

00521  
112



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DISEÑO DE UN GASODUCTO PARA  
TRANSPORTE DE GAS NATURAL

INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:  
LUZ MARÍA PALACIOS SUÁREZ



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA



MÉXICO, D.F.

2003



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.

**JURADO ASIGNADO**

**Presidente: ANTONIO VALIENTE BARDERAS**

**Vocal: LUCILA CECILIA MENDEZ CHAVEZ**

**Secretario: MARIA LUISA GALICIA PINEDA**

**1er Suplente: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ**

**2º. Suplente: YOLANDA LOZADA GOMEZ**

**Sitio donde se desarrollo el tema: MONTERREY**

**Asesor del tema: MARIA LUISA GALICIA PINEDA**

*1110 Luís Galicia*

**Sustentante: LUZ MARIA PALACIOS Y SUAREZ**

*Luz Palacios*

Con gran amor y agradecimiento  
a la memoria de mis padres  
a quienes les debo todo lo que soy  
**Celia Suárez de Palacios**  
**Guillermo Palacios Sosa**

A mis hijos  
**Luz Yalina**  
**Fernando Javier**  
**Laura Patricia**  
Quienes me han dado fuerza  
para seguir siempre adelante.

A mi sobrino  
**Yuri Isao**  
Por su gran ayuda y apoyo

**Ing. Maria Luisa Galicia Pineda**  
En agradecimiento por su valiosa  
ayuda para hacer esto posible

Con todo mi amor a mis hermanos  
**Elisa**  
**Guillermina**  
**Guillermo**  
**Celia**

A mis sobrinos con mucho cariño  
**Sonia**  
**Valia**  
**Sandra**  
**Jesús**  
**Enver**  
**Adrián**

# Diseño de un gasoducto para transporte de Gas Natural

## Índice

### 1. Introducción

- 1.1 Justificación de la selección del tema.
- 1.2 Enfoque.

### 2. Generalidades

- 2.1 Breve descripción.
- 2.2 Estudios preliminares.
- 2.3 Bases de diseño.
- 2.4 Características del trazo del gasoducto.

### 3. Actividades desarrolladas

- 3.1 Cálculo del espesor de la tubería.
- 3.2 Cálculo de la caída de presión a lo largo del gasoducto.
- 3.3 Cruce de canales.
- 3.4 Cruce de vías de ferrocarril y carreteras.
- 3.5 Protección Catódica.
- 3.6 Medidas de protección y seguridad.

### 4. Conclusión

### 5. Bibliografía

### 6. Apéndice

Diagramas

## **Informe de Practica Profesional**

### **Diseño de un gasoducto para transporte de Gas Natural**

#### **1. Introducción:**

##### **1.1 Justificación de la selección del tema**

En los últimos tres años he participado como Gerente de Proyecto en diversos trabajos relacionados con el Transporte de gas natural, realizando los siguientes trabajos:

- a) Preparación de libros de concurso técnico-económicos para dos gasoductos ubicados en diferentes sitios y Estaciones de Odorización, filtración, medición y regulación.
- b) Ejecución de la Ingeniería de detalle de dos gasoductos uno de 20 Km. y otro de 2 Km. ambos con Estaciones de filtración y medición, la ingeniería incluida fue: Levantamientos Topográficos del sitio, Estudios de Mecánica de suelos, Estudios de resistividad del terreno, Calculo del espesor de la tubería y caídas de presión a lo largo del gasoducto, Trazo y perfil del gasoducto, Estudios de protección catódica, Ingeniería civil requerida, Ingeniería eléctrica requerida.
- c) Ingeniería de detalle complementaria para la instalación de un Compresor de gas natural.
- d) Ingeniería de detalle para fabricación de cinco patines de filtración, medición y regulación.

El uso del gas natural se ha incrementado en los últimos años para servicio a la industria, los comercios y domiciliario, por lo cual ha sido necesario extender las redes de transporte de gas natural. En México tenemos yacimientos ricos en gas natural en diferentes zonas, una de las mas explotadas es la cuenca de Burgos, que se encuentra en el estado de Tamaulipas, desde donde se distribuye al mismo Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, etc. El gas natural ha sustituido el

uso del combustóleo, diesel, gas LP, su manejo es de alto riesgo por lo cual la importancia de conocer la manera de transportarlo y manejarlo con seguridad.

## **1.2 Enfoque**

Este reporte esta basado en proyectos realizados para Transportar con seguridad y eficiencia Gas Natural a Centrales de Ciclo Combinado, diseñados para satisfacer los requerimientos de máximo flujo y garantizando el flujo y presión de gas adecuados a las necesidades de los equipos a los que se dará el servicio de suministro de gas, asegurando una presión mínima de entrega a una capacidad determinada. No se mencionaran los nombres de las Plantas ni los sitios, por secreto de confidencialidad con los clientes.

## **2. Generalidades**

### **2.1 Breve descripción**

El reporte se enfocara en el transporte de gas natural y la solución a los obstáculos que nos encontramos en la trayectoria de los gasoductos desde la conexión con los gasoductos existentes de PEMEX hasta la entrega del gas natural a la planta. Como cruces con canales, carreteras, vías de ferrocarril, otros gasoductos o tuberías que se encuentren enterradas.

El proyecto del gasoducto inicia en la interconexión con un gasoducto de PEMEX, pasando por una estación de filtración y medición, el trazo del gasoducto a través de los 20 Km. enterrado, hasta llegar a la estación de entrega.

### **2.2 Estudios preliminares.**

Para realizar el proyecto se parte de estudios preliminares, como Levantamientos Topográficos, Estudios de resistividad, Mecánica de suelos, los cuales se considerarán como información básica proporcionada por el cliente, así como la localización de estaciones y el trazo del gasoducto.

Levantamientos Topográficos: Topografía general del trazo y perfil propuesto para el gasoducto, donde se detectan los puntos especiales como cruces con ríos, canales, carreteras, vías de ferrocarril, gasoductos u otras líneas enterradas existentes, etc. Y que nos ayudan a trazar la trayectoria de la tubería siguiendo el perfil del terreno.

Estudios de resistividad: Las lecturas de resistividad eléctrica a lo largo del trazo del gasoducto y serán la base para la protección catódica.

Mecánica de suelos. Nos da ha conocer el tipo de suelo, nivel freático y preparación que requiere el terreno para soportar una carga determinada, o para trazar caminos de acceso.

### 2.3 Bases de Diseño.

Las bases de diseño se establecen sobre la base de las condiciones de operación requeridas en la planta a la que se le suministrara el gas y las disponibles en el gasoducto al cual nos conectaremos.

El diseño de tuberías para transporte de gas natural debe considerar los aspectos siguientes:

- a) Características físicas y químicas del fluido.
- b) Presión máxima de operación en condiciones normales de flujo.
- c) Temperatura máxima de operación.
- d) Especificación del material seleccionado.
- e) Cargas adicionales que puedan preverse que actúen sobre la tubería, de acuerdo a las características de la región que atraviese y las condiciones de trabajo, tales como:
  - Cargas vivas como son el peso del producto, nieve, hielo, viento, etc.
  - Cargas muertas como el propio peso de la tubería, recubrimientos, rellenos, válvulas, y otros accesorios no soportados.
  - Sismos
  - Efectos causados por vibración y/o resonancia.
  - Esfuerzos causados por asentamientos o derrumbes en regiones de suelo inestable.
  - Efectos de contracción y expansión térmica.
  - Efectos en los tubos ocasionados por el movimiento de los equipos conectados.
  - Efectos por oleajes, corrientes marinas y fluviales.

- Esfuerzos en cruces de vías de comunicación.
- f) Factor de seguridad por densidad de población.
- g) Factor de eficiencia de junta longitudinal.
- h) Espesor adicional por desgaste o margen de seguridad.

Las condiciones de operación de nuestro gasoducto a analizar serán las siguientes:

Fluido	Gas Natural
Gasto máximo	75 Ton/ Hr
Longitud total del gasoducto	20 Km
Diámetro nominal	16"
Presión de diseño	72 Bar A
Presión máxima	51 Bar A
Presión normal	46 Bar
Temp. Máxima	45 °C
Temp. Normal	20 °C
Peso molecular	17 g/gmol
Densidad a condiciones estándar	0.756 Kg/m <sup>3</sup> (0.047 Lb/Ft <sup>3</sup> )

La tubería será de acero al carbón API 5L X52, con costura ERW, en el tramo más largo del gasoducto se usara tubería enterrada de 16" de diámetro, en las estaciones de filtración y medición y en la de entrega será tubería expuesta de 10" de diámetro, y en el tramo de interconexión con PEMEX se usara tubería enterrada de 18", para la tubería enterrada el espesor será de 0.281" y para tubería expuesta será de 0.344", la tubería llevara un recubrimiento anticorrosivo adecuado para el tipo de instalación aérea o enterrada.

#### 2.4 Características del trazo del gasoducto.

El trazo del Gasoducto se considerara que se inicia en la interconexión con un Gasoducto existente de PEMEX de 18" de diámetro, la toma de gas natural se

realizara por medio de una conexión en caliente al gasoducto troncal de PEMEX de 18", tipo hot-tap, una válvula de bola de corte, y una junta aislante entre bridas. Y se llegara hasta la estación de filtración y medición con una tubería de 18".

En la interconexión con PEMEX se considerara un registro de concreto para poder darle mantenimiento a la válvula.

A la llegada a la Estación de medición se reducirá el diámetro de la tubería de 18" a 10", donde va expuesta. Se reduce el diámetro de la tubería por que para medir el flujo, se requiere que el flujo de operación este dentro de la escala mínima y máxima del medidor de flujo para obtener una mejor exactitud en su medición, para ello, normalmente se debe reducir el diámetro de la tubería, y también para disminuir el costo de todo el patin de medición.

La estación de filtración y medición, consta de dos líneas en paralelo con el fin de que exista una medición constante, es decir que una línea puede estar fuera de operación por mantenimiento o de reserva, en tanto que la otra línea este en operación continua.

Los Filtros serán de tipo cartucho y los medidores de flujo tipo turbina con compensación de presión y temperatura y los cuales se interconectaran a una unidad de transmisión remota, con señal de comunicación via radio MODEM, para monitorear las señales hasta la Planta.

Donde se requiera se instalarán válvulas para relevo de presión para seguridad de las instalaciones venteando estos hacia un lugar seguro, se puede ventear a la atmósfera solo en zonas totalmente deshabilitadas y a una altura recomendable donde no se ocasiona acumulación de gas dentro de las instalaciones, las cuales deberán estar venteadas adecuadamente.

También se instalará un filtro separador de líquidos, los condensados se almacenarán en un tanque, para posteriormente retirarlos fuera de la estación por medio de un carro tanque y depositarlo en un lugar seguro donde no se contaminen aguas de ríos o canales.

A la salida de la estación de filtración y medición se incrementara el diámetro de la tubería de 10" a 16", para hacer el recorrido del gasoducto hasta la estación de entrega.

El trazado de la tubería se hará lo más recto posible siguiendo el perfil del terreno, los cambios de dirección serán ejecutados mediante curvaturas de un radio mínimo de 24 veces el diámetro de la tubería. Los dobleces de los tubos deben hacerse sin alterar las dimensiones de la sección transversal del tubo y quedar libres de arrugas, grietas y cualesquier daño mecánico evidente. El diámetro del tubo no debe reducirse en ningún punto mas del 25% del diámetro nominal y debe cumplir con la especificación de dimensiones para el paso de diablos.

Un diablo consiste de un centro tubular o ciego de acero, que sostiene en cada extremo una copa de hule o de cuero, entre dos discos de acero y en el frente un disco a 95% del diámetro interior de la tubería, el cual se usa para verificar las dimensiones interiores de la tubería.

Se dejara la preparación necesaria con válvulas y accesorios para la instalación de trampas de diablos portátiles, para realizar la limpieza interior de la tubería y desprender el material que pueda resultar de cada junta soldada entre tubos y también para realizar periódicamente el recorrido de diablos a lo largo del gasoducto, para evitar taponamientos. Los diablos utilizados para limpieza son similares a los utilizados para verificar el diámetro del tubo, pero tiene mayor

número de discos, algunos con forma de cepillos de alambre y otros están diseñados para girar por su eje longitudinal.

A lo largo del gasoducto se considera un derecho de vía de 15 metros de ancho. La zanja en la que se alojara el gasoducto tendrá un ancho de 0.60 metros. El fondo de la zanja será desprovisto de piedras u objetos que puedan dañar el tubo.

La profundidad a la que instalará la tubería, considera un colchón mínimo de 1 metro de la superficie de la tierra al lomo del tubo, esta profundidad puede variar de acuerdo al perfil de terreno y según los obstáculos u obligaciones particulares emitidas por los propietarios del subsuelo, en particular con cruces de gasoductos existentes, cruces de calles, carreteras, vías de ferrocarril, cruces de canales y ríos, etc.

En la línea de transporte enterrada se debe soportar en forma uniforme y adecuada dentro de la zanja, en los puntos donde se entierra la tubería a la entrada y salida de las estaciones debe de colocarse un atraque para evitar movimientos verticales y laterales.

Cuando se instale donde pueda haber riesgos por arrastre de agua, suelos inestables o derrumbes que puedan ocasionar movimientos por cargas anormales sobre la tubería deben preverse anclajes o lastrado en el tramo de riesgo

A la llegada a la planta se reducirá la tubería de nuevo de 16" a 10", la estación de entrega se ubicará dentro de Planta y recibe el gas a través un sistema de filtración y medición que consta de dos líneas en paralelo con filtro seco tipo cartucho y medidores de flujo tipo turbina con compensación de presión y temperatura interconectado a una unidad de transmisión remota con señal de

comunicación a cuarto de control de la Central, para la entrega del gas se incrementa nuevamente la tubería de 10" a 16" de diámetro.

#### **2.4.1 Recubrimiento anticorrosivo de la tubería**

- Prevenir la corrosión exterior en tuberías y sus accesorios enterrados o sumergidos inmediatamente después de su construcción o durante esta.
- La prevención de corrosión exterior en tuberías enterradas o sumergidas se llevara a cabo mediante la aplicación de recubrimientos anticorrosivos, a base de una resina epoxica aplicada en un proceso de termofusión capaz de resistir temperaturas de 107°C (225°F) operando continuamente, el espesor de película recomendada es de 12 a 14 mils. (300 a 350 m) y un revestimiento interior a base de resina con un espesor de película de 1 a 2 mils., complementados con sistemas de protección catódica. Se debe poner especial atención para atenuar los efectos de corrientes telúricas y parásitas en caso de confirmar su existencia.

Los recubrimientos de protección anticorrosivo utilizados en tubería enterrada y sus componentes deben tener las siguientes características:

- Alta resistencia eléctrica.
- Adhesión suficiente con la superficie para resistir de manera efectiva la migración de la humedad bajo la película.
- Suficientemente dúctil para resistir el agrietamiento.
- Suficientemente fuerte para resistir los daños debidos al manejo y a los esfuerzos dentro del suelo.
- Tener propiedades compatibles con cualquier protección catódica complementarias.
- Resistencia a efectos térmicos, al impacto y a la fricción.
- Resistente al ataque químico.
- El método de aplicación no debe afectar las propiedades de la tubería.
- Deberá conservar sus propiedades físicas a través del tiempo.

La corrosión interna y externa deben ser controladas de acuerdo a las condiciones del sistema y el medio climático en el cual el sistema este ubicado mediante la aplicación de los requisitos y procedimientos para el control de la corrosión.

Los materiales deben seleccionarse teniendo en cuenta el tipo de protección complementaria contra la corrosión y también el medio ambiente.

Para seleccionar el recubrimiento apropiado deberán considerarse los siguientes factores:

- El medio en el que va a estar alojado el tubo.
- Accesibilidad al ducto.
- Temperatura a la que va a operar el tubo.
- Temperatura ambiente durante la aplicación, almacenaje, construcción, instalación y prueba hidrostática.
- Localización geográfica y física.
- Compatibilidad con el tipo de recubrimiento de las tuberías existentes.
- Manejo, almacenaje y método o técnica de instalación de la tubería.

La tubería recubierta deberá protegerse interna y externamente de la corrosión atmosférica y de daños al recubrimiento. Se deberá tener especial cuidado de no dañar el recubrimiento al estibar la tubería, usando separadores con apoyos adecuados y soportes con almohadillas.

Se recomienda usar bandas para subir y bajar los tubos y para bajado de la tubería a la zanja. Es conveniente recubrir con papel "kraft" y revisar el recubrimiento antes de tapar en los sitios donde el papel manifieste daños, además el papel protege el recubrimiento de la degradación originada por los rayos solares.

#### **2.4.2 Documentación generada en el desarrollo del proyecto.**

En la Figura 1. DTI-01 se muestra el Diagramas de tuberías e instrumentación (Estación de filtración y medición). Este diagrama incluye la conexión con un gasoducto existente y la estación de filtración y medición del gas natural.

En la Figura 2. DTI-02 se muestra el Diagramas de tuberías e instrumentación (Gasoducto y estación de entrega). Este diagrama muestra el gasoducto (20 Km.) y la estación de entrega.

En la Figura 3. T-01 se muestra el Trazo del gasoducto de la toma a la estación de medición. En esta figura se muestra el cruce con líneas existentes enterradas, el cual se debe hacer cruzando por debajo de las líneas a una profundidad mínima de 1 metro.

En la Figura 4. T-02 se muestra el Trazo del gasoducto a la llegada y salida de la estación de medición

En la Figura 5. T-03 se muestra el Trazo del gasoducto a la llegada de la estación de entrega.

### **Referencias:**

Estos trabajos se realizaron basados en las Normas Oficiales Mexicanas y Normas de PEMEX aplicables:

NOM-007-SECRE-1999 Transporte de gas natural

NOM-008-SECRE-1998 Protección catódica de tuberías de acero para conducción de Gas Natural y gas licuado de petróleo.

Norma 2.421.01 Sistema de tuberías de transporte y recolección de Hidrocarburos.

Norma 3.413.01 Instalación de sistemas para protección catódica.

### 3. Actividades desarrolladas.

#### 3.1. Cálculo del espesor de la tubería.

El cálculo se realizará de acuerdo con la Norma oficial Mexicana NOM-007 Transporte de Gas Natural, la cual cubre el diseño, fabricación, instalación, inspección, pruebas y aspectos de seguridad de operación y mantenimiento de sistemas de distribución y transmisión de gas con temperatura de -30 °C hasta 232°C.

El espesor mínimo de pared del tubo que se requiere para cubrir los requisitos de diseño por presión interna únicamente se determinará con la ecuación siguiente:

$$t = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T}$$

Se requiere realizar un cálculo para tubería expuesta y otro para tubería enterrada debido a que el factor de diseño cambia.

#### Definición de variables y datos básicos de cálculo.

	Descripción	Unidad	Valor
t =	Espesor de pared mínimo requerido	cm	
P =	Presión de diseño	kPa	7,200
		Psi	1,044
		Bar A	72
S =	Resistencia mínima de cedencia	kPa	358,621
	Acero al carbón API 5L X52	Psia	52,000
E =	Factor de junta longitudinal	---	1
T =	Factor de corrección por temperatura	---	1
	Temp. max. = 45°C = 318.18°K		

Se efectuarán cálculos separados para tubería de 18" de diámetro enterrada, 10" de diámetro expuesta y 16" de diámetro enterrada.

### 3.1.1 Cálculo para tubería enterrada de 18" de diámetro

D =	Diámetro exterior de la tubería	cm	45.72
		Pulg	18
F =	Factor de diseño	---	0.72
	Clase de localización 1 (nota 1)		

Nota 1. - De acuerdo al cuadro1 de la NOM-007 para la Clase de localización 1, zona que tiene 10 o menos construcciones en el área, o en las áreas en la periferia de ciudades, poblados agrícolas o industrias, el factor de diseño es 0.72.

Introduciendo datos a la ecuación se obtienen los siguientes resultados:

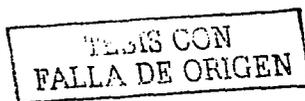
$$t = \frac{7200 \times 45.72}{2 \times 358,621 \times 0.72 \times 1 \times 1} = 0.6374$$

Diámetro nominal	Espesor calculado			Espesor seleccionado		
	cm	Pulg	mm	cm	pulg	Mm
18	0.6374	0.251	6.3744	0.714	0.281	7.14

### 3.1.2 Cálculo para tubería expuesta de 16" de diámetro

D =	Diámetro exterior de la tubería	cm	25.4
		Pulg	10
F =	Factor de diseño	---	0.5
	Clase de localización 1 (nota 1)		

Nota 1. - De acuerdo al cuadro1 de la NOM-007 para la Clase de localización 1 el factor es 0.72, pero por tratarse de una tubería expuesta en una Estación de filtración y medición, debe utilizarse con un factor de diseño (F) igual o menor a 0.5 de acuerdo a la NOM-007 inciso 7.7.c.



Introduciendo datos a la ecuación se obtienen los siguientes resultados:

$$t = \frac{7200 \times 45.72}{2 \times 358,621 \times 0.72 \times 1 \times 1} = 0.3541$$

Diámetro nominal	Espesor calculado			Espesor seleccionado		
	cm	Pulg	mm	cm	pulg	mm
10	0.8153	0.321	8.153	0.8737	0.344	8.737

### 3.1.3 Cálculo para tubería enterrada de 16" de diámetro

D =	Diámetro de la tubería	cm Pulg	40.64 16
F =	Factor de diseño Clase de localización 1 (nota 1)	---	0.72

Sustituyendo datos a la ecuación se obtienen los siguientes resultados:

$$t = \frac{7200 \times 45.72}{2 \times 358,621 \times 0.72 \times 1 \times 1} = 0.566$$

Diámetro nominal	Espesor calculado			Espesor seleccionado		
	cm	Pulg	mm	cm	pulg	mm
16	0.566	0.223	5.666	0.7137	0.281	7.137

El espesor seleccionado se hace con base a los espesores comerciales y debe ser igual o mayor al calculado.

#### Conclusión:

Se ha seleccionado un espesor 0.281" para la tubería enterrada de acero al carbón API-5L-X52 de 16" y 18" de diámetro y un espesor 0.344" para la tubería expuesta de acero al carbón API-5L-X52 de 10" de diámetro.

### 3.2 Cálculo de la caída de presión a lo largo del gasoducto.

El objetivo de este cálculo es para verificar que el gas llegue a la presión mínima requerida a la Estación de entrega para asegurar el buen funcionamiento de la Planta.

Los cálculos se realizarán a presión máxima y mínima de operación del gasoducto de PEMEX, al cual nos conectaremos.

Para calcular la caída de presión a lo largo del gasoducto debemos conocer la caída de presión en las tuberías de 10", 16" y 18" a las condiciones de operación, a presión máxima y mínima de suministro.

Se calcula la caída de presión producida en una longitud de 100 pies de tubería, la cual debe cumplir con los criterios recomendados para fluidos compresibles, donde, para gas natural que se transporta a una presión entre 100 y 1000 psig, la caída de presión recomendada debe ser de 0.5 a 2 psi / 100 pies y la velocidad recomendada no debe ser mayor de 100 ft/seg (Tabla 2.2 pág. 52 Ludwing Vol. I).

Para el cálculo de la caída de presión, también se considera la caída de presión producida en las válvulas y accesorios de tuberías que se tendrán en la toma, estaciones de filtración y medición, la cual se calcula con la longitud equivalente de todas las válvulas y accesorios que se tendrán en el recorrido, más caída de presión en los filtros y medidores de flujo considerando una sola línea en operación y la producida a lo largo de todo el gasoducto.

El cálculo de la caída de presión se basará en la ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy expresada en pies de fluido, (ecuación 1-4 Crane) y se expresa:

$$h_L = f L v^2 / D 2g$$

donde:

$h_L$  = Pérdida de carga debida al flujo del fluido en pies de fluido.

f = Factor de fricción.

v = Velocidad media del flujo en pies/ segundo.

D = diámetro interior de la tubería en pies.

g = Aceleración de la gravedad = 32.2 pies/ seg<sup>2</sup>.

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión en libras por pulgadas cuadradas (Lb / in<sup>2</sup>) y se expresa:

$$\Delta P = \rho f L v^2 / 144 D 2g$$

donde:

$\Delta P$  = Pérdida de presión debida al flujo del fluido en Lb / in<sup>2</sup>.

f = Factor de fricción.

v = Velocidad media del flujo en pies/ segundo.

D = diámetro interior de la tubería en pies.

g = Aceleración de la gravedad = 32.2 pies/ seg<sup>2</sup>.

$\rho$  = Densidad del fluido en Lb / ft<sup>3</sup>.

Otras formas de expresión de esta misma ecuación se tiene en la paginas 3-2 y 3-3, donde podemos seleccionar para fluidos compresibles la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 0.00000336 f L W^2 / di^5 \bar{v} / d^5$$

donde además de las variables ya descritas tenemos:

$\bar{v}$  = Volumen específico del fluido en ft<sup>3</sup> / Lb = 1 /  $\rho$

W = Flujo en Lb / hr.

L = Longitud de la tubería en pies.

Considerando la caída de presión en 100 pies de tubería, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{100} = 0.000336 W^2 f / di^5 \rho$$

El cálculo de la caída de presión se hará utilizando la formula de Darcy teniendo en cuenta las siguientes restricciones para fluidos compresibles:

1. Si la caída de presión calculada (P1-P2) es menor de 10% de la presión de entrada P1 se introduce en la ecuación la densidad a condiciones de entrada o de salida (la que sea conocida)
2. Si la caída de presión calculada (P1-P2) oscila entre el 10% y el 40% de la presión de entrada P1 puede usarse con precisión razonable la densidad basada en el promedio a condiciones de entrada y de salida.
3. Si la caída de presión calculada (P1-P2) es mayor 40% de la presión de entrada P1 deberán utilizarse las formulas racionales o empíricas dadas en la sección para flujos compresibles Pág. 1-10 Crane

**Datos básicos:**

Punto inicial	Punto de interconexión con gasoducto PEMEX	
Punto final	Estación de entrega en la C.C.C.	
Longitud del gasoducto	20 Km.	
Flujo masico	75 Ton/hr	165,345 Lb/Hr
Presión máxima entrada (PEMEX)	51 Bar A	739.5 Psia
Presión mínima entrada (PEMEX)	30.5 Bar A	442.25 Psia
Presión mínima requerida de entrega	23 Bar A	333.5 Psia
Densidad del gas a condiciones estándar	0.756 Kg/m <sup>3</sup>	0.047 Lb/Ft <sup>3</sup>
Viscosidad del gas	0.0111 cp	
Temperatura normal	20 °C	68 °F

### 3.2.1 Cálculo de la caída de presión con la presión máxima de entrada a 51 Bar A

#### 3.2.1.1 Dimensionamiento para Tuberías de 10", 16" y 18" a 51 Bar A

Línea: Gas Natural

Flujo masico del gas:  $W = 165345.00$  Lb/hr

Presión del sistema: 739.50 psia

Temperatura del sistema: 68 °F

Viscosidad del gas:  $\mu = 0.01110$  cp

Densidad del gas (a 739.50 psia y 68 °F):  $\rho = 2.32856$  Lb/ft<sup>3</sup>

Densidad estándar (a 14.7 psia y 60 °F): 0.04700 Lb/ft<sup>3</sup>

Material de la tubería: Acero comercial o al carbón

Rugosidad de la tubería:  $\epsilon = 0.000150$  ft

Característica de la tubería:

Diam. nom d pulg	diam. ext. do pulg	espesor t pulg	diam. int. di pulg
10	10.75	0.344	10.062
16	16	0.281	15.438
18	18	0.281	17.438

Calculando la caída de presión en 100 ft según la fórmula de Darcy, para fluidos compresibles.

$$\Delta P_{100} = 0.000336 W^2 f / d_i^5 \rho$$

en donde:

$\Delta P_{100}$  = Caída de presión en 100 ft de tubería

$W$  = Flujo en Lb/hr

$f$  = Factor de fricción

$d_i$  = Diámetro interior de la tubería en pulgadas

En este cálculo se utilizará la densidad con las condiciones de entrada, ya que es la conocida, de acuerdo a la restricción No. 1 de la ecuación de Darcy, y se espera que la caída de presión calculada sea menor al 10% de la presión de entrada.

Se necesita calcular el factor de fricción, para ello, primero se calcula el número de Reynolds con la siguiente ecuación (ecuación 3-3 Crane pág. 3-2)

$$Re = 6.31 W / di \mu$$

en donde:

Re = Número de Reynolds

W = Flujo en Lb/hr

$\mu$  = viscosidad absoluta en centipoise

di = diámetro interior de la tubería en pulgadas

D	Re
10"	$Re = 6.31 \cdot 165345 / 10.062 \cdot 0.0111 = 9341425$
16"	$Re = 6.31 \cdot 165345 / 15.438 \cdot 0.0111 = 6088445$
18"	$Re = 6.31 \cdot 165345 / 17.438 \cdot 0.0111 = 5390149$

El factor de fricción se puede obtener de los diagramas de factores de fricción de la página A-25 (L. F. Moody), para tuberías de acero comercial nuevas, basadas en el diámetro interno de la tubería y el número de Reynolds, obteniendo los siguientes valores:

di pulg	Re	f (Moody)
10.062	9341425	0.0135
15.438	6088445	0.0124
17.438	5390149	0.0122

El factor de fricción también se puede calcular con la correlación de Churchill, basada en la rugosidad de la tubería, el número de Reynolds y el diámetro de la tubería:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right]^{1/12}$$

$$A = \left[ 2.457 \ln \left( 1 / \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) \right) \right) \right]^{16}$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$\epsilon$  = Rugosidad de la tubería o altura efectiva de las irregularidades de las paredes de la tubería en pies.

Donde:

Diámetro de tubería	10"	16"	18"
$(8/Re)^{12} =$	1.56E-73	2.65E-71	1.14E-70
$(7/Re)^{0.9} =$	3.07E-06	4.51E-06	5.04E-06
$0.27 (c / D) =$	0.0000483	0.0000315	0.0000279
$\ln (1/((7/Re)^{0.9} + 0.27(\epsilon/D))) =$	9.876435	10.23215	10.32183
A =	1.45E+22	2.55E+22	2.93E+22
B =	4.61E-39	4.34E-36	3.05E-35
$(A + B)^{-1.5} =$	5.75E-34	2.46E-34	2E-34
f =	0.013586	0.012657	0.012438

Comparando ambos resultados tenemos:

	L. F. Moody	Churchill
di pulg	f	f
10.062	0.0135	0.013586
15.438	0.0124	0.012657
17.438	0.0122	0.012438

Como Se puede observar los valores son similares pero considero que con la correlación de Churchill obtenemos valores mas exactos, y serán los que se usaran en los cálculos posteriores. ya que se elimina el error visual, debido a que con las graficas de Moody tenemos que dar valores aproximados.

Sustituyendo en la ecuación para la caída de presión:

$$\Delta P_{100} = 0.000336 W^2 f / di^5 \rho$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$W^2 = 27338969025$$

Di pulg		di ft			$\Delta P_{100}$
di	$di^5$	D	$\epsilon/D$	f	psi
10.062	103138.7	0.839	0.0001789	0.0135856	0.520
15.438	876910.3	1.287	0.0001166	0.0126575	0.057
17.438	1612439.3	1.453	0.0001032	0.0124385	0.030

La velocidad se calcula con la siguiente ecuación (ecuación 3-2 Crane pag. 3-2):

$$v = 0.051 W / \rho di^2$$

Obteniendo los siguientes resultados:

di	di <sup>2</sup>	v
Pulg		ft/seg
10.062	101.244	35.76887
15.438	238.332	15.19469
17.438	304.084	11.90914

Resumen de resultados:

Diam. Nom	Diam. int.	Velocidad	Re	Coef. Fric.	$\Delta P_{100}$
Pulg	Pulg	ft/seg			psi
10	10.062	35.76887	9341425.1	0.0135856	0.520
16	15.438	15.19469	6088445.3	0.0126575	0.057
18	17.438	11.90914	5390149.0	0.0124385	0.030

Para obtener la caída de presión a través de los accesorios que tenemos a lo largo de la tubería, se obtiene la longitud equivalente en diámetros de tubería (L/D) de cada accesorio, valores obtenidos de la pág. A-30 Crane.

La longitud equivalente en diámetros de tubería (L/D) se multiplica por el diámetro de la tubería en pies (D), por la cantidad de accesorios y por la caída de presión en 100 pies ( $\Delta P_{100}$ ) (correspondiente al diámetro del accesorio calculada en el inciso 3.2.1.1)

$$\Delta P \text{ Psi} = L/D \times D \times \Delta P_{100}$$

La caída de presión en la tubería, se obtiene dividiendo la longitud total ( $L_T$ ) entre 100 y se multiplica por la caída de presión en 100 pies ( $\Delta P_{100}$ ) (correspondiente al diámetro del accesorio calculada en el inciso 3.2.1.1)

$$\Delta P \text{ Psi} = (L_T / 100) \times \Delta P_{100}$$

La caída de presión del separador de líquidos, filtros y medidor de flujo se obtiene de la información técnica de cada accesorio.

La longitud equivalente de la tubería desde la estación de medición hasta la estación de entrega, siguiendo el recorrido del gasoducto de acuerdo con los levantamientos topográficos, incluyendo cambios de dirección, para el objeto de este estudio se considera de 20 Km. (65,620 Ft).

### 3.2.1.2.a Caída de presión en la sección de Interconexión.

	pulg	cant	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	ΔP Psi
Válvula de bola	18	1	13	20	20	0.006
Válvula check	18	1	50	75	75	0.023
Codos 90°	18	3	30	45	135	0.041
Codos 45°	18	2	16	24	48	0.015
Tubería	18	40 m		131	131	0.040
					ΔP en A psi	0.125
					Bar	0.009

### 3.2.1.2.b Caída de presión en la estación de filtración y medición.

	pulg	cant	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	ΔP Psi
Válvula de bola	10	5	13	11	54	0.281
Válvula on-off	10	1	13	11	11	0.057
Te	10	5	20	17	83	0.431
Reducción	18x10	2	20	30	60	0.312
Reducción	10x16	2	22	29	59	0.307
Tubería	10	50m		164	164	0.852
Codos 90°	10	3	30	25	75	0.390
Separador de liquido	10	1				11.600
Filtro cartucho	10	1				7.250
Medidor de flujo	10	1				2.000
					ΔP en B psi	23.479
					Bar	1.619

### 3.2.1.2.c Caída de presión en 20 Km. de tubería.

Tubería	16"	65,620Ft				
					ΔP en C psi	37.365
					Bar	2.577

### 3.2.1.2.d Caída de presión en la estación de entrega

	pulg	cant	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	ΔP Psi
Válvula de bola	10	2	13	11	22	0.114
Te	10	3	20	17	50	0.260
Reducción	16x10	1	18	24	24	0.125
Reducción	10x16	1	22	29	29	0.151
Codos 90°	10	3	30	25	75	0.390
Filtro cartucho	10	1				7.250
Medidor de flujo	10	1				2.000
Tubería	10	51.2 m			168	0.873

	$\Delta P$ en D	psi	11.162
		Bar	0.770
$\Delta P$ Total (A+B+C+D)	72.13	Psi	4.97
Presión del sistema P1	739.50	Psia	51.00
Presión disponible P2	667.37	Psia	46.03

Confirmando la consideración de la restricción No 1 de Darcy, tenemos:

$$\Delta P / P1)100 = (72.5 / 739.5)100 = 9.75\%$$

la caída de presión calculada es menor al 10% de la presión de entrada.

#### Conclusión:

La caída de presión total será de 72.13 Psi (4.97 Bar) (incluye el recorrido desde el punto de Interconexión, hasta la estación de entrega), por lo tanto de la presión disponible será de 667.37 Psia (46.03 Bar A) la cual es mayor a la mínima requerida en la central.

### 3.2.2 Calculo de la caída de presión con la presión mínima de entrada.

#### 3.2.2.1.a Dimensionamiento para Tuberías de 10", 16" y 18" a 30.5 Bar A.

Línea: Gas Natural

Flujo masico del gas: 165345.00 Lb/hr

Presión del sistema: 442.25 psia

Temperatura del sistema: 68 °F

Viscosidad del gas: 0.01110 cp

Densidad del gas (a 442.25 psia y 68 °F): 1.392569 Lb/ft<sup>3</sup>

Densidad del gas (a 333.5 psia y 68 °F): 1.050134 Lb/ft<sup>3</sup>

Densidad promedio: 1.221352 Lb/ft<sup>3</sup>

Densidad estándar del gas (a 14.7 psia y 60 °F): 0.04700 Lb/ft

Material de la tubería: Acero al carbón

Rugosidad de la tubería: 0.000150

Longitud de la tubería: 100 pies

Característica de la tubería:

diam. nom d pulg	diam. ext. do pulg	espesor t pulg	diam. int. di pulg
10	10.75	0.344	10.062
16	16	0.281	15.438
18	18	0.281	17.438

El calculo de la caída de presión en 100ft se calcula también con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{100} = 0.000336 W^2 f / d^5 \rho$$

En este calculo se usara la densidad promedio, de acuerdo con la restricción No.2 de Darcy, debido a que la caída de presión esperada será mayor al 10% de la presión de entrada P1.

Los cálculos de la caída de presión con la presión mínima de entrada esperada, se harán siguiendo el mismo procedimiento del inciso 3.2.1.1.a, con la misma definición de variables.

Calculo del No. de Reynolds:

D	Re = 6.31 W / d μ	Re
10"	Re = 6.31 * 165345 / 10.062 * 0.0111 =	9341425.06
16"	Re = 6.31 * 165345 / 15.438 * 0.0111 =	6088445.32
18"	Re = 6.31 * 165345 / 17.438 * 0.0111 =	5390149.04

El factor de fricción se calculara con la correlación de Churchill:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + \left( A + B^{-1.5} \right)^{1/12} \right]$$

$$A = \left[ 2.457 \ln \left( 1 / \left\{ \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) \right\} \right) \right]^{16}$$

$$B = \left( 37530 / Re \right)^{16}$$

Diámetro de tubería	10"	16"	18"
$(8/Re)^{12} =$	1.5564E-73	2.64852E-71	1.14254E-70
$(7/Re)^{0.9} =$	3.0706E-06	4.5137E-06	5.03672E-06
$0.27 (\epsilon / D) =$	0.0000483	0.0000315	0.0000279
$\ln (1/((7/Re)^{0.9} + 0.27(\epsilon/D))) =$	9.87643503	10.23214554	10.32182864
A =	1.4457E+22	2.54654E+22	2.92812E+22
B =	4.6073E-39	4.34465E-36	3.05102E-35

$$(A + B)^{-1.5} = 5.7527E-34 \quad 2.46079E-34 \quad 1.9958E-34$$

$$f = 0.013586 \quad 0.012657 \quad 0.012438$$

Aplicando la ecuación para la caída de presión:

$$\Delta P_{100} = 0.000336 W^2 f / di^5 \rho$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$W^2 = 27338969025$$

diam. int.	d <sup>5</sup>	Diam. int.	$\epsilon/D$	f	$\Delta P_{100}$
di pulg		D ft			
10.062	103138.7	0.839	0.0001789	0.013586	0.991
15.438	876910.3	1.287	0.0001166	0.012657	0.109
17.438	1612439.3	1.453	0.0001032	0.012438	0.058

La velocidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$v = 0.051 W / \rho di^2$$

di	di <sup>2</sup>	V
Pulg		ft/seg
10.062	101.244	60.81
15.438	238.332	25.83
17.438	304.084	20.25

Resumen de resultados:

Diam. Nom	Diam. Int	Velocidad	Re	Coef. Fric.	$\Delta P_{100}$
Pulg	Pulg	ft/seg			psi
10	10.062	60.81	9341425.06	0.013586	0.991
16	15.438	25.83	6088445.32	0.012657	0.109
18	17.438	20.25	5390149.04	0.012438	0.058

Para obtener la caída de presión a través de los accesorios que tenemos a lo largo de la tubería, se sigue el mismo procedimiento indicado en el inciso 3.2.1.1

### 3.2.2.2.a Caída de presión en la sección de interconexión

	pulg	Cant.	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	$\Delta P_{100}$ Psi
Válvula de bola	18	1	13	20	20	0.012

Válvula check	18	1	50	75	75	0.044
Codos 90°	18	3	30	45	135	0.078
Codos 45°	18	2	16	24	48	0.028
Tubería	18	40 m			131	0.076
					$\Delta P$ en A psi	0.237
					Bar	0.016

### 3.2.2.2.b Caída de presión en la estación de filtración y medición

	pulg	Cant.	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	$\Delta P_{100}$ Psi
Válvula de bola	10	5	13	11	54	0.535
Válvula on-off	10	1	13	11	11	0.109
Separador liq.	10	1				11.600
Te	10	5	20	17	83	0.822
Reducción	18x10	1	20	30	30	0.297
Reducción	10x16	1	22	29	29	0.287
Codos 90°	10	3	30	25	75	0.743
Filtro cartucho	10	1				7.250
Medidor de flujo	10	1				2.000
Tubería	10	50 m			131	1.300
					$\Delta P$ en B psi	24.944
					Bar	1.720

### 3.2.2.2.c Caída de presión en 20 Km. de tubería.

Tubería	16"	65620Ft				
					$\Delta P$ en C psi	71.23
					Bar	4.91292

### 3.2.2.2.d Caída de presión en la estación de entrega.

	pulg	Cant.	L/D	L (ft)	L <sub>T</sub> (ft)	$\Delta P_{100}$ Psi
Válvula de bola	10	3	13	11	33	0.322
Te	10	3	20	17	50	0.495
Reducción	16x10	1	18	24	24	0.238
Reducción	10x16	1	22	29	29	0.290
Codos 90°	10	3	30	25	75	0.743
Filtro cartucho	10	1				7.250
Medidor de flujo	10	1				2.000
Tubería	10	20 m			66	0.650
					$\Delta P$ en D	
					psi	11.988
					Bar	0.827

$\Delta P$ Total (A+B+C+D)	108.372Psi	7.47Bar
Presión del sistema:	442.25Psia	30.5Bar a
Presión disponible	333.878Psia	23.026Bar a

Confirmando la consideración de la restricción No.2 de Darcy, tenemos:

$$\Delta P / P1)100 = (108.409 / 442.25)100 = 24.53\%$$

la caída de presión calculada (P1-P2) oscila entre el 10% y el 40% de la presión de entrada P1.

### Conclusión

La caída de presión total será de 108.372 Psi (7.47 Bar) (incluye el recorrido desde el punto de interconexión, hasta la estación de entrega), por lo tanto de la presión disponible será de 333.878 Psia (23.026 Bar A), la cual cumple con la presión mínima requerida en la Central, que es de 23 psia.

Debido a estos resultados podemos concluir que la presión mínima de entrega de PEMEX debe ser de 442.25 psia (30.5 Bar a) para poder llegar a la mínima presión requerida en la estación de entrega.

### Referencias:

1. Problemas de flujo de fluidos. Antonio Valiente Barderas. 1990
2. Flow of Fluids, through valves, fittings and pipe. Crane. Technical Paper No.140.1987.
3. 38.PPC-01 Procedimiento para el dimensionamiento de tuberías. Bufete Industrial. 1992
4. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Vol. I Ludwig Ernest

### 3.3 Cruce de canales.

Los cruces de tuberías en ríos, canales y arroyos requieren de un análisis y diseño cuidadoso, por el riesgo que representan para la población y por la contaminación que causarían al agua en caso de algún accidente. Estos cruces se pueden realizar en dos formas aéreos o subfluviales.

Para cruces aéreos se debe construir un sistema de soportaría para la tubería basándose en pilas, armaduras y cables, tomando en cuenta que dichas estructuras permitan el desasolve de los canales o ríos y no queden dentro de la corriente, en el caso de que los ríos sean navegables esta opción no es aceptable.

Nuestro estudio de análisis será para canales de riego de los cuales algunos están normalmente secos debido a que se abre su cauce solo en temporada de riego, otros llevan normalmente agua y se incrementa su cauce en época de lluvias.

Debido a que los canales se limpian periódicamente para evitar que se acumule hierba, basura o cualquier cosa que evite el paso del agua destinado al riego de la tierra de siembra, no está permitido por la Comisión Nacional del Agua el cruce aéreo de los canales, por lo que los cruces serán subfluviales.

Los cruces subfluviales se pueden clasificar en tres tipos:

Tipo I. Canales con poca corriente de agua o secos.

Tipo II Canales con corriente de agua menores de 50 metros de ancho.

Tipo III Canales con corriente de agua mayores de 50 metros de ancho.

Tipo I. En caso de canales con poca corriente de agua o secos el cruce se puede hacer abriendo zanja a cielo abierto considerando una profundidad mínima de 1.8 metros a partir del lomo de la tubería, para garantizar que la tubería quede fuera de la posible erosión del agua a todo lo ancho del cauce, en

todos los casos se debe evitar la colocación de curvas verticales dentro del cauce, procurando siempre que el tramo de tubería en el cruce, sea recto y horizontal, con los extremos bien empotrados en los bancos de los taludes de los canales. Ver Figura 6, CC-01.

Tipo II Canales con corriente de agua menores de 50 metros de ancho. Estos cruces se deberán hacer tipo tuneleados por medio de tubos de protección (camisas) a una profundidad mínima de 2 metros a partir del lomo de la tubería, la camisa deberá cumplir con el dimensionamiento indicado en el inciso 5. Ver Figura 7, CC-02.

Tipo III Canales con corriente de agua mayores de 50 metros de ancho. Estos cruces se realizarán mediante una perforación direccional, el cual respetara también la profundidad mínima de 2 metros a partir del lomo de la tubería, este tipo de cruce no requiere camisa. Se realiza con equipo especial para perforaciones, donde el tubo es guiado por la perforación por medio de un topo de mayor diámetro que el de la tubería para evitar dañar el recubrimiento externo. Ver Figura 8, CC-03.

#### **Conclusión:**

El cruce de los canales debido a que no esta permitido por la Comisión Nacional del Agua el cruce aéreo de los canales, se harán de acuerdo a la siguiente clasificación::

Figura 6. CC-01 Cruce de canal a cielo abierto Tipo I. En esta figura se muestra el cruce de canales con poca corriente de agua o secos.

Figura 7. CC-02 Cruces de canal tuneleado Tipo II. En esta figura se muestra el cruce de canales con corriente de agua menores de 50 metros de ancho por medio de tubos de protección.

Figura 8. CC-03 Cruces de canal direccional Tipo III . En esta figura se muestra el cruce de canales con corriente de agua mayores de 50 metros de ancho.

### **3.4 Cruce de vías de ferrocarril y carreteras**

#### **3.4.1 Dimensionamiento de tuberías de protección (camisa) para cruces tuneleados de vías de ferrocarril y carreteras.**

El dimensionamiento de tuberías de protección (camisas) esta basado en la norma de PEMEX 2.421.01 "Sistema de tuberías de transporte y recolección de hidrocarburos" anexo II "Ocupación paralela y cruce de ductos en derechos de vía de ferrocarril" inciso 3.4 "Cruzamientos", que establece las siguientes bases de diseño:

Los cruces de las tuberías de conducción de gas natural con carreteras y vías de ferrocarril, deben hacerse dentro de tubos de protección (camisas)

El ducto y la camisa, serán concéntricos y deben conservarse en esta posición por medio de aisladores y centradores. El espacio anular entre la tubería de conducción y el tubo protector debe de ir sellado en los dos extremos del tubo, se debe realizar esta operación tan pronto como se halla introducido la tubería dentro de la camisa.

Para realizar este tipo de cruces, debe usarse el sistema de tuneado o hincado de tubería en lugar de zanja a cielo abierto, de tal manera que la tubería de protección quede con un colchón mínimo de 1.5 metros a partir del nivel del pavimento o de la base del riel.

La camisa protectora deberá contar con dos ventilas que tendrán como función detectar la rotura o fisura de la tubería conductora dentro del derecho de vía.

La altura de las ventilas será a partir del terreno natural de 1.5 metros a campo traviesa y de 2.5 metros en zona semiurbana y urbana. La instalación de las ventilas deberá proyectarse por la parte superior de la camisa.

El diámetro de la camisa protectora debe ser de 4" mayor que el diámetro de la tubería por lo tanto para una tubería de 16", el diámetro de la camisa debe ser de 20" con un espesor de 0.375".

El diámetro de las ventilas para una camisa de 20" deberán ser de 4".

La camisa protectora será de acero al carbón API - STD - 5L; Grado B.

Ver Figura 9. CC-04 Cruce de vías de ferrocarril

Figura 10. CC-05 Cruce de carretera

### 3.4.2 Cálculo para la verificación del espesor de la camisa, para el cruce del ferrocarril.

El objetivo de este cálculo es verificar que el espesor mínimo para la camisa que indican las normas de PEMEX, sea mayor que el obtenido en el calculo debido a las cargas adicionales ocasionadas por el paso del ferrocarril, en caso de que el espesor calculado sea mayor al seleccionado se deberá incrementarse el espesor de la camisa.

Para realizar el cálculo de verificación del espesor de tubería deberán considerarse las cargas que pueden preverse, que actuaran sobre la tubería, de acuerdo con las características de las regiones o ciudades que atraviesa, deben determinar las cargas (W) a las que el tubo protector (camisa) será sometido y se definen de la siguiente manera:

$W_1$  = Carga Muerta

$W_2$  = Carga Viva

$W_3$  = Carga por impacto

$W_4$  = Carga total

La carga total será determinada como  $W_4 = (W_1 + W_2 + W_3)$

Datos de Diseño:

Profundidad a lomo del tubo h = 3mts

Peso específico del material W = 1,622kg/m<sup>3</sup> máximo

Carga máquina Cooper E 80 P =	80,000lb por eje	36,287.39kg por eje
Separación entre ejes S <sub>1</sub> =	1.52mts	
Altura del durmiente b =	0.20mts	
Longitud del durmiente L =	2.44mts	
Diámetro del tubo protector D =	20pulg	0.508mts
Constante por impacto k =	1	
Fatiga admisible del acero F <sub>s</sub> =	21,000lbs/pulg <sup>2</sup>	14767932kg/m <sup>2</sup>
Espesor del tubo protector t =	0.375pulg	0.009525mts
Diámetro interior del tubo protector Di =	19.25pulg	0.33655mts
Factor de diseño para cruce de fcc F =	0.3494	
Esfuerzo permisible a la tensión S =	35000 Psi	

Para el cálculo del espesor de la tubería en cruces con vías de ferrocarril se debe considerar el factor de diseño más riguroso (clase 4) y el valor del factor de diseño es:

$$S^* = F_1 F_2 F_3 F_4 S = F S$$

Donde:

S = Esfuerzo permisible a la tensión

F<sub>1</sub> = Factor de diseño por densidad de población = 0.4

F<sub>2</sub> = Factor de diseño por grado de toxicidad = 0.8

F<sub>3</sub> = Factor de diseño por grado de inflamabilidad = 1.2

F<sub>4</sub> = Factor de diseño por grado de reactividad = 0.91

Donde el factor de diseño será:

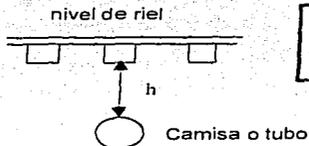
$$F = 0.4 \times 0.81 \times 1.2 \times 0.91 = 0.3494$$

A) Determinación de la carga Muerta = W<sub>1</sub>

Se establece que el tubo será instalado por el sistema de hincado o tuneado horizontal, sin alterar en lo mas mínimo la compactación, humedad y demás características físicas del terraplén bajo la vía.

Se considerara que todo el prisma vertical que actúa sobre el tubo debe ser soportado por él, sin que exista ninguna acción como arco dentro de la masa del terraplén.

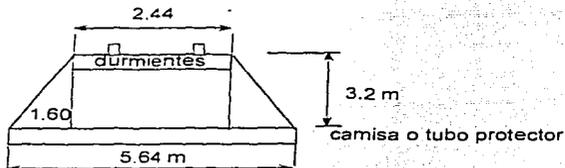
Por lo tanto  $W_1 = h \times W = 3 \times 1622 = 4866 \text{ kg/m}^2$



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### B) Determinación de la carga Viva = $W_2$

Tomando la especificación de carga del ferrocarril tipo Cooper E 80. Se considera que la carga viva se transmite al terraplén uniformemente en una zona límite lateralmente por dos planos inclinados con un talud de 0.5 a 1 partiendo de la cara superior del durmiente.



Para la carga viva debemos tomar la profundidad total de tubo desde los durmientes.

Donde:

$$B = (b + h) = 3 + 0.2 = 3.2 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de carga del tubo } Lct = B + L = 3.2 + 2.44 = 5.64 \text{ m}$$

$$\text{Carga viva } W_2 = P / \text{Lct} \cdot S_1 = 36287.39 / 5.64 \times 1.52 = 4232.85 \text{ kg/m}^2$$

$$W_2 = 4232.85 \text{ kg/m}^2$$

C) Determinación de la carga por impacto =  $W_3$

La carga por impacto se determina en función del porcentaje de impacto, de acuerdo a la siguiente formula:

$$W_3 = W_2 \cdot Fi$$

Porcentaje de impacto (Fi) esta dada por:

$$Fi = W_2 / W_1 + W_2 = 4232.85 / 4866 + 4232.85 = 46.52 \%$$

$$W_3 = 4232.85 \times 0.46 = 1969.15 \text{ kg/m}^2$$

$$W_3 = 1969.15 \text{ kg/m}^2$$

D) Determinación de la carga Total =  $W_4$

Ya que la Carga Total esta dada por:  $W_4 = W_1 + W_2 + W_3$

$$W_4 = 4866 + 4232.85 + 1969.15 = 11068 \text{ kg/m}^2$$

$$W_4 = 11068 \text{ kg/m}^2$$

2) Para determinar el espesor de la pared se considera la carga Total  $W_4$  a partir del momento flexionante, utilizando la siguiente formula:

$$W_4 = 4M/D$$

De donde el momento actuante será:

$$M = W_4 \cdot D / 4 = 11068 \times 0.508 / 4 = 1405.636 \text{ kg/m}$$

$$M = 1405.636 \text{ kg/m} = 14.05 \text{ kg/cm}$$

El calculo para la verificación del espesor mínimo requerido de la tubería protectora o camisa se determina mediante la siguiente formula:

$$t = M \cdot D / 2F_s \cdot F$$

$$t = 14.05 \times 50.8 / 2 \times 1476.79 \times 0.3494$$

$$t = 0.69162 \text{ cm} = 0.272 \text{ pulg}$$

$$t = 0.272 \text{ pulg.}$$

## Conclusión

Comparando el espesor mínimo requerido de la camisa protectora con el espesor seleccionado, tenemos que este es mayor que el espesor mínimo requerido por lo tanto el tubo protector será el adecuado para soportar las cargas actuantes sobre él.

$$\begin{aligned} \text{Espesor calculado} &< \text{Espesor seleccionado} \\ 0,272 \text{ pulg.} &< 0,375 \text{ pulg} \end{aligned}$$

El espesor calculado es menor que el espesor seleccionado, por lo tanto el espesor seleccionado es correcto.

### 3.4.3 Cálculo para la verificación del espesor de la camisa, para el cruce de la carretera.

El objetivo de este cálculo es verificar que el espesor mínimo para la camisa que indican las normas de PEMEX, sea mayor que el obtenido en el cálculo debido a las cargas adicionales ocasionadas por el paso de los vehículos en la carretera, en caso de que el espesor calculado sea mayor al seleccionado se deberá incrementar el espesor de la camisa.

El cálculo del espesor de la camisa para cruce de carreteras es similar al efectuado para el cálculo del cruce de vías de ferrocarril, pero varían las cargas ocasionadas por el paso de los vehículos, por lo tanto se debe verificar en forma independiente.

Para el cálculo, también deberán considerarse las cargas que pueda preverse que actúen sobre la tubería, las cuales serán:

$W_1$  = Carga Muerta

$W_2$  = Carga Viva

$W_3$  = Carga por impacto

$W_4$  = Carga total

La carga total será determinada como  $W_4 = (W_1 + W_2 + W_3)$

Datos de Diseño:

Profundidad a lomo del tubo $h =$	4.545 mts	
Peso específico del material $W =$	1,922 kg/m <sup>3</sup> máximo	
Carga viva máxima $P =$	40000 lb	18,143.69 Kg.
Para cruce de carretera		
Longitud de corona $L_1 =$	8 mts	
Longitud carpeta asfáltica $L_2 =$	7 mts	
Diámetro del tubo protector $D =$	20 pulg	0.508 mts
Constante por impacto $k =$	1.5	(API 1102)
Fatiga admisible del acero $F_s =$	12,000 lbs/pulg <sup>2</sup>	8,436,900 kg/m <sup>2</sup>
Espesor del tubo protector $t =$	0.375 pulg	0.009525 mts
Diámetro interior del tubo protector $D_i =$	19.25 pulg	0.33655 mts
Esfuerzo permisible a la tensión $S =$	35000 psi	
Factor de Diseño $F =$	0.4 NOM-007 Por densidad de población.	

A) Determinación de la carga Muerta =  $W_1$

Aunque el tubo será instalado por el sistema de hincado Horizontal, sin alterar en lo mas mínimo la compactación, humedad y demás características físicas del terraplén bajo la carretera.

Se considerara que todo el prisma vertical que actúa sobre el tubo debe ser soportado por él, sin que exista ninguna acción como arco dentro de la masa del terraplén.

nivel de carpeta asfáltica



Camisa o tubo protector

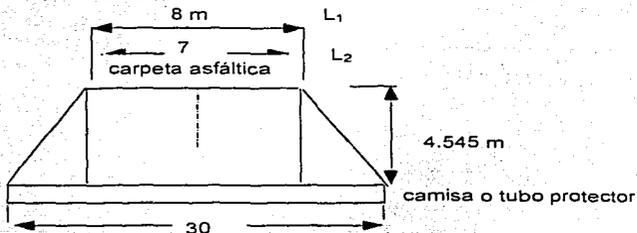
Por lo tanto  $W_1 = h \times W = 4.545 \times 1,922$

$$W_1 = 8,735.49 \text{ kg/m}^2$$

B) Determinación de la carga Viva =  $W_2$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se considera que la carga viva se transmite al terraplén uniformemente en una zona limite lateralmente por dos planos inclinados con un talud de 0.5 a 1 partiendo de la cara superior la carpeta asfáltica.



$$B = h = 4,545 \text{ mts}$$

Longitud de carga del tubo  $L_{ct} = B + L_1 = 4,545 + 8 = 12,545 \text{ mts.}$

$$W_2 = P / L_{ct} \cdot L_2 = 18,143.69 / 12,545 \times 7 = 206.61 \text{ kg/m}^2$$

C) Determinación de la carga por impacto =  $W_3$

Porcentaje de impacto  $Fi = W_2 / W_1 + W_2 = 206.61 / 8,735.49 + 206.61$

$$Fi = 2.31 \%$$

$$W_3 = W_2 \times Fi = 206.61 \times 0.0231$$

$$W_3 = 4.77 \text{ kg/m}^2$$

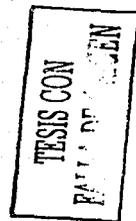
D) Determinación de la carga Total =  $W_4$

$$W_4 = W_1 + W_2 + W_3 = 8,735.49 + 206.61 + 4.77$$

$$W_4 = 8,946.87 \text{ kg/m}^2 = 0.894687 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar el espesor de la pared

Se considera la carga total  $W_4$  a partir del momento flexionante, utilizando al siguiente formula:



$$W_4 = 4 M / D$$

De donde el momento actuante será:

$$M = W_4 \times D / 4 = 8,946.87 \times 0.508 / 4$$

$$M = 1,136.25 \text{ kg/m} = 11.3625 \text{ kg/cm}$$

El calculo para la verificación del espesor mínimo requerido de la tubería protectora o camisa se determina mediante la siguiente formula:

$$t = M \times D / 2F_s \times F = 11.36 \times 50.8 / 2 \times 843.69 \times 0.4$$

$$t = 0.855 \text{ cm} = 0.3366 \text{ pulg.}$$

#### **Conclusión:**

Comparando el espesor mínimo requerido de la camisa protectora con el espesor seleccionado, tenemos que este es mayor que el espesor mínimo requerido por lo tanto el tubo protector será el adecuado para soportar las cargas actuantes sobre el.

$$\begin{aligned} \text{Espesor calculado} &< \text{Espesor seleccionado} \\ 0.3366 \text{ pulg.} &< 0.375 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

El espesor calculado es menor que el espesor seleccionado, por lo tanto el espesor seleccionado es correcto.

### 3.5 Protección Catódica.

#### 3.5.1 Control de corrosión externa.

En los sistemas de tuberías nuevos enterrados se debe controlar la corrosión externa, en el curso de 12 meses a partir de la instalación, se debe inspeccionar eléctricamente el sistema enterrado, el sistema de tubería debe protegerse mediante la aplicación de un recubrimiento de protección efectivo y por medio de un sistema de protección catódica con las conexiones adecuadas para la descarga en las zonas de corrientes parásitas.

La protección catódica se aplicara en la sección comprendida desde la salida de la estación de medición hasta la llegada a central. Estas secciones deberán aislarse eléctricamente mediante juntas monoblock para evitar fugas de corriente de protección.

Para el diseño de la protección catódica de las dos secciones se utilizara corriente impresa con ánodos de grafito

#### 3.5.2 Calculo para determinar la cantidad de ánodos.

Para determinar la protección catódica nos basamos en el Estudio de resistividad del suelo, tomando lecturas de la resistividad eléctrica del terreno.

Para determinar numero y clase de ánodos.

Una tubería sin recubrimiento puede requerir entre 2 y 3 ma/ft<sup>2</sup> una tubería recubierta con resina epoxica y un 15% de área desnuda, considerando muy bien aplicado el recubrimiento, requerirá entre 0.02 ma/ft<sup>2</sup> y 0.03 ma/ft<sup>2</sup>. Para efectos de estudio teórico consideraremos una densidad de corriente como base de 0.02 ma/ft<sup>2</sup>.

#### Datos base de cálculo

diámetro de gasoducto a proteger =	16 pulg.	1.333 pies
longitud de estructura a proteger =	20 Km.	65,620 pies
D = porcentaje de área desnuda (tubería nueva) =	5%	
= densidad de corriente en mA / ft <sup>2</sup> =	0.03 mA / ft <sup>2</sup>	0.003 mA/m <sup>2</sup>
= factor de seguridad =	1.5	

Q = equivalente electroquímico de grafito = 2 lb/amp/yr  
 = factor de utilización = 50%  
 años = vida útil del sistema de protección catódica = 25 años  
 = peso del ánodo de grafito 3" diam. x 60" long. = 27 Lb

Determinación de la superficie expuesta a la corrosión:

$$A = \pi \times D \times L = 3.1416 \times 1.333 \times 65620 = 274800.34 \text{ FT}^2$$

$$S = A \times \%AD = 274800.34 \times 5\% = 13740 \text{ FT}^2$$

Calculo de la corriente de diseño (Id):

$$I_d = S \times dc \times Fs = 13740 \times 0.03 \times 1.5 = 618.3 \text{ ma} = 0.6183 \text{ amp.}$$

$$I_d = 0.6183 \text{ amp}$$

Para la distribución de la corriente se propone aplicar la corriente de preferencia en el lugar de menor resistividad eléctrica pero también se toma en cuenta la localización de la protección catódica de gasoductos de PEMEX, de tal forma que se ubicará el rectificador del sistema en el Km 11+046 para con esto poder hacer las mediciones adecuadas en campo ya instalado el sistema y observar el comportamiento del mismo y las posibles interferencias con el sistema actual de PEMEX.

Para establecer lugares de menor resistividad eléctrica, se hicieron pruebas a lo largo de la trayectoria de la tubería a construir. Estas pruebas se realizaron a cada 100 metros.

El grafito es el material mas empleado para la instalación de dispositivos anódicos en tierra por su gran conductividad y bajo consumo en la mayoría de los suelos.

Para el calculo de la cama de ánodos se tiene lo siguiente:

$$W_t = (EEQ \times I_d \times \#años) / Fu = 2 \times 0.6183 \times 25 / 50\% = 30.915 \text{ Lb}$$

$$\text{Numero de ánodos calculado} = W_t / W_a = 61.83 / 27 = 2.29 \text{ ánodos}$$

$$\text{Numero de ánodos requeridos} = 3 \text{ ánodos mínimo}$$

$$\text{Numero de ánodos propuesto} = 5 \text{ ánodos}$$

### 3.5.3 Cálculo para determinar resistencia eléctrica de un grupo de ánodos

Para calcular la resistencia eléctrica de un grupo de ánodos debemos definir primero el arreglo de la cama de ánodos. Tenemos 2 opciones, arreglo vertical y arreglo horizontal, cualquiera de los 2 casos puede funcionar pero optaremos por el arreglo horizontal considerando que en el lugar donde será instalada la cama anódica estará relativamente cerca de estructuras de zona habitacional y que probablemente el nivel freático este poco profundo.

Para diseñar la cama de ánodos es necesario determinar la resistividad del terreno para calcular la resistencia eléctrica del grupo de ánodos a tierra.

Considerando una cama anódica en posición horizontal tenemos:

$$R = 0.00521 P/L \{ \ln_{10} [(4L^2 + 4L(S^2 + L^2)^{1/2}) / dS] + (S/L) - ((S^2 + L^2)^{1/2})/L \} - 1$$

R = Resistencia de la cama anódica en posición horizontal, conectada en paralelo, ohms.

P = Resistividad del terreno = 1,037 ohms-cm

L = longitud de la cama de ánodos = 84.2 pies       $L^2 = 7089.64 \text{ Ft}^2$

d = diámetro del ánodo = 0.25 pies

S = El doble de la profundidad de los ánodos = 8.531 pies       $S^2 = 72.778 \text{ Ft}^2$

$$R = 0.00521 \times 1037 / 84.2 \{ \ln_{10} [4 \times 84.2^2 + 4(7090 + 72.8)^{1/2}] + (0.25/84.2) - ((72.8 + 7090)^{1/2}) - 1 \}$$

$$R = 0.56049 \text{ ohms}$$

Según la ley de ohm:       $V = I R$

I = amperes = 0.6183 amp.

R = resistencia eléctrica = 0.56049 ohms

V = volts

Cálculo aplicando la corriente en un solo punto:

$$V = (0.6183)(0.56049) = 0.34655 \text{ Volts}$$

Capacidad del transformador:       $C = I V / E F$

C = Capacidad del transformador VA

E = Eficiencia del rectificador = 0.85

I = Intensidad de corriente (CD) del rectificador = 0.6183 amperes

V = Voltaje (CD) del rectificador = 0.34655 Volts

F = Factor de potencia de transformador = 0.80

$$C = (0.6183 \times 0.34655) / (0.85 \times 0.8) = 0.3151 \text{ VA}$$

Para proteger católicamente el gasoducto se instalará una cama anódica de arreglo horizontal con cinco ánodos de grafito en paralelo, ubicada a 100 metros perpendicularmente al gasoducto y será alimentada con corriente directa desde el cuarto de control y eléctrico.

La alimentación para el sistema de protección catódica será de 24 volts corriente directa, 1.0 amperes.

Todos los componentes estarán instalados en un gabinete a prueba de intemperie, con terminales de entrada y salida de corriente directa, elementos para regular las condiciones de operación (amperímetro y voltímetro de corriente directa) y elementos de protección contra sobrecargas.

El gabinete deberá contar con dos entradas en la parte inferior, para la colocación de tubos conduit de ¾" de diámetro, que llevarán los cables de los ánodos, del tubo y de la señal de referencia.

El gabinete deberá contar con una entrada en la parte inferior de conduit de 1" de diámetro para el suministro eléctrico.

El gabinete deberá ser instalado en el cuarto de control y eléctrico.

#### **3.5.4 Ánodos de grafito**

Los ánodos serán de grafito de 3" x 60" con cable # 4 AWG de 2 mts. de longitud y con capuchón de neopreno sellado con resina.

La instalación de los ánodos se hará de la siguiente manera:

Se efectuará excavación de 0.30 mts. De ancho por 1.30 mts. De profundidad y 93.4 mts de longitud (iniciando la excavación desde el nivel del terreno natural)

Se instalará a todo lo largo de la zanja coque grado metalúrgico triturado de ¾" de diámetro máx. Hasta una altura de 11 cms. (backfill coke breeze)

Se preparará el ánodo colocando capuchón de neopreno o termocontractil en la conexión ánodo cable.

Se instalarán los ánodos en forma horizontal después se rellenará de coque metalúrgico triturado de ½" máximo de diámetro hasta completar 30 cms. Es importante hacer el trabajo de compactación del carbón metalúrgico triturado en forma correcta para garantizar el buen funcionamiento de la cama anódica.

Las conexiones al cable colector se harán por medio de conector mecánico bipartido KS 23 y encapsulados de resina (scotch-cast 90-B1)

Después de instalada la cama anódica y los registros rellenar con terreno natural producto de la excavación e instalar los cables colectores a una profundidad de 70 cms.

### **3.5.5 Cables**

El cable para la conexión de los ánodos de grafito que llega al cuarto de control y eléctrico será calibre # 2 AWG, R – 90, con doble forro de polietileno y PVC.

El cable para la conexión del tubo al cuarto de control y eléctrico será calibre # 2 AWG tipo R-90, con doble forro de polietileno y PVC.

El cable que servirá para la conexión de la señal de potencial del tubo será calibre # 12 THHW.

### **3.5.6 Postes para toma de potencial**

Los postes de toma de potencial se conectaran al tubo por medio de dos cables cal. # 12 AWG soldados por aluminotermia. En el caso de que se instalen junto con testigos de corrosión deberán incluir adicionalmente 3 cables del cal # 12 awg para las conexiones con los testigos de corrosión.

Serán tipo "R" de concreto de 0.15 x 0.15 x 1.50 mts. Indicándose en cada poste a bajo relieve el kilometraje y su identificación:

La pintura deberá ser antivegetativa en color blanco y letras en color negro.

Se instalaran a todo lo largo de la trayectoria del gasoducto, hasta donde sea posible y tratando de que estén cerca de caminos o canales para su facilidad de acceso.

### **3.5.7 Conexiones al gasoducto**

Las conexiones a la tubería de los cables del cuarto de control y de los postes de toma de potencial así como la señal del control automático se harán por medio de aluminotermia, cubriendo con esmalte de resina epoxica la conexión y el área afectada.

Se deberán considerar los materiales necesarios de este concepto en las partidas que requieran de conexión a la tubería.

### **3.5.8 Inspección y pruebas**

Después de llevar a cabo la instalación del sistema para protección catódica deberá obtenerse un perfil de potenciales de la estructura protegida; las mediciones deberán efectuarse en los lugares donde quedaron localizados los postes de amojonamiento y registro. Las lecturas que se presenten deberán registrarse y conservarse como referencia futura, cuando concluya la instalación del sistema de protección catódica deberá verificarse la totalidad del circuito.

Para las mediciones de potencial entre la estructura por proteger y el terreno en que esta se encuentre alojada debe usarse un electrodo de cobre / sulfato de cobre saturado para completar el circuito a través del terreno.

La inspección durante la construcción de un sistema de protección catódica, es una fase crítica. El sistema mejor diseñado si no es instalado adecuadamente, no lograra el objetivo para el que fue creado.

El inspector deberá estar capacitado para llevar a cabo las siguientes funciones:

- Seguir los lineamientos de diseño durante la construcción del sistema de protección catódica.
- Entrenar, si es necesario, al personal de construcción en los métodos requeridos para implementar el diseño.
- Verificar que las instalaciones estén de acuerdo con las especificaciones
- Hacer modificaciones menores sin afectar el funcionamiento del sistema en caso de imprevistos en campo.

- Efectuar las pruebas y mediciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de protección catódica.
- Hacer los ajustes necesarios en caso de interferencias con otros sistemas de protección catódica.

### **3.5.9 Recomendaciones**

Deberá verificarse que la tubería este aislada eléctricamente en todas sus conexiones o derivaciones y a lo largo de toda su trayectoria para tal efecto se deberá instalar juegos de empaques dieléctricos en bridas o válvulas, en la entrada y salida del gasoducto así como en los ramales de salida de este.

Para aislar la tubería se instalaron juntas monoblock en: la interconexión con los gasoductos de PEMEX, a la llegada y salida de la estación de medición y a la llegada de la Central.

La tubería expuesta se deberá utilizar pintura epoxica y si es necesario soportarla, los soportes deberán tener aislamiento dieléctrico (neopreno)

En los cruces donde se requiera encamisar la tubería se deberán de utilizar separadores de material plástico y sellar los extremos de la camisa.

Ver figura 11. PC-01 Protección Catódica

### **Conclusión:**

La protección catódica del gasoducto de 16" de diámetro y 20 Km de longitud se protegerá con una cama anódica de 5 ánodos de gafito con una vida útil de 25 años

### **3.6 Medidas de protección y seguridad.**

La tubería enterrada debe protegerse tanto para evitar que sufra algún daño ocasionado por factores externos. como para proteger a las personas, por lo tanto deben utilizarse señalamientos restrictivos a lo largo de su trayectoria, indicando que existe una tubería de transporte de gas enterrada, donde no se pueden hacer excavaciones, ni construir sobre ella.

A lo largo de la trayectoria se debe colocar una malla de protección de color amarillo a 30 cm por encima de la generatriz superior de la canalización y a lo ancho de la zanja que avisara en cuanto a la presencia de una canalización de gas de cualquier empresa que venga a excavar en las cercanías, sobre todo si el trazo de la tubería atraviesa tierras de labor o sembrado.

Sobre el derecho de vía y en las instalaciones de toda la tubería de transporte deben instalarse las señales necesarias para localizar e identificar la tubería y reducir las posibilidades de daños.

Los señalamientos serán tipo informativo, restrictivo o preventivo.

#### **3.6.1 Señalamiento informativo**

Las señales informativas destinadas a indicar la posición de la tubería y líneas a campo traviesa, en zona urbana y para identificar los caminos de acceso a campos, plantas e instalaciones.

La señal para líneas a campo traviesa consistirá en un poste de concreto para transmisión de energía eléctrica estándar de la Comisión Federal de Electricidad, o cualquier otro material que sea de la resistencia y durabilidad semejante a la del concreto que cumpla la misma función. En la cara más visible del poste se pintara el kilometraje y en la parte superior se colocara una placa indicando el kilometraje y una flecha indicando cambio de dirección de la tubería.

Esta señal se colocara cada 5 kilómetros, localizada en la margen izquierda del derecho de vía, siguiendo el flujo de la línea.

La señal para líneas en zona urbana consistirá en una tachuela de fierro fundido o material de durabilidad y resistencia similar, que tendrá grabado en alto relieve

la leyenda PEMEX y una fecha que indique el sentido del flujo. Se colocara cada 50 metros ahogada en concreto.

La señal para identificar los caminos de acceso a campos, plantas e instalaciones contendrán el nombre de la planta o instalaciones, una fecha que indique el sentido de la circulación para llegar a ella y la distancia que hay que recorrer sobre el camino de acceso, consistirá en un cartel fabricado en lamina de acero calibre 14, galvanizada, pintada y horneada.

Ver figura 12. SN-01 Señalamiento informativo y figura 13. SN-02 Señalamiento indicativo.

### **3.6.2 Señalamiento restrictivo.**

Los señalamientos restrictivos deben colocarse en los limites del derecho de vía, en linderos o cercas de propiedad, en cruces de vías de comunicación, a cada 500 metros a campo traviesa y cada 100 metros en zonas urbanas.

Consistirá en un cartel fabricado en lamina de acero calibre 18, galvanizada, pintada y horneada, prohibiendo excavar, golpear y/o construir, deben colocarse en ambas márgenes del derecho de vía, en todos los cruces de tuberías de hidrocarburos, calles carreteras, ferrocarriles, veredas, caminos y pasos habituales de la población, canales, y en general, en todos los lugares en donde la tubería corra riegos de sufrir daños por excavaciones, golpes o construcción. Ver figura 14. SN-03 Señalamiento restrictivo

### **3.6.3 Señalamiento preventivo.**

Las señales preventivas serán portátiles, son temporales y deben de instalarse antes de iniciar los trabajos de construcción o de mantenimiento, en áreas o vías publicas, deben ser adecuadas al tipo de trabajo que se desarrolle y están destinadas específicamente para evitar daños al publico. Ver figura 15. SN-04 Señalamiento preventivo

#### **4. Conclusión.**

La elaboración de la ingeniería de detalle de un proyecto, requiere del estudio del proyecto en particular que se va a desarrollar; cada uno de ellos, aunque se trate del mismo tema como el que se analiza en este informe, tiene sus propias dificultades y varían con la zona en la que se realizara el proyecto, cada una tiene diferentes obstáculos, los cuales se van presentando a lo largo del desarrollo del mismo.

Con lo anterior obtenemos como conclusión, que si desarrollamos otro proyecto similar de transporte de gas natural en algún otro sitio, nos podemos encontrar con dificultades no analizadas en este informe y por lo tanto serian motivo de un estudio nuevo.

#### **Resumen de Conclusiones:**

##### **Calculo del espesor de la tubería.**

Se ha seleccionado un espesor 0.281" para la tubería enterrada de acero al carbón API-5L-X52 de 16" y 18" de diámetro y un espesor 0.344" para la tubería expuesta de acero al carbón API-5L-X52 de 10" de diámetro.

##### **Calculo de la caída de presión a lo largo del gasoducto.**

##### **Calculo de la caída de presión con la presión máxima de entrada**

La caída de presión total será de 72.13 Psi ( 4.97 Bar) (incluye el recorrido desde el punto de Interconexión, hasta la estación de entrega), por lo tanto de la presión disponible será de 667.37 Psia (46.03 Bar A) la cual es mayor a la mínima requerida en la central.

##### **Calculo de la caída de presión con la presión mínima de entrada**

La caída de presión total será de 108.409 Psi (7.48 Bar) (incluye el recorrido desde el punto de interconexión, hasta la estación de entrega), por lo tanto de la presión disponible será de 33.841 Psia (23.024 Bar A), la cual cumple con la presión mínima requerida en la Central.

### **Cruce de canales.**

El cruce de los canales debido a que no esta permitido por la Comisión Nacional del Agua el cruce aéreo de los canales, se harán de acuerdo a la siguiente clasificación::

Tipo I. Canales con poca corriente de agua o secos. Cruce a cielo abierto.

Tipo II Canales con corriente de agua menores de 50 metros de ancho. Cruces tipo tuneleados por medio de tubos de protección.

Tipo III Canales con corriente de agua mayores de 50 metros de ancho. Cruces mediante una perforación direccional.

### **Cruce de vías de ferrocarril y carreteras.**

Calculo para la verificación del espesor de la camisa, para el cruce del ferrocarril.

Comparando el espesor mínimo requerido de la camisa protectora con el espesor seleccionado, tenemos que este es mayor que el espesor mínimo requerido por lo tanto el tubo protector será el adecuado para soportar las cargas actuantes sobre él.

$$\text{Espesor calculado} < \text{Espesor seleccionado}$$

$$0.272 \text{ pulg.} < 0.375 \text{ pulg.}$$

El espesor calculado es menor que el espesor seleccionado, por lo tanto el espesor seleccionado es correcto.

Calculo para la verificación del espesor de la camisa, para el cruce de la carretera.

Comparando el espesor mínimo requerido de la camisa protectora con el espesor seleccionado, tenemos que este es mayor que el espesor mínimo requerido por lo tanto el tubo protector será el adecuado para soportar las cargas actuantes sobre él.

$$\text{Espesor calculado} < \text{Espesor seleccionado}$$

$$0.3366 \text{ pulg.} < 0.375 \text{ pulg.}$$

El espesor calculado es menor que el espesor seleccionado, por lo tanto el espesor seleccionado es correcto.

#### **Protección Catódica.**

La protección catódica del gasoducto de 16" de diámetro y 20 Km de longitud se protegerá con una cama anódica de 5 ánodos de grafito con una vida útil de 25 años

#### **4.1. Responsabilidad**

Mi asignación en estos proyectos fue como Gerente de Proyecto, teniendo como responsabilidad la supervisión técnica de los trabajos desarrollados de Ingeniería de detalle, la administración técnico-económica del proyecto y la asistencia técnica a la construcción, proporcionando soluciones a los problemas encontrados en el sitio.

Cada uno de los proyectos en los que a lo largo de mi carrera he participado ha incrementado mis conocimientos y cada uno de ellos ha sido una nueva experiencia adquirida.

Durante 29 años he prestado mis servicios como Ingeniero Químico (pasante) a la industria y lo más importante además de los conocimientos adquiridos, ha sido el reconocimiento de la calidad de los trabajos efectuados por parte de los diferentes clientes con los que ha tenido la oportunidad de trabajar.

Además he tenido la oportunidad de transmitir mis conocimientos al personal que he tenido a mi cargo, la mayoría han sido Ingenieros recién egresados de diferentes Universidades y especialidades; y como parte de las actividades que he realizado, ha sido la capacitación de Ingenieros, en el Diseño de Ingeniería de Plantas industriales en las áreas de Proceso e Instrumentación, este campo de trabajo es uno de los cuales nos da la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos que aprendemos en la Universidad y adquirir nuevos.

## **5. Bibliografía.**

- 5.1 Norma No. 2.421.01 Sistema de tuberías de transporte y recolección de Hidrocarburos. Normas para proyectos de obras publicas. Petróleos Mexicanos. Primera edición 1991.
- 5.2 Norma No. 3.411.01 Aplicación de recubrimientos para protección anticorrosivo. Norma para construcción de obras. Petróleos Mexicanos. Quinta edición 1991.
- 5.3 Norma No. 3.413.01 Instalación de sistemas para protección catódica. Norma para construcción de obras. Petróleos Mexicanos. Tercera edición 1990.
- 5.4 Norma No. 2.413.01 Sistema de protección catódica. Norma para proyectos de obras publicas. Petróleos Mexicanos.
- 5.5 Nom-007-SECRE-1999. Transporte de gas natural. Proyecto de Norma oficial Mexicana. Secretaría de Energía. Segunda edición.
- 5.6 Nom-008 –SECRE-1998 Protección catódica de tuberías de acero para la conducción de gas natural y gas licuado de petróleo. Proyecto de Norma oficial Mexicana. Secretaría de Energía. Primera edición.
- 5.7 ANSI B31.8–1975 Gas Transmission and distribution piping systems. American National Standard Code for Pressure Piping.
- 5.8 Characteristics of piping material. Hydraulic Institute. 1979.
- 5.9 Flow of Fluids, through valves, fittings and pipe, Crane. Technical Paper No. 140. 1969.

- 5.10 Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways. API Recommended Practice 1102. American Petroleum Institute. 1995.
- 5.11 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de tubería de transporte. Petróleos Mexicanos. 1994.
- 5.12 Problemas de flujo de fluidos. Antonio Valiente Barderas. 1990.
- 5.13 38.PPC-01 Procedimiento para el dimensionamiento de tuberías. Bufete Industrial. 1992.
- 5.14 Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Vol. I Ludwig Ernest. 1964.

## **6. Apéndice**

### **Índice de diagramas**

**Figura 1. DTI-1 Diagrama de Tuberías e Instrumentación. Estación de Filtración y Medición.**

**Figura 2. DTI-2 Diagrama de Tuberías e Instrumentación. Gasoducto y Estación de entrega.**

**Figura 3. T-01 Trazo del gasoducto de la Toma de PEMEX a Estación de Medición.**

**Figura 4. T-02 Trazo del Gasoducto a la llegada y salida de la Estación de Medición.**

**Figura 5. T-03 Trazo del Gasoducto a la llegada de la Estación de Entrega.**

**Figura 6. CC-01 Cruce de Canal a cielo abierto Tipo I.**

**Figura 7. CC-02 Cruce de Canal Tuneleado Tipo II.**

**Figura 8. CC-03 Cruce de Canal Direccional Tipo III.**

**Figura 9. CC-04 Cruce de vías de Ferrocarril.**

**Figura 10. CC-05 Cruce de carretera.**

**Figura 11. PC-01 Protección Catódica.**

**Figura 12. SN-01 Señalamiento Informativo.**

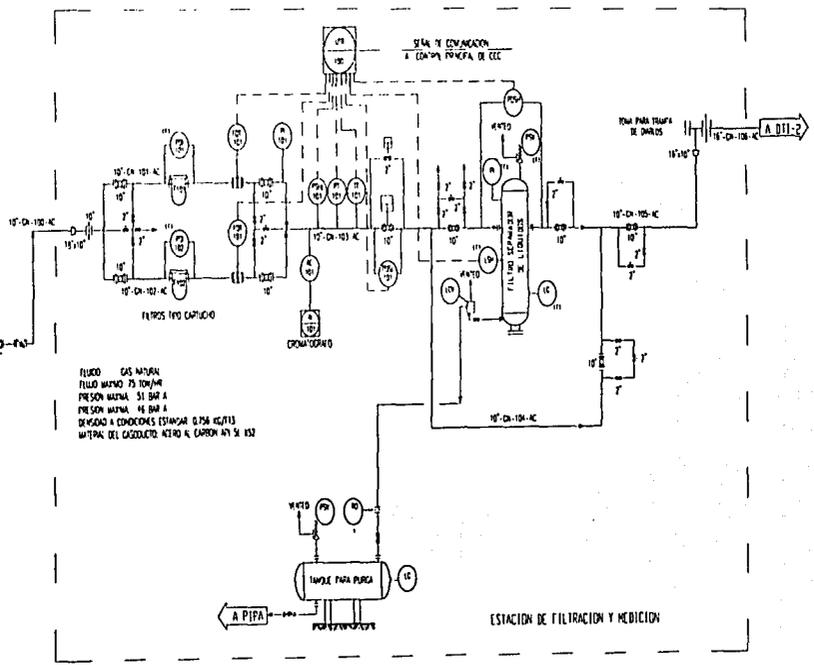
**Figura 13. SN-02 Señalamiento Indicativo.**

**Figura 14. SN-03 Señalamiento Restrictivo.**

**Figura 15. SN-04 Señalamiento Preventivo.**

54

CASO: DISEÑO DE UN S.I. DE CONTROL AUTOMÁTICO



FLUJO GAS NATURAL  
 FLUJO MAXIMO 75 TON/HRA  
 PRESION MAXIMA 51 BAR A  
 DISEÑADO A CONDICIONES ESTANDAR 0.758 KG/CM<sup>2</sup>  
 MATERIAL DEL CALDERO: ACERO AL CARBON A51.51.152

ESTACION DE FILTRACION Y MEDICION



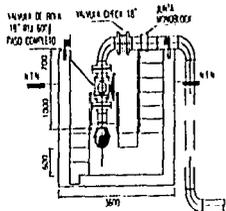
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



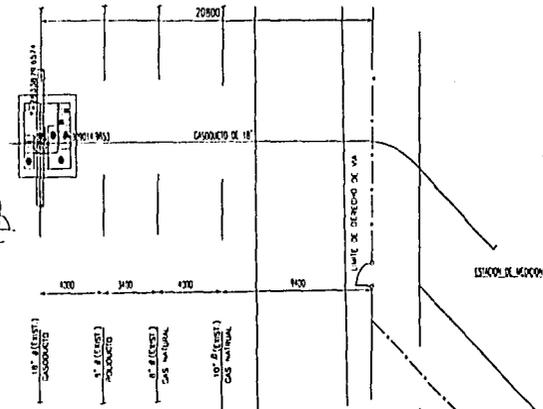
TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO			
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
FACULTAD DE QUIMICA			
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION			
ESTACION DE FILTRACION Y MEDICION			
DIBUJO	REVISO	DIBUJO No	REV.
L. H. P. S.	M. L. G. P.	011-1	0



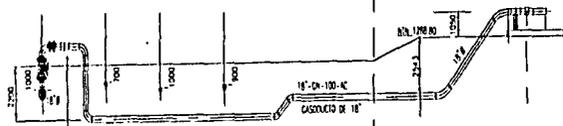
56



REGISTRO PARA VALVULA



PLANTA



PERFIL

ACOTACIONES EN mm



FACULTAD DE  
QUÍMICA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

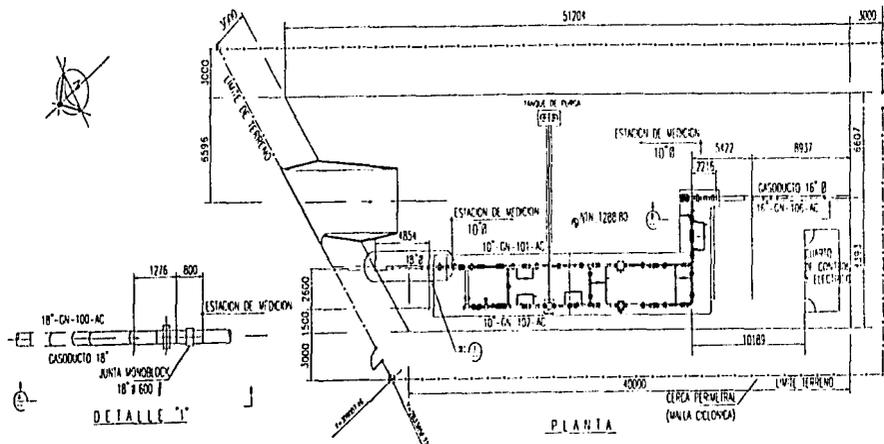


TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TRAZO DEL GASODUCTO DE LA TOMA DE PEMEX  
A ESTACION DE MEDICION

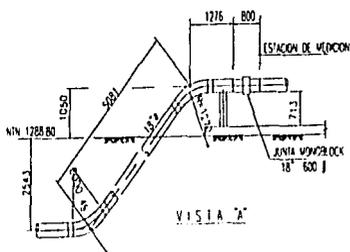
DIBUJO	REVISO	DIBUJO No.	REV.
L.M.P.S.	M.L.G.P.	1 - 01	0



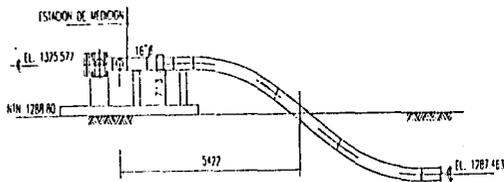
DETALLE "1"

PLANTA

53



VISTA "A"



VISTA "B"

ACOTACIONES EN mm



FACULTAD DE  
QUÍMICA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

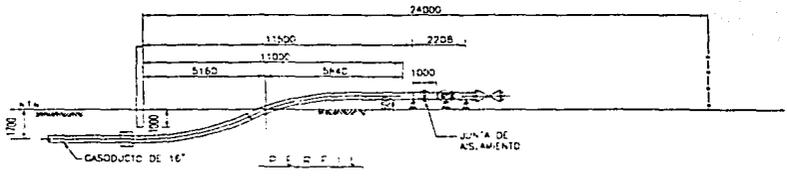
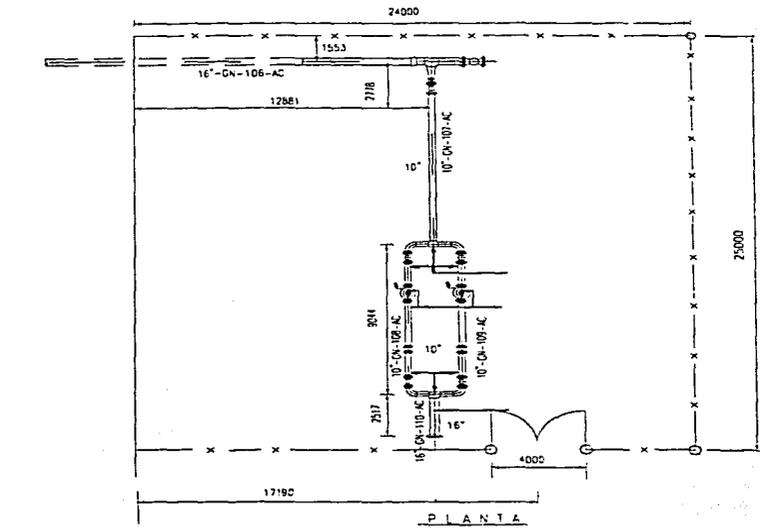


TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

TÍTULO DEL GASODUCTO A LA LLEGADA Y SALIDA  
DE LA ESTACION DE MEDICION

DIBUJO	REVISO	DISEÑO No	REV.
1 M.P.S.	M.L.G.P.	1 - 02	0

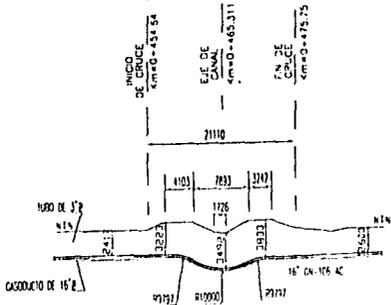
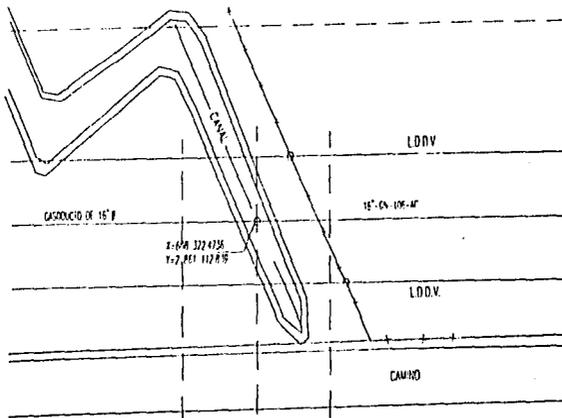
TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN



ACOTACIONES EN mm



TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA			
TRAZO DEL GASODUCTO A LA LLEGADA DE LA ESTACION DE ENTREGA			
D'BUJO L.M.P.S.	REVISO V.L.C.P.	D'BUJO No 1 - 03	REV 0



ACOTACIONES en mm

59



TESIS CON  
FALLA DE CUBIERTA



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

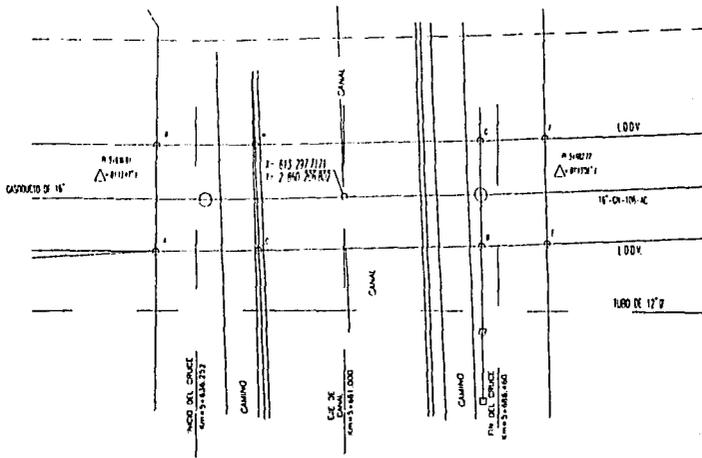
CRUCE DE CANAL A CIELO ABIERTO TIPO I

DEBIDO  
I.M.P.S.

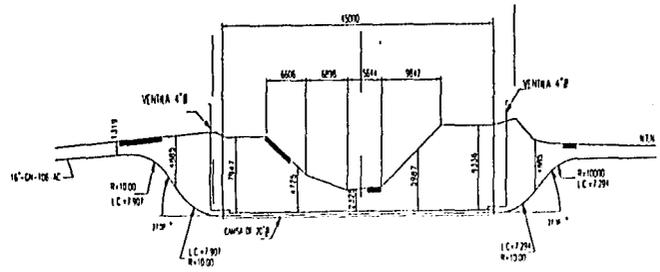
REVISO  
M.I.G.P.

DEBIDO No.  
CC - 01

REV.  
0



10



ADICIONES EN mm



FACULTAD DE QUÍMICA

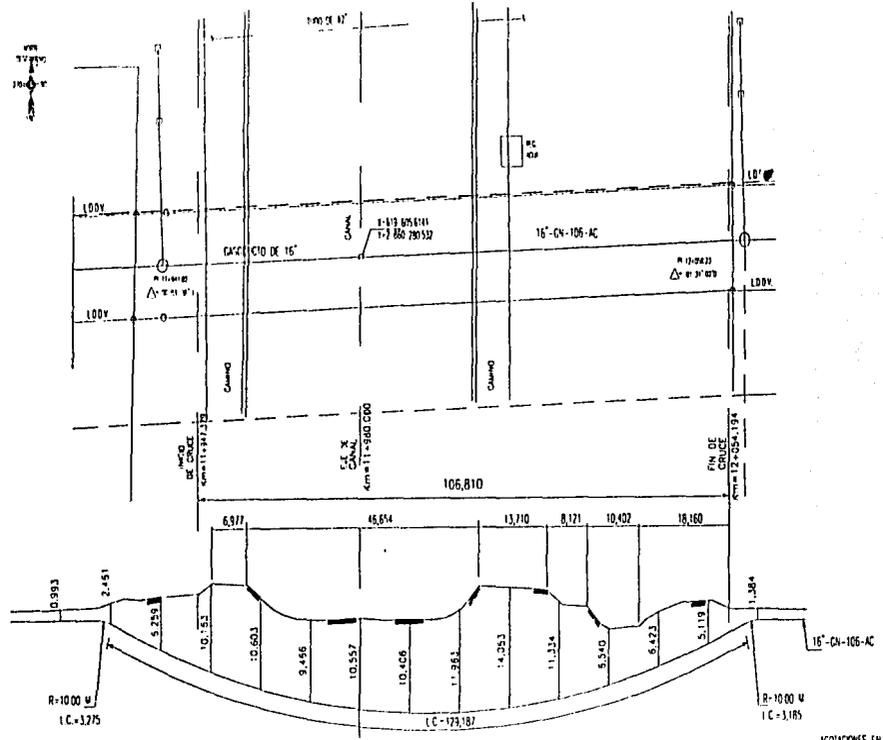
TESIS CON FALLA DE COPIEN



HECIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

CRUCI DE CANAL TUNELADO TIPO II

DIBUJO M.P.S.	REVISO M.L.G.P.	DIBUJO No. CC - 02	REV. 0
------------------	--------------------	-----------------------	-----------



NOTACIONES EN mm



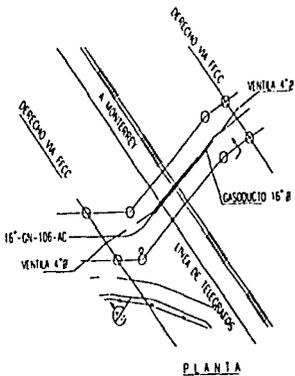
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



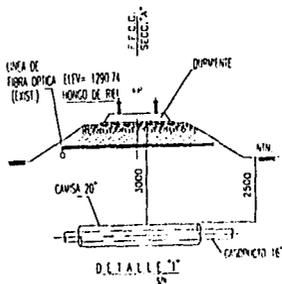
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

CRUCE DE CANAL DIRECCIONAL TIPO III

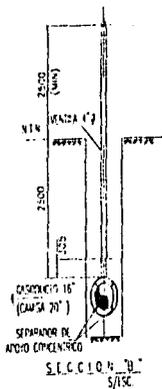
DEJAO L.M.P.S.	REVISO M.G.P.	DEJAO No. CC - 03	REV. D
-------------------	------------------	----------------------	-----------



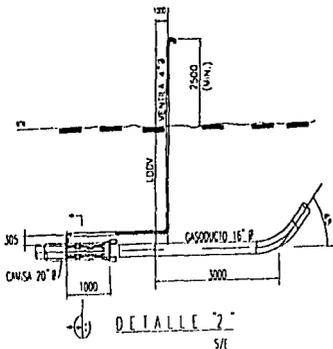
PLANIA



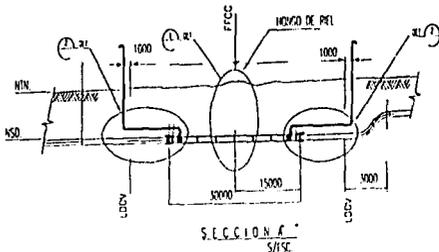
DETALLE 1  
S/FE



SECCION 2  
S/FE



DETALLE 2  
S/FE



SECCION 1  
S/FE

ACOTACIONES EN mm



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

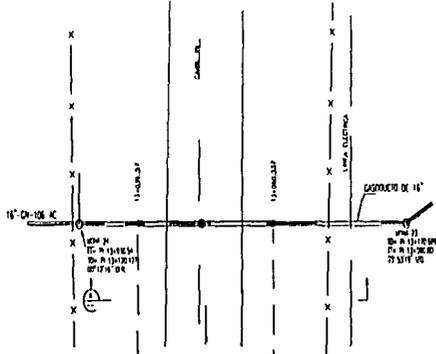
CRUCE DE VAS DE FERROCARRIL

DIBUJO  
L.M.P.S.

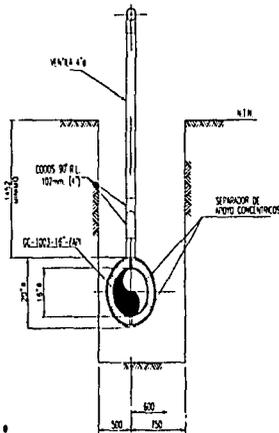
REVISO  
M.L.G.P.

DIBUJO No.  
CC - 04

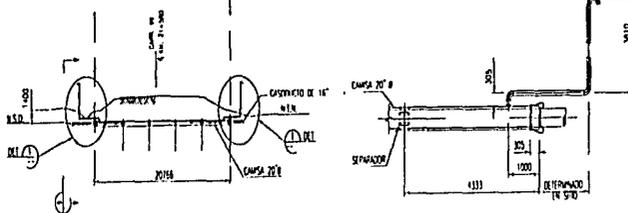
REV.  
0



PLANTA



SECCION 'B'



SECCION 'A'

DETALLE 'B'

63

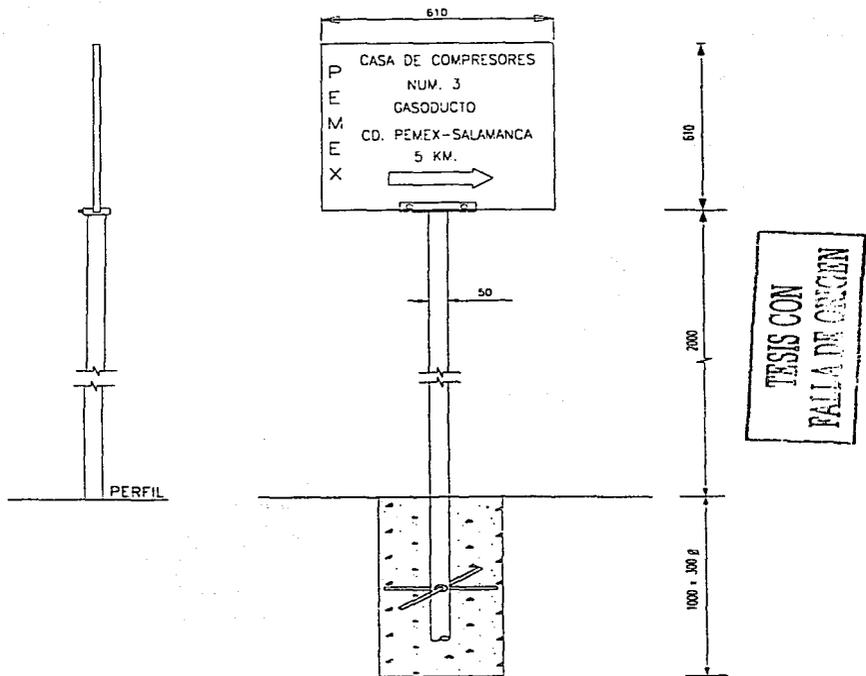


TESIS CON  
PARTE DE... EN



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO			
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
FACULTAD DE QUIMICA			
CRUCE DE CARRETERA			
DIBUJO L.M.P.S.	REVISO M.L.G.P.	DIBUJO No. CC - 05	REV. 0





ACOTACIONES EN mm



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

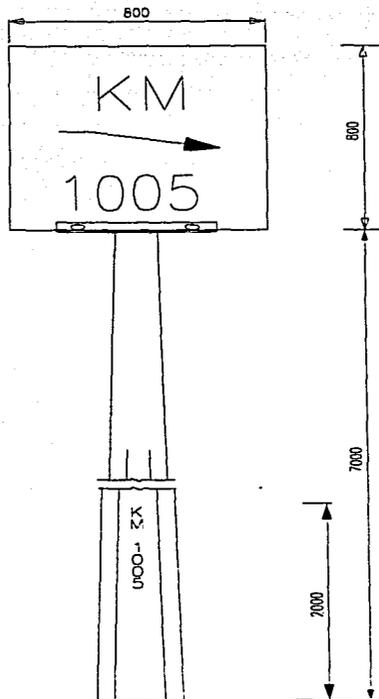
SERIALAMIENTO INFORMATIVO

DISUJO  
L.M.P.S.

REVISO  
M.L.G.P.

DISUJO No.  
SN - 01

REV  
D



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ACOTACIONES EN mm



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

SEÑALAMIENTO INDICATIVO

DIBUJO  
L.V.P.S.

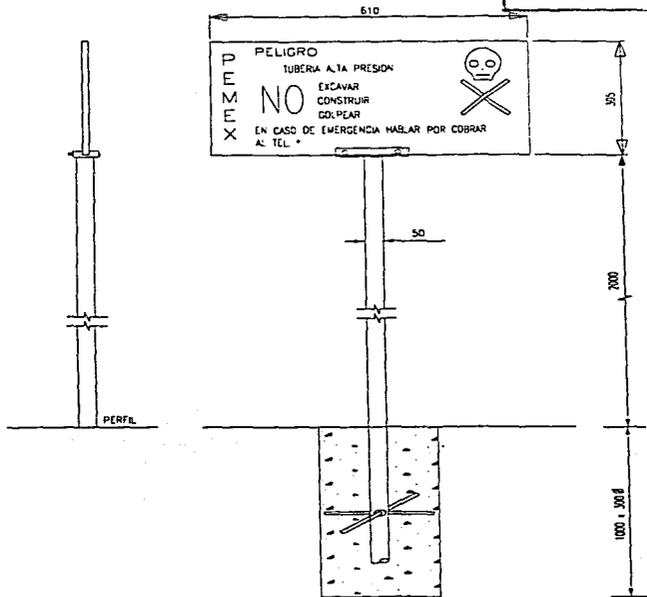
REVISO  
M.L.G.P.

DIBUJO No.  
SN - 02

REV  
0

66

# TESIS CON FALLA DE COPIEN



ACOTACIONES EN mm



TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO

DIBUJO  
L.M.P.S

REVISO  
M.L.G.P.

DIBUJO No.  
SN - 03

REV  
0

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



ACOTACIONES EN mm



FACULTAD DE  
QUÍMICA



TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

SERALAMIENTO PREVENTIVO

DIBUJO  
L.M.P.S.

REVISO  
M.L.G.P.

DIBUJO No.  
SN - 04

REV  
0

68