas	0.40	12,400.00	1.90	23,560.00
AGOSTO	PAJARITOS-OAXACA	Gasolinas	2.75	85,250.00	1.90	161,975.00
SEPTIEMBRE	PAJARITOS-OAXACA	Gasolinas	3.69	110,700.00	1.90	210,330.00
OCTUBRE	PAJARITOS-OAXACA	Gasolinas	5.51	170,810.00	1.90	324,539.00
JUNIO	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.21	6,300.00	0.63	3,969.00
JULIO	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.21	6,510.00	0.63	4,101.30
AGOSTO	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.71	22,010.00	0.63	13,866.30
SEPTIEMBRE	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.64	19,200.00	0.63	12,096.00
OCTUBRE	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.59	18,290.00	0.63	11,522.70
NOVIEMBRE	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.68	20,400.00	0.63	12,852.00
DICIEMBRE	PAJARITOS-TAPACHULA	Gasolinas	0.57	17,670.00	0.63	11,132.10
TOTAL			247.86	7,541,890.00		37,002,900.50

Tabla 3.3



3.2.2 Localización del ducto.

Ejemplo de los apoyos que se le dieron a la zona centro en enero del 2006

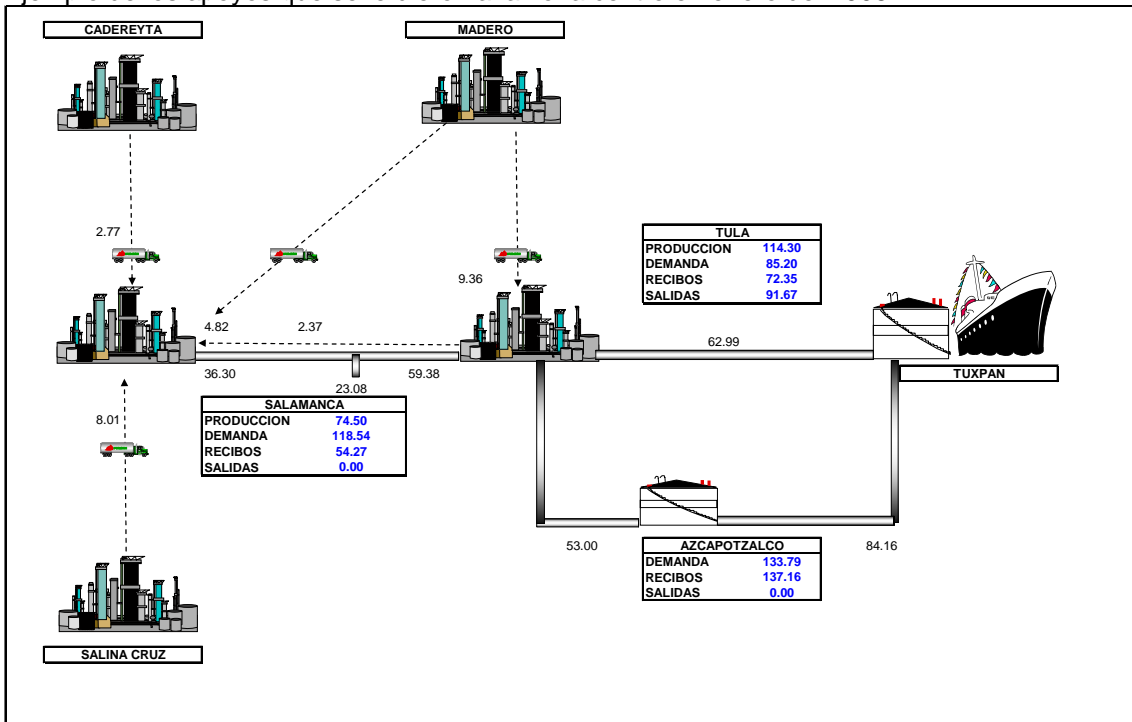
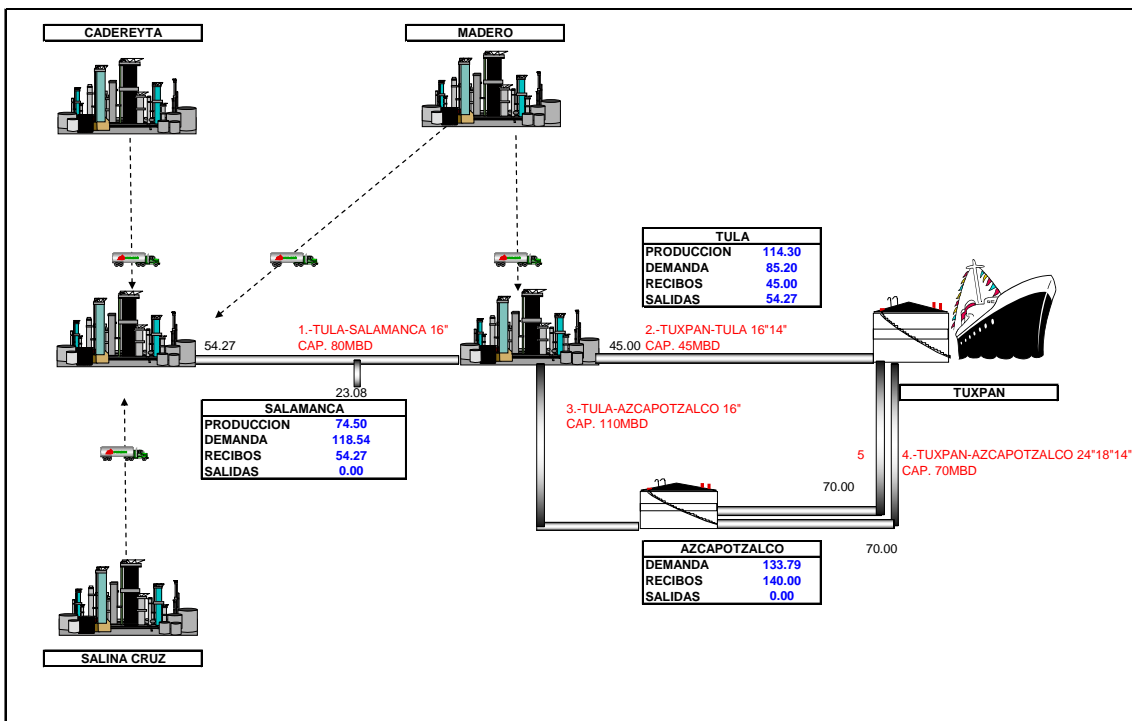


Figura 3.13



La figura 3.14 representa la sustitución del autotanque por el ducto.

Lo que se pretende con la construcción de este ducto es abastecer la demanda de la TAD Azcapotzalco, por lo tanto Azcapotzalco ya no requerirá del apoyo de Tula, pero en cambio el



apoyo que Tula proporciona a Azcapotzalco ahora será para Salamanca. De esta manera se podrán sustituir los apoyos que se dan por autotanque a Salamanca. El volumen extra que requiere la TAD Azcapotzalco es aproximadamente de 70 MBD.

Esta es una relación de las alturas sobre nivel del mar y la longitud de la línea de conducción.

ALTURAS Y LONGITUDES DEL PERFIL TUXPAN-AZCAPOTZALCO								
LUGAR	LONG.	A.S.N.M.	LUGAR	LONG.	A.S.N.M.	LUGAR	LONG.	A.S.N.M.
	[Km]	[m]		[Km]	[m]		[Km]	[m]
TUXPAN	0.000	1.56		97.374	260.00		206.013	2560.00
	1.000	1.61		100.374	195.00		209.013	2560.00
	1.446	1.61		103.374	285.00		212.013	2560.00
	1.988	1.61		106.374	205.00		215.013	2560.00
	3.000	2.29		109.374	228.00		218.013	2560.00
	5.652	2.29		112.374	250.00		221.013	2530.00
	6.000	1.49		115.374	285.00		223.718	2520.00
	6.402	1.49		115.771	285.00		224.013	2530.00
	9.000	6.20		116.286	260.00		227.013	2520.00
	12.000	12.18		118.374	265.00		230.013	2480.00
	15.000	16.18	LA CEIBA	120.068	270.00		233.013	2480.00
	15.552	16.18		121.374	365.00		236.013	2430.00
	18.000	9.57		124.374	685.00		239.013	2540.00
	21.000	15.09		125.156	685.00		242.013	2510.00
	24.000	20.53		127.374	815.00		245.013	2420.00
	27.000	12.83		128.554	915.00		248.013	2380.00
	30.000	19.49		130.374	1070.00		251.013	2380.00
	33.000	32.44	ZOQUITAL	132.308	1250.00		254.013	2340.00
	34.600	32.44		133.374	1235.00		257.013	2320.00
	36.000	45.35		136.374	1220.00		260.013	2290.00
	37.800	99.73		139.374	1165.00		263.013	2260.00
	39.000	20.28		140.239	1165.00		266.013	2280.00
	42.000	23.53		142.374	1175.00		268.733	2290.00
	45.000	109.86		145.374	1220.00		269.013	2350.00
	49.500	38.26		148.374	1570.00		272.013	2295.00
	50.500	149.60		151.374	1430.00		275.013	2275.00
	51.000	94.42		152.305	1430.00		278.013	2225.00
	51.760	109.39		152.711	1380.00		279.955	2263.00
	54.000	49.97		154.374	1680.00		281.013	2249.00
	57.000	56.20	CATALINA	156.688	1630.00		284.013	2250.00
	60.000	57.00		157.374	1685.00		286.652	2250.00
	63.000	72.06		160.374	2020.00		287.013	2251.00
	64.500	53.95		163.374	2120.00		290.013	2251.00
66.000	50.31		166.374	2170.00		293.013	2243.00	
66.112	50.31		169.374	2225.00		296.013	2250.00	
66.618	50.31		172.374	2245.00		297.152	2261.00	
67.000	50.87		175.374	2335.00		299.013	2270.00	
POZA RICA	67.374	55.13		178.374	2430.00		302.013	2253.00
	67.500	52.00	CIMA DE TOGO	179.013	2480.00		305.013	2251.00
	68.174	52.00		182.013	2400.00		305.652	2241.00
	70.374	60.00		182.218	2415.00		308.013	2231.00
	73.374	120.00		185.013	2430.00	AZCAPOTZALCO	309.013	2230.00
	76.374	200.00		187.218	2400.00			
	79.374	255.00		188.013	2420.00			
	82.374	275.00		190.763	2300.00			
	85.374	256.00		191.013	2400.00			
	88.374	285.00		194.013	2580.00			
91.374	310.00		197.013	2657.00				
93.974	370.00		200.013	2570.00				
94.374	370.00		203.013	2550.00				

Tabla 3.4

Datos obtenidos de PEMEX Refinación de la hoja de cálculo de Excel P24BNT



Grafico correspondiente a la tabla 3.4



Figura 3.15

3.2.3 Cálculo del diámetro para la línea de conducción.

Para determinar el diámetro de la tubería que conducirá los hidrocarburos líquidos del proyecto, aplicaremos la formula 3.1, en el cual se establece un rango de velocidades del fluido ya definidas dentro de la tubería, que es de 2 a 4 ft/s para las líneas de bombeo.

$$d = \sqrt{\frac{0.286Q}{V}} \quad 3.1$$

Q = BPH
V = ft/s
D =Pulgadas

Para:

$$d = \sqrt{\frac{0.286(2916.66)}{4}} = 14.4''$$

Q = 70 MBD
V = 4 ft/s

Para:

$$d = \sqrt{\frac{0.286(2916.66)}{3}} = 16.67''$$

Q = 70 MBD
V = 3 ft/s

Para:

$$d = \sqrt{\frac{0.286(2916.66)}{2.4}} = 20.4''$$

Q = 70 MBD
V = 2.4 ft/s



Estas velocidades están recomendadas por ingenieros de PEMEX en base a la práctica.

Los resultados teóricos obtenidos, se deben ajustar a los diámetros que existen comercialmente; ya que sería imposible encontrarlos en el mercado con el diámetro exacto que da la teoría. Los diámetros comerciales ajustados son: 14, 16 y 20 pulgadas respectivamente.

Despejando la ecuación 3.1 en términos de velocidad y proponiendo un diámetro de 16" con un gasto de 70000 barriles diarios, se obtiene la siguiente velocidad:

$$v = \frac{0.286(2916.66)}{16^2} = 3.26 \text{ ft / s}$$

La cual esta dentro del rango recomendado.

Se elije este el diámetro de 16" por que su velocidad esta dentro del rango de 2.4 y 4.

3.2.4 Propiedades físicas de los hidrocarburos a conducir.

Gasolina PEMEX Magna Sin Convencional.

Destilado de petróleo, sin plomo de uso general que elabora PEMEX refinación, con un índice de octano mínimo de 87. Puede utilizarse en los automóviles modelo 1985 y posteriores, pero necesaria para todos los vehículos fabricados en México modelo 1991 y posteriores equipados con convertidor catalítico para reducir las emisiones contaminantes.

Gasolina PEMEX Premium.

Gasolina sin plomo que elabora PEMEX Refinación especialmente para motores de alta relación de compresión, que exigen un índice de octano superior al de la gasolina Magna. Su índice de octano es de 92-93.



Propiedades físicas de los hidrocarburos a conducir		
Propiedades	Gasolina PEMEX Magna Sin Convencional.	Gasolina PEMEX Premium.
	Es un líquido color verde claro, no soluble en agua.	Líquido de color amarillo, insoluble en el agua.
Temperatura de ebullición(Rango)	a 760 mm Hg: 27-225° C	a 760 mm Hg: 77-225° C
Presión de vapor	6.5-8.5Psi	6.5-11.5Psi
Densidad de vapor	(Aire = 1): 3 – 4	(Aire = 1): 3 – 4
Porcentaje de volatilidad	esencialmente 100	esencialmente 100
Gravedad específica	(20/4° C): 0.680 – 0.740	(20/4° C): 0.740
Temperatura de inflamación	38° C	38° C
Limites de inflamabilidad en el aire	porcentaje en volumen: inferior = 1.4 % superior = 7.6 %	porcentaje en volumen: inferior = 1.4 % superior = 7.6 %
Viscosidad cinemática	0.86cs	0.86cs
Densidad.	760 Kg/m ³	760 Kg/m ³

Tabla 3.5

Las siguientes formulas están basadas en el manual de diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos NRF-030-PEMEX-2003.

3.2.5 Presión interna.

La tubería y sus componentes deben diseñarse para una presión interna (P_i) igual o mayor que la presión de operación máxima (P_{OM}) a régimen constante, la cual no debe ser menor a la presión de la carga hidrostática en cualquier punto del ducto en una condición estática.

La capacidad por presión interna para tubería que transporta líquido o gas, está dada por la siguiente expresión basada en la fórmula de Barlow (ASME B31.8, sección 841.11):

$$P_i = \frac{2t(SMYS)}{D}$$

Donde:

P_i = Presión interna, en N/mm² (Psi).

D = Diámetro exterior nominal del tubo, en mm (pulg.)

t = Espesor de pared de acero del tubo, en mm (pulg.).

$SMYS$ = Esfuerzo de Fluencia Mínimo Especificado del tubo (Specified Minimum Yielding Strength), en N/mm² (Psi) de acuerdo API 5L.



3.2.6 Presión Máxima de Operación (POM). La presión máxima de operación por presión interna para tubería que transporta líquido o gas, se debe calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = f_{CP} P_i$$

Donde:

P = Presión máxima de operación en N/mm² (Psi).

P_i = Presión interna, en N/mm² (Psi).

F_{CP} = Factor de capacidad permisible por presión interna.

El factor de capacidad permisible (F_{cp}) se determina como sigue:

$$f_{CP} = f_{DIS} f_{TEMP}$$

Donde:

f_{DIS} = El factor de diseño a utilizarse en el cálculo de la capacidad permisible por presión interna para ductos que transportan líquidos es de 0.72.

f_{TEM} = Factor de diseño por temperatura, de acuerdo a la siguiente tabla:

Temperatura		Factor de Diseño (f _{TEMP})
°C	°F	
121 o menos	250 o menos	1.000
149	300	0.967
177	350	0.933
204	400	0.900
232	450	0.867

Tabla 3.6 Factor de diseño por presión interna (f_{temp})

3.2.7 Tubería Comercial.

Para ductos terrestres, presentan diámetros que van desde 6" hasta 48", con espesores desde 0.188" hasta 1.250", dependiendo del diámetro y del grado de la tubería. Los grados de la tubería, comunes para ductos nuevos son A, B, X-42, X-52, X-60 y X-65.

A continuación presentamos una tabla que muestra los esfuerzos mínimos especificados (SMYS) para cada grado de tubería de acuerdo API 5L.

SMYS=Specified Maximum Yielding Strength.

Especif. API	Grado	SMYS (psi)
5L	A	30,000
	B	35,000
	X-42	42,000
	X-52	52,000
	X-60	60,000
	X-65	65,000

Tabla 3.7



3.3 CALCULO DE PI, POM Y GRADIENTE HIDRAULICO.

CALCULO HIDRAULICO DEL GRADIENTE DE PRESIONES BARRA NORTE DE TUXPAN-POZA RICA-AZCAPOTZALCO							GRAV. ESP. = 0.740 VISCOSIDAD [cS]= 0.65		P succión(TUXPAN) : 0.5				
LUGAR	Longitud. [Km]	A.S.N.M. [m]	D.exterior ["]	Espesor ["]	SMYS [PSI]	f _{dis}	Pi [Kg/cm ²]	POM [Kg/cm ²]	POM [m]	FLUJO [MBD]	Pf kg/cm ² /km	GDTE.1 [Kg/cm ²]	GDTE.1 [M]
TUXPAN	0.000	1.56	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.2	70	0.12201	44.5	603.1
	1.000	1.61	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.2	70	0.12201	44.4	601.5
	1.446	1.61	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.2	70	0.12201	44.3	600.7
	1.988	1.61	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.2	70	0.12201	44.3	599.8
	3.000	2.29	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.9	70	0.12201	44.1	598.2
	5.652	2.29	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.9	70	0.12201	43.8	593.8
	6.000	1.49	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.1	70	0.12201	43.8	593.2
	6.402	1.49	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1113.1	70	0.12201	43.7	592.5
	9.000	6.20	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1117.8	70	0.12201	43.1	588.3
	12.000	12.18	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1123.8	70	0.12201	42.3	583.3
	15.000	16.18	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1127.8	70	0.12201	41.6	578.4
	15.552	16.18	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1127.8	70	0.12201	41.5	577.5
	18.000	9.57	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1121.2	70	0.12201	41.7	573.4
	21.000	15.09	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1126.7	70	0.12201	41.0	568.5
	24.000	20.53	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1132.2	70	0.12201	40.2	563.5
	27.000	12.83	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1124.5	70	0.12201	40.4	558.6
	30.000	19.49	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1131.1	70	0.12201	39.5	553.6
	33.000	32.44	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1144.1	70	0.12201	38.2	548.7
	34.600	32.44	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1144.1	70	0.12201	38.0	546.1
	36.000	45.35	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1157.0	70	0.12201	36.9	543.7
	37.800	99.73	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1211.4	70	0.12201	32.6	540.8
	39.000	20.28	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1131.9	70	0.12201	38.4	538.8
	42.000	23.53	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1135.2	70	0.12201	37.8	533.9
	45.000	109.86	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1221.5	70	0.12201	31.0	528.9
	49.500	38.26	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1149.9	70	0.12201	35.8	521.5
	50.500	149.60	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1261.2	70	0.12201	27.4	519.8
	51.000	94.42	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1206.1	70	0.12201	31.4	519.0
	51.760	109.39	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1221.0	70	0.12201	30.2	517.8
	54.000	49.97	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1161.6	70	0.12201	34.3	514.1
	57.000	56.20	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1167.8	70	0.12201	33.5	509.1
	60.000	57.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1168.6	70	0.12201	33.1	504.2
	63.000	72.06	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1183.7	70	0.12201	31.6	499.2
	64.500	53.95	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1165.6	70	0.12201	32.8	496.8
66.000	50.31	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1161.9	70	0.12201	32.9	494.3	
66.112	50.31	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1161.9	70	0.12201	32.8	494.1	
66.618	50.31	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1161.9	70	0.12201	32.8	493.3	
67.000	50.87	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1162.5	70	0.12201	32.7	492.6	
POZA RICA	67.374	55.13	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1166.8	70	0.12201	32.3	492.0
	67.500	52.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1163.6	70	0.12201	32.5	491.8
	68.174	52.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1163.6	70	0.12201	32.5	490.7
	70.374	60.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1171.6	70	0.12201	31.6	487.1
	73.374	120.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1231.6	70	0.12201	26.8	482.1
	76.374	200.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1311.6	70	0.12201	20.5	477.2
	79.374	255.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1366.6	70	0.12201	16.1	472.2
	82.374	275.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1386.6	70	0.12201	14.2	467.3
	85.374	256.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1367.6	70	0.12201	15.3	462.3
	88.374	285.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1396.6	70	0.12201	12.8	457.4
	91.374	310.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1421.6	70	0.12201	10.5	452.4
	93.974	370.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1481.6	70	0.12201	5.8	448.2
	94.374	370.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1481.6	70	0.12201	5.7	447.5
	97.374	260.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1371.6	70	0.12201	13.5	442.6
	100.374	195.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1306.6	70	0.12201	18.0	437.6
	103.374	285.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1396.6	70	0.12201	10.9	432.7
106.374	205.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1316.6	70	0.12201	16.5	427.7	
109.374	228.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1339.6	70	0.12201	14.4	422.8	
112.374	250.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1361.6	70	0.12201	12.4	417.8	
115.374	285.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1396.6	70	0.12201	9.5	412.9	
115.771	285.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1396.6	70	0.12201	9.4	412.2	
116.286	260.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1371.6	70	0.12201	11.2	411.4	
118.374	265.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	1376.6	70	0.12201	10.6	407.9	
LA CEIBA	120.068	270.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	1657.3	70	0.12675	10.0	405.1
	121.374	365.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	1752.3	70	0.12675	76.9	1403.9
	124.374	685.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2072.3	70	0.12675	52.8	1398.7
	125.156	685.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2072.3	70	0.12675	52.7	1397.4
	127.374	815.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2202.3	70	0.12675	42.8	1393.6
128.554	915.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2302.3	70	0.12675	35.3	1391.6	
130.374	1070.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2457.3	70	0.12675	23.6	1388.4	
ZOQUITAL	132.308	1250.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	2637.3	70	0.12675	10.0	1385.1
	133.374	1235.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2346.6	70	0.12201	62.1	2073.8
	136.374	1220.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2331.6	70	0.12201	62.8	2068.9
	139.374	1165.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2276.6	70	0.12201	66.5	2064.0
	140.239	1165.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2276.6	70	0.12201	66.4	2062.5
	142.374	1175.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2286.6	70	0.12201	65.4	2059.0
	145.374	1220.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2331.6	70	0.12201	61.7	2054.1
	148.374	1570.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2681.6	70	0.12201	35.5	2049.1
	151.374	1430.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2541.6	70	0.12201	45.4	2044.2
	152.305	1430.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2541.6	70	0.12201	45.3	2042.6
	152.711	1380.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2491.6	70	0.12201	49.0	2042.0
	154.374	1680.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	2791.6	70	0.12201	26.6	2039.2



CATALINA	156.688	1630.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	3017.3	70	0.12675	30.0	2035.4
	157.374	1685.00	16	0.312	52000	0.720	142.6	102.7	3072.3	70	0.12675	71.5	2651.0
	160.374	2020.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3131.6	70	0.12201	46.3	2645.9
	163.374	2120.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3231.6	70	0.12201	38.5	2640.9
	166.374	2170.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3281.6	70	0.12201	34.5	2636.0
	169.374	2225.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3336.6	70	0.12201	30.0	2631.0
	172.374	2245.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3356.6	70	0.12201	28.2	2626.1
	175.374	2335.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3446.6	70	0.12201	21.2	2621.1
	178.374	2430.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3541.6	70	0.12201	13.8	2616.2
	179.013	2480.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3591.6	70	0.12201	10.0	2615.1
	182.013	2400.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3511.6	70	0.12201	30.9	2817.8
	182.218	2415.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3526.6	70	0.12201	29.8	2817.4
	185.013	2430.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3541.6	70	0.12201	28.3	2812.8
	187.218	2400.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3511.6	70	0.12201	30.3	2809.2
188.013	2420.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3531.6	70	0.12201	28.7	2807.9	
190.763	2300.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3411.6	70	0.12201	37.2	2803.3	
191.013	2400.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3511.6	70	0.12201	29.8	2802.9	
194.013	2580.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3691.6	70	0.12201	16.1	2798.0	
197.013	2657.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3768.6	70	0.12201	10.1	2793.0	
200.013	2570.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3681.6	70	0.12201	16.1	2788.1	
203.013	2550.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3661.6	70	0.12201	17.3	2783.2	
206.013	2560.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3671.6	70	0.12201	16.1	2778.2	
209.013	2560.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3671.6	70	0.12201	15.8	2773.3	
212.013	2560.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3671.6	70	0.12201	15.4	2768.3	
215.013	2560.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3671.6	70	0.12201	15.0	2763.4	
218.013	2560.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3671.6	70	0.12201	14.7	2758.4	
221.013	2530.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3641.6	70	0.12201	16.5	2753.5	
223.718	2520.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3631.6	70	0.12201	16.9	2749.0	
224.013	2530.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3641.6	70	0.12201	16.2	2748.5	
227.013	2520.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3631.6	70	0.12201	16.5	2743.6	
230.013	2480.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3591.6	70	0.12201	19.1	2738.6	
233.013	2480.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3591.6	70	0.12201	18.8	2733.7	
236.013	2430.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3541.6	70	0.12201	22.1	2728.7	
239.013	2540.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3651.6	70	0.12201	13.6	2723.8	
242.013	2510.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3621.6	70	0.12201	15.5	2718.8	
245.013	2420.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3531.6	70	0.12201	21.7	2713.9	
248.013	2380.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3491.6	70	0.12201	24.3	2709.0	
251.013	2380.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3491.6	70	0.12201	24.0	2704.0	
254.013	2340.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3451.6	70	0.12201	26.6	2699.1	
257.013	2320.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3431.6	70	0.12201	27.7	2694.1	
260.013	2290.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3401.6	70	0.12201	29.5	2689.2	
263.013	2260.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3371.6	70	0.12201	31.4	2684.2	
266.013	2280.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3391.6	70	0.12201	29.5	2679.3	
268.733	2290.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3401.6	70	0.12201	28.5	2674.4	
269.013	2350.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3461.6	70	0.12201	24.0	2674.3	
272.013	2295.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3406.6	70	0.12201	27.7	2669.4	
275.013	2275.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3386.6	70	0.12201	28.8	2664.4	
278.013	2225.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3336.6	70	0.12201	32.2	2659.5	
279.955	2263.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3374.6	70	0.12201	29.1	2656.3	
281.013	2249.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3360.6	70	0.12201	30.0	2654.5	
284.013	2250.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3361.6	70	0.12201	29.6	2649.6	
286.652	2250.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3361.6	70	0.12201	29.2	2645.2	
287.013	2251.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3362.6	70	0.12201	29.1	2644.7	
290.013	2251.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3362.6	70	0.12201	28.8	2639.7	
293.013	2243.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3354.6	70	0.12201	29.0	2634.8	
296.013	2250.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3361.6	70	0.12201	28.1	2629.8	
297.152	2261.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3372.6	70	0.12201	27.2	2627.9	
299.013	2270.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3381.6	70	0.12201	26.3	2624.9	
302.013	2253.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3364.6	70	0.12201	27.2	2619.9	
305.013	2251.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3362.6	70	0.12201	26.9	2615.0	
305.652	2241.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3352.6	70	0.12201	27.6	2613.9	
308.013	2231.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3342.6	70	0.12201	28.0	2610.0	
AZCAPOTZALCO	309.013	2230.00	16	0.250	52000	0.720	114.3	82.3	3341.6	70	0.12201	28.0	2608.4

Tabla 3.8

La tabla 3.8 fue creada por los ingenieros de PEMEX Refinación del área de ductos de acuerdo al documento NRF-030-pemex-2003 para el cálculo hidráulico del gradiente de presiones.

A.S.N.M (Altura Sobre Nivel del Mar).

Dext (Diámetro exterior).

SMYS (Esfuerzo de Fluencia Mínima Especificado del Tubo).

f_{Dis} (factor de diseño).

P_i (Presión interna).

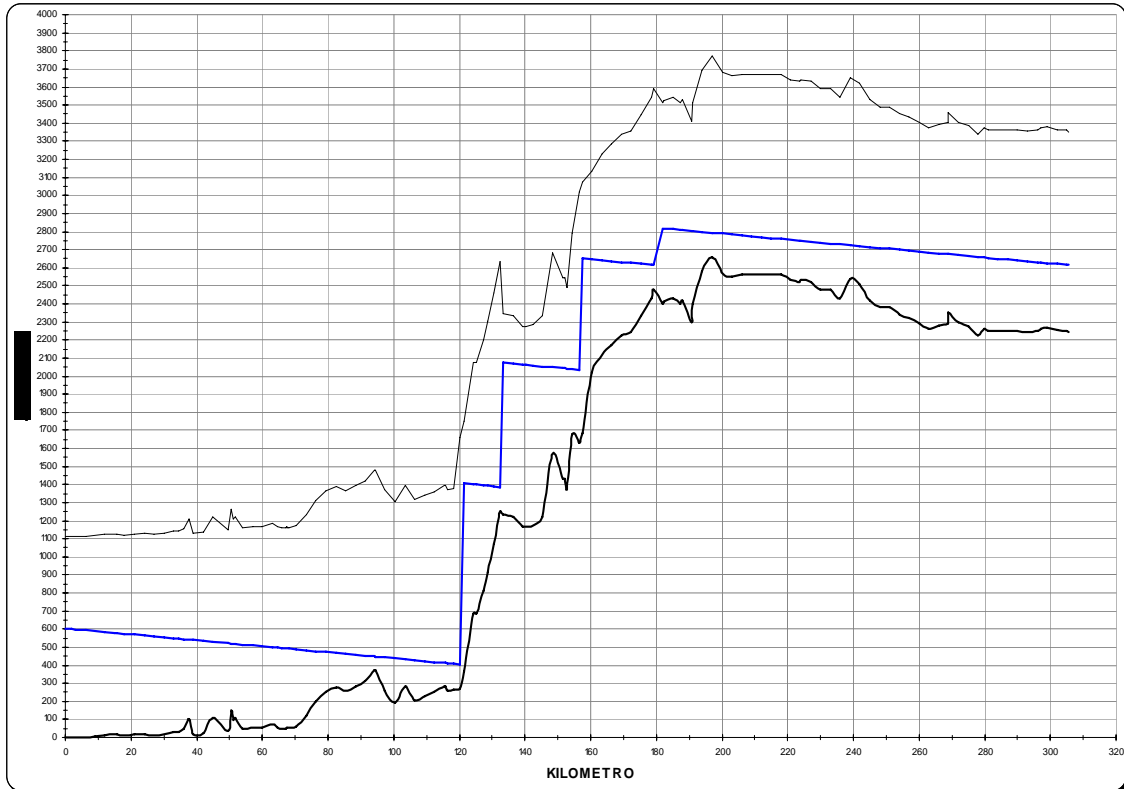
POM (Presión Máxima de Operación).

P_f (perdidas por fricción).

GDTE (Gradiente hidráulico de presiones).



Grafico correspondiente a la tabla 3.8



El grafico 3.8 representa que de acuerdo al espesor y material de la tubería especificado, el gradiente (que es la línea intermedia) se encuentra dentro del rango aceptable para que el ducto opere sin ningún riesgo de fractura. Si la línea intermedia esta por debajo de la línea inferior (que son las alturas por donde pasa la tubería) la gasolina no podrá llegar a su destino por el contrario si la línea intermedia sobrepasa la línea superior (que son las presiones máximas de operación) entonces se tendrá una posible fractura en los ductos.

3.4 CALCULO DEL COSTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN TUXPAN-AZCAPOTZALCO 16”.

El ajuste para precios actuales se hará de acuerdo al índice nacional de de precios al consumidor o también llamado índice general de inflación que realiza el Banco de México.

El Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) es un indicador económico diseñado específicamente para medir el cambio promedio de los precios en el tiempo, mediante una canasta ponderada de bienes y servicios representativa del consumo de las familias urbanas de México.

Para el cálculo del factor de inflación se realiza un promedio del año que se desea actualizar entre un promedio del año con que se cuentan los últimos datos, como se muestra en la tabla 3.9.

ÍNDICE GENERAL DE INFLACIÓN

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	∑meses/meses	Factor
2007	121.64	121.98	122.244										121.95	1.28
2006	116.983	117.162	117.309	117.481	116.958	117.059	117.38	117.979	119.17	119.691	120.319	121.015		
2005	112.554	112.929	113.438	113.842	113.556	113.447	113.891	114.027	114.484	114.765	115.591	116.301		
2004	107.661	108.305	108.672	108.836	108.563	108.737	109.022	109.695	110.602	111.368	112.318	112.550		
2003	103.32	103.607	104.261	104.439	104.102	104.188	104.339	104.652	105.275	105.661	106.538	106.996		
2002	98.253	98.19	98.692	99.231	99.432	99.917	100.204	100.585	101.19	101.636	102.458	102.904		
2001	93.765	93.703	94.297	94.772	94.99	95.215	94.967	95.53	96.419	96.855	97.22	97.354	95.42	

Tabla 3.9



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD



A continuación se presenta la tabla 3.10 en la cual se calcula el costo de la línea de conducción.

Los costos de la tubería fueron proporcionados por PEMEX Refinación en el área de ductos los cuales serán ajustados de acuerdo al factor de inflación calculado en la tabla 3.9.

COTIZACIÓN DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN DE TUXPAN-AZCAPOTZALCO 16"												
LUGAR	API-SPC-SL	Longitud	Longitud	Diametro Exterior	Espesor	Factor de la Inflacion	Costo de la tubería por metro	Costo de la válvula por metro	Costo de trampa de diablos por metro	Costo de la línea de conducción	Costo de la línea de conducción	
	GRADO	[Km]	[m]	["]	["]	[%]	[\$]	[\$]	[\$]	PESOS	DOLARES	
TUXPAN	X-52	0.000	0.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	0.00	0.00	
	X-52	1.000	1000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1776230.40	161475.49	
	X-52	1.446	1446.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	792198.76	72018.07	
	X-52	1.988	542.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	962716.88	87519.72	
	X-52	3.000	1012.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1797545.16	163413.20	
	X-52	5.652	2652.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4710563.02	428233.00	
	X-52	6.000	348.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	618128.18	56193.47	
	X-52	6.402	402.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	714044.62	64913.15	
	X-52	9.000	2598.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4614646.58	419513.33	
	X-52	12.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	15.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	15.552	552.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	980479.18	89134.47	
	X-52	18.000	2448.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4348212.02	395292.00	
	X-52	21.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	24.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	27.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	30.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	33.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	34.600	1600.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2841968.64	258360.79	
	X-52	36.000	1400.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2486722.56	226065.69	
	X-52	37.800	1800.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3197214.72	290655.88	
	X-52	39.000	1200.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1349935.10	122721.37	
	X-52	42.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2131476.48	193770.59	
	X-52	45.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	49.500	4500.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	7993036.80	726639.71	
	X-52	50.500	1000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1776230.40	161475.49	
	X-52	51.000	500.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	888115.20	80737.75	
	X-52	51.760	760.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3197214.72	290655.88	
	X-52	54.000	1240.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	198937.80	18095.65	
	X-52	57.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	60.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	63.000	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	64.500	1500.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2664345.60	242213.24	
	X-52	66.000	1500.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2664345.60	242213.24	
	X-52	68.112	112.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	198937.80	18095.65	
	X-52	68.618	128.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	898772.58	81706.68	
	X-52	67.000	382.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	678520.01	61683.64	
	POZA RICA	X-52	67.374	374.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	664310.17	60391.83
		X-52	67.500	126.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	223805.03	20345.91
		X-52	68.174	674.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1197179.29	108834.48
		X-52	70.374	2200.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3907706.88	355246.08
		X-52	73.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
		X-52	76.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
		X-52	79.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
		X-52	82.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
X-52		85.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		88.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		91.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		93.974	2600.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4618199.04	419836.28	
X-52		94.374	400.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	710492.16	64590.20	
X-52		97.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		100.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		103.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		106.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		109.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		112.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		115.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52		115.771	397.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	705163.47	64105.77	
X-52		116.286	515.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	914758.66	83159.88	
X-52		118.374	2088.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3708769.08	337160.83	
LA CEIBA		X-52	120.068	1694.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	3695918.75	335074.43
		X-52	121.374	1306.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	2841605.25	258327.75
	X-52	124.374	3000.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	6527424.00	593402.18	
	X-52	125.156	782.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	1701481.86	154680.17	
	X-52	127.374	2218.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	4825942.14	438722.01	
	X-52	128.554	1180.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	2567453.44	233404.86	
	X-52	130.374	1820.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	3959970.56	359997.32	
ZOQUITAL	X-52	132.308	1834.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	4208012.87	382546.81	
	X-52	133.374	1066.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1893461.61	172132.87	
	X-52	136.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	139.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	140.239	865.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1536439.30	139676.30	
	X-52	142.374	2135.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3792251.90	344750.17	
	X-52	145.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	148.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	151.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	152.305	931.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1653670.50	150333.68	
CATALINA	X-52	152.711	406.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	721149.54	65559.05	
	X-52	154.374	1663.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2953871.16	268533.74	
	X-52	156.688	2314.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	5034819.71	457710.88	
	X-52	157.374	686.000	16	0.312	1.28	1596.86	21.49	81.50	1492604.29	135691.30	
	X-52	160.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	163.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	166.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	169.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
	X-52	172.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47	
X-52	175.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47		
X-52	178.374	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47		



LA CIMA	X-52	179.013	639.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1135011.23	103182.84
	X-52	182.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	182.218	205.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	364127.23	33102.48
	X-52	185.013	2795.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4964563.97	451324.00
	X-52	187.218	2205.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3916588.03	350533.46
	X-52	188.013	785.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1412103.17	128373.02
	X-52	190.763	2750.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4884633.60	444057.68
	X-52	191.013	250.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	444057.60	40388.87
	X-52	194.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	197.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	200.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	203.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	206.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	209.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	212.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	215.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	218.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	221.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	223.718	2705.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4804703.23	436791.20
	X-52	224.013	285.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	523987.97	47635.27
	X-52	227.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	230.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	233.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	236.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	239.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	242.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	245.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	248.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	251.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	254.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	257.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	260.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	263.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	266.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	268.733	2720.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4831346.69	439213.34
	X-52	269.013	280.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	497344.51	45213.14
	X-52	272.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	275.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	278.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	279.955	1942.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	340439.44	313585.40
	X-52	281.013	1058.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1879251.76	170841.07
	X-52	284.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	286.652	2639.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4684772.03	426133.82
	X-52	287.013	361.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	641219.17	58292.65
	X-52	290.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	293.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	296.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	297.152	1139.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	2023126.43	18920.58
	X-52	299.013	1861.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	3305564.77	300505.89
	X-52	302.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	305.013	3000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	5328691.20	484426.47
	X-52	305.652	639.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1135011.23	103182.84
	X-52	308.013	2381.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	4193679.97	381243.63
AZCAPOTZALCO	X-52	309.013	1000.000	16	0.250	1.28	1284.69	21.49	81.50	1776230.40	161475.49
							TOTAL			555,644,731.67	50,513,157.42

Tabla 3.10

El grado de la tubería se eligió de acuerdo al Esfuerzo de Fluencia Mínima Especificado del Tubo para este grado es de 52000 psi y que fue considerado para el cálculo del gradiente hidráulico de presiones.

La línea de conducción costara aproximadamente 50, 513,157.42 millones de dólares la cual transportara 70,000 barriles por día.

Esta cotización no considera equipo de bombeo, ya que actualmente se cuenta con estaciones de bombeo las cuales cuentan con tres bombas, una en operación y dos de relevo. Por lo que se recomienda se haga un análisis para la posible adaptación de la nueva línea de conducción a las bombas de relevo.

La paridad peso dólar se tomo de 11 pesos por un dólar.

**3.5 ESTUDIO ECONÓMICO.**

Estado de Resultados Anual de la implementación del ducto Tuxpan-Azcapotzalco 16"		
Ingresos. (por concepto de la sustitucion de Ductos por Autotanque)	USD \$	37,002,900.50
Ingresos. (por concepto de la eliminacion del Mejorador de Flujo)	USD \$	531,708.16
Ingresos. (volumen extra Tuxpan-Azc. Debido al mejorador de Flujo)	USD \$	9,070,250.00
Ingresos. (por concepto de la sustitucion del ducto Tula-Azc. Por Tuxpan-Azc.)	USD \$	3,771,582.05
	UTILIDAD BRUTA	USD \$ 50,376,440.70
Gastos de mantenimiento del Ducto.	USD \$	152,955.54
Gastos de Operación del Ducto Tuxpan-Azcapotzalco 16"	USD \$	18,140,500.00
Gastos de Operación del Ducto Tula-Salamanca 16"	USD \$	10,409,202.96
	UTILIDAD DE OPERACIÓN.	USD \$ 21,673,782.20
Depreciación del Ducto.	USD \$	5,051,315.74
	FLUJO DE EFECTIVO	USD \$ 16,622,466.46

Tabla 3.11

El primer ingreso de la tabla 3.11 representa el ahorro por concepto de la sustitución del Autotanque por Ducto Tuxpan-Azcapotzalco 16" calculado en la tabla 3.3.

El segundo representa el ahorro por concepto de eliminación del mejorador de flujo, el cual se le tiene que inyectar al Ducto Tuxpan-Azcapotzalco 24"18"14" para aumentar su gasto de 70 MBD a 105 MBD.

El tercer ingreso representa el ahorro de energía por concepto de volumen extra Tuxpan-Azcapotzalco 24"18"14 que se dejara de transportar debido a la eliminación del mejorador de flujo. Por lo que representa la diferencia entre 105 MBD y 70 MBD dato proporcionado por PEMEX Refinación.

El cuarto ingreso representa el ahorro de energía por concepto de la sustitución del Ducto Tula-Azcapotzalco por el de Tuxpan-Azcapotzalco 16" dato proporcionado por PEMEX Refinación.

Los costos de gastos de mantenimiento del ducto y gastos de operación fueron proporcionados por PEMEX Refinación.



La depreciación del ducto se calcula de acuerdo al 10 % del costo total del mismo.

3.5.1 Payback o período de recuperación.

Este método calcula el número de años necesarios para recuperar la salida inicial su interés radica solamente en el tiempo de recuperación de la misma, por tanto su criterio de decisión se basa en elegir el proyecto que recupere la inversión inicial en menor tiempo.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujo de efectivo anual}}$$

$$\text{Payback} = \frac{50513157.42}{16622466.46} = 3.04 \text{ años}$$

El cálculo del payback se hizo únicamente para decidir si el análisis posterior del VPN y la TIR se realizaba a 5 o 10 años.

3.5.2 Valor Presente Neto (VPN)

El método de valor presente neto, considera el valor del dinero en el tiempo y compara el valor presente de los beneficios de un proyecto contra el valor de la inversión inicial. Cuando el valor presente neto es positivo, el proyecto es viable ya que cubre la inversión y genera beneficios adicionales. Cuando el valor presente neto es negativo, el proyecto debe rechazarse ya que los beneficios esperados no cubren la inversión inicial.

Entonces, el criterio de decisión es el siguiente:

Si $\text{VPN} \geq 0$ el proyecto se acepta

Si $\text{VPN} < 0$ el proyecto se rechaza

La fórmula que permite calcularlo es la siguiente:

$$\text{VPN} = \sum \frac{R}{(1+i)^n} - \text{Inversión inicial}$$

Donde:

R = flujos de efectivo.

i = tasa de rendimiento esperada.

n = años



CALCULO DEL VALOR PRESENTE NETO EN USD		
INVERSION	50,513,157.42	
FLUJO EFECTIVO	16,622,466.46	
TASA	0.10	
	años	
	1	15,111,333.14
	2	13,737,575.58
	3	12,488,705.08
	4	11,353,368.25
	5	10,321,243.86
	SVPN	63,012,225.92
	INVERSION	50,513,157.42
	VPN	12,499,068.49

Tabla 3.12

La inversión se toma de la tabla 3.10.
El flujo de efectivo se toma de la tabla 3.11.

Al evaluar proyectos con la metodología del VPN se recomienda que se calcule con una tasa de interés superior a la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO), con el fin de tener un margen de seguridad para cubrir ciertos riesgos, tales como liquidez, efectos inflacionarios o desviaciones que no se tengan previstas.

3.5.3 Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

El cálculo de la TIR es un método que considera el valor del dinero en el tiempo y determina la tasa de rendimiento en la cual el valor presente neto de un proyecto es igual a cero.

La fórmula que permite representar al método es la siguiente:

$$VPN = \sum_{n=1}^n \frac{R}{(1+i)^n} - Inversión\ inicial = 0$$

Donde:

R = flujos de efectivo

i = tasa de rendimiento esperada

n = años



CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO	
TASA TIR	
0.23240149	
años	
1	13,487,866.24
2	10,944,376.77
3	8,880,528.68
4	11,353,368.25
5	5,847,017.47
SVPN	50,513,157.42
INVERSION	50,513,157.42
VPN=0	0.00
TIR	23.24

Tabla 3.13

SVPN (suma del valor presente neto).



CONCLUSIONES

Con el desarrollo y análisis expuesto en nuestra propuesta de implantar un sistema de conducción por ducto, concluimos que la línea nos da la ventaja de flexibilizar la distribución de los hidrocarburos, entregarlos oportunamente de una manera segura, eficiente y económica, los ductos contribuyen a descongestionar el transporte terrestre, garantizando el abastecimiento de combustibles con la calidad solicitada por el mercado y satisfacer la demanda al mínimo costo del suministro.

De acuerdo a lo observado en el desarrollo de este proyecto dedujimos que con la línea de conducción se llegara más fácilmente al destino deseado, con una eficacia y velocidad más consideradas para satisfacer adecuadamente las necesidades del lugar y la población, y para PEMEX se tendrá una menor cantidad de gastos e inversiones y una mayor eficiencia en la entrega de los combustibles durante todos los años en que este en servicio la línea de conducción.

Dicho ducto tendrá un diámetro de 16" con espesores de 0.281", 0.312" y una distancia de 309 Km.

Por lo que se concluye que es factible la implementación de la línea de conducción Tuxpan-Azcapotzalco 16" ya que se cubre la inversión y además generan beneficios de una cuarta parte de esta, con una tasa de rendimiento del 23.24 % y plazo de recuperación menor a cinco años.

En cuanto a lo ecológico esta línea ya no representa un nuevo riesgo ya que el derecho de vía ya esta en uso por otros ductos que llevan esa ruta.

Finalmente, con el desarrollo de esta propuesta se espera que su utilización sea para beneficio de la población (por un abastecimiento oportuno de los combustibles tan indispensables en su vida cotidiana) y para PEMEX, puesto que tendría un ahorro en sus gastos de transportación y una simplificación considerable en el movimiento de sus productos, puesto que estos representan su principal fuente de ingresos y son de gran utilidad en el progreso económico del país.



BIBLIOGRAFÍA

Byron Jackson, Manual De Bombas Centrifugas, Single Stage Process Pumps, 7th Edición, Api 610, Manual Del Distribuidor.

Crane, División De Ingeniería; Flujo De Fluidos En Válvulas, Accesorios Y Tuberías; Mc Graw-Hill.

Streeter Victor L., Wylie E. Benjamin; Mecanica De Fluidos; Sexta Edición; Mc Graw-Hill.

G. Hicks Tyler, Bme, Bombas, Su Selección Y Aplicación, Compañía Editorial Continental, S.A., México.

Karassik Igor J., Roy Carter; Bombas Centrifugas, Operación, Selección Y Mantenimiento; C.E.C.S.A

Paul E. Tippens, Física, Conceptos y Aplicaciones; Quinta Edición; Mc Graw-Hill.

Pemex, Norma Para El Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos, Realizada Por El Comité de Normalización de Pemex, Junio 2003.

Norma API 5L especificación para tuberías, realizada por el Instituto Americano del Petróleo, abril 1995.

Hojas de datos de PEMEX Refinación de la gerencia de transportación por ducto.

Intranet De Pemex.