

300617

44
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**"MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE UNA LINEA
DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL,
EN BASE AL GASODUCTO
CIUDAD PEMEX-VENTA DE CARPIO"**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO -ELECTRICISTA
AREA MECANICA
P R E S E N T A
JOSE IGNACIO LOPEZMALO PEREZCARPY
ASESOR: ING. ALFREDO HEREDIA NAVARRO**

México, D.F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INDICE

INDICE.

INTRODUCCION.	I
BREVES ANTECEDENTES HISTORICOS.	IV
CAPITULO I: TUBERIAS COMO MEDIO DE CONDUCCION.	
1.1 TIPOS DE TUBERIA.	1
1.2 ESPECIFICACIONES Y NORMAS.	6
1.3 VALVULAS.	10
CAPITULO II: FUNDAMENTOS Y PARAMETROS PARA EL DISENO.	
2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS.	25
2.2 PARAMETROS DE DISENO.	35
CAPITULO III: INGENIERIA DE PROYECTO.	
3.1 CALCULO DE LA TUBERIA.	37
3.2 VALVULAS DE SECCIONAMIENTO.	40
3.3 TRAZO.	43
3.4 PERFIL.	43
3.5 CENSO DE POBLACION.	45
CAPITULO IV: CONSTRUCCION.	
4.1 DERECHO DE VIA.	46
4.2 CALIDAD DEL TERRENO.	49
4.3 APERTURA DE LA CEPA.	49
4.4 TENDIDO DE LA TUBERIA.	51
4.5 ARMADO.	52

4.6 SOLDADURA.	56
4.7 PROTECCION FISICA Y BAJADO.	64
4.8 SENALAMIENTOS.	69
4.9 CRUZAMIENTOS.	76
4.10 RESTAURACION DEL DERECHO DE VIA.	81
CAPITULO V: INICIO DE OPERACIONES.	
5.1 DIABLOS.	82
5.2 INICIO DE OPERACIONES.	89
5.3 MANTENIMIENTO.	92
5.4 PROTECCION FISICA.	93
5.5 MANTENIMIENTO EXTERIOR.	94
5.6 MANTENIMIENTO INTERIOR.	99
CAPITULO VI: CALCULO DE LA TUBERIA.	
I. DATOS A MANEJAR.	100
II. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.	101
III. PERDIDAS POR FRICCIÓN.	104
IV. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE COMPRESION.	108
V. LOCALIZACION DE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO.	109
DIAGRAMAS Y ESPECIFICACIONES.	110
CONCLUSIONES.	121
BIBLIOGRAFIA.	124

INTRODUCCION.

Los materiales empleados en cualquier planta productiva, asi como las materias primas y productos de transformación, - incluyen las mas de las veces productos derivados del petróleo como fuente de energía utilizada para la operación de las fábricas.

Los productos derivados de petróleo utilizados como combustible se encuentran generalmente en estado líquido o gaseoso, y a causa de sus características no es posible su traslado por canales abiertos, además de que su destino está muchas veces muy distante de su origen. El medio de transporte de estos materiales es por medio de tuberías, o en su defecto, en recipientes cerrados, normalmente a presión.

A través de la experiencia y del constante desarrollo de la tecnología, hoy podemos afirmar que el transporte de fluidos por medio de tuberías es lo mas económico y seguro que existe.

El objetivo de este trabajo de tesis esta orientado al transporte de gas natural, el cual es un hidrocarburo con características muy importantes que se obtiene de los pozos de petróleo. Una de ellas es que la combustión del metano es completa en condiciones atmosféricas normales, es decir, no deja contaminantes, siendo el producto de su combustión vapor de agua y bióxido de carbono. Otra característica importante del metano es que no es económicamente rentable su almacenamiento. Esto es debido a que para mantener en estado líquido el metano se necesitan presiones muy altas y temperaturas demasiado bajas. Es por esto que el metano, al no ocuparse de inmediato, se quema en refinerías y campos de extracción.

La ciudad de México, la mas grande y poblada del mundo, tiene el problema de contaminación tambien mas grande, por lo que el empleo de combustibles no contaminantes como el metano a nivel industrial representa una medida ecológica de gran importancia.

Este trabajo busca el desarrollo de una metodología para la construcción de un gasoducto, que si bien se trata de un trabajo teórico, se tomaran datos de condiciones reales como son origen, destino, una demanda estimada, condiciones del terreno, trayectorias, etc.

Si bien es cierto que existe actualmente una línea de gas natural desde Ciudad Pemex hasta la ciudad de México, es eminentemente necesario, tanto ecológica como económicamente, el contar con mas recursos de esta naturaleza, en la inteligencia de que gran cantidad de este combustible se quema a la atmósfera diariamente en nuestro país.

Una de las razones que impulsaron el desarrollo de las tuberías fue la necesidad cada vez mayor de utilizarlas como "Ductos", es decir, como caminos o vías por donde transita, circula o se traslada algo. Este término se les dió principalmente en función al servicio al que están destinados, que en todos los casos es el de conducción. Análogamente para las tuberías destinadas a alojar cables eléctricos, telefónicos, etc., se les puede considerar conductores, si se toma en consideración que por los cables circula un flujo de electrones.

La industria petrolera considera las tuberías como uno de los elementos principales, si no el principal para su desarrollo. A partir de la perforación de un pozo, es decir, desde el origen de la industrialización, la conducción del producto a las plantas de refinación o almacenamiento, el proceso de refinación o separación de los productos obtenidos y hasta su utilización, se encuentra a las tuberías jugando uno de los papeles principales.

En cuanto a la conducción o transporte del petróleo y sus derivados, destaca en primer término por economía y facilidad de manejo el sistema denominado de "Ductos", es decir, a travez de tuberías.

Para tal efecto, a todos los elementos necesarios como son: Tuberías, válvulas y conexiones, compresores o bombas, todo ello debidamente instalado, previo estudio y proyecto, se les denomina "Sistema de Ductos."

Los sistemas de ductos se fabrican para transportar muy diversos productos, y de ellos obtienen su nombre: Oleoducto, para el transporte de petróleo; Poliducto, para diferentes productos refinados del petróleo; Gasoducto, para los destinados al transporte de gas, ya sea en estado líquido o gaseoso; y así se pueden citar desde el Acueducto, que transporta agua, hasta el Ferroducto, el cual conduce pirita de fierro.

Para nuestro caso nos ocuparemos del manejo por tuberías de Gas Metano, que es un hidrocarburo en estado gaseoso, mediante un sistema de tuberías que al conjunto le denominaremos "Gasoducto."

Este se inicia con el diseño, en base al volumen a manejar, la distancia a que se requiere transportar, la clase de tubería y diámetro, el caminamiento o trazo mas conveniente de principio a fin, los sistemas de compresion intermedios, la localización estratégica de las válvulas de retención, así como las de seccionamiento, regidas por las Normas. Todo ello aunado a un sinúmero de actividades para resolver la problemática impuesta por las Normas y Especificaciones para la construcción, forman en conjunto el sistema de ductos que llamaremos "Gasoducto," destinado al transporte de gas por tuberías.

Una parte muy importante del Gasoducto son las estaciones de compresión. Se sabe que a lo largo de una tubería por la que circula un fluido, existen pérdidas de presión debidas a la fricción o resistencia al flujo entre las paredes interiores del tubo y el mismo fluido. Estas pérdidas pueden llevar a un caso límite en el cual la presión en la tubería sea cero, con la consecuencia de que el flujo también estaría reducido en la misma proporción.

Para contrarrestar esta pérdida de energía, se recurre a las estaciones de compresión, con el fin de proporcionar en forma de presión la energía perdida por fricción. Una vez elevada la presión del producto, este se reinyecta a la línea a la presión de trabajo original.

En los gasoductos, generalmente se cuenta con compresores accionados por motores de combustión interna o con turbinas, utilizando como combustible el propio gas.

Cada estación de compresión debe contar con tres equipos iguales: Uno de ellos para la operación continua cuando los consumos de los usuarios son normales. El segundo equipo entrará en operación para soportar al primero en caso de falla o demanda excesiva. El tercer equipo estará fuera de servicio por mantenimiento.

La instrumentación juega un papel de gran importancia -- para la correcta operación de la estación. Cuenta con alarmas para altas y bajas presiones tanto en la succión como en la descarga. En el caso de abatirse la presión súbitamente en la succión y/o descarga, automáticamente sale de operación y -- cierra ambas válvulas (succión y descarga), continuando la alarma hasta que acuda el operador y actúe en consecuencia.

Además cuentan con válvulas de relevo y/o seguridad.

El tablero de control proporciona información de las -- condiciones de operación, tales como presiones de succión y -- descarga, temperaturas, volumen manejado, y por medio de reelevadores accionan los cambiadores de calor.

Los cambiadores de calor se emplean con el fin de inyectar a la tubería el producto a baja temperatura. Generalmente se utilizan del tipo "Solo-Aire."

Por regla general, siempre se hacen coincidir las trampas de diablos de envío y recibo a la altura de las propias -- estaciones de compresión, alejadas lo suficiente y respetando el área restringida de la estación.

El tema de estaciones de compresión es por sí solo muy -- extenso e interesante, por lo que podría llevarse solamente -- su estudio toda una tesis, razón por la cual este tema será -- solamente mencionado en el presente trabajo.

BREVES ANTECEDENTES HISTORICOS

La historia reporta los primeros usos de las tuberías - en Babilonia, donde se han encontrado vestigios de tubería - hecha de barro que datan del año 4000 a.C. También se cree - que existieron sistemas completos de tubería de fierro fundido hace 5000 años en Egipto. En Pompeya, la ciudad sepultada por las cenizas volcánicas en la antigua Roma, han encontrado vestigios de un sistema de tubería de plomo y válvulas de bronce tipo "macho".

Los tubos hechos de troncos huecos o lápidas agujeradas fueron utilizadas como medio de conducción desde hace varios siglos. El uso del fierro fundido data del año 1592, donde se utilizó para conducción de agua.

Luis XIV de Francia utilizó un sistema de tuberías de -- fierro fundido en el siglo XVII para alimentar las fuentes -- del Palacio de Versailles, sistema existente hasta la fecha.

Con el desarrollo de la industria petrolera, con la invención y comercialización de la máquina de vapor, se le dió auge al uso del fierro y acero, por su relativamente bajo -- costo comparado con otros materiales, iniciando la historia -- de las tuberías como tales a principios del presente siglo, - en que juegan un papel tan importante que se puede decir que son "las venas de las plantas productivas". Haciendo un análisis de costos se puede afirmar que representa de un 35 a un 40% del costo total de una instalación, que incluye desde la ingeniería del proyecto hasta su entrega para operación.

Originalmente los fabricantes de tuberías trabajaban por su cuenta e imponían sus propias especificaciones en cuanto a resistencia de materiales, diámetros nominales, diámetros exteriores, tipos de soldadura, etc. de manera que no existía - una coincidencia entre un fabricante y otro.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE TUBERIAS

En 1904 gran parte de la ciudad de Baltimore fue destruída por el fuego; los bomberos de Baltimore solicitaron ayuda a ciudades aledañas como Washington, Nueva York y Filadelfia, y aunque los bomberos de esas ciudades se aprestaron a ayudar no pudieron hacerlo, debido a que las conexiones de las man--gueras y tuberías no correspondían a las tomas de agua de la ciudad de Baltimore.

Incidentes parecidos en otras actividades generaron la - necesidad de una normalización. Varios problemas de diseño, - que requieren de aplicación de cierto juicio en la solución, pueden resolverse si se presisan de criterio común.

Además de esto, la normalización de partes y componentes aseguran el éxito de la fabricación en serie, y a su vez dan la confiabilidad de poder intercambiar piezas.

En los códigos y normas se establecen métodos para el diseño, fabricación y pruebas de equipos y materiales. Estos documentos son preparados y actualizados continuamente por -- comités cuyos miembros representan Sociedades Industriales, -- Gobierno, Sociedades Profesionales, Comercio, Institutos de -- Investigación, Universidades, Confederaciones Laborales, etc.

La actualización continua de los códigos esta fundamentada en los avances científicos y tecnológicos, así como en -- la experiencia adquirida en la práctica de la Ingeniería.

Hasta 1915 se creaban y publicaban Normas y Especificaciones, muchas de las cuales se duplicaban con otras ediciones de otras asociaciones, lo que creaba confusión; por esta razón, en 1915 se crea el Código A.E.S.C. (American Engineering Standards Committee), iniciando el proyecto B-31 en una -- asamblea patrocinada por A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers), y en el año de 1918 se fundó A.S.A. (American Standard Association) para poner orden y servir como instrumento de autorización de normas y especificaciones internacionales. Para ese momento, en tuberías solamente se consideraban diámetros hasta 12 pulgadas.

Transcurridos algunos años, los trabajos de especificación se dividieron en dos subcomités B-31, siendo la primera edición publicada en 1935 bajo el nombre de "American Tentative Standard Code for Pressure Piping" (A.T.S.C.P.P.)

La primera revisión del código se inicia en 1937, y se -- requirieron muchos años de esfuerzo para unificar los criterios en cuanto a diámetros nominales, espesores, tipos de -- soldadura, materiales, etc. creando entonces la especificación I.P.S. (Iron Pipe Size): Tuberías para conducción de hidrocarburos a presión.

Durante este período, se agrega una nueva sección para las tuberías de refrigeración, preparada con la cooperación de A.S.R.E. (American Society of Refrigeration Engineers), -- complementando el "American Standard code for Mechanical --- Engineers". Este trabajo culminó en 1942 para tuberías presionadas. Los suplementos # 1 y # 2 del mismo código aparecieron respectivamente en 1944 y 1947, introduciendo nuevas -- normas de materiales, y en especial, una fórmula para determinar los espesores de pared, así también requerimientos mas -- claros para instrumentos y control en tuberías.

Poco tiempo después de 1942 se requirió establecer pro-- cedimientos para el mejoramiento de estos sistemas.

Los diámetros establecidos, tanto nominales como exte--- riores, se determinan en la forma siguiente, considerando como se señaló, que el diámetro mayor era el de 12".

I	DIAMETRO NOMINAL (N.D.)	I	DIAMETRO EXTERIOR (O.D.)	I
I	(Pulgadas)	I	(Pulgadas)	I
I	1	I	1.315	I
I	1 1/4	I	1.660	I
I	1 1/2	I	1.900	I
I	2	I	2.375	I
I	2 1/2	I	2.875	I
I	3	I	3.500	I
I	4	I	4.500	I
I	6	I	6.625	I
I	8	I	8.625	I
I	10	I	10.750	I
I	12	I	12.750	I

Como en materia de tuberías se iba requiriendo día a día mayor atención en función al múltiple uso que se le daban, se convoca nuevamente a los interesados en 1948 para discutir las resoluciones aceptadas anteriormente por "American Standards Association" (A.S.A.), nombrándose varios subcomités -- que discutían y aprobaban diferentes tópicos. Debido a la -- gran cantidad de representaciones que asistieron, fue necesario hacer intervenir a los subcomités, concluyendo la revisión del B-31 de 1942 a 1951, quedando designado el nuevo código en febrero de 1951, bajo la designación de B-31.1-1951.

En revisiones anuales del comité B-31, se aceptó el 29 - de noviembre de 1951 conceder autorización para separar las - publicaciones del código como sigue:

Líneas de conducción de gas a presión, con sistemas de - distribución, aplicable a la sección 2.

Sistemas de tuberías para aire y gas a presión, quedan - en la sección 6.

Fabricación, detalles y materiales, sección 7.

La primera edición publicada por estos documentos fué en 1952, bajo el nombre de "American Standard Code for Pressure Piping", Sección 8, así como la que concierne a "Sistemas de Distribución y Transmisión de Gas por Tuberías", contempladas en las secciones 2, 6 y 7 de la edición de 1951 sobre el código de "Tuberías a presión".

Reuniones sucesivas en 1958, 1963, 1966, 1967, 1968, 1969, -- 1975 y finalmente en 1980 nos dan las especificaciones que actualmente están en vigor, revisadas y experimentadas.

Durante todo este tiempo, la evaluación de sistemas técnicos fue en incremento por la necesidad de obtener mayor capacidad de transporte y mayor flexibilidad en el empleo de -- las tuberías. En la revisión de 1967 se aprobó el cambio de -

título de las especificaciones A.S.A. por U.S.A.S. (United - States American Standards), y nuevamente fue cambiada por el que actualmente esta en vigor: A.N.S.I. (American National - Standards Institute).

Posteriormente se publicaron el código ANSI-B31-4-1975. para el transporte por tuberías a presión de los productos - líquidos del petróleo, y el ANSI-B31-8-1975 para el transporte y distribución por tuberías a presión de los gases del petróleo.

Estos códigos incluyen Normas y Especificaciones para - los fines que se persiguen, considerando que entre los mas - importantes están los siguientes:

AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY).- Sociedad que emite documentos normativos sobre soldadura. Incluye Códigos, Especificaciones, Prácticas recomendadas y Reportes Técnicos.

ASNT (AMERICAN SOCIETY FOR NON DESTRUCTIVE TESTING).- Asociación técnica que se encarga de emitir Metodología de pruebas no destructivas y calificación del personal técnico.(soldaduras)

NACE (NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS).- Sociedad que se encarga del control y prevención de la corrosión, maneja recubrimientos anticorrosivos, preparación de superficies, control de corrosión y Protección Catódica.

API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE).- A través de la Norma API SPEC 56 enmarca los requerimientos de las tuberías en cuanto a diámetros nominales, exteriores y espesores de pared.

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS).- Sociedad que se encarga del control de materiales empleados para la -- fabricación de tubería y otros elementos de construcción.

CROMOGRAMA HISTORICO DE ESPECIFICACIONES	
AÑO	ACONTECIMIENTO
1915	Se crea el Código A.E.S.C. iniciando el Proyecto B-31 en Asamblea patrocinada por A.S.M.E.
1918	Se funda A.S.A. como instrumento regulador de Normas y Especificaciones.
1935	Primera edición del Comité B-31 para tuberías a presión.
1937	Primera revisión del Código, creando la especificación I.P.S.
1942	Se incluye una sección de tuberías para refrigeración, con la cooperación de A.S.R.E.
1942-195	Revisan nuevamente el Código B-31, quedando designado el nuevo Código como B-31.1-1951.
1952	Primera edición del B-31.1-1951 bajo el nombre de "American Standard Code for Pressure Piping", Sección 8.
1967	Cambia el nombre de A.S.A. por U.S.A.S. Posteriormente cambiaría nuevamente la denominación por A.N.S.I., actualmente en vigor.
1975	Se publican los Códigos A.N.S.I.-B31-4-1975 para tuberías a presión de productos líquidos del petróleo, y A.N.S.I.-B31-8-1975 para el transporte y distribución por tuberías a presión de gases del petróleo.

CAPITULO I: TUBERIAS COMO MEDIO DE CONDUCCION.

1.1 TIPOS DE TUBERIA

Para tener una clasificación completa de las tuberías, se hace necesario separarlas en grupos, según el material del cual esten hechas. En base a estos materiales se les asignan sus usos a cada una.

Los principales materiales con que se fabrica tubería son:

ACERO. Se utiliza para la conducción y transporte de fluidos, generalmente para petróleo o sus derivados. Más adelante se profundizará mas en estas tuberías.

FUNDICION DE HIERRO. Para agua, gas, aguas negras o de alcantarillado, desagüe o drenajes. Se adapta a servicios subterráneos o sumergidos debido a sus cualidades de relativa alta resistencia a la corrosión.

LATON AMARILLO. Aleación que contiene 65% de cobre y 35% de zinc aproximadamente. Se emplea en pasamanos y trabajos ornamentales.

LATON ROJO. Aleación que contiene el 85% de cobre y 15% de zinc aproximadamente. Se emplea en el transporte de fluidos corrosivos.

COBRE. Utilizado en instrumentación y control hidráulico y neumático, para quemadores domésticos de gas y petróleo, sistemas de calefacción y obras de plomería.

PLOMO. Utilizado para agua y plomería.

ESTAÑO. Debido a que el estaño no se enmohece, ni se mancha ni se corroe, es utilizado en equipo para el manejo de líquidos alimenticios.

CONCRETO. Se utiliza en saneamientos, conductos, riego, generalmente para transportar agua, ya sea limpia o de desagüe.

ASBESTO-CEMENTO. Está formado por una mezcla de concreto y fibra de asbesto, tiene gran resistencia a la corrosión y su uso incluye desagües de minas, obras hidráulicas, tuberías de gas, saneamientos, etc.

Dentro de las tuberías de acero distinguiremos entre tubos comunes y tubos especiales, o tubing. El tubo común es el que se emplea en las conducciones y sus conexiones para transporte de fluidos, mientras que el tubo especial es utilizado para cambiadores de calor y calderas, en industrias de maquinaria, instrumentación y control hidráulico y neumá-

tico.

Los tubos comunes pueden agruparse de acuerdo a sus métodos de fabricación, siendo las técnicas más comunes las siguientes: Soldadura por fusión eléctrica, soldadura por resistencia eléctrica, soldadura eléctrica de arco sumergido, por cilindrado y barrenado, por forjado del hueco y tubería sin soldadura o costura.

Soldadura por fusión eléctrica: En este procedimiento de fabricación de tubos, una lámina plana llamada plancha para tubos se prepara al ancho y greso adecuados, para los diámetros interior y exterior de los tubos que se deseen. Se carga luego en un horno eléctrico y al alcanzar la temperatura adecuada, se estira a través de una matriz en forma de embudo -- para que vaya gradualmente tomando la forma de tubo, obligando a los bordes de la plancha a unirse por fusión. Después se -- pasa el tubo por una serie de rodillos en los que se va estirando hasta las dimensiones finales.

Soldadura por resistencia eléctrica: En este método, para tubos corrientes o especiales de 4 pulgadas de diámetro o menos, se alimenta una tira a una serie de laminadores con formadores con rodillos horizontales y verticales dispuestos de modo que la tira plana se convierte en tubo. Este pasa -- luego por unos electrodos de soldar, que son discos de cobre unidos al secundario de un grupo de transformadores giratorios. Dichos electrodos hacen contacto con cada lado de la -- forma tubular donde hay que hacer la costura, a través de -- la cual pasa una corriente eléctrica que eleva la temperatura hasta el punto de fusión. La rebaba exterior se quita con una herramienta cortante conforme el tubo va saliendo de los electrodos, y la interior se separa haciendo pasar un mandril por el tubo una vez frío.

Soldadura eléctrica de Arco Sumergido: Este método se -- emplea para tubos de 24 pulgadas o más de diámetro. La plancha se prensa para formar una "U" y después una "O", y este perfil se coloca en un soldador automático, aguantando en su interior una zapata de cobre enfriada por agua. Se emplean -- dos electrodos muy próximos; la corriente pasa de un electrodo a otro atravesando por un fundente granular, y la junta de los bordes de la plancha. La alta temperatura del arco ca-- lienta los bordes y justo sobre la costura se coloca una varilla de soldar, la cual se funde depositándose en la ranura. Después de la soldadura exterior se pasa el tubo a un soldador del interior, que de manera similar pero sin la zapata de soporte hace la soldadura interna.

Tubos sin costura: Se pone en contacto un tocho calentado con rodillos cónicos giratorios de modo que sea transportado y hecho pasar por la separación que queda entre los rodillos. En dicha separación se coloca un mandril. La parte central del tocho, la cual esta blanda, posibilita que los --

rodillos lo estiran por el mandril, produciéndose una parte hueca. Cuando el tocho ha pasado por completo por el mandril, queda en forma de un tubo sin costura de pared gruesa. Luego se pasa por un laminador que lo estira hasta obtener un diámetro exterior y grosor de pared adecuados. El procedimiento anterior queda limitado en cuanto al diámetro y grosor. Para tubos aleados sin soldadura o tubos de acero al carbono de paredes gruesas se emplea frecuentemente un procedimiento -- llamado "de embutido y estirado". Una plancha circular del diámetro y grosor adecuados, se coloca en una prensa hidráulica y es presionada por un émbolo, que lo hace pasar por una matriz. La copa embutida así formada se recalienta y vuelve a prensarse en una matriz de menor diámetro, alargándose hasta convertirse en un corto cilindro con uno de sus extremos cerrados. Este cilindro se coloca después del recalentamiento necesario en un banco horizontal de estirar y, empujado por un émbolo, se obliga a pasar por matrices cada vez menores - hasta obtener el diámetro exterior deseado.

Tubos especiales forjados, torneados y barrenados: En este procedimiento se calienta un lingote y se forja hasta que adquiere una forma cilíndrica vasta de tamaño excesivo en diámetro y longitud. La pieza se monta en un torno y se tornea al diámetro exterior deseado. Se cortan los extremos sobrantes para obtener la longitud deseada y se coloca el cilindro en una máquina taladradora, donde se barrena hasta obtener el espesor requerido.

A continuación se tratara un poco lo relativo a la clasificación de las tuberías, con el fin de entender y ubicar el tipo de tubería que se deberá utilizar para la construcción de una línea de conducción de gas a presión.

CLASIFICACION DE TUBERIAS

Existen varias formas de clasificar las tuberías, bien puede ser por material, por construcción o por servicio.

Clasificación de tuberías por material.

Tubería Metálica	}	Ferrosos	Aceros de baja aleación. Aceros al carbono. Aceros inoxidables.	
		No Ferrosos	Cobre. Aluminio. Níquel. Titanio. etc.	
Tubería no Metálica	}	Plásticos	Termoplásticos	P.V.C. Poliestileno. A.B.S. etc.
			Termofijos	Resina Epóxica + fibra de vidrio.
		Material Refractario	Arcilla. Concreto. Asbesto-cemento. etc.	

Clasificación de las tuberías por construcción.- Esta clasificación abarca tuberías con costura y sin costura. Entre las de costura están las de costura recta y las de costura helicoidal.

Las tuberías con costura pueden dividirse de acuerdo al método de soldadura para su unión, entre las cuales están la de Arco Sumergido, Por Fusión Eléctrica, MIG, TIG, etc.

Clasificación de las tuberías por servicio.- Esta clasificación abarca tubería normal o de línea, y tubería de uso en instalaciones petroleras y/o industria en general. Estas tuberías están Normalizadas por las normas ANSI -B36-10.

Es común solicitar las tuberías por su diámetro nominal, el cual hasta 12 pulgadas no coincide ni con el diámetro interior ni con el exterior, y a partir de 14 pulgadas coincide con el diámetro exterior. Al variar el espesor de pared, también varía el diámetro interior, quedando sin variación el diámetro exterior.

El espesor de pared viene expresado en términos de números de CEDULA, y se sigue empleando la misma designación --- Standar Extra-strong (Std.XS) y Doble Extra-strong (Std.XXS)

La tubería a utilizar en una línea de transporte de gas natural es metálica, de aceros al carbono. En esta definición se encuentran dos tipos:

Tubería Exacta (Tube). Es tubería de uso común en calderas e intercambiadores de calor, calentadores, etc. Se les designa por su diámetro externo y el espesor de pared se da normalmente en décimas de pulgada o bien por su número de calibre con referencia al B.W.G. (Birmingham Wire Gage).

Tubería de línea (Pipe Line). La función del tubo de línea es la de transportar fluidos como hidrocarburos de pozos a refinerías o a puertos de embarque, así como para conducir pro--- ducto refinado a tanques de almacenamiento, centros de carga y consumo.

El API a través de la Norma API SPCE 56 es el organismo encargado de enmarcar los requerimientos de las tuberías, y engloba características dimensionales como diámetros nominales, exteriores y espesores de pared. La diferencia con la clasificación CEDULA es que amplía grandemente sus rangos de espesores de pared, expresados en fracciones de pulgada.

El API se ha preocupado por el manejo de alternativas económicas para ductos de gran distancia, que para el caso de este estudio, es tema relevante y por ello se seguirán estas Normas.

Un tipo especial de tubería, la Tubería CASING, está diseñada para soportar cargas severas internas o externas, y se emplea para sostener las paredes de los pozos. Se menciona en esta parte debido a que es de utilidad como camisa de protección en cruzamientos de vías ferreas, etc. para la tubería de línea.

1.2 ESPECIFICACIONES Y NORMAS.

Ya se tocó brevemente la historia de las normas que rigen la construcción de tuberías, base de lo que ahora son las normas y especificaciones vigentes. En un principio, se acogieron las especificaciones del A.S.T.M.-106-335, estableciéndose el código "Cédula".

El número de cédula en las tuberías se utiliza para determinar el valor del espesor de pared "t", y es la relación entre el espesor de pared "t" y el diámetro exterior de la tubería. El valor de "Cédula" se determina bajo la siguiente expresión:

$$\text{No. de Cédula} = 1,000 P / S$$

en donde: P = Presión máxima permisible en PSI o Kg/cm²
S = Esfuerzo mínimo de cedencia a la tensión, en unidades de P.

La presión máxima permisible en una tubería, valor al que nunca se deberá llegar, es directamente proporcional a la resistencia del material "S" y consecuentemente al espesor de pared "t", e inversamente proporcional al diámetro de la tubería. Esta relación se expresa en la fórmula de Barlow:

$$P = \frac{2 S t}{D}$$

donde el valor del espesor de pared queda despejado:

$$t = \frac{P D}{2 S}$$

La demanda cada vez mayor de tuberías de conducción requirió diversificar sus condiciones en cuanto a resistencia de materiales, capacidad y costos. Así pues, fue necesario incrementar los diámetros hasta contemplar el diámetro mayor de 36 pulgadas.- El mayor diámetro actualmente es de 56 pulgadas, que utiliza el gasoducto trans-siberiano de la U.R.S.S. en la inteligencia de que a partir de 14 pulgadas de diámetro en adelante, el diámetro nominal es igual al diámetro exterior.

Tomando en cuenta que dentro de las especificaciones "Cédula" no era posible desarrollar mayores diámetros disminuyendo costos, en la reunión de 1948 surgió la posibilidad de formular nuevas especificaciones que lo permitieran, sin apartarse de los códigos establecidos. Para lograrlo, las tuberías fueron consideradas dentro de una nueva clasificación:

el A.P.I. (American Petroleum Institute).

El A.P.I. dicta normas y especificaciones basadas en el código A.S.T.M. para todos los elementos del mercado internacional que van a estar sometidos a esfuerzos, por lo tanto, las tuberías podrían contemplarse dentro de esa clasificación obteniendo así una diversidad de diámetros, resistencia de materiales y espesores de pared, que se refleja consecuentemente en costo.

Para identificar tuberías dentro del código A.P.I., se establecieron las siglas API-Std-5. Este código involucra -- también la especificación cédula, a la cual no sustituye, -- quedando incluidas como sigue:

	I	GRADO	I	"S" (PSI)	I
I No. de CEDULA	I	A	I	30,000	I
	I	B	I	35,000	I
	I	C	I	40,000	I

	I	GRADO	I	"S" (PSI)	I
I API-Std-5L	I	A	I	30,000	I
I	I	B	I	35,000	I
I	I	C	I	40,000	I
I API-Std-5LS	I	X 42	I	42,000	I
I	I	X 46	I	46,000	I
I API-Std-5LX	I	X 52	I	52,000	I
I	I	X 56	I	56,000	I
I	I	X 60	I	60,000	I
I	I	X 65	I	65,000	I
I	I	X 70	I	70,000	I

API-Std-5L. Especificación para tubería de línea. Acero sin costura.

API-Std-5LS. Especificación para tubería de línea. Acero con costura en espiral.

API-Std-5LX. Especificación para tubería de línea. Acero con costura longitudinal. Alta prueba.

API-Std-5LU. Ultra alta prueba, con tratamiento térmico. Este tipo de tubería ya está en desuso, pues no es ni rentable ni práctica.

Las aleaciones aprobadas para especificaciones "Cédula", en sus grados A y B, que son los mas comunes, son:

ELEMENTO:	PORCENTAJES:	
	GRADO A	GRADO B
Carbono	0.25	0.29
-maximo-	0.27	0.30
Manganeso	0.93	1.06
Fósforo	0.048	0.048
Azufre	0.058	0.058
Silicio	0.10	0.10
Esfuerzo de cedencia "S"	30000 psi	35000 psi
Esfuerzo de ruptura	48000 psi	60000 psi

Ahora bien, para las tuberías destinadas a los hidrocarburos, las cuales son de fabricación especial, están apegadas a normas y especificaciones determinadas, y son:

ASA B-36-10
ASA B-36-19

En ambos casos, los accesorios se determinan por su valor en cédula. El primer caso corresponde a "Cédula" 20; 40; X-Strong y XX-Strong, y para mayores espesores se siguen asignando numeraciones. El segundo caso corresponde a tuberías de acero tipo especial, ya obsoleto, y se designa por cédula 5-S; 15-S; 45-S; 85-S; etc. Como se mencionó, actualmente están fuera de uso.

En la actualidad, el número de cédula (ASA B-36-10) se utiliza para determinar el espesor de pared de las tuberías, y representa la relación entre el espesor de pared y el diámetro de la tubería.

Los accesorios como bridas, conexiones, válvulas, etc. se especifican por su valor en "libras ANSI", los cuales se muestran mas adelante en la siguiente tabla.

Las conexiones soldables se especifican por su valor en cédula, ya sea de grado A o B. De aquí se desprende que las tuberías de línea no deben llevar conexiones, ya que como la tubería de línea es de fabricación especial, así deberán ser sus conexiones, tanto en materiales como en fabricación.

El valor WOG (Water, Oil & Gas) se utiliza para indicar las presiones máximas de trabajo en frío. Estas presiones de

trabajo garantizadas, disminuyen en función de la temperatura, así que el valor dado en WOG para una válvula, por ejemplo, - debe considerarse efectivo solamente para trabajar en frío. (Temperaturas menores a 82 grados centígrados. - 180 F)

El valor en libras ANSI se multiplica por un factor para obtener el valor WOG, el cual lleva otro factor de seguridad antes de llegar al valor de la Máxima Presión de Prueba (MPT) según la siguiente tabla:

I-----I I TABLA DE VALORES (ASA-USAS) ANSI PARA VALVULAS Y CONEXIONES I I-----I					
I VALOR ANSI I	I FACTOR I	I (VALOR WOG) * (FACTOR) = VALOR MPT I		I-----I	
I 150 lbs. I	I 1.83 I	I 275 PSI I	I 1.54 I	I 425 PSI I	I-----I
I I	I I	I 19.4Kg/cm2 I	I I	I 30 Kg/cm2 I	I-----I
I 300 lbs. I	I 2.40 I	I 720 PSI I	I 1.52 I	I 1100 PSI I	I-----I
I I	I I	I 50.7Kg/cm2 I	I I	I 77.5 Kg/cm2 I	I-----I
I 400 lbs. I	I 2.40 I	I 960 PSI I	I 1.51 I	I 1450 PSI I	I-----I
I I	I I	I 67.6Kg/cm2 I	I I	I 102.2 KG/cm2 I	I-----I
I 600 lbs. I	I 2.4 I	I 1440 PSI I	I 1.51 I	I 2175 PSI I	I-----I
I I	I I	I 101.5Kg/cm2 I	I I	I 153.2 Kg/cm2 I	I-----I
I 900 lbs. I	I 2.4 I	I 2160 PSI I	I 1.50 I	I 3250 PSI I	I-----I
I I	I I	I 152.2Kg/cm2 I	I I	I 228.9 Kg/cm2 I	I-----I
I 1500 lbs. I	I 2.4 I	I 3600 PSI I	I 1.50 I	I 5400 PSI I	I-----I
I I	I I	I 253.6Kg/cm2 I	I I	I 380.5 Kg/cm2 I	I-----I

La "American Society for Testing and Materials" (ASTM) dicta normas para designar las diferentes aleaciones de fierro y acero que se deben utilizar en tuberías y conexiones.

Por su parte, el "American Petroleum Institute" (API) -- contempla un gran número de divisiones, las cuales abarcan a su vez especificaciones de construcción, de trabajo, de fabricación, de transportación e incluyen cables de acero y de manilla, tanques de almacenamiento, soldaduras, tuberías, conexiones, etc.

1.3 VALVULAS

Cuando en este trabajo se haga mención al término "válvula", se refiere a un dispositivo mecánico para regular y -- controlar el flujo de cualquier fluido entubado.

Actualmente la ingeniería está tomando gran interés en la correcta selección y aplicación de las válvulas, ya que -- representan una parte considerable en la inversión total (entre 6 y 10 %) al momento de construir o ampliar una planta -- industrial o una línea de tuberías, y así mismo el impacto en el mantenimiento.

El objetivo de instalar una válvula puede ser uno o una combinación de los siguientes:

1. Obturar o permitir el flujo, considerando alguna de -- las siguientes condiciones:
 - a) Hermeticidad total
 - b) Hermeticidad relativa
2. Regular el flujo, en alguna o algunas de las siguientes variables:
 - a) Volumen
 - b) Presión
 - c) Temperatura
 - d) Dirección
3. Prevenir o impedir el retroceso del flujo.

TIPOS DE VALVULAS

Para cumplir los objetivos anteriores, existe una gran -- variedad de válvulas, las cuales se pueden ordenar en cinco -- grupos, los cuales son:

1. VALVULAS TIPO COMPUERTA:
 - Compuerta sólida tipo cuña.
 - Compuerta flexible tipo cuña.
 - Compuerta partida tipo cuña.
 - Compuerta de doble disco y asientos paralelos.
 - Compuerta sólida con caras planas y paralelas, asientos flotantes.
 - Compuerta de expansión, de asientos fijos.
 - De guillotina o para-pulpa.
 - De anteojo o lenteja.
 - De cierre rápido.
2. VALVULAS TIPO GLOBO:
 - De globo disco esférico.
 - De globo disco cónico.
 - De aguja.
 - De embolo o pistón.

- De ángulo.
 - De fondo de caldera o "Y"
3. VALVULAS TIPO MACHO:
 - De obturador cónico.
 - De obturador cilíndrico.
 - De obturador esférico.
 - De bola.
 - De varios puertos o vías.
 - Selectoras.
 - Mezcladoras.
 4. VALVULAS TIPO MARIPOSA.
 5. VALVULAS DE TIPO RETENCION:
 - Tipo columpio.
 - Tipo pistón.
 - De balín.
 - De no retorno.
 - De pie.
 - De diafragma.
 6. VALVULAS AUTOMATICAS:
 - Reguladoras de presión y/o temperatura.
 - De alivio.
 - De venteo.
 - Trampas de vapor.
 - Solénoides.
 - Termostatos de expansión.
 - De comando para automatización.

Como puede verse en la lista anterior, los nombres de las válvulas responden en varios casos a la forma exterior (Globo, bola, etc.) en otros casos a el uso que se les de (De alivio, reguladoras de presión, de retención, etc.), y en otros casos al mecanismo que opera la válvula (Solenoide, hidráulica, mecánica, etc.) y a veces al mecanismo obturador o de cierre (Compuerta, diafragma, etc.)

La "Asociación Mexicana de Válvulas y Conexos, A.C." elaboró y propuso a la "Comisión Técnica para la Integración Latinoamericana" una clasificación de tipos de válvulas basada en la forma en que el elemento regulador actúa sobre el flujo.

En esta clasificación, prácticamente todos los tipos de válvulas pueden quedar comprendidos dentro de siete grupos - básicos, y son los siguientes:

1. Válvulas de Compuerta.- Se caracterizan porque su cierre o apertura se efectúa por medio de un elemento móvil que se desliza en un plano paralelo a los asientos de la válvula y corta perpendicularmente al flujo. (Fig. 1.1)

2. Válvulas de Globo.- Se caracterizan porque la regulación del flujo se efectúa por medio de un elemento móvil que se aleja o se acerca del asiento en la dirección del flujo por la acción de un vástago. (Fig. 1.2)

3. Válvulas Tipo Macho.- En estas válvulas el corte o cambio de dirección del flujo se efectúa mediante un elemento móvil que tiene uno o varios conductos y que gira sobre su eje, de modo que en ciertas posiciones estos conductos quedan o no comunicados con el cuerpo de la válvula. (Fig. 1.3)

4. Válvulas de Mariposa.- Su característica principal es que regulan el flujo mediante un eje aletado y giratorio, cuya forma es igual al contorno interior del cuerpo de la válvula. (Fig. 1.4)

5. Válvulas de Diafragma.- Se caracterizan porque la regulación del flujo se realiza mediante una membrana deformable al ser presionada. (Fig. 1.5)

6. Válvulas de Retención.- Son aquellas que solo permiten el paso del flujo en una sola dirección, mediante un elemento móvil que se acerca o se aleja del asiento. (Fig. 1.6)

7. Válvulas Automáticas.- Son aquellas que integran los elementos de cierre, actuación y medición de manera que les permiten operar en el flujo la regulación automática de presión, volumen, temperatura, velocidad o nivel. De esta descripción se excluye cualquier tipo de válvula descrita anteriormente a la cual se le adapte un operador. En este caso se trata de una válvula automatizada, pero no se auto-opera en virtud de que no cuenta con sus elementos propios.

En la siguientes páginas se muestran algunos de los tipos de válvulas que se acaban de describir. Cabe señalar que no son los únicos representantes del tipo de válvula a la que pertenecen, pero se muestran a manera de identificar las características de cada tipo.

La simbología empleada para identificar los diferentes tipos de válvulas que se emplearan en este trabajo se muestran inmediatamente después de los tipos de válvulas.

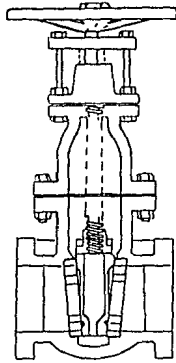


Fig. 1.1 Válvula de compuerta.

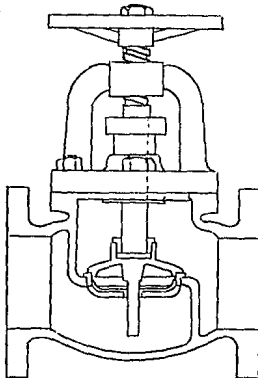


Fig. 1.2 Válvula de globo.

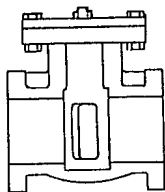


Fig. 1.3 Válvula macho.

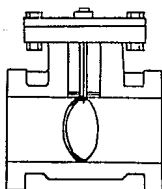


Fig. 1.4 Válvula de mariposa.

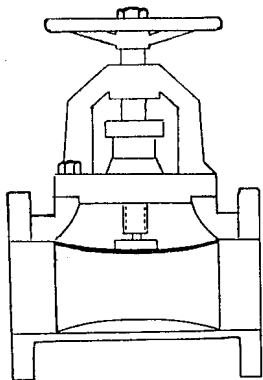


Fig. 1.5 Válvula de diafragma.

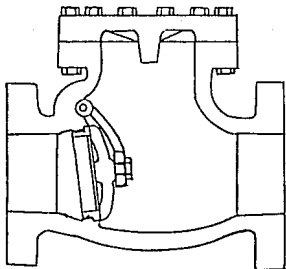


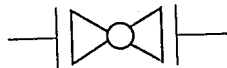
Fig. 1.6 Válvula de retención.

SIMBOLOGIA

VALVULA DE COMPUERTA



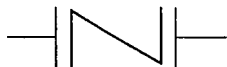
VALVULA DE GLOBO



VALVULA TIPO MACHO



VALVULA DE RETENCION



VALVULAS DE COMPUERTA DE PASO COMPLETO Y CONTINUADO (VCPCC)

Este tipo de válvulas es el más común en las líneas de conducción de hidrocarburos. Debido a su gran importancia es necesario conocer más a detalle sus características.

Analizando cada parte del nombre comercial de esta válvula, tenemos lo siguiente:

Valvula: Obturador de flujo, susceptible a operarse a voluntad por cualquier medio.

De Compuerta: La obturación se logra mediante un elemento -- deslizante que corta el flujo perpendicularmente.

De Paso Completo: El conducto interior debe ser de dimensiones tales que permita el paso sin obstáculo de herramientas de limpieza de tuberías o herramientas de corte, sin perjuicio para la válvula. El diámetro interior debe ser igual al de la tubería.

Continuado: El interior del conducto debe ser tan terso y homogéneo como si se tratara del interior de un -- tramo de tubería, sin que existan cavidades o -- bolsas que permitan la acumulación de residuos.

Así pues, no debe existir mayor caída de presión a través de la válvula que la equivalente, aproximadamente, a un tramo igual de tubería del tamaño correspondiente. Con esta característica se evitan turbulencias que a altas presiones y velocidades pueden dañar los interiores de las válvulas.

Para cumplir estos requisitos, el diseño de la válvula -- debe cumplir lo siguiente:

- Que la compuerta sea de caras planas y paralelas.
- Que el conducto de paso de la compuerta sea una perforación circular íntegramente contenida en la misma.
- Que la dimensión del diámetro interior de los asientos sea igual al diámetro interior del conducto de la compuerta, y que estos coincidan con los conductos laterales del cuerpo.

El diámetro interior de la tubería bajo las normas ASTM (106 o 56), y API (Std. 5L o 5LX) tiene valores establecidos para cada tamaño, pero el diámetro interior varía en función de los espesores según las necesidades de cada línea de conducción.

El fabricar válvulas con diámetro interior exactamente igual al de las tuberías para cada proyecto resulta impráctico, y por esto los fabricantes se basan en normas como ANSI

B-16.5 y API Std. 6A, las cuales señalan diámetros mínimos de paso considerando a la válvula como una conexión.

Para conciliar las diferencias en diámetros interiores entre válvulas y tubería se tienen por experiencia varias soluciones, pero siempre se debe tener en cuenta que no está permitido alterar las características de las válvulas ni de las bridas.

En el caso de válvulas con extremos soldables, el problema se presenta con mayor frecuencia, ya que es forzosa la coincidencia de diámetros interiores de tubería y válvula en sus extremos, a modo de lograr una correcta soldadura en el empate.

Para mediar estos problemas, las fundiciones de cuerpos de válvulas para soldar vienen preparadas con material sobrando en sus extremos para ser maquinadas a las dimensiones necesarias, siendo normas ANSI B-16.5. Además, de ser necesario se maquinarán los conductos laterales del cuerpo para lograr la transición, basándose en las mismas normas.

En válvulas con extremos para soldar, el material del cuerpo debe ser susceptible de soldarse a las tuberías en el campo.

NORMAS QUE RIGEN LA CONSTRUCCION DE LAS VALVULAS

La calidad y características de fabricación de las válvulas de compuerta de paso completo y continuado, se norman hasta ahora en México por publicaciones tales como API Std. 6D para válvulas de línea de conducción.

Dicha publicación liga entre sí sus propias normas con ANSI en forma de compendio que ayudan para la correcta selección de las válvulas. Así, API Std. 6D cubre válvulas de acero para el servicio de tuberías de línea en extremos bridados y para soldar, en sus tipos de válvulas de compuerta, válvulas macho y válvulas de retención. Estas especificaciones son para válvulas utilizadas en conducción de aceite y gas, así como sistemas de distribución, cuya construcción está de acuerdo con las normas ANSI B-31.4 (Sistemas de conducción de Petróleo líquido mediante tuberías) y ANSI B-31.8 (Sistemas de conducción y distribución de gas mediante tuberías).

La designación de presión para estas válvulas es por --clases, que coinciden con la especificación ANSI 316.5 (Bridas y conexiones de acero para tuberías) de modo que a la vez indica la conexión o brida correspondiente.

Los rangos máximos de presión de trabajo (WOG) para cada clase, son aplicables a temperaturas de trabajo en frío, que corresponden a las temperaturas a las que se conduce el producto.

API Std. 6D especifica también dimensiones cara a cara o extremo a extremo de las válvulas (ANSI B-16.10), así como materiales de las mismas, su colocación mediante soldadura --(ASTM A-216), y la forma de realizar las pruebas.

API Std. 6A cubre todo lo relacionado con equipos para --cabezales de pozos incluyendo válvulas para perforación y líneas de conducción. Para estas válvulas, la designación de presión es en función de la presión de trabajo para las que están diseñadas, anteponiendo a este valor la designación API. Con estos valores se forma la siguiente tabla:

I PRESION DE TRABAJO (PSI)	I DESIGNACION	I PRESION DE PRUEBA (PSI)	I RANGO DE DIAMETROS NOMINALES (PULG)
I 2,000	I API-1000	I 4,000	I 1 1/2 - 10
I 3,000	I API-3000	I 6,000	I 1 1/2 - 6
I 5,000	I API-5000	I 10,000	I 1 1/2 - 4
I 10,000	I API-10000	I 15,000	I 1 13/16 - 4 1/16
I 15,000	I API-15000	I 22,500	I 1 13/16 - 2 9/16

Las presiones de prueba para estas válvulas serán al do-

ble de la presión de trabajo, salvo API-10,000 y API-15,000 y su identificación es por diámetros nominales.

TIPOS CONSTRUCTIVOS PARA VCPC.

Existen básicamente dos tipos de válvulas de compuerta de paso completo y continuado:

- a) La que consta de una sola compuerta de una sola pieza.
- b) La que consta de una compuerta formada por dos piezas.

En el segundo caso, el sello de la compuerta con los asientos se logra mediante la separación hacia los lados de las dos piezas de la compuerta, presionando cada una de ellas al asiento respectivo. Este tipo se conoce como 'válvula de compuerta de expansión, diseño Pow-R-Seal.' (Fig. 1.7)

El primer tipo se conoce como 'válvula de compuerta sólida, de caras planas y paralelas, diseño Saf-T-Seal', según un importante fabricante de E.E.U.U. (W.K.M.) quien da asistencia técnica y licencia de fabricación a F.I.P., que es un Fabricante Nacional de Válvulas. (Fig. 1.8)

Ambos tipos de válvulas se fabrican para líneas de conducción. La tipo Pow-R-Seal es una válvula direccional, es decir, tiene que colocarse en un sentido definido de acuerdo al flujo debido a la forma de su compuerta; mientras que la tipo Saf-T-Seal puede colocarse de manera indiferente según el sentido del flujo.

Ambos tipos pueden emplearse industrialmente con óptimos resultados, y su selección dependerá del diseñador. En general, puede considerarse más segura una operación y obtención con el diseño Pow-R-Seal, pero esto depende del tipo de servicio.

Estas válvulas además tienen unas graseras, las cuales sirven para lubricar la válvula, y como sello en los asientos de la compuerta. Cuentan también con drenes para eliminar el agua y objetos extraños dentro del cuerpo de la válvula, y resulta conveniente el programar como rutina en el mantenimiento de la válvula el drenaje de las mismas.

Algunas de las variantes que se pueden encontrar en varios tipos de válvulas son:

a) Comunicación lateral (By-Pass). Los propósitos de este sistema son principalmente dos: En sistemas de vapor, permite establecer (sin abrir la válvula principal) una circulación pequeña de vapor caliente y así pre-calentar el resto de la instalación antes de abrir la válvula principal. Por otro lado, permite igualar presiones en ambos lados de la válvula antes de abrirla, evitando tener que operar la válvula con presión diferencial, siendo que ciertas válvulas, como es el caso de las de compuerta, no deberán nunca operar en caso de existir un diferencial de presión.

b) Chaquetas de vapor. Válvulas que manejan fluidos de gran viscosidad, como asfalto, permiten circular vapor caliente alrededor del cuerpo de la válvula, calentándola y así ayudando al flujo del producto.

c) Vástago balanceado. En las válvulas cuyo mecanismo de cierre es operado por medio de un vástago, la presión actuante en la parte inferior del elemento de cierre origina una fuerza mayor que la presión que actúa en la parte superior, ya que esta última está disminuida por el área ocupada por el vástago.

En las válvulas de alta presión, esta fuerza aumenta considerablemente la fricción en la rosca del vástago, dificultando su operación. En estos casos, alguna forma de balancear esta fuerza es introduciendo en el diseño una pieza similar al vástago en la parte inferior, o bien, conductos que permitan equilibrar esta presión diferencial.

d) Válvulas con operadores. Las válvulas grandes o las que trabajan a altas presiones tienen un límite en el cual su operación manual se dificulta o llega a ser imposible. En tales casos generalmente la válvula es provista de un mecanismo de engranes que multiplica la fuerza que aplica el operador al volante. Es posible conocer las presiones diferenciales máximas a que un hombre normal pueda operar válvulas de diferentes tamaños sin necesidad de usar una caja de engranes.

Otras razones, además de la anterior, para usar operadores pueden ser las siguientes:

- Lugar inaccesible para operarla.
- Necesidad de rapidez en la operación.
- Control remoto.
- Automatización.

Las siguientes ilustraciones muestran los tipos de válvulas de compuerta de paso completo y continuado (Pow-R-Seal y Saf-T-Seal):

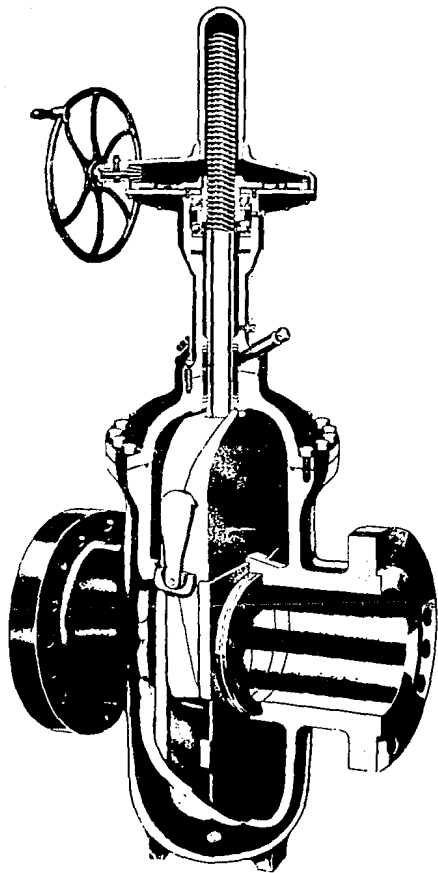


Fig. 1.7 Válvula de compuerta, de paso completo y continuado. Tipo "POW-R-SEAL"

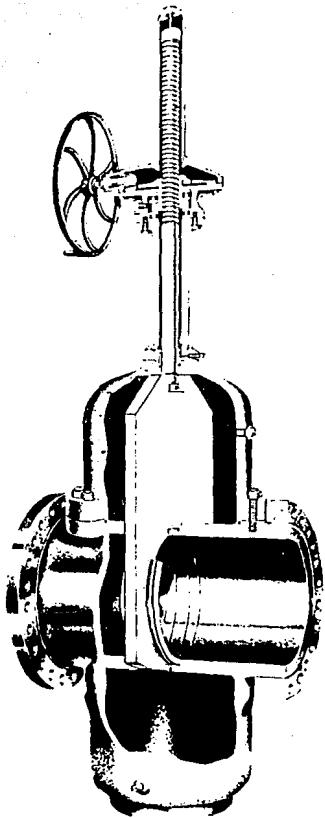


Fig. 1.8 Válvula de compuerta, de paso completo y continuado. Tipo "SAF-T-SEAL"

Para la identificación y/o compra de una válvula, es necesario el especificar los siguientes datos:

1. Descripción General.- Válvula de compuerta, de paso completo y continuado, diseño - Saf-T-Seal o Pow-R-Seal.
2. Tamaño.- El tamaño nominal requerido.
3. Presión Máxima de trabajo.- Clase o API, según el caso.
4. Servicio.- Clase de fluido y temperatura de trabajo.
5. Material del cuerpo y asientos.- Si es que son diferentes a los de línea.
6. Tipo de conexión o extremo.
 - a) Extremos roscados.- Tipo de rosca.
 - b) Extremos bridados y para soldar.- Diámetro interior de la tubería.

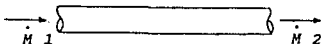
Es conveniente el conocer exactamente el tipo de válvula que se necesita emplear, y muy especialmente para las válvulas de seccionamiento, debido a la función que juegan dentro del proyecto (emergencias).

CAPITULO II. FUNDAMENTOS Y PARAMETROS PARA EL DISEÑO.

2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS.

Los principios físicos mas indispensables de los cuales se desprenden las fórmulas tanto prácticas como empíricas, -- relacionadas con el manejo de fluidos por tuberías son básicamente las siguientes ecuaciones de continuidad:

1. BALANCE DE MATERIA. Dado que el flujo no puede atravesar las paredes de la tubería, considerando que no existen fugas, la cantidad de materia que entra al ducto será igual a la cantidad de materia que sale de él, menos la masa que se vaya acumulando dentro del ducto que, para fines prácticos, es cero.



donde: \dot{M}_1 = flujo de masa de entrada.

\dot{M}_2 = flujo de masa de salida.

ρ = densidad del fluido.

A = seccion transversal del tubo.

V = velocidad promedio del fluido que pasa por el area A.

$$\dot{M}_1 = \dot{M}_2$$

$$\rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_2$$

Un fluido puede recorrer la tubería en forma laminar o turbulenta. Esto depende principalmente de 4 factores:

- La velocidad del fluido.
- La viscosidad del fluido.
- La densidad del fluido.
- El área transversal por la cual circula, que va en -- relación directa con el diámetro de la tubería.

Es posible conocer si un fluido se comporta de manera -- laminar o turbulenta mediante un parámetro adimensional que -- relaciona estos 4 factores, llamado "Número de Reynolds", por ser este último quien desarrolló el estudio, y se calcula por

medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{N}{Re} = D \cdot V \cdot \rho \mu = D \cdot V / \nu$$

donde: μ = Viscosidad estática o absoluta del fluido.
 ν = Viscosidad cinemática del fluido.

Los valores para conocer los patrones de flujo según esta fórmula fueron obtenidos experimentalmente, y son:

$\frac{N}{Re} < 2,000$.- Flujo laminar.

$2,000 < \frac{N}{Re} < 4,000$.- Transición.

$\frac{N}{Re} > 4,000$.- Flujo turbulento.

2. BALANCE DE ENERGÍA. La energía que entra al sistema - debe ser igual a la energía que sale del mismo, menos la energía que se acumula en el mismo. La suma de energía a considerar para este sistema son las inherentes al fluido mismo y las transferencias entre el fluido y los alrededores.

La energía que lleva el fluido se puede separar en:

- Energía interna. (E)
- Energía potencial gravitacional. (Z / g)
- Energía cinética. ($U^2 / 2g$)
- Energía de presión. (P V)

La energía transferida entre el fluido y los alrededores se puede separar en:

- Calor absorbido por los alrededores, o cedido por el fluido al sistema. (Q)
- Trabajo realizado por el fluido y transferido a los alrededores. (W)

Así pues, la ecuación de balance de energía queda como sigue:

$$\dot{M} (E_1 + P_1 V_1 + Z_1/g + U_1^2 / 2g + Q) =$$
$$\dot{M} (E_2 + P_2 V_2 + Z_2/g + U_2^2 / 2g + W)$$

donde: M = flujo de masa.
 E = Energía interna.
 P = Presión.
 V = Volumen.
 Q = Calor absorbido por el fluido.
 W = Trabajo realizado por el fluido.
 Z = Diferencia de nivel entre el punto 1 y el punto 2. (inyección y descarga)
 U = Velocidad del fluido.
 g = Aceleración de la gravedad.

Así, la primera parte de la ecuación representa la energía transferida al sistema, mientras que la segunda parte representa la energía cedida del sistema a los alrededores.

Para flujo compresible (gases), esta ecuación se debe expresar en forma diferencial. Tomando una unidad de masa, la ecuación quedará como sigue:

$$dE + dPV + d(Z/g) + U dU/g = Q - W$$

Los términos Q y W no son diferenciales exactas, y su evaluación dependerá de la manera en que el calor y el trabajo hayan sido adicionados al sistema.

Los términos E y PV son propiedades intrínsecas del sistema, y en algunos casos conviene agruparlos en un solo término ($E + PV$).

De esta manera se define la entalpía (H) como sigue:

$$H = E + PV$$

De esta manera, la ecuación de balance de energía queda como sigue:

$$\Delta H + \Delta (U^2 / 2g) + \Delta (Z/g) = Q - W$$

donde Δ es el incremento del estado 1 al estado 2.

Cuando un fluido no está sometido a fuerzas de deslizamiento, la ecuación de balance de energía se reduce a la siguiente expresión, llamada "Teorema de Bernoulli".

$$P1/\gamma + U1^2 / 2g + Z1 = P2/\gamma + U2^2 / 2g + Z2$$

donde γ representa el peso específico del fluido.

En la práctica no existe fluido que cumpla con esta e---

cuación, y la parte izquierda de la ecuación siempre será mayor a la parte derecha debido a las pérdidas por fricción.

El término de pérdidas por fricción (hf) que debe sumarse al lado derecho de la ecuación de Bernoulli, está formado para un problema práctico por los siguientes términos:

- a) Fricción entre el fluido y la tubería recta.
- b) Pérdidas por fricción en válvulas.
- c) Pérdidas por fricción en conexiones. (Codos, Tees, coples, expansores, etc.)

Para calcular la caída de presión equivalente a pies de fluido por unidad debido a efectos de fricción, se emplea la "Ecuación de Darcy" que es la siguiente:

$$h = f L U^2 / 2 D g$$

- donde: f = factor de fricción. Este factor es determinado de manera experimental.
 L = Longitud de la tubería.
 U = Velocidad del flujo.
 D = Diámetro de la tubería.
 g = Aceleración de la gravedad.

Para flujo laminar, el factor de fricción se calcula con la siguiente ecuación:

$$f = 64 / Re$$

Cuando se trata de flujo turbulento, el factor de fricción dependerá de la rugosidad relativa de la pared del tubo y del número de Reynolds.

Para relacionar la rugosidad relativa con el número de Reynolds, y tomando en cuenta el flujo en paredes lisas así como el flujo en paredes rugosas, el físico C.F. Colebrook, - en 1939 desarrolló una relación que es la siguiente:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re f^{1/2}}$$

En 1944, esta fórmula fue dibujada por L.F. Moody, y obtuvo lo que ahora se conoce con el nombre de Diagrama de Moody, el cual relaciona la rugosidad relativa con el factor de fricción de Darcy. Este diagrama es una herramienta muy práctica y recurrida para encontrar el factor de fricción. El diagrama se puede observar en la tabla 6.3.

Además de las pérdidas por fricción, es necesario considerar en la ecuación de Bernoulli los intercambios de energía y los trabajos realizados por el sistema.

FLUIDOS COMPRESIBLES EN TUBERIAS.

En operaciones con fluidos compresibles, la ecuación de balance de energía se complica debido a la variación del volumen específico en relación a la variación de presión.

En este caso, la ecuación de balance de energía se debe tomar en forma diferencial y se integrara en los límites del sistema.

De esta manera, la ecuación de Bernoulli considerando -- pérdidas quedará de la siguiente forma:

$$\frac{dP}{\gamma} + \int_{U_1}^{U_2} \frac{U dU}{g} + \int_{Z_1}^{Z_2} dz + h = -W$$

donde: U = Velocidad promedio del fluido a través de una sección.

P = Presión existente en la sección.

Z = Distancia en plano vertical a un punto de referencia.

γ = Peso específico del fluido.

h = Caída de presión equivalente en unidades de longitud.

W = Trabajo realizado por el sistema.

La caída de presión equivalente estará dada por:

$$h = \int_{L_1}^{L_2} \frac{f U^2}{2gD} dL$$

Para los gases perfectos, la densidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{144 P}{R T}$$

donde: P = Presión, en psia.

T = Temperatura absoluta, en grados Rankine.

R = Constante individual del gas,

en lbf pie/lbm °R.

Además, la constante R se puede obtener de:

$$R = \frac{1544}{M}$$

siendo M = Peso molecular del gas, en lbm/lb mol.

ECUACION GENERAL PARA FLUJO ISOTERMICO.

Para conductos largos y uniformes, como las líneas de gran longitud, la caída de presión es muy significativa respecto a la presión inicial. Este tipo de problemas son muy similares a un flujo isotérmico, y debido a que la ecuación de Darcy no es lo suficientemente exacta, para la determinación de las características del flujo debe emplearse la ecuación general de flujo isotérmico, la cual se basa en las siguientes suposiciones:

- El flujo se considera isotérmico.
- El flujo es estable con el tiempo.
- El gas se considera gas perfecto.
- El factor de fricción es constante a lo largo de la tubería.
- La tubería es recta y horizontal.
- No existe trabajo mecánico realizado por el fluido.

Tomando en consideración lo anterior, la ecuación se escribe como sigue:

$$\dot{m}^2 = \left(\frac{144 A^2 g}{v_1 (fL/D + 2 \ln P_1/P_2)} \right) \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{P_1} \right)$$

Para tuberías de gran longitud, esta ecuación se simplifica a:

$$\dot{m}^2 = \left(\frac{144 A^2 Dg}{v_1 f L} \right) \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{P_1} \right)$$

donde: \dot{m} = flujo másico, en lb/seg.

A = Sección transversal del tubo, en pies².

v_1 = Volumen específico del fluido, en pies³/lb.

P_1 = Presión de inyección, en psia.

P_2 = Presión de entrega, en psia.

L = Longitud de la tubería, en pies.

D = Diámetro de la tubería, en pies.

g = Aceleración de la gravedad, 32.2 pies/seg².
 f = Factor de fricción, adimensional.

Para fines prácticos, esta ecuación expresa el resultado en pies³/hora, en condiciones normales de operación como sigue (Presión atmosférica = 14.7 psia, Temp = 60 F que son - las condiciones de entrega):

$$q'h = 114.2 \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{f L T S_g} \right)^{.5} D^5$$

donde: $q'h$ = Volumen de gas manejado por hora, en MMscfh.
 S_g = Gravedad específica del gas, adimensional.
 T = Temperatura de operación, en R.

De este modo, estas últimas ecuaciones nos dan una solución racional con un coeficiente de fricción alineado a la teoría y a las experiencias en todo rango de número de Reynolds.

ECUACIONES PARTICULARES.

Debido a que el problema de las fórmulas es conocer previamente el factor de fricción que aparece en la ecuación general, varios autores han fijado ciertas expresiones empíricas en función de las variables del problema, evitando así -- una solución por tanteo.

Para las tuberías de gas natural existen varias ecuaciones, pudiendo mencionar para presiones altas y medias las de Panhandle, Weymouth, California, Miller, Cox, Pittsburg, Rix, Towl, Oliphant, Clark-Hunkington y Ford, entre otras.

Algunas ecuaciones dan valores fijos a la "f", otras le asignan un valor en función del diámetro, y las más modernas le asignan un valor en función del número de Reynolds.

Entre todas las ecuaciones, la de Weimouth y la de Panhandle son muy empleadas por su confiabilidad y aproximación a la realidad. Tomando en cuenta los factores de conversión, estas ecuaciones se expresan como sigue:

ECUACION DE WEYMOUTH:

$$q'h = 28.0 d^{2.667} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{S_g L_m} \right) \left(\frac{520}{T} \right)$$

ECUACION DE PANHANDLE:

$$q'h = 36.8 E d^{2.6182} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{Lm} \right)^{0.5394}$$

- siendo Sg = Gravedad específica del gas: 0.6 (Metano)
T = Temperatura absoluta en R. (F + 460)
E = Eficiencia de la tubería, considerando:
E= 1.0 para tubería nueva sin codos, uniforme y horizontal.
E= 0.95 para tubería en muy buenas condiciones de operación.
E= 0.92 para tubería en condiciones normales de operación.
E= 0.85 para tubería en condiciones desfavorables.
q'h = gasto, en pies³/hr, en condiciones normales de operación: 14.7 psia y 60 F.
d = Diámetro interior de la tubería, en pulg.
P1 = Presión de inyección, en psia.
P2 = Presión de entrega, en psia.
Lm = Longitud de tubería, en millas.

Para el manejo de estas ecuaciones existen dos criterios aceptados:

- Promediar los valores obtenidos en cada ecuación y - tomar el resultado como el correcto.
- Utilizar el valor más grande con el fin de obtener un mayor margen de seguridad.

PERDIDAS POR FRICCION:

El fluido en su paso por la tubería va perdiendo energía en forma de presión por los efectos de la fricción entre el fluido mismo y entre el fluido y la tubería. El cálculo de estas pérdidas obedece a varios factores como son: características del tubo (material, rugosidad), régimen del flujo (laminar, en transición o turbulento), características del fluido (viscosidad, densidad) y otras variables externas - como temperatura, presión, curvas en la línea, accesorios en la tubería, etc. Debido a esto, no existe una fórmula que exprese exactamente el valor de las pérdidas por fricción.

Las fórmulas y procedimientos para el cálculo de las -- pérdidas de energía por fricción son basadas en la práctica o experiencia, pero tienen una firme base teórica y han sido comprobadas y revisadas por los organismos encargados de emitir los códigos y especificaciones, como son A.S.T.M., A.S.M.E., A.N.S.I., A.P.I., etc.

Según los datos y en las unidades en que se tengan, estas fórmulas vienen expresadas en diferentes versiones, todas ellas equivalentes.

El calcular las pérdidas por fricción es necesario para determinar la distancia más adecuada entre las estaciones de compresión.

La localización de las estaciones obedece a diferentes factores, como pueden ser la demanda del producto en un tramo determinado, la topografía del terreno, la localización de poblados o asentamientos humanos en los alrededores, las instalaciones de otros tipos, etc. Pero es conveniente conocer como varía la presión a lo largo de la línea y también donde es conveniente instalar una estación de compresión para darle mayor energía al fluido durante su recorrido.

Para obtener las pérdidas por fricción se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Obtener el número de Reynolds.

Se obtiene para las unidades y variables que se conocen, de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{0.428 \ q'h \ Sg}{d \ * \ \mu}$$

donde: q'h = flujo de fluido en scf/hr.

Sg = Gravedad específica del fluido.

d = Diámetro interior de la tubería, en pulgadas.

μ = Viscosidad absoluta del fluido, en centipoises.

2. Obtener el factor de fricción (f).

Este valor se obtiene de tablas revisadas por las instituciones encargadas de dictar las Normas y Especificaciones para estos aspectos, como son A.S.M.E., A.N.S.I., A.P.I., y A.S.T.M. (Tablas 6.2, 6.3 y 6.4 del capítulo VI)

3. Obtener la presión perdida por unidad de longitud (fc).

Estos valores se obtienen de las siguientes fórmulas, -- las cuales se aplican en los siguientes casos específicos:

a) Caída de presión de gas, en tubería de acero desde 8 hasta 24 pulgadas de diámetro:

$$fc = \left(\frac{2.6118}{E \ d} \right)^{0.2364}$$

b) Caída de presión de gas, para tuberías de acero, de -
entre 6 y 24 pulgadas de diámetro.

$$fc = E f \frac{2.1761}{d^5} (P1)^2$$

donde: fc = Pérdidas de presión en Psi por milla.
 E = Eficiencia de la tubería.
 f = Factor de fricción de Darcy.
 d = Diámetro interior de la tubería.
 $P1$ = Presión máxima de trabajo. (Descarga de la
estación de compresión).

2.2 PARAMETROS DE DISEÑO.

Dentro de las expectativas de construcción de una obra - de esta naturaleza, y en general de cualquier obra, se debe - primeramente tener en cuenta la situación de necesidad del -- proyecto, es decir, se deben estudiar las necesidades actua-- les y futuras de los clientes o de quienes serán los usuarios de la obra.

Dentro de este estudio se consideran como consumidores propios a las Plantas Petroquímicas de "Pajaritos" y "Cangrejera", Ver., así como la Refinería de Minatitlán. Se conside-- ra también que la planta de "Pajaritos", además de abastecer-- se del combustible necesario, el propio gas se somete a una - refinación última, donde se recuperan compuestos como Propano, Butano, Iso-butano, etc. que en mínima cantidad contenga aún el gas después de su tratamiento en la planta de Ciudad Pemex el objetivo de esta primera refinación es retirar el ácido -- sulfídrico que pueda contener (S2O), o dicho en términos más comunes en el campo, endulzar el gas. Dentro del Distrito Fede-- ral, esta contemplado el suministro a la "Refinería 18 de Mar-- zo", así como a la "Red de distribución del Valle de Mexico".

Dentro de las empresas de considerable consumo mas re--- cientes se encuentran la Planta Petroquímica de Metanol, en San Martín Texmelucan, Pue. y la refinería de la Terminal Ma-- rítima de Salina Cruz, Oax.

Algunas industrias que optaron por cambiar su fuente de energía de combustóleo por gas natural se encuentran TAMSA, - Astilleros Unidos, por medio del ramal "Tierra Blanca-Vera-- cruz"; la minera Autlán, mediante el ramal "Venta de Carpio-- Tlanchinol. Además de éstas se contemplan varias industrias mas pequeñas en cuanto a sus consumos, mas no por su estruc-- tura ni su importancia. Algunos ejemplos son: Cervecería Moc-- tezuma, Proquina, Industrias Textiles en Nogales y Río Blanco, Metalúrgia Amozoc, etc.

Es conveniente considerar la posibilidad de una amplia-- cion hasta la Refinería de Salamanca, lo que representaría -- consumos de importancia tanto para la refinería como para las industrias fuertes que representan un gran potencial a lo -- largo de la línea.

Por último se consideran las industrias que por conve--- niencia se instalen próximas o demanden producto del sistema.

En base al estudio anterior, se manejaran para trabajo - los siguientes datos:

PARAMETROS DE DISEÑO:

a) Demanda a cubrir: 550 MMscfd. (Millones de pies cúbicos "standard" diarios).

b) Presión a manejar: La experiencia en el manejo de gas en líneas de conducción señala que una presión adecuada será entre 550 y 950 Psig.

c) Características del Gas Natural:

GAS NATURAL: Es un combustible gaseoso que se encuentra en los yacimientos de petróleo, con el que se encuentra mezclado frecuentemente. Su componente principal es el Metano. Además de metano, el gas natural viene mezclado con otros compuestos como son Etano, Propano, Butano y otros mas. Las proporciones de estos compuestos son muy variables según las características del yacimiento.

Algunos datos importantes del gas a manejar son:

COMPOSICION:	PORCENTAJE: (% MOL)	PESO MOLECULAR:
Metano. CH ₄	93.36%	16.042
Etano. C ₂ H ₆	05.28%	30.068
Propano. C ₃ H ₈	01.21%	44.094
Butano. C ₄ H ₁₀	00.10%	58.120
Iso-Butano. C ₄ H ₁₀	00.05%	58.120
TOTAL COMPONENTES.....	100.00%	17.180

- Densidad relativa al aire: 0.5981
- Poder Calorífico (volumen): 1,076 BTU / PIE CUBICO.

MAXIMO PERMITIDO DE COMPONENTES NO DESEABLES (Después de su refinación en Ciudad Pemex.):

AGUA:

3 a 7 litros por millón de pies cúbicos (14.7 PSI, 60 F)
ACIDO SULFURICO (H₂SO₄):
1 gramo por cada 100 pies cúbicos max.

AZUFRE:

20 gramos por cada 100 pies cúbicos max.

DIOXIDO DE CARBONO (CO₂):

3% maximo.

OXIGENO (O₂):

1% maximo.

HIDROCARBUROS LICUABLES:

0.2 galones a cada 100 pies cúbicos. (Que corresponden al aceite de refinación)

En las plantas petroquímicas de Pajaritos, se refina el gas natural recuperando Propano, Isobutano, Butano y parte de Etano, re-inyectando el gas nuevamente a la línea con un 96% de Metano.

CAPITULO III: INGENIERIA DE PROYECTO.

3.1 CALCULO DE LA TUBERIA.

Para la elección de la tubería se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Condiciones de operación. (Presión, temperatura, etc)
- b) Características del fluido a manejar.
- c) Material de construcción de la tubería.
- d) Tipo de terreno, asentamientos, cruces, etc, en la línea de trazo de la tubería.

Las variables a determinar dentro del cálculo de la tubería son principalmente el espesor de pared, que está en función del grado y diámetro del tubo, para una presión dada.

El diámetro se determina en función al volumen a manejar a una presión de inyección determinada.

El espesor de pared, por su parte, se determina mediante la fórmula de Barlow, que se expresa como sigue:

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

donde P = Presión de diseño, en psig.

S = Esfuerzo de cedencia mínimo a la tensión, en psi. (Grado del acero)

D = Diámetro exterior de la tubería, en pulg.

t = Espesor de pared, en pulg.

F = Factor de construcción, obtenido del tipo de localización.

E = Factor de junta longitudinal.

T = Factor de temperatura.

CLASIFICACION DE LOCALIZACIONES.

Para determinar el tipo de localización por donde pasará una tubería de transporte de fluidos, se ha adoptado por costumbre y luego por norma (A.N.S.I.) el siguiente criterio: Se tomara como unidad de area una superficie de 400 por 1600 metros, es decir, 200 metros a cada lado de la tubería en una longitud de 1.6 kilómetros.

La clase de localización se determina en función al número de construcciones existentes en dicha area unitaria.

Localización clase 1. Es aquella que tiene 10 o menos construcciones en un area unitaria, o en los casos en que la tubería se encuentre en la periferia de las ciudades, poblados agrícolas o industriales y en general, en zonas donde la

densidad de población no exceda de 75 habitantes por cada kilómetro cuadrado.

Localización clase 2. Es aquella que tiene mas de 10 y - menos de 50 construcciones en un área unitaria de terreno.

Localización clase 3. Es cualquier área unitaria con más de 50 construcciones destinadas a ocupación humana o habitacional, o un área donde en 100 mts o menos de tubería exista:

- a) Una construcción ocupada normalmente por 20 o mas --- personas.
- b) Un área pequeña al aire libre, bien definida, ocupada por 20 o más personas durante su uso normal. (Parques deportivos, teatros al aire libre u otro lugar público).
- c) Cuando la tubería atraviere áreas destinadas a casas comerciales, aún cuando al construirse la tubería solo exista el 10% de las edificaciones en lotes adyacentes, así como cuando se localice en sitios con -- tránsito intenso u otras instalaciones subterráneas.

Localización clase 4. Es la que cada área unitaria está destinada a ser zona habitacional, en la que más de las dos - terceras partes de la superficie están ocupadas por construcciones de cualquier tipo y donde exista tránsito intenso de - vehículos o que pueda haber muchas otras tuberías de servicio enterradas.

FACTOR DE CONSTRUCCION F.

Para elegir el factor de construcción, se hará referencia a la siguiente tabla:

Tipo de localización.	Factor de construcción F. (para gasoductos)
Clase 1	0.72
Clase 2	0.60
Clase 3	0.50
Clase 4	0.40

FACTOR DE JUNTA LONGITUDINAL E.

ESPECIFICACION	CLASE DE TUBERIA	I	E	I
I ASTM A-53	I Sin costura.	I	1.0	I
I	I Soldado por resistencia eléctrica.	I	1.0	I
I	I Soldadura en horno.	I	0.6	I

ESPECIFICACION	CLASE DE TUBERIA	E
ASTM A-106	Sin costura.	1.0
ASTM A-134	Fusión por arco eléctrico.	0.8
ASTM A-135	Soldado por resistencia eléctrica.	1.0
ASTM A-139	Soldado por fusión eléctrica.	0.8
ASTM A-211	Soldadura en espiral.	0.8
ASTM A-381	Soldadura doble arco sumergido.	1.0
ASTM A-671	Soldado por fusión eléctrica.	1.0
ASTM A-672	Soldado por fusión eléctrica.	1.0
API 5L	Sin costura.	1.0
	Soldado por resistencia eléctrica.	1.0
	Soldado por flash eléctrico.	1.0
	Soldadura por arco sumergido.	1.0
	Soldado por fusión en horno.	0.6
API 5LX	Costura Longitudinal:	1.0
	Soldado por resistencia eléctrica.	1.0
	Soldado por flash eléctrico.	1.0
	Soldado por arco sumergido.	1.0
API 5LS	Costura en Espiral:	1.0
	Soldado por resistencia eléctrica.	1.0
	Soldado por arco sumergido.	1.0

FACTOR DE TEMPERATURA T.

TEMPERATURA DE OPERACION DEL GAS (Grados F)	FACTOR T
250 o menos	1.000
300	0.967
350	0.933
400	0.900
450	0.867

* Para valores intermedios, el factor T se obtendrá por interpolación, o bien, se tomará el valor inmediato siguiente.

3.2 VALVULAS DE SECCIONAMIENTO.

La ubicación de las válvulas de seccionamiento en una línea de conducción deberá cumplir con los requisitos que se enuncian a continuación.

Se instalarán válvulas de seccionamiento para el control de flujo en los lugares de diseño, y también en los lugares que nos marcan las normas para cada caso.

La ubicación y detalles constructivos para la instalación de las válvulas de seccionamiento deberán señalarse en los planos del proyecto y se complementarán con los planos de detalle que sean necesarios en cada caso particular.

Fuera de las líneas submarinas, las tuberías de conducción de gas deben tener válvulas de seccionamiento espaciadas como máximo de la siguiente manera:

- a) Cada 10 km. en una tubería que se encuentre en una localización clase 4.
- b) Cada 15 km. para aquella que se ubique en una localización clase 3.
- c) Cada 25 km. para las ubicadas en una localización -- clase 2.
- d) Cada 35 km. para las ubicadas en una localización -- clase 1.
- e) En ambos lados de los cruces de ríos.
- f) En cada ramal de distribución.

Sin considerar las líneas submarinas, las válvulas de seccionamiento de una línea requieren de lo siguiente:

- a) Que las válvulas y el mecanismo de accionamiento sean de fácil acceso, y que estén protegidos de personal -- extraño y de posibles daños.
- b) Deben estar debidamente soportadas para prevenir su hundimiento o movimientos en la tubería.
- c) Cada tramo de línea troncal de conducción deberá tener una válvula de purga. La descarga de esta válvula deberá dirigirse hacia un lugar donde no represente -- peligro, teniendo especial cuidado con las líneas --- eléctricas cercanas. (Fig. 3.1)
- d) Cada válvula de seccionamiento deberá tener un "By - Pass" con tubería de diámetro nominal igual a un cuar-

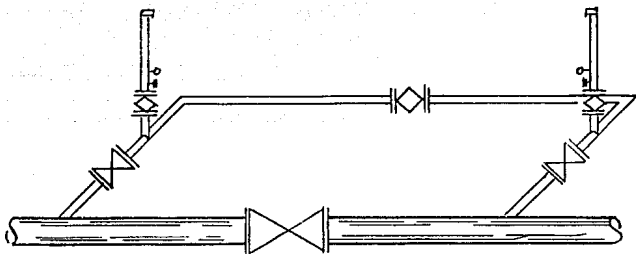


Fig. 3.1 Válvula de seccionamiento con su By - Pass.

Nótese los detalles de construcción del By - Pass:

- En cada extremo lleva una válvula de compuerta con una del tipo macho al centro para igualar presiones.
- Entre cada válvula de compuerta y la de tipo macho lleva un desfogue a la atmósfera, operado con una válvula macho y tapas de charnela. Además los desfogues van provistos de conexiones para manómetro y válvula de purga para abatir la presión antes de quitar la tapa.

to de la principal, con válvulas de compuerta a ambos lados, y además una válvula tipo macho en el centro -- del By-Pass que se utilizará como válvula de purga -- descargando a la atmósfera donde no represente peligro y por la cual se pueda desfogar cualquiera de los dos tramos seccionados, o bien igualar presiones. (Fig.3.1)

Las estaciones de bombeo o compresión deben tener una -- válvula de entrada o succión y una de salida o descarga, con objeto de aislarla en caso de emergencia, además de un By - Pass que permita la continuación del flujo mediante una vál-- vula. Estas válvulas deberán estar a una distancia suficiente de la estación que permita su operación aún en caso de emer-- gencia, y deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Ubicarse en un lugar accesible.
- b) El mecanismo de operación (volante) debe accionarse fácilmente.
- c) Las válvulas de seccionamiento deben instalarse sobre el nivel del terreno, y no deben confinarse en registros.
- d) Si fuera necesario instalar válvulas para otros servicios, confinándolas en registros, deberá evitarse -- que esa construcción transmita esfuerzos adicionales a la tubería.

3.3 TRAZO

El trazo de una línea de conducción es un levantamiento topográfico que se realiza con objeto de determinar la ruta más corta desde el punto de partida hasta el destino final del gasoducto, y que incluye todos los señalamientos necesarios que indiquen la clase de terreno: si es árido, pantanos inundable, boscoso, así como los cruzamientos carreteros, ferroviarios, ríos, esteros, lagunas y todos los datos que pueden ser de utilidad.

Posteriormente a esta primer evaluación, el caminamiento de la línea es corregido y definido bajo otras consideraciones, las que se consideran en función de aspectos técnicos o relativos a futuras demandas del producto. En el primer caso se consideran los tramos de acceso inconveniente, pendientes exageradas, barrancas, ríos de cauce divagante, etc. Para el segundo caso, la conveniencia de atender zonas industriales de importancia, bien por la demanda del producto o por el trazo próximo a ciudades importantes.

El trazo definitivo se deberá planificar en cartas o en planos que cubren de 10 en 10 kilómetros, en escala 1:10,000, pudiéndose elaborar además, un plano general sobre un mapa o carta geográfica, el la cual se pueden apreciar sin detalle y a la escala correspondiente el trazo de principio a fin.

Además de señalarse todos los cruzamientos con carreteras o vías férreas, deberán elaborarse planos específicos para cada caso, cumpliendo con la Norma API-RP-1102, aplicable al diseño de camisas y ductos bajo cargas vivas y muertas, -- indicando claramente la altura del cubrimiento. En caso de cruzamientos con ríos, ya sean aéreos o subfluviales, se deberá seguir el mismo procedimiento, cumpliendo con la Norma ANSI-B31-8. Siempre deberán emplearse escalas convenientes para los planos específicos.

3.4 PERFIL

El perfil de una tubería es prácticamente un complemento del trazo, el cual nos indica el corte vertical del caminamiento. Se le conoce también como "Sección transversal".

Las formas del terreno se representan por curvas de nivel, construidas a determinada equidistancia (distancia vertical entre dos curvas consecutivas).

El perfil es pues, la manera de indicar los cortes transversales que se deben efectuar en los cruzamientos al planificarlos, observando con claridad las normas antes mencionadas, y de este modo poder solicitar a las autoridades correspondientes la autorización para realizar los trabajos de cruzamiento, indicando claramente si serán a cepa abierta o tunelados, así como los lugares exactos en que se colocarán las

ventilas, la profundidad de las camisas y el espesor del cubrimiento.

Con el levantamiento topográfico y el perfil, se tienen ya los conocimientos necesarios respecto al rumbo o ruta a seguir, las alturas máximas, la información acerca del tipo de terreno, los lugares de acceso así como los puntos convenientes para instalar campamentos, recibir materiales, etc. Esta visión completa del entorno en el que se desarrollará la obra, habilita al ingeniero responsable a tomar las decisiones adecuadas para solucionar los problemas que se puedan llegar a presentar.

Las definiciones anteriores son una versión más práctica de lo que marcan las Especificaciones Generales Para Construcción de Obras, en su Norma 3.374.01 referente a Sistemas de Transporte de Petróleo por Tubería, que a su vez dicen lo siguiente:

- D.03.a.1 Se necesita una serie de mapas que muestren el área que sera atravesada y la ruta a seguir, de una línea de transporte. Usualmente para mostrar una localización general, sera marcada la ruta sobre un mapa que tenga los linderos de los municipios y Entidades Federativas en escala de 1 a 1,000,000. Después se pueden utilizar mapas geográficos escala 1 a 50,000 con curvas de nivel, donde se marcan las desviaciones de la ruta obligadas por la topografía del terreno y otros obstáculos.
- D.03.a.2 Además deben usarse planos topográficos escala horizontal de 1 a 4,000 en secciones de línea de 3 km de largo y el perfil a escala vertical de 1 a 400, con todos los detalles de la topografía del terreno y alineamiento como son: la localización exacta de la tubería, localización de límites de propiedad, nombre del propietario del terreno y longitud afectada, kilometraje. La utilización de los terrenos: cultivo pastura, madera, etc. La clase de terrenos cuando es rocoso, arcilloso, pantanoso y cualquiera otra previsión importante. (La contratación del terreno corresponde al departamento jurídico de PEMEX.)
- D.03.a.3 Deberá contarse con todos los planos de construcción originados por los planos del proyecto, para indicar las secciones tipo del derecho de vía, los seccionamientos longitudinales de la tubería, las obras de arte, los proyectos de cruzamientos y todas las obras especiales, escala 1 a 200.
- D.03.a.4 Planos de localización escala 1 a 200, de estaciones de bombeo, de almacenamiento, de medición, de regulación, de separación, calentadores, etc., y los planos respectivos de localización escala 1 a 1,000.

- D.03.a.5 Todos los planos deberán estar autorizados por la -- dependencia oficial afectada en su caso y todo el -- proyecto por la Secretaría del Patrimonio Nacional a través de la "Dirección General de Minas y Petróleo" o de sus "Agencias Técnicas de Petróleo".
- D.03.a.6 Los planos de los sistemas de seguridad para evitar accidentes en las instalaciones.

Para que el ingeniero que diseña el proyecto defina el trazo de la tubería, es necesario que este familiarizado con las características del terreno, tales como tipo de suelo, - inclinaciones o pendientes (orografía), clima (calido, frío, extremo, húmedo, pantanoso, etc.), asentamientos humanos, - proyectos a realizarse en cada zona, demandas en cada tramo de la tubería, etc. y una buena documentación es precisamente la que componen el Trazo y el Perfil, en conjunto con el Censo, que se verá a continuación. Como ya se mencionó, esta visión completa del entorno en el cual se desarrollará la obra le permitirá al ingeniero responsable tomar las decisiones adecuadas para la mayoría de las situaciones que se le presenten, desde el momento del diseño hasta la construcción misma de la obra.

3.5 CENSO DE POBLACION.

El censo es la parte que viene a complementar la infor-- mación que reúnen el trazo y el perfil.

Los datos obtenidos mediante el censo sirven como base - para calcular las características de la tubería y de los acc-- cesorios que va a llevar, ya que para los calculos y conside-- raciones de seguridad de la línea se deben tomar en cuenta, - entre otros factores, la densidad de población en el area por la cual pasa la tubería, el tipo de uso que tiene el terreno en ese lugar, las condiciones climatológicas de la zona, la - mano de obra extra disponible para maniobras o trabajos fuera de lo previsto, las reglamentaciones locales e incluso las -- costumbres mas representativas de la region, como pueden ser festividades u otros eventos.

Es importante además el visionar acerca de los futuros - asentamientos o construcciones, y tener en cuenta toda esta - información para prevenir posibles incidentes o problemas que pueden ser previamente manejados.

Con toda esta información, formada por el Trazo, el Perfil y el Censo, es posible ya el contemplar y comenzar a dar los siguientes pasos en la construcción de la línea, que com-- menzarán por la tramitación de permisos y asuntos legales.

CAPITULO IV: CONSTRUCCION.

4.1 DERECHO DE VIA.

Es la faja de terreno de ancho mínimo necesario para la construcción del gasoducto. Para realizar la construcción de la obra debidamente, esta faja de terreno deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Deberá estar debidamente legalizada y en situación de dominio.

2. En caso de tratarse de un terreno en propiedad particular, solo se podrá utilizar si existe un convenio con el propietario o poseedor.

En este caso, el personal que labore en la obra debe de estar enterado de los términos de estos convenios, sobre todo en lo relativo a las limitaciones o condiciones de uso, así como las precauciones especiales.

Para los casos de trabajar en terrenos o instalaciones de la industria petrolera, áreas federales y obras estatales, también se deben cumplir con lo que dispone este punto.

3. Todas las referencias y detalles necesarios deberán estar incluidos en los planos de trazos topográficos correspondientes al derecho de vía, los cuales se realizan con anterioridad a la obra.

APERTURA DEL DERECHO DE VIA.

El primer paso en la ejecución de la obra sera limpiar de vegetación y demás obstáculos la franja de terreno donde se construirá la tubería, esto obviamente después de haber hecho los acuerdos necesarios.

Una vez limpia la zona, se pasa a la conformación del terreno, es decir, a la construcción de la plantilla del derecho de vía de acuerdo a la sección y niveles correspondientes según los planos del proyecto. Esta plantilla debe quedar con características de uniformidad y estabilidad permanente.

Cuando la ruta de la cepa cruce o vaya paralela a un camino, es necesario colocar avisos y mechas con flama, o bien, colocar señales en ambas direcciones del flujo, a una distancia mínima recomendada de 150 metros de la obra.

Las dimensiones del derecho de vía conformado están en función al diámetro de la tubería y la naturaleza del terreno, y estas deben ser tales que se cumpla debidamente con los

propósitos de construcción. A manera de guía, se presenta la siguiente tabla con algunas medidas mínimas recomendadas para el caso de zanjas con taludes verticales. (Fig. 4.1)

I	I	I	I	I	I	I	I
I	Diám. Nominal del tubo	I	A	I	B	I	C
I	(PULGADAS)	I	MTS	I	MTS	I	MTS
I	De 4 a 8	I	10	I	3	I	7
I	De 10 a 18	I	13	I	4	I	9
I	De 20 a 36	I	15	I	5	I	10

NORMA 3.374.01 de las Especificaciones Generales para Construcción de Obras.- Sistemas de Transporte de Petróleo por Tubería. (PEMEX).

donde A = Amplitud del derecho de vía.

B = Distancia del eje de la zanja al extremo izquierdo del derecho de vía.

C = Distancia del eje de la zanja al extremo derecho del derecho de vía.

Estas dimensiones estan a criterio del diseñador y podrán variar según las condiciones específicas de la obra o de alguna de sus partes. Para ello y en cualquier caso, el diseñador deberá indicar estas dimensiones y tratar los acuerdos correspondientes con los propietarios.

Durante la construcción de la tubería, es importante que las condiciones de construcción especificadas se mantengan y no sean alteradas. Es por esto que se hace necesario el hacer inspecciones periódicas para detectar fallas y hacer las reparaciones necesarias, especialmente en tiempos de lluvia o en tramos difíciles. Para los casos en que sea necesario hacer reparaciones, estas se deben hacer tratando de no obstaculizar el avance de otras fases de la obra.

Una vez contratado debidamente el derecho de vía, el paso siguiente es su conformación, utilizando el equipo y maquinaria que sean necesarios como tractores, trascabos, etc.

Los problemas que se presentan en esta fase son muy variados, sin embargo, el derecho de vía deberá quedar conformado de manera que se pueda transitar libremente con vehículos pesados, que transportaran tubería y material necesario sin descuidar los caminos de acceso, indispensables para el desarrollo de la obra.

Es conveniente insistir que los terrenos que serán ocupados como derecho de vía deben estar debidamente legalizados y en situación de dominio, por medio de un contrato de "Servidumbre" (No se adquieren en propiedad).

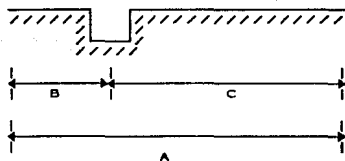


Fig. 4.1 LOCALIZACION DE LA CEPA O ZANJA DENTRO DEL DERECHO DE VIA

DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO (Pulgadas)	A (Metros)	B (Metros)	C (Metros)
de 4 a 8	10	3	7
de 10 a 18	13	4	9
de 20 a 36	15	5	10

4.2 CALIDAD DEL TERRENO.

Al momento de enfrentarse al problema de apertura de la zanja o cepa, se encuentra que hay diferentes tipos de terreno. Según la Norma 3.374.01 de las Especificaciones Generales para Construcción de Obras, el material de excavación se clasifica, según la dureza del terreno, como sigue:

Material tipo A: Es aquel terreno poco o nada cementado, que puede ser manejado eficientemente sin ayuda de maquinaria, -- aunque ésta se utilice para aumentar rendimientos.

Material tipo B: Es aquel que aunque se puede excavar a mano, es necesario utilizar maquinaria para su manejo eficiente. -- Como ejemplo están las rocas alteradas, conglomerados ligeros y medianamente cementados, tepetates, areniscas blandas y --- piedras sueltas entre 7.5 y 75 cms. de diámetro.

Material tipo C: Es aquel que solo puede ser excavado con explosivos. Se considera como material tipo C las rocas basálticas, areniscas y conglomerados cementados, calizas, granitos y piedras sueltas mayores a 75 cms. de diámetro.

En los casos en que el material de excavación no encuadre exactamente en alguna de las clasificaciones anteriores, se le debe asignar una clasificación intermedia. En proporción al contenido de material tipo A, B o C se le fijará un porcentaje, en ese orden (A,B,C), de manera que la suma de -- los tres haga un total de 100%.

4.3 APERTURA DE LA CEPA.

La cepa o zanja es el canal donde será enterrada la tubería una vez armada. Para su excavación deberán tenerse en cuenta diversos aspectos de importancia. Algunos de los más -- importantes son:

1. La cepa debe ser suficientemente ancha para permitir los espacios laterales, y suficientemente profunda para dar -- el espesor de cubierta requerido, y de esta manera proyectar los taludes según la clase de terreno del cual se trate.

2. La zanja abierta debe contar con cruzamientos bien -- localizados para permitir el paso del propietario o morador, de la maquinaria y del equipo, sobre todo en los casos en que se cruce con los caminos de acceso.

3. En todos los casos se procurará la horizontalidad de la cepa, evitando en lo posible, las curvas verticales que por la topografía del terreno pudieran presentarse. En estos casos, la cepa se profundizará hasta donde lo permita el terreno y se logren los fines mencionados.

4. Cuando se cruce por una corriente pequeña de agua, el nivel de la zanja se deberá profundizar a criterio del diseñador, pero se recomienda que nunca sea menos de 2.00 mts por debajo del lecho natural. Del mismo modo, se recomienda profundizar la zanja al cruzar caminos o líneas de ferrocarril.

5. Se deberá tener en cuenta el proveer a la zanja de drenes exteriores para evitar la formación de corrientes de agua dentro de la cepa.

6. La profundidad de la zanja se fijará en función del diámetro del tubo y las condiciones del terreno. En caso de ser corrientes de agua, la profundidad se medirá a partir del nivel más bajo del lecho registrado o que pueda estimarse. El colchón o capa de tierra que debe considerarse, sobre la tubería deberá ser tal que garantice una protección adecuada a la misma.

Estas dimensiones están a criterio de quien diseña la obra, y en casos especiales, lo manejará el supervisor directamente, como es el caso de los terrenos pedregosos o rocosos en donde se necesiten explosivos.

Para dimensionar la cepa se toma en cuenta la facilidad para colocar la tubería, la protección que le brinde a la tubería y su colocación conveniente para absorber los movimientos de dilatación y/o contracción debidos a la temperatura.

7. Para terrenos de cultivo, se deberá asegurar que las labores normales o que las raíces no toquen el tubo una vez tapado.

8. El ancho de la zanja, como las demás dimensiones, quedan a criterio del diseñador, y aquí se dan unas recomendaciones para evitar las maniobras difíciles. Para tubos menores a 14 pulgadas, se recomienda un mínimo de 12 pulgadas mas que el diámetro de la tubería, y en tuberías mayores a 14 -- pulgadas de diámetro nominal, el ancho de la zanja debe ser de aproximadamente 1.5 veces el diámetro de la tubería.

9. Deberá ponerse especial atención en no interferir con los trabajos de construcción a otros trabajos, equipos instalados o bien líneas de conducción, drenajes, líneas eléctricas, de riego, instalaciones, anclajes y demas obras ya instaladas o en proceso de instalación.

10. Cuando vaya a trabajarse sobre alguna instalación importante, como pueden ser líneas telefónicas o de servicio, se deberá solicitar la presencia del dueño del terreno y al administrador de líneas telefónicas, eléctricas o de alguna de las instalaciones de servicio público o particular, o bien de un representante, durante la construcción de la obra.

Esta situación es necesaria para llegar a un arreglo con

los representantes de las obras o instalaciones adyacentes al proyecto, y trabajar de manera paralela y sin interferir innecesariamente a la otra parte. Estos arreglos se regulan mediante el contrato "de servidumbre."

11. El proyecto como documento, deberá incluir el tipo del derecho de vía, todas sus dimensiones y en los diferentes tramos: la posición de la zanja y la del producto de la excavación, así como la posición de los tubos en cada fase de la construcción y, finalmente, indicará la franja de terreno correspondiente al tránsito del equipo según el sentido de la construcción, a partir de un punto de origen.

12. Por cuestiones prácticas, la cepa se localizará en el extremo izquierdo del derecho de vía según el sentido del flujo, a 3.0 mts. de distancia del límite del derecho de vía o plantilla al eje central de la cepa, y se aprovechará el área para depositar el producto de la excavación, y se destina el lado derecho para maniobras, construcción y circulación de vehículos.

Para alojar la tubería, en este ejemplo especificó se -- determina que las dimensiones más adecuadas serán 90 * 120 cms.

Una vez contratado el derecho de vía y la determinación de la zanja donde se alojará la tubería, se debe continuar -- con los siguientes pasos:

4.4 TENDIDO DE TUBERIA.

Esta fase consiste en la carga de los tubos desde el --- centro de distribución, el transporte y la descarga en el derecho de vía, acomodados uno tras otro, traslapados y paralelos a la zanja del lado del tránsito del equipo a una distancia fijada de la zanja, sin provocar derrumbes.

También incluye en esta fase el traslado de accesorios -- como son válvulas, bridas y trampas de diablos, así como esmaltes, recubrimientos, pinturas y materiales envolventes para protección anticorrosiva.

Es de suma importancia en esta fase de la obra el tener especial cuidado en el manejo de la tubería, de modo que se evite danar los tubos, las instalaciones o la misma obra. De esto dependerá en buena medida el avance normal o los atrasos de la obra.

Se deberán acomodar los tubos en forma continuada, a un metro aproximadamente del lado derecho de la zanja, de tal -- forma que puedan alinearse con facilidad para su armado. (Fig. 4.3)

Una línea de conducción de hidrocarburos se considera - línea regular cuando la pendiente del terreno sea como máximo de 40 grados, que es la pendiente de trabajo de los tractores de carriles. Esta pendiente requiere de anclajes a distancia para asegurar el equipo, los cuales también deben de ser calculados (Fig. 4.3).

4.5 ARMADO.

Esta fase consiste en el soldado de los tubos para dar - forma a la línea de conducción.

La soldadura de los tubos debe ser "a tope", bicej con - bicel. Antes de iniciar la fase de soldadura se deberá hacer la calificación de los soldadores, según las siguientes Normas de la A.W.S. (American Welding Society):

Norma AWS-G1 Posición plana horizontal, soldadura en placa.

Norma AWS-G2 Posición horizontal, soldadura en placa.

Norma AWS-G3 Posición vertical, soldadura en tubo y placa.

Norma AWS-G4 Posición horizontal y sobre-cabeza en tubo.

De estas pruebas se obtienen probetas, las cuales serán radiografiadas y sometidas a las pruebas no destructivas que considere el supervisor, y solamente en caso de ser necesario se sometera una de ellas a prueba destructiva, a juicio del - supervisor.

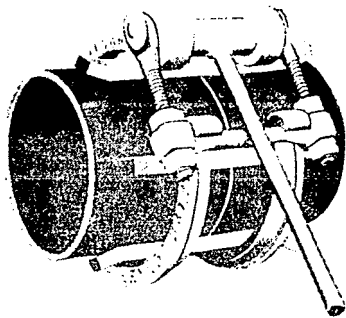
Las pruebas para la calificación deberán ser precisamen- te con los electrodos seleccionados. El electrodo selecciona- do en este caso para el fondeo o primer cordón es el 6010 (alta penetración), y para el paso caliente o relleno, el 6013 - (una característica es que la escoria se desprende con gran - facilidad).

Considerando que la tubería ha pasado satisfactoriamente las pruebas de fabricación y fue aceptada por el supervisor, no se descarta la posibilidad de que algún tubo presente al- gun defecto, posiblemente originado durante su manejo, y de- berá ser rechazado sin excepción.

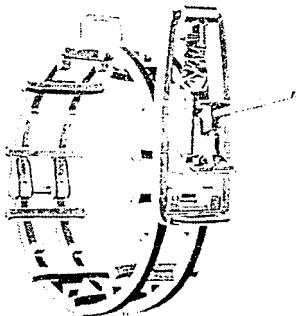
Los tubos, una vez aceptados deberán limpiarse en el in- terior y en los biceles de polvos, grasas y demas suciedades. Cumplidos estos requisitos se tienen las condiciones para i- niciar el empare de la tubería, colocándola sobre polines de madera a medida que se vaya armando. Es importante tener pre- sente que para la colocación del primer cordón o fondeo, los tubos se deben sujetar con un alineador exterior para garan- tizar su perfecto alineamiento (Fig. 4.2). Se deberá revisar el interior de cada tubo, dejándolo libre de cualquier cuerpo extraño que pudiera tener en su interior.

Al término de la faena del día, la boca del último tubo

Fig. 4.2 Alineadores para tubería.

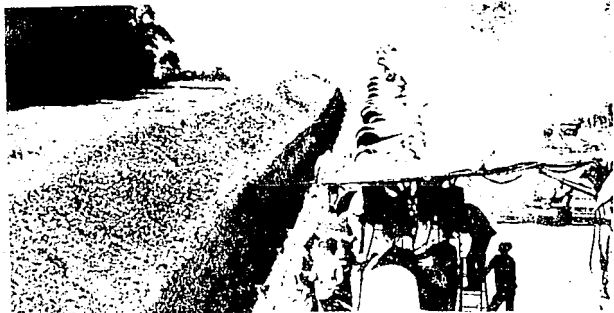


a) Manual



b) Hidráulico.

Fig. 4.3 Tendido y Armado de la tubería.



Tendido de la tubería.



Armado de la tubería.

deberá taparse con una placa de acero por seguridad y para evitar que puedan introducirse cuerpos extraños.

El trabajo de armado puede iniciarse en varios frentes a la vez, para que en su oportunidad sean conectados y así sacar ventaja en tiempo (Fig. 4.3).

Como requisito indispensable en la aplicación de la soldadura se debe considerar que la soldadura deberá aplicarse de manera ininterrumpida desde su principio hasta la aplicación del último cordón, sin dejar enfriar las áreas afectadas por el calor y recalentarlas cuando pase el nuevo cordón. Para ello, en tuberías de 24 pulgadas de diámetro, un solo soldador puede efectuar la soldadura de principio a fin, con un solo calentamiento de las áreas afectadas, tomando en cuenta las condiciones favorables de nuestro clima. Para áreas restringidas, como son estaciones de compresión para las que en este caso se utilizará tubería de 970 milésimas de espesor de pared, se deberá además hacer un relevado de esfuerzos según la Norma AWS y ANSI B-31-4.

Como requisito indispensable, todas las soldaduras terminadas se deben radiografiar al 100%. Para ello el supervisor deberá tener los conocimientos necesarios para interpretar las radiografías, y el será quien las acepte o rechace de acuerdo con el técnico encargado de esas labores.

4.6 SOLDADURA.

Una definición sencilla de soldadura es la siguiente: "Soldadura es la coalición o liga de dos metales". Esta liga se consigue por medio de la fusión de los metales a unir en la zona de unión.

El tipo de soldadura que se seleccionará debe ser eléctrica, debido a la confiabilidad y facilidad de empleo. De este tipo de soldadura, se analizan los dos procedimientos: La soldadura a tope, sin metal de aporte, y la soldadura de pasos múltiples, con metal de aporte.

En el primer caso, la liga se efectúa mediante la dilución completa de los extremos a soldar. En este tipo de soldadura se forma un charco de metal relativamente grande y con movimientos debidos a la temperatura. Esto provoca un cambio de fase y da lugar a un período de enfriamiento mas prolongado, en el que el centro de la unión se enfría al último provocando la formación de un arreglo cristalino de grano grande.

Esta formación propicia las fracturas, debido principalmente a la mayor longitud de fisuras entre granos.

Para el segundo caso, en una soldadura de pasos múltiples se requiere que los extremos a soldar estén biselados. El primer paso, o cordón de fondeo, debe tocar únicamente el hombro del bisel, que representa entre 1/16" y 1/32" con una dilución mínima. Los siguientes pasos o cordones deben aplicarse inmediatamente después, previamente limpias las superficies, y hasta completar la soldadura.

Este sistema presenta menos dilución con la formación de grano chico, menor longitud de fisuras y consecuentemente una mayor adherencia.

La soldadura empleada para unir tuberías de conducción en campo debe ser pues, eléctrica, sin descuidar las condiciones (electrodo) y de pasos múltiples.

En relación al electrodo a utilizar, si la tubería es de grado X-52, es decir, con esfuerzo de cedencia de 52,000 psi, el electrodo correcto deberá ser el 6010 (Esfuerzo de cedencia = 60,000 psi, revestimiento de celulosa, de alta temperatura), y el 6013 (Esfuerzo de cedencia = 60,000 psi, revestimiento de óxido de Titanio, de alta temperatura).

El primero se puede utilizar en zonas de escasa humedad y el segundo en regiones húmedas, sin descuidar las condiciones especiales que marcan las Normas para soldaduras en ambientes húmedos. Ambos electrodos son de núcleo de acero al carbono A-1010 grado X-60.

En cuanto al diámetro de la varilla, se recomienda utilizar, para el primer paso o fondeo, varilla de 5/32"; para -

el paso caliente o relleno, varilla de 3/16" y para el acabado, varilla de 1/4".

El éxito de una unión soldada eléctricamente depende de la conjunción adecuada de tres factores que intervienen de--- terminantemente en el proceso de soldar:

- El electrodo.
- El soldador.
- El método empleado.

Debido a la importancia de cada uno de estos factores, - deberá ejercerse un estricto control de ellos. Este control se efectúa precisamente sobre el depósito o unión obtenida, - para así calificar al soldador que hizo la unión, el electrodo que la produjo y lo idóneo del método empleado.

Por lo amplio de los grupos y tipos de soldadura, se -- considera solamente en este estudio la soldadura para acero - depositada con corriente eléctrica.

El electrodo.

El metal de aporte para una unión soldada es suministrado por electrodos, recubiertos o desnudos, que se funden en el charco de metal mediante energía eléctrica. De esta manera, los electrodos se someten a cambios físicos y químicos, de manera que las características del metal depositado no son las originales; de aquí que las normas que aplican a los electrodos consideran ambos puntos de vista: Como electrodo y como metal depositado.

Las normas que se aplican a electrodos recubiertos y alambres desnudos, A.S.T.M. y A.W.S., han quedado íntegramente contempladas por la A.W.S. ya que ambas instituciones son de criterio idéntico, y los tópicos sobre lo que tratan esas normas son los siguientes:

Los electrodos se clasifican en cada norma desde diversos puntos de vista:

- a) Propiedades mecánicas del metal depositado.
- b) Composición química.
- c) Tipo de recubrimiento.
- d) Posición para soldar.
- e) Tipo de corriente que debe ser empleada.
- f) Gas de protección.
- g) Pasos que pueden aplicarse a una soldadura.

Como se ve, los aspectos de fabricación son muy amplios y permiten aplicar el método mas idóneo para cada caso.

Pruebas.

Las pruebas que indican las normas para soldadura se aplican con mayor énfasis al metal depositado. Estas pruebas se pueden separar en dos grupos: Pruebas destructivas y Pruebas no destructivas.

Entre las pruebas destructivas, las más utilizadas son:

- a) Prueba de resistencia a la tracción.
- b) Prueba de doblez guiado.
- c) Prueba al impacto.
- d) Prueba de filete.

Por otro lado, dentro de las pruebas no destructivas están entre las más comunes las siguientes:

- a) Prueba radiográfica.
- b) Prueba de líquidos penetrantes.
- c) Prueba con partículas magnéticas.
- d) Prueba de ultrasonido.

Debido a que en el proceso de soldado existen cambios de fase en la materia, y estos a su vez producen cambios en el volumen, al soldar es muy fácil y frecuente que resulten esfuerzos residuales en los materiales unidos. También la composición química puede ser alterada debido a que habrá un acomodado de los componentes e incluso puede ocurrir la absorción de gases dañinos.

Cuando se consideran los aspectos metalúrgicos de la soldadura, es necesario conocer la constitución física del material a diferentes temperaturas. Para estos fines se emplean los diagramas de fase, pero cabe enfatizar que estos diagramas resultan de un enfriamiento en equilibrio, donde las transformaciones de fase tienen suficiente tiempo para llevarse a cabo. (Estos diagramas no deben aplicarse directamente a tratamientos tales como el templado, revenido o soldado, donde estas transformaciones pueden alterarse).

A continuación se tratan algunos aspectos que conviene tomar en cuenta, los cuales se generan dentro del charco de metal durante el enfriamiento y solidificación.

Las propiedades de la zona unida dependerán en gran medida de su composición química. En las zonas fundidas, en la mayoría de los procesos, los materiales que se funden dentro del charco de metal, se mezclan por la agitación de la fuerza del arco y las corrientes de convección. Así, la composición final de la zona fundida es relativamente uniforme y depende solo de las proporciones y de la composición final de los componentes. Las proporciones son frecuentemente expresadas como un radio de dilución, definida como la fracción del

material base disuelta en el tamaño final de la soldadura. Así pues, en una soldadura a tope (sin material de aporte), - la dilución es técnicamente del 100%, mientras que en una --- soldadura de pasos múltiples, la dilución se acercara a cero.

La proporción del metal base que se funde depende de la preparación de los bordes y los parámetros del proceso de la soldadura. Así, una dilución alta ocurre en soldaduras de un solo paso. Del mismo modo, la dilución puede variar en soldaduras de varios pasos.

La ruptura durante la solidificación es un riesgo mayor a medida que aumenta el grado de dilución empleado, según se explica más adelante. Sin embargo, los procesos de alta dilución se usan en la práctica quizá debido a que son técnica--- mente convenientes o económicamente atractivos.

Es importante para el ingeniero tubero el conocer acerca de soldadura, el cual por sí solo es un tema de gran profundidad. En este trabajo se trata de manera general, mas está - entendido que el tema puede y debe ser profundizado en la medida que lo requiera la práctica. A continuación se explican algunas de las fallas más comunes en la soldadura.

En los trabajos de soldadura, es importante el conocer acerca de las principales fallas que ocurren al soldar. Las más representativas son:

ABSORCION DE GAS.-POROSIDAD

En cualquier unión de soldadura es de vital importancia eliminar la absorción de gases durante el soldado. Por lo --- tanto, será importante excluir el aire de la zona de metal --- fundido. Además, existen otras fuentes de gas dañinas, tales como la humedad, los aceites y los productos de corrosión. Inclusive el material base puede, por sí solo, contener gas absorbido, el cual será liberado durante la fusión.

Los gases que mas frecuentemente causan problemas son el hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Las fallas típicas incluyen - porosidad y sopladuras, fracturas y conglomerados de inclu--- siones de oxígeno.

La raíz de los problemas es que los gases son mas fácilmente disueltos en los metales fundidos a altas temperaturas, y pueden quedar así atrapados en el metal sólido cuando el -- enfriamiento es rápido. El gas puede estar retenido dentro de la microestructura o puede formar burbujas, las cuales se --- convertirán en porosidad durante un enfriamiento rápido.

En general, la formación de porosidad depende de tres - factores: El tiempo permitido para su absorción a altas tem--- peraturas, el tiempo requerido para la nucleación y creci--- miento de las burbujas y un libre rompimiento de la superfi--- cie de la soldadura. Por estas razones, un proceso similar da diferentes respuestas en diferentes materiales. Por ejemplo, en el acero el aumentar la velocidad de soldadura (que incre--- menta la velocidad de enfriamiento), generalmente aumenta la porosidad, ya que las burbujas generadas son mas fácilmente atrapadas. En el titanio, por otro lado, incrementar la velo--- cidad de soldadura reduce la porosidad, ya que el hidrógeno - queda atrapado en la microestructura.

HIDROGENO.

La porosidad debida al hidrógeno está asociada princi--- palmente con la humedad y los compuestos orgánicos presentes en la soldadura. En el acero, la porosidad ocurre con menor - frecuencia que la fractura, la cual ocurre porque un exceso - de hidrógeno se difunde en la zona afectada por el calor, en donde la microestructura tiende a ser frágil.

NITROGENO.

El aire es la fuente principal de contaminación por ni--- trógeno. Por esto es importante aislar el punto de soldadura de las corrientes de aire y asegurarse de que la velocidad - del flujo de gas sea la adecuada, y no que sea turbulenta.

OXIGENO.

La formación de porosidad debido a la absorción de oxígeno es normalmente indirecta, ya que generalmente el problema es un producto de reacción, como el monóxido de carbono. El exceso de oxígeno es generalmente limpiado por la adición de desoxidantes en el acero del material de aporte, como son el aluminio, silicio, manganeso y titanio. Una desventaja del uso de desoxidantes es que el exceso que no se usa, frecuentemente reduce la tenacidad del depósito de soldadura. Cabe mencionar que a mayor nivel de dilución se requerirá de mayor cantidad de desoxidante.

FRACTURA.

La fractura en una soldadura puede ocurrir en varias partes de la unión y en varios momentos durante el ciclo de soldado. Aunque las causas pueden variar en detalle, la razón básica de una fractura es que el material tiene una insuficiente resistencia o ductibilidad en el estado relevante para resistir las tensiones o deformaciones impuestas por las condiciones térmicas de soldado, o a los esfuerzos residuales subsiguientes.

Los principales mecanismos de fractura son:

- a) Fractura durante la solidificación.
- b) Fractura en la zona afectada por el calor (Quemado).
- c) Fractura inducida por hidrógeno.
- d) Desgarramiento laminar.
- e) Ruptura por recalentamiento.

RUPTURA DURANTE LA SOLIDIFICACION:

Durante el proceso de soldado se forma un charco de metal que se enfría progresivamente en forma tridimensional, por lo que el centro, que está a la temperatura más alta solidifica al último.

Por otro lado, la concentración de los elementos aleantes y de las impurezas son empujadas hacia el frente de crecimiento interno de cristales producto del enfriamiento. De esta manera, los últimos puntos de solidificación donde se entrelazan las dendritas son los más críticos, pues películas de líquido con bajo punto de fusión (impurezas) separan los cristales que se formaron al último produciendo una región de debilitamiento y ruptura. Esto ocurre más frecuentemente cuando las deformaciones transversales son altas.

Una causa muy frecuente para la ruptura durante la solidificación es cuando se corta la fuente de calor en forma brusca y el material se enfría rápidamente.

La ruptura durante la solidificación se puede controlar a través de la composición del metal para la soldadura, (electrodos) procurando no tener un rango de solidificación alto y evitando las impurezas en el material. También influyen los parámetros de soldadura que estimulan la formación de grano grande (enfriamiento muy lento), ya que favorece la segregación de las impurezas hacia el centro de la soldadura.

En los aceros, las películas de impurezas que se forman en los extremos del grano son las causas principales de este tipo de fractura. Los elementos más contaminantes del acero son el azufre, fósforo, boro, cobre y arsénico.

FRACTURA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (QUEMADO)

Aunque el material base en la zona afectada por el calor (Z.A.C.) no se funde como un todo, la temperatura puede ser tan alta y cercana a la línea de fusión, que los elementos -- constituyentes con un punto de fusión más bajo que la matriz se licuan. Esto puede ocasionar fracturas finas o desgarramientos si las tensiones térmicas son lo suficientemente elevadas. Aunque las fisuras son pequeñas, estarán situadas cerca del límite entre el material base y una cara de la soldadura, el cual es un punto de concentración de esfuerzos.

El quemado, o ruptura por licuación como también se le conoce, ocurre en la Z.A.C. y por lo tanto no puede ser controlada directamente con adiciones al charco de soldadura. Se recomienda para aceros con alto punto de cedencia y alta resistencia a la fluencia a altas temperaturas, el soldar con bajos niveles de fósforo y azufre. En cuanto al proceso de soldadura se debe procurar reducir el tiempo en que se mantiene la pieza en la temperatura de licuación.

RUPTURA INDUCIDA POR HIDROGENO.

Esta forma de fractura ocurre en la zona afectada por el calor a temperaturas menores a 200 grados centígrados, y es una fuente muy grande de problemas en aceros al carbono y de baja aleación. Las fracturas pueden formarse en minutos o pueden tardarse hasta 100 horas después de la soldadura.

Como ya se dijo, el metal de la soldadura puede estar sobresaturado de hidrógeno, el cual tiende a salir de la solución durante el enfriamiento y fundirse en la Z.A.C., la cual generalmente tiene mayor capacidad de absorción. Si en la microestructura hay susceptibilidad a fragilizarse y si las tensiones residuales son suficientes, se presentará la fractura.

La susceptibilidad de la microestructura de la Z.A.C. aumenta a través de la formación de fases frágiles.

DESGARRAMIENTO LAMINAR.

Los desgarres ocurren normalmente en el material base, - cerca de la Z.A.C. en la parte del límite exterior, y en las uniones en donde la línea de fusión es paralela a los planos de rolado de la placa. La raíz del problema es la concentración de inclusiones no metálicas en forma laminar. Los aceros que tienen un contenido bajo de inclusiones dan, por ende, -- menores problemas. De acuerdo con la experiencia, difícilmente cualquier grado parece estar positivamente libre de pro---blemas.

El material de las inclusiones es comunmente el de des--oxidantes como Silicio, Aluminio, Titanio, etc. Estas inclu--siones se presentan largas longitudinalmente y cortas de mo--do vertical.

RUPTURA POR RECALENTAMIENTO.

La eliminación o reducción de tensiones residuales des--pués de la soldadura por medio de un relevado térmico de es--fuerzos, es recomendado para muchas estructuras. En principio se calienta la estructura a una temperatura que permite una -fluencia y un deslizamiento rápido (cerca de la tercera parte o la mitad del punto de fusión), y se mantiene a esa tem--peratura hasta que los esfuerzos elásticos se relajen.

Las tensiones residuales que guían el proceso pueden ser aumentadas por las tensiones térmicas transitorias en la zona de la soldadura, resultado de un calentamiento rápido y no --uniforme en el horno.

Las fallas de fractura por recalentamiento se han expe--rimentado en las aleaciones a base de níquel, aceros inoxidable austeníticos, aceros ferríticos resistentes a la fluencia térmica y en ciertos aceros de alta resistencia endurecibles por precipitación.

Es importante remarcar que este fenómeno no ocurre pre--siblemente por el relevado de esfuerzos, sino por calentamientos múltiples.

4.7 PROTECCION FISICA Y BAJADO.

Una vez soldada la tubería y colocada sobre polines, se aplicará la protección física a la tubería y se colocará en el interior de la cepa.

Primeramente se hace pasar la tubería por una máquina -- rasqueteadora, la cual es soportada por un tractor que a su vez levanta la tubería a una altura conveniente para poder efectuar la operación. La máquina rasqueteadora va provista de cepillos de alambre y rasquetas que cubren completamente el perímetro de la tubería y que al girar la limpian, eliminando lodos, grasas y cualquier adherencia. La misma máquina, en su parte posterior, va cubriendo con pintura primaria la superficie exterior del tubo por medio de un enlonado doble, que recibe la pintura y al girar cubre la tubería totalmente, para después depositar la tubería en sus polines nuevamente.

La aplicación de la pintura primaria es con el fin de darle a la superficie de la tubería una mayor adherencia para la protección física, y esa es la causa de que sea necesario una revisión posterior, resanando a mano los puntos que quedaran al descubierto.

Generalmente 24 hrs. después, ya seca la pintura primaria, se inicia la aplicación de la protección física y bajado de la tubería a la zanja. La protección física es a base de alquitrán de hulla, el cual está en estado sólido y se licúa entre 390 y 460 grados centígrados, que es la temperatura de aplicación. Para esta maniobra se necesitara la ayuda de un tren de tres tractores, cuya función se explica a continuación:

a) El primer tractor levanta la tubería de los polines a una altura conveniente para la operación. A una distancia que permita el manejo adecuado, un segundo tractor lo sigue.

b) El segundo tractor lleva la máquina esmaltadora y a un costado lleva remolcando la caldera con el esmalte de alquitrán de hulla listo para su aplicación. El esmalte se aplica por medio de rociadores a temperaturas de entre 390 y 460 grados centígrados, el cual es cubierto inmediatamente -- por una capa de fibra de vidrio (vidrioflex) de ancho igual al diámetro de la tubería, con traslapes de aproximadamente una pulgada. La máquina esmaltadora es la que rocía y recubre con la fibra de vidrio la tubería. La fibra se adhiere inmediatamente y le proporciona el armado necesario al esmalte, ya que sin ella el alquitrán de hulla sufre cuarteaduras durante la solidificación, que es muy rápida (Fig. 4.4).

Posteriormente se pasan dos detectores por la línea: El primero es para medir la resistencia al dieléctrico (deberá ser de entre 8,000 y 12,000 Volts). Si se encontrara alguna falla, salta al momento el arco eléctrico. Estas fallas se les corregira a mano aplicando el esmalte y se volvera a pasar por el detector hasta que registre correctamente. El segundo detector es un penetrómetro, el cual checa el espesor --

del recubrimiento en diferentes puntos de la tubería. (El espesor mínimo deberá ser de 3/32 de pulgada) (Fig. 4.5).

c) El tercer tractor, que viene a unos 50 mts. del segundo, aplica una última envoltura de Vidriomat, también llamado "Papel crafáltico" (Doble capa de papel con asfalto intermedio), y a su vez va depositando la tubería en la cepa.

Es costumbre en ciertas ocasiones el aplicar el recubrimiento total aisladamente a cada tubo en las estibas o tongas de modo que al llevarlas al terreno, la protección física ya está terminada y probada, dejando pendientes los empates para una vez terminadas las soldaduras. Esta práctica no se recomienda debido a que la protección física puede dañarse en el manejo de los tubos.

El bajado de la tubería a la cepa se debe hacer con sumo cuidado, debiendo apoyar dentro de la cepa a la tubería en su totalidad y alternativamente en las paredes en forma ondulada para poder absorber de manera oportuna los movimientos provocados por los efectos de la temperatura. Posteriormente se recubre la tubería con el mismo producto de la excavación, sin compactar, formando un camellón sobre ella. En caso de que el terreno sea rocoso y pueda dañar la tubería o su recubrimiento, se recomienda rellenar el fondo de la zanja con arena o tierra suave, cuando menos 10 cms. antes del bajado de la línea; posteriormente cubrir la tubería totalmente con tierra suave y terminar el relleno con el material de la excavación, con ayuda de un tractor.

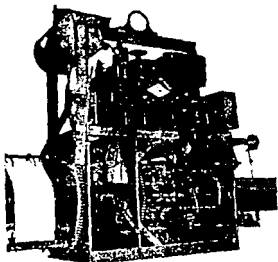
Una vez instalada la línea troncal, quedan pendientes las instalaciones de las válvulas de seccionamiento, los cruzamientos previamente construídos y los empates de los diferentes frentes de la obra.

En este caso, se debe considerar la construcción en el poblado de Maltrata, Ver. en el que se deberá vencer una cuesta de 2.5 kilómetros con pendientes de entre 40 y 45 grados. Para este tramo, la construcción se debe hacer de la parte alta a la parte baja, sembrando estacas con la resistencia suficiente para sostener los equipos de trabajo y facilitar las maniobras con winches para deslizar la tubería.

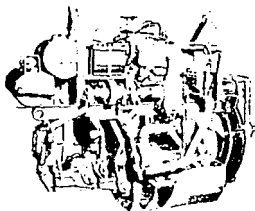
Para el armado de la línea, se deberán colocar a cada 50 mts. anclas de concreto para soportar la tubería, la cual llevará soldado un anillo con varillas perimetrales, las cuales se ahogarán en las anclas de concreto, sin perjuicio de aplicarles de antemano la protección física correspondiente.

Las válvulas de seccionamiento se deben colocar a nivel del terreno, nunca en registros, por lo que se deberá contemplar la elaboración de curvas prefabricadas para la entrada y salida de la válvula. Estas curvas se maquinan normalmente en

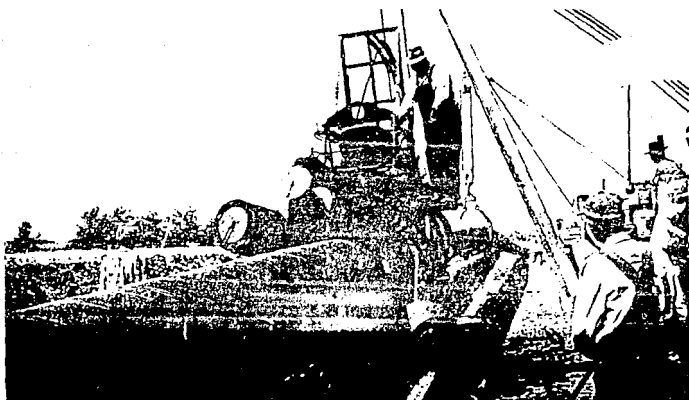
Fig. 4.4



Máquina rasqueteadora
y aplicadora de
pintura primaria.



Máquina esmaltadora y
aplicadora de cubierta
de fibra de vidrio
(Vidrioflex)

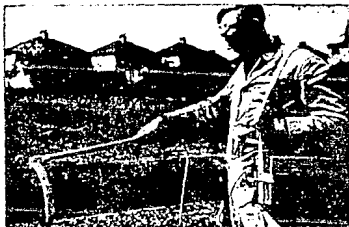


Máquina aplicadora de Papel Grafáltico.
(Vidricmat) y que baja la
tubería a la manja.

Fig. 4.5



Detector para medir la resistencia
al dieléctrico.



Modo de empleo del detector:

Al momento de que el detector pasa sobre un poro sin aislamiento, un arco eléctrico se presenta de inmediato, localizando así el lugar desprotegido.

taller, de una sola pieza y con su brida para sujetarse a la válvula. Ambas curvas dobles (la entrada y la salida) deberán ser de las mismas dimensiones y características, de acuerdo con la Norma ANSI B-16.5. Este mismo procedimiento se debe seguir para las trampas de diablos, donde todas sus conexiones serán prefabricadas en taller bajo las mismas Normas.

4.8 SEÑALAMIENTOS.

Sobre el derecho de vía de toda la tubería enterrada deberán colocarse los señalamientos necesarios, con el fin de identificar la localización de la tubería y evitar daños.

Según su objetivo, existen señalamientos informativos, preventivos y restrictivos.

Los señalamientos informativos destinados a identificar la tubería y señalar su trazo, deberán colocarse a la izquierda de la tubería según el sentido de flujo, según las dimensiones y localización de la cepa, explicadas anteriormente en lo relativo a apertura de la cepa (Punto #12), y se colocaran a 2.0 metros de la tubería. Los postes serán rectangulares y de concreto, con letras grabadas en hueco y pintadas en color negro sobre fondo contrastante, indicando el kilometraje desde el inicio de la tubería. Estos señalamientos se identificarán como de Tipo "A" (Fig. 4.6). Entre cada dos señalamientos tipo "A" se colocará uno del tipo "B", que consistirá en el solo poste rectangular de concreto, y su función es la de marcar los medios kilómetros.

Estos señalamientos serán de letras negras sobre fondo contrastante reflejante o viceversa, con dimensiones mínimas de 0.60 por 0.34 mts.

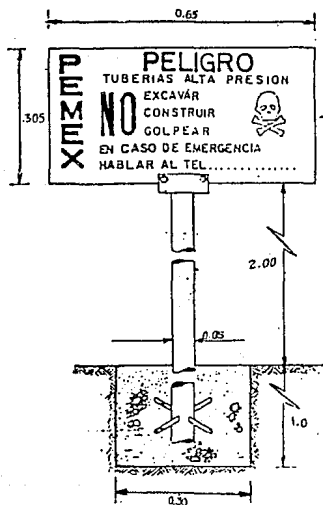
Los señalamientos del tipo "C" son restrictivos, los cuales prohíben excavar, golpear o construir, y deberán colocarse en todos los cruces o sobre el derecho de vía de las calles o vías de comunicación, en áreas pobladas o en áreas aledañas, especialmente donde se pueda extender la urbanización. Su instalación será a cada 100 mts y deberá cumplir con los requisitos de las Dependencias oficiales que correspondan a la zona (Fig. 4.7).

Los señalamientos tipo "D" prohíben fumar o el uso de flamas abiertas, y deben colocarse en todas las áreas restringidas, en donde pueda haber la presencia de mezcla explosiva, tales como válvulas, estaciones de compresión, de regulación y/o medición, terminales, estaciones de recolección, etc. y deberán cumplir con los requisitos de los señalamientos tipo "C".

Los señalamientos tipo "E" de "Prohibido anclar", deberán colocarse en ambos lados de las vías fluviales navegables a una distancia de 10 mts de las márgenes. Estarán formados por dos placas de 2.80 por 1.60 mts formando un ángulo de 120 gds entre sí. Su diseño deberá considerar las condiciones del terreno, vientos dominantes, crecientes máximas, etc. (Fig. 4.8).

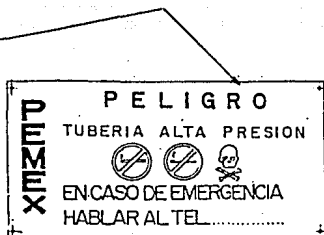
Por último, los señalamientos portátiles tipo "F" se utilizarán durante los trabajos de construcción o mantenimiento que se efectúen en áreas o vías públicas. Estarán formados

Fig. 4.7



Señalamiento Restrictivo

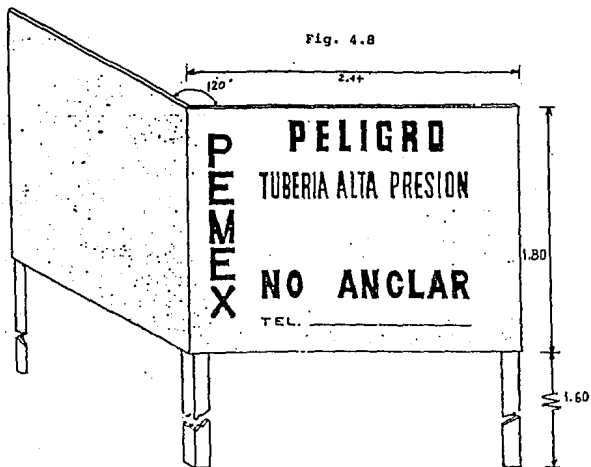
Tipo "C"



Señalamiento Restrictivo

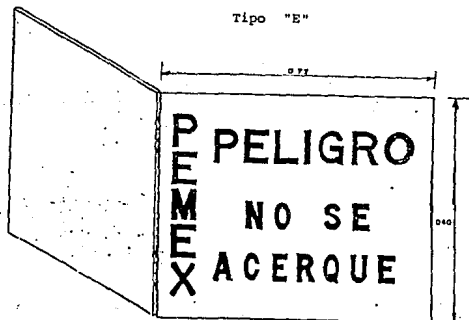
Tipo "D"

Fig. 4.8



Señalamiento Restrictivo

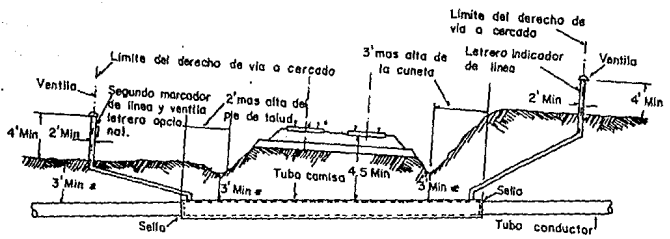
Tipo "E"



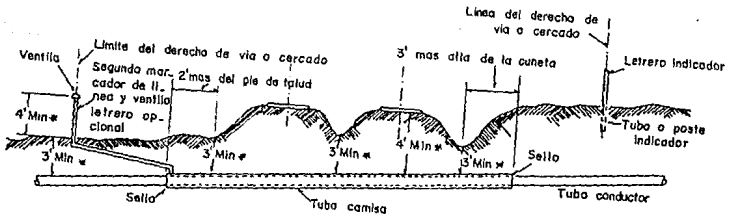
Señalamiento Portátil.

Tipo "F"

Fig. 4.9 Cruzamientos:



CRUZAMIENTO CON VIAS FERREAS



CRUZAMIENTO CON CARRETERAS

Fig. 4.9 b.

CRUZAMIENTO DE TUBERIAS DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS CON FERROCARRILES Y CARRETERAS

MINIMO ESPESOR DE PARED EN PULGADA, PARA UN TUBO FLEXIBLE DE ADEME EN UN CRUZAMIENTO BAJO TIERRA

Tabla I- Ferrocarril. Espesor mínimo de cubrimiento desde el lomo del tubo a la base de los rieles

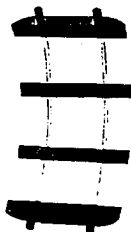
Diámetro Nominal	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	Sobre 9'
4"	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
6"	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
8"	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104
10"	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
12"	0.156	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
14"	0.188	0.156	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
16"	0.188	0.188	0.156	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
18"	0.219	0.203	0.156	0.156	0.134	0.134	0.134	0.134
20"	0.250	0.219	0.203	0.188	0.134	0.134	0.134	0.134
22"	0.281	0.250	0.219	0.188	0.156	0.156	0.156	0.156
24"	0.281	0.281	0.250	0.219	0.188	0.164	0.164	0.164
26"	0.312	0.312	0.281	0.250	0.188	0.164	0.164	0.164
28"	0.344	0.312	0.281	0.250	0.219	0.164	0.164	0.164
30"	0.375	0.344	0.312	0.281	0.250	0.164	0.164	0.164
32"	0.375	0.375	0.344	0.312	0.250	0.188	0.164	0.164
34"	0.406	0.375	0.375	0.312	0.281	0.219	0.164	0.164
36"	0.438	0.406	0.375	0.344	0.281	0.219	0.164	0.164
38"	0.469	0.438	0.406	0.344	0.312	0.250	0.188	0.188
40"	0.469	0.469	0.438	0.375	0.312	0.250	0.188	0.188
42"	0.500	0.469	0.438	0.406	0.344	0.281	0.188	0.188
44"	0.562	0.500	0.469	0.406	0.375	0.281	0.188	0.188
46"	0.562	0.562	0.500	0.469	0.375	0.312	0.188	0.188
48"	0.562	0.562	0.500	0.469	0.406	0.344	0.219	0.219
50"	0.625	0.562	0.562	0.469	0.406	0.344	0.250	0.250
52"	0.625	0.625	0.562	0.500	0.438	0.375	0.250	0.250
54"	0.688	0.625	0.562	0.500	0.469	0.375	0.281	0.281
56"	0.688	0.625	0.625	0.562	0.469	0.406	0.281	0.281
58"	0.688	0.638	0.625	0.562	0.500	0.406	0.312	0.312
60"	0.750	0.688	0.625	0.562	0.500	0.500	0.438	0.312

Tabla II- Carreteras. Espesor mínimo de cubrimiento desde el lomo del tubo a la base de la carpeta de rodamiento.

Diámetro Nominal	2'	3'	4' y Mayores
4"	0.083	0.083	0.083
6"	0.083	0.083	0.083
8"	0.125	0.104	0.104
10"	0.164	0.104	0.104
12"	0.156	0.104	0.104
14"	0.156	0.134	0.134
16"	0.188	0.134	0.134
18"	0.219	0.134	0.134
20"	0.219	0.134	0.134
22"	0.250	0.164	0.164
24"	0.250	0.164	0.164
26"	0.281	0.164	0.164
28"	0.281	0.164	0.164
30"	0.312	0.188	0.164
32"	0.312	0.188	0.164
34"	0.344	0.188	0.164
36"	0.344	0.188	0.164
38"	0.375	0.188	0.188
40"	0.375	0.188	0.188
42"	0.375	0.188	0.188
44"	0.375	0.188	0.188
46"	0.406	0.219	0.219
48"	0.406	0.219	0.219
50"	0.406	0.250	0.250
52"	0.406	0.250	0.250
54"	0.406	0.250	0.250
56"	0.406	0.250	0.250
58"	0.406	0.250	0.250
60"	0.406	0.250	0.250

Fig. 4.9 c.

Centradores - Aisladores y sellos laterales un cruzamiento utilizando camisa de ademe.



Centradores - aisladores.



Tipo "Z"



Tipo "U"

Sellos laterales.

por dos placas de acero de 0.72 por 0.60 mts unidas con bisagras, con el fin de poder abatirse y trasladarse fácilmente.

Cabe señalar que las características aquí mencionadas de los señalamientos son las que rigen en la República Mexicana según la Norma 3.374.01 : "Sistemas de Transporte de Petróleo por Tubería", según las especificaciones generales para construcción de obras de Petróleos Mexicanos.

4.9 CRUZAMIENTOS.

Cuando una tubería enterrada cruza por áreas de tránsito vehicular o en cruces de vías de comunicación en general, se deberá calcular la tubería para soportar dichos esfuerzos adicionales, o bien, irá dentro de un tubo protector llamado -camisa, chaqueta o tubería de ademe, que sea capaz de absorber dichos esfuerzos.

En el caso de utilizar camisa, la tubería deberá permanecer concéntrica con la camisa, y estará soportada por aisladores y centradores que cubran el espacio anular resultante entre la tubería y la camisa; y deberá ser sellado a ambos lados del cruzamiento inmediatamente después de introducir el tubo a la camisa. Es necesario que la camisa tenga orificios para colocar ventilas, las cuales deberán instalarse antes de introducir la tubería. Por último, todas estas medidas sirven además para que la camisa y la tubería queden eléctricamente aisladas, cosa que se tiene que verificar al realizar la tarea (Fig. 4.9).

La longitud de la camisa se puede obtener de la ecuación proporcionada por Ferrocarriles Nacionales de México:

$$Lc = 4.0 + 0.6 (hc + Dc)$$

donde: Lc = Distancia del extremo de la camisa a la línea de centro de la vía de comunicación.

hc = Distancia de la cara interior del durmiente al lomo de la camisa.

Dc = Diámetro de la camisa.

Cruzamientos con corrientes de agua.

Cuando se tenga que cruzar corrientes de agua, arroyos, ríos, etc. por lugares donde no haya puentes o estructuras --diseñadas para ese fin, se recomienda hacer el cruce tendiendo la tubería bajo el lecho a una profundidad mínima de 2.0 mts. para evitar erosión debida al flujo de agua.

Se deberá evitar las curvas en los cruzamientos, procurando que el tramo que cruza siempre sea recto, con sus extremos bien empotrados en las márgenes de los ríos o cauces, o en los taludes de canales y drenes.

La tubería deberá ser lastrada con un recubrimiento de - concreto para compensar el factor de flotabilidad, según el - diámetro. Además, para todos los cruzamientos sub fluviales se deberá utilizar la tubería clase "C" o "D" que corresponda en cada caso.

De acuerdo con las normas, se construye el cruzamiento - subfluvial en cualquiera de los dos métodos establecidos:

1. Cruzamiento prefabricado siguiendo el perfil del lecho del río, cuidando que los dobleces o curvas no sobrepasen las especificaciones. Pasada la prueba hidrostática y debidamente lastrada la tubería, se deposita en el lecho del río buscando la coincidencia con la zanja excavada previamente. Cuando existen corrientes significativas en el fondo, se construye una presa de asolve aguas abajo, alrededor de 5 metros de distancia de la tubería y una altura conveniente, de manera que al generarse el asolve, la tubería siempre permanezca enterrada en el lecho del río.

2. Tendido de tubería aparentemente normal, profundizando la cepa en en ambos márgenes en longitud proporcional a la profundidad del río. El tramo de tubería que quedará ahogado debe ser preconstruído fuera del agua, recubierto físicamente, debidamente lastrado y verificada la prueba hidrostática.

Para la instalación de la tubería, se le colocan flotadores suficientes en toda su extensión, y su deslizamiento sobre la superficie del río está guiado y soportado por cables desde las dos márgenes del río para evitar que la corriente lo desplace. Cuando se encuentra perfectamente ubicado sobre el perfil de la cepa previamente excavada en el lecho y márgenes del río, rápidamente se sueltan los flotadores, de manera que la tubería se sumerge y se aloja en la cepa siguiendo exactamente el perfil previamente diseñado.

De acuerdo con las normas ANSI B-31-4 y B-31-8, todos - los cruzamientos subfluviales deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Válvulas de seccionamiento tipo compuerta, paso completo y continuado en ambos márgenes, precisamente en la transición de Clase "A" a Clase "D". En el primer método, las válvulas quedarán muy próximas a los márgenes del río. En el segundo caso quedarán tan retiradas de los márgenes como lo requiera la relación de profundidad del lecho del río y la profundidad de la cepa en terreno natural, considerando que no existe ninguna curva prefabricada.
- b) Colocación de un By-Pass con tubería semejante a la del cruzamiento, y paralelo a la línea principal, interconectado a la tubería troncal antes de las válvu-

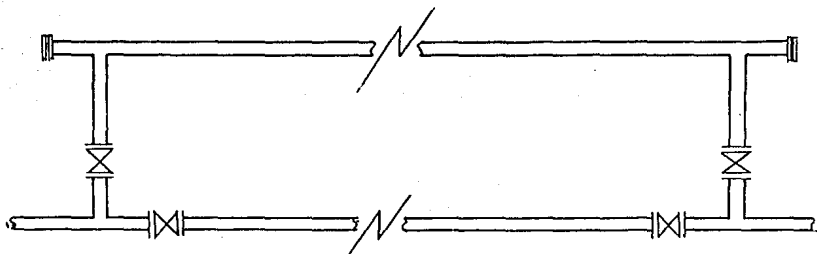


Fig. 4.10 By - Pass para un cruzamiento Sub-fluvial.

Nótese los detalles de construcción del By - Pass:

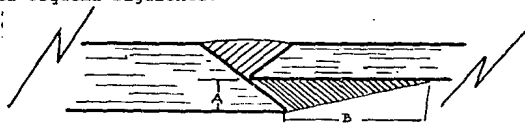
- El By - Pass puede ser aislado del flujo mediante válvulas de seccionamiento.
- El tramo que cruza el río debe ser recto y debe terminar en sus extremos en bridas ciegas, de manera que sea posible correr un diablo de limpieza por el conducto principal del By - Pass, adaptando el equipo necesario en los extremos bridados.

las de seccionamiento, con válvulas semejantes en ambos extremos (Fig. 4.10).

Deberá tenerse cuidado de que las válvulas colocadas en las márgenes estén a suficiente distancia del río para garantizar que el lugar estará aislado del nivel máximo de la corriente.

Transiciones en cambios de espesor de la tubería.

Cuando la tubería pasa de una clase de terreno a otra, o en caso de un cruzamiento, se deberá considerar otro espesor de tubería. Lógicamente al soldar dos espesores de pared diferentes quedará un escalón entre ambos, que será significativo tanto en el flujo como en los sistemas de limpieza interior, por lo que transiciones mayores a 0.0625 pulgadas deberán resolverse mediante un plano inclinado como el mostrado en el esquema siguiente:



donde $B = 4 A$

Estas transiciones pueden hacerse mediante soldadura en campo o bien maquinadas en taller, cuidando de que en ningún caso se rebaje el lado mayor (B).

En la llegada a estaciones de compresión y en general a las áreas restringidas, en donde las normas o especificaciones cambian, la diferencia entre espesores de pared es muy notable, y las transiciones son siempre maquinadas en taller, en tramos de 3 a 5 pies de longitud.

Cruzamientos con pantanos.

Cuando la tubería atraviese terrenos inundables o pantanosos, las Normas indican que la tubería se alojará en una zanja que tenga como mínimo las características específicas para terreno seco y firme. La profundidad de la zanja se medirá desde el lecho del río, sin considerar la película de agua. El diseñador está en posición de aumentar esta profundidad en caso de que lo considere conveniente.

En estas zonas, la tubería deberá ser igual a la empleada en cruces con corrientes de agua para contrarrestar la flotabilidad.

Espesor de pared de la camisa.

Cuando la tubería atraviesa zonas de tránsito y se decide colocarlo dentro de una camisa, se deberán tomar en cuenta varios factores tales como el tipo de terreno, tipo y magnitud de las cargas adicionales, profundidad a la que se coloca la camisa, diámetro de la camisa, esfuerzo permisible del acero de la tubería, etc. (Fig. 4.9)

Existen algunas gráficas que sirven para determinar el espesor de pared de la camisa, pero para casos prácticos y -- considerando amplios factores de seguridad se recomiendan los siguientes diámetros, apoyados en los datos de las Normas que rigen las obras de Ferrocarriles Nacionales de México:

CAMISAS FLEXIBLES (DE ACERO).

I Diámetro nominal I de la camisa. I (pulgadas)	I Espesor recomendado (Pulgs.) I API Std 5L-B I ASTM A 53-B	I
I 6	I 0.280	I Peso estándar I
I 8	I 0.322	I Peso estándar I
I 10	I 0.365	I Peso estándar I
I 12 - 26	I 0.375	I Peso estándar I
I 26 - 48	I 0.375	I Peso estándar I

Ventilas.

Como ya se mencionó, las camisas deberán llevar ventilas para que en caso de fugas, se canalice y no afecte la carpeta asfáltica o las vías de F.F.C.C. El diámetro de las ventilas varía en función al diámetro de la misma camisa. A continuación se presentan algunos diámetros para ventilas recomendados.

I Diámetro nominal I de la camisa. I (Pulgadas)	I Diámetro nominal I de las ventilas. I (Pulgadas)	I
I 6, 8 y 10	I 2	I
I 12, 14, 16 y 18	I 3	I
I 20 en adelante	I 4	I

La localización de las ventilas se deberán proyectar -- siempre fuera del derecho de vía de las instalaciones que se crucen, ubicándose invariablemente a 1.0 mts mínimo fuera de estos derechos.

La altura sobre el terreno de las bocas de las ventilas deberá ser:

- a) En el campo: 1.25 mts mínimo.
- b) En la ciudad: 2.50 mts mínimo.

Las camisas rígidas (de concreto o fierro fundido) deberán tener un diámetro mínimo igual a dos diámetros de la tubería de conducción. La resistencia de la camisa deberá soportar cargas externas de acuerdo con el código ANSI A-21.1 "Manual para la computación de robustez y espesor del tubo". En general, las camisas rígidas no son recomendables.

4.9 RESTAURACION DEL DERECHO DE VIA.

Una vez bajada la tubería, se deberá devolver el material de relleno, a la zanja para no dejar depresiones o salientes en el area, y así no interferir con cualquier tipo de tráfico eventual o temporal.

Los diques, drenajes o canales desviados durante la construcción se deberán rehabilitar, incluso empleando sacos de arena o apisonados si es necesario. Los campos de cultivo deberán quedar libres de rocas y sin formar zurcos o bordos, ya que provocarán problemas de riego o pluviales.

En caso de que el relleno pueda dañar estructuras o ciemientos, deberá hacerse a mano. Los materiales orgánicos como hierbas, leña, terrones, etc. deberán removerse para evitar la formación de ácidos por putrefacción, los cuales pueden dañar el recubrimiento de la tubería y con esto, a la tubería misma.

Se deberá evitar que las corrientes pluviales corran sobre el relleno, pues lo pueden arrastrar y así erosionar a la tubería.

Finalmente, se deberá dar una limpieza final al derecho de vía, y de ser posible, dejar el terreno en las mismas condiciones en que se encontraba inicialmente. Cabe recalcar que es necesario que la faja de terreno o amplitud del derecho de vía para construcción o mantenimiento debe quedar en condiciones de estabilidad permanente de su superficie.

CAPITULO V. INICIO DE OPERACIONES

5.1 DIABLOS.

Los diablos son equipos que se introducen a las tuberías con diferentes propósitos.

Cuando se termina la construcción de una línea destinada al transporte de hidrocarburos, se requiere de una limpieza interior para desalojar los residuos o desperdicios remanentes, que son en ocasiones muchos y muy variados. Posteriormente, cuando la tubería esta en servicio, se requiere desalojar los depósitos de materiales o compuestos que perjudiquen o dañen la vida útil de la tubería o dificulten la operación de la misma. Para estas tareas se utilizan equipos que en Norteamérica se denominan "Pig", y en nuestro país se conocen como "Diablos".

Segun la función que cumplen los diablos, se pueden clasificar en cuatro tipos (Fig. 5.1):

- a) De desplazamiento completo.
- b) De limpieza.
- c) De exploración.
- d) Esferas separadoras.

Diablos de desplazamiento completo:

Cuando se termina la construcción de una tubería y se procede a la prueba hidrostática o neumática, es indispensable llenarla con aire, agua o gas. Un diablo de desplazamiento completo sirve para desalojar el contenido de la tubería, en este caso los residuos de la construcción, o bien para un cambio de producto.

Estos tipos de diablos son exclusivamente de copas, y generalmente lleva dos anteriores y dos posteriores. La primera copa lleva además un disco de acero en la parte delantera, de un diámetro menor al de la tubería en una pulgada, de manera que deja un espacio de media pulgada entre la placa y la pared del tubo. Este disco sirve como refuerzo a las copas debido a que la fricción provoca el desgaste de ellas y así la deformación del diablo, pudiendo ocasionar que se atore en su recorrido.

Una vez dentro de la tubería, el diablo se desplaza con aire o agua a una velocidad de una milla por hora (Segun el fabricante-T.D.Williamson-). La velocidad se regula mediante la cantidad de agua o gas que se inyecta. Estos diablos son herméticos, es decir, impiden el paso del producto de inyección hacia adelante del diablo y viceversa, su movimiento es continuo y uniforme, exclusivamente de desplazamiento. Carecen de toberas.

Estos diablos se corren también una vez efectuada la -- prueba hidrostática, donde se requiere desalojar el agua y -- sustituirla por el producto a manejar. En estos casos se debe de controlar muy eficientemente la velocidad del diablo, - de lo contrario se produce contaminación. (A mayor veloci--- dad, el producto se pasa a la parte posterior del diablo, y a menor velocidad, el producto de llenado pasa a la parte del - producto desplazado).

Diablos de Limpieza:

Este tipo de diablos tiene cepillos, ya sean de acero, de poliuretano o simplemente hojas de poliuretano, según sean las necesidades de la tubería, y están montados sobre mue--- lles que los presionan contra las paredes del tubo, y copas - que le sirven como impulsoras. Este tipo de diablos se sos--- tienen sobre sus cepillos, aunque normalmente las copas lle--- gan también a sufrir desgaste.

La operación de un diablo de limpieza consta de dos eta--- pas:

a) El diablo se despalza con el flujo, pero su carrera no es constante. Debido a su peso y a la presión que ejerce sobre la superficie interna de la tubería, se presenta una resistencia considerable al desplazamiento, por lo que el dia--- blos no avanza y se queda estacionado. Durante este lapso, por las toberas que tiene el diablo y que deben estar abiertas, - el flujo incrementa su velocidad considerablemente, generando una sobreturbulencia que remueve los depósitos de agua o arena manteniéndolos en suspensión.

b) Cuando el diferencial de presión que se forma al sos--- tener el flujo es lo suficientemente grande para vencer la -- resistencia del diablo, este es impulsado y continua su movi--- miento hasta que el diferencial desaparece, quedando nueva--- mente estacionado hasta que el fenómeno se repita.

Este fenómeno no es un resultado casual, sino que es necesario mantener las impurezas en suspensión. De otra manera, el diablo pasaría sobre los condensados y areniscas sin desa--- lojarlos, esparciéndolos simplemente, lo que provocaría mas - fácilmente la formación de celdillas electrofíticas y por esto mismo, mayor facilidad para la corrosión. Lo mismo sucedería en el caso de que las toberas del diablo no estuvieran -- abiertas, pues como se explica, es sumamente necesario gene--- rar turbulencias.

Lógicamente, la velocidad real del diablo es diferente - en la práctica que la velocidad obtenida por el cálculo. Se - debe considerar que disminuye en un 1.5% en relación al cál--- culo. Este dato es proporcionado por el fabricante de los equipos de limpieza o Diablos. (T.D. Williamson).

En una tubería nueva, es importante proteger el recubrimiento interior, por lo que se utilizarán diablos de limpieza con hojas de poliuretano.

Diablos de exploración:

Es posible encontrar tuberías de conducción que han permanecido por largo tiempo operando por abajo de su capacidad, por falta de producto o de demanda. En estos casos es normal el descuidar la limpieza interior, dando lugar a incrustaciones, depósitos y adherencias dentro de la tubería. Cuando por necesidades de servicio se requiera llevar al máximo de eficiencia a la línea, será necesaria una limpieza interior completa. Sin embargo, por la falta de información del estado de la tubería, no conviene utilizar un diablo de limpieza considerando la posibilidad de que se atore por el exceso de sedimento.

Para estos casos, se utilizan diablos de copas rebatibles o deformables, característica que les permite pasar a través de tuberías deformadas, gargantas reducidas o asolvadas.

Estos diablos son de copas, sin toberas, y provistos en la parte posterior de cucharillas largas con muelles que las mantienen en contacto con la tubería, y en ellas se depositan sedimentos que, además de los daños de las copas, dan un parámetro de las condiciones de la tubería.

Cuando el diablo de exploración corra libremente, en el tiempo previamente calculado, y las muestras de sedimento no sean excesivas, el Jefe de mantenimiento decide a su criterio el momento oportuno para correr un diablo de limpieza.

Esferas Separadoras:

Quando un ducto se destina a transportar diferentes productos en lotes (Poliducto), estos tenderán a mezclarse. Sin embargo, el manejo de estas situaciones es posible bajo dos diferentes métodos:

En caso de transportar solamente productos refinados, se envían por lotes perfectamente empaçados, (presurizados uno contra otro sin separadores) a presiones no menores de 900 a 1,000 PSIG, teniendo en consideración el corte de refinamiento de los mismos, es decir, se inicia desde el más ligero hasta el más pesado (Propano líquido, gasolinas, turbosinas, Diesel, Diáfano) reiniciando nuevamente en orden. Mientras la presión se mantenga estable sosteniendo el empaque, no habrá más mezcla que la provocada en las estaciones de bombeo, las cuales pasan a una torre de destilación para ser separadas nuevamente.

El segundo método es mantener el flujo con diablos sepa-

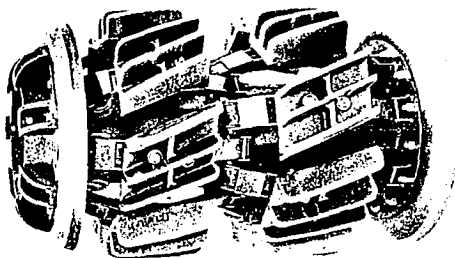
radores entre lotes, que aunque deben ir también perfectamente empacados, no requieren de altas presiones.

Estos diablos se denominan también "Esferas Separadoras" y son un doble globo con una diferencia de diámetros mínima, con aceite entre ambos. Son inflados por una bomba que les dará la medida exacta del diámetro de la tubería y en caso de rotura del globo externo, el globo interno ocupa su tamaño y lugar. Su uso se limita a superficies totalmente lisas y no se recomienda para cambios en el espesor de la tubería. Prácticamente este tipo de diablos no se emplea por sus limitaciones.

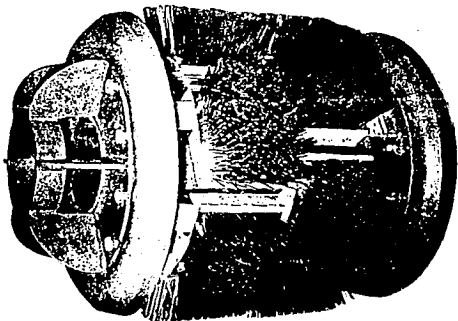
Es importante recalcar que un diablo nunca debe ser modificado, ya que se alteran las especificaciones del fabricante. En ningún caso deben quitarse los cepillos o algún otro componente del diablo.

Fig. 5.1

Tipos de diablos:



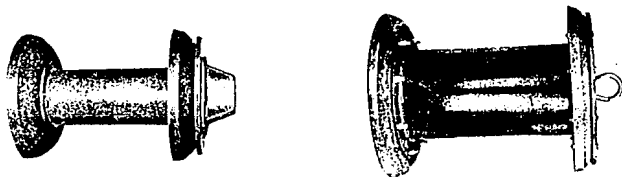
a) Diablo de limpieza en base a
hojas de poliuretano.



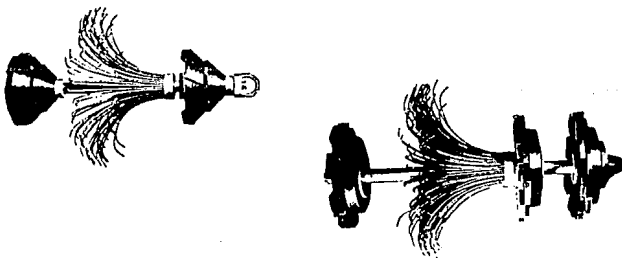
a) Diablo de limpieza en base a cepillos.

Fig. 5.1

Tipos de diablos:

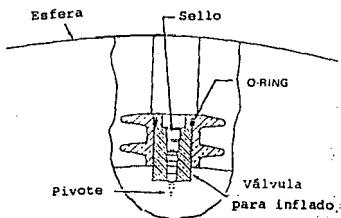
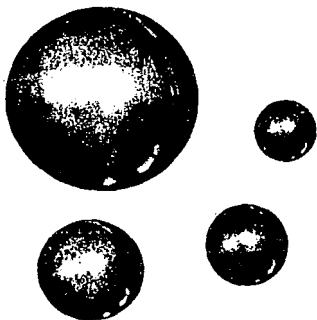


- b) Diablos de desplazamiento completo.
•Nótase el disco de acero en la parte delantera.



- c) Diablos de exploración.

Fig. 5.1 d) Esferas separadoras.



5.2 INICIO DE OPERACIONES.

Para el inicio de operaciones es necesario tomar en -- cuenta que se cumplieron estrictamente con las normas y especificaciones de construcción, muy especialmente las que determinan las pruebas finales anteriores a la operación, que son las pruebas de presión.

Las pruebas de presión forman parte de los programas de control de calidad en las construcciones e instalaciones de sistemas de tuberías, y se realizan con el fin de comprobar la hermeticidad del sistema, así como para someterla a esfuerzos aún mayores a los que se verá afectada en la operación -- normal, y así verificar que no representa riesgo.

Las pruebas de presión a las que se someterá la tubería pueden ser:

- a) Hidrostática. El fluido de prueba es agua y se realiza en condiciones estáticas de flujo.
- b) Neumática. El fluido a utilizar es aire o gas.

La prueba Neumática se considera de mayor riesgo que la Hidrostática, debido al posible desfogue de energía del fluido; sin embargo, es necesario realizarla en lugares donde las pendientes por las que atraviesa la línea son demasiado pronunciadas y la presión de columna, en caso de tratarse de una prueba Hidrostática, sea igual o mayor al 6% de la presión de prueba. (Como ejemplo está la cuesta de Maltrata.)

La mayoría de las partes que forman un sistema de tuberías, como son: Tubos, válvulas y conexiones, han sido probadas de acuerdo a sus especificaciones en fábrica, por lo que en la prueba de presión, los lugares críticos donde se enfocará la atención durante la inspección serán las juntas hechas en campo, así como los equipos que contengan una articulación o unión hecha en fábrica y que durante su manejo y / o instalación pueda haber sufrido algún deterioro.

Los Códigos de diseño y construcción de sistemas de tuberías establecen sus requerimientos para pruebas de inspección en base a dos filosofías:

La primera consiste en una inspección visual, a detalle, de todo el sistema de tuberías a probar, la cual se ha verificado durante su período de construcción, con la tubería descubierta. Se pueden citar en este punto los Códigos ANSI-B31-3, el Código ASME Sección VIII, y la práctica recomendada por el API-RP-14-E.

El segundo de los requerimientos se basa en la caída de presión que sufran las tuberías durante la prueba. Esta filosofía se rige por los Códigos ANSI B-31-4 y ANSI B-31-8 para tuberías de gran longitud, en donde la inspección visual a --

detalle no es práctica y donde la caída de presión entre dos puntos nos revela una posible fuga o un posible daño.

Las partes que forman un sistema de tuberías han sido probadas cumpliendo con los requisitos de los diferentes códigos, por lo que el paso a seguir es el de cambiar el agua o el aire contenido en el interior de la tubería por el producto a manejar, en este caso, Gas Natural, mediante el uso de "diablos" de desplazamiento completo, quedando en condiciones de abastecer a los usuarios de acuerdo con los volúmenes de gas con los que se inicie la operación.

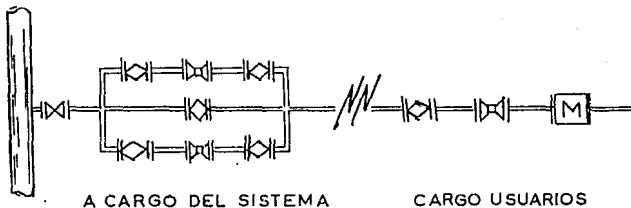
A medida que las estaciones de compresión vayan entrando en servicio, se incrementará la eficiencia del sistema hasta llegar a su nivel de proyecto. (Mínimo de 97%)

Es necesario aclarar que el suministro a los usuarios se incrementará paulatinamente en la forma en que lo permita el volumen de gas que pueda transportar la tubería, considerando que inicialmente las estaciones de compresión estarán en proceso de instalación.

Los ramales a los usuarios deberán ser instalados según la Figura 5.2, donde el primer paso de regulación quedará a cargo del sistema, mientras que el segundo, incluyendo el equipo de regulación y medición, queda a cargo del usuario.

Es importante mencionar que el primer paso de regulación consta de dos ramas con una válvula de regulación cada una y dos machos. Este sistema es necesario considerando que las válvulas de regulación corresponden al grupo de "Válvulas de Globo", las cuales requieren solamente mantenimiento correctivo, lo que implica que deben salir de operación durante su mantenimiento y queda en servicio el ramal "número dos" para no interrumpir el suministro al usuario en ningún momento.

Fig. 5.2 Construcción de un inyecto para distribución a usuarios.

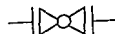


SIMBOLOGIA

VALVULA DE COMPUERTA



VALVULA DE GLOBO



VALVULA TIPO MACHO



VALVULA DE RETENCION



5.3 MANTENIMIENTO

"Mantenimiento" se puede definir como "el conjunto de -- actividades que es necesario desarrollar para conservar equipos, unidades, instalaciones, etc. en condiciones óptimas de servicio, prolongar su vida útil y sostener su operación al -- máximo nivel de eficiencia posible.

El objetivo inmediato es el de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y confiable los equipos -- de la Institución para no demorar ni interrumpir los servi-- cios que se prestan.

El objetivo básico es contribuir con los medios disponi-- bles a sostener lo más bajo posible el costo de operación de las propiedades de la institución.

El mantenimiento se puede considerar bajo tres puntos de vista y de trabajo:

a) Mantenimiento Preventivo: Consiste en preveer y/o de-- tectar las fallas en su fase inicial, corrigiéndolas antes de que surgan a la vista.

b) Mantenimiento Predictivo: Este rubro del mantenimien-- to es más bien una filosofía que una forma de trabajo, y se -- basa en dos teorías: La primera consiste en que todas las -- piezas tienen un tiempo de vida útil (marcado por el fabri-- cante o por Normas que respaldan una garantía), y cumplido el plazo deberá ser sustituidas. La segunda se basa en la revi-- sión por alguien que domine el área de los acoplamientos, mo-- tores, equipos, etc. de manera continua.

c) Mantenimiento Correctivo: Este tipo de mantenimiento consiste en la reparación obligada del equipo que ha sufrido alguna avería que le impide continuar su funcionamiento ade-- cuado y tiene que salir de servicio.

Para el caso de líneas de conducción de hidrocarburos, -- el mantenimiento se concentra en los campos Preventivo y Cor-- rectivo, siendo muy frecuente el apoyo de la tecnología en lo relacionado a instrumentación.

MANTENIMIENTO EN LINEAS DE CONDUCCION:

El mantenimiento necesario en tuberías de conducción de hidrocarburos se enfoca por un lado a evitar la corrosión, -- tanto en su interior como en su parte externa; y por otro lado a la limpieza de la tubería. El mantenimiento a una línea se puede dividir en dos aspectos principales:

- a) Mantenimiento Exterior.
- b) Mantenimiento Interior.

5.4 PROTECCION FISICA.

A la tubería que va a transportar algún fluido se le debe dar una protección contra la corrosión, ya que resulta imposible evitar en un 100% este fenómeno.

Una de las medidas tomadas es el incremento intencional en el espesor de pared, pero además de esto, se deben disminuir al mínimo los efectos corrosivos del medio y del fluido a transportar, esto es, protección externa e interna.

La protección interna se basa en limpieza periódica para evitar la formación de celdillas electrolíticas. Esta limpieza interna se lleva a cabo por medio de corridas de diablos, los cuales trabajan a manera de escobas internas haciendo contacto con todo el interior de la tubería, y por otro lado se llegan a emplear inhibidores para trabajos con productos de mayor agresividad.

Actualmente todas las tuberías destinadas a la conducción de hidrocarburos vienen de fábrica protegidas interiormente con un recubrimiento vitrificado de acabado liso, por lo que para su limpieza interior se utilizan diablos con placas o cepillos de poliuretano. Este recubrimiento es impermeable y de alta resistencia al dieléctrico, lo que reduce al mínimo la formación de celdillas electrolíticas por depósitos de condensados así como la fricción considerablemente.

La protección física, o protección exterior, se coloca en el período de construcción del ducto antes de ser depositado en la cepa. Generalmente se utiliza como recubrimiento principal alquitrán de hulla.

La protección física deberá cumplir, en resumen, con las siguientes características:

1. Deberá mitigar la corrosión.
2. Deberá tener suficiente adherencia en la superficie del metal para resistir con efectividad la humedad -- bajo la cubierta.
3. Deberá tener la ductibilidad suficiente para prevenir los agrietamientos.
4. Deberá tener la resistencia suficiente para resistir el manejo y los esfuerzos debidos al terreno.
5. Deberá tener propiedades compatibles con cualquier -- protección catódica suplementaria.

5.5 MANTENIMIENTO EXTERIOR

Tomando en consideración que la línea de conducción fue construida bajo las Normas y Especificaciones A.N.S.I., y que los cálculos efectuados fueron correctamente realizados, se deberán de checar los siguientes parámetros:

- Durante el período de construcción, la resistencia al dieléctrico de la protección física fue debidamente revisada.

- La protección catódica se instaló de acuerdo a los estudios correspondientes, y se encuentra ya finalizada o en período de instalación.

- La línea ya está en operación.

Si todos los puntos anteriores están revisados, el procedimiento de dar mantenimiento exterior a la línea se basa principalmente en inspecciones periódicas, de manera que se puedan anticipar los posibles incidentes o problemas que pudieran llegar a presentarse.

Procedimiento de inspección.

Este procedimiento consiste en dar un recorrido de Inspección de manera periódica sobre el derecho de vía e instalaciones, reportando deslaves, fugas, invasiones, etc. La frecuencia de este recorrido deberá ser por lo menos una vez por cada mes.

El recorrido deberá estar a cargo de una cuadrilla de mantenimiento (Por cada tramo de la línea), la cual, además de sus labores de calendario asignadas, deberán atender las emergencias o posibles daños que sean reportados durante los recorridos de inspección.

Dentro de las labores de calendario, se deberán revisar las válvulas de seccionamiento, reportando cualquier anomalía que se pudiera encontrar con el fin de corregir de inmediato. El procedimiento de revisión de una válvula se explica más adelante.

Una parte muy importante del mantenimiento exterior es la que corresponde a la protección catódica, por lo tanto, en forma regular (mensualmente) se deben efectuar los recorridos tomando las lecturas de los potenciales en los postes instalados para tal efecto, mismos que deben registrarse en el libro correspondiente, formando con esos datos la gráfica anual. Esta gráfica nos indicará las variaciones naturales de los potenciales, así como las provocadas por causas o elementos extraños no considerados en el período de proyecto.

Es responsabilidad de la cuadrilla de mantenimiento el realizar los recorridos mensuales para tomar los potenciales, y como ya se mencionó, estará al pendiente de mantener las instalaciones operando correctamente. Además, esta cuadrilla tendrá participación en la siembra y reposición de los anodos de sacrificio cuando sea necesario, soldado de los conectores al tubo, aplicación de la protección física, medición de la resistencia al dieléctrico, etc.

Mantenimiento a una Válvula de Seccionamiento.

El mantenimiento a una válvula de seccionamiento consiste principalmente en los pasos siguientes:

a) Purga de la cámara de sedimentos o trampa de líquidos. Se debe procurar depresionar la válvula en su totalidad, así como también el bonete; si ambas cámaras quedan totalmente depresionadas, esto nos indica que los asientos están operando a satisfacción.

b) Por medio de la cubeta de engrase, se debe remover en su totalidad la grasa contenida en los conductos y en los asientos mismos de la válvula.

c) Se deberá checar que los asientos de teflón del vástago estén operando correctamente. En caso de fuga, se deberá inyectar un cartucho de empaque plástico, teniendo cuidado de no excederse para no perjudicar la operación de la válvula.

d) Revisión del elemento motor. Si es de engranes y volante se debe purgar la caja de engranes y remover la grasa; si es eléctrica, neumática o hidráulica se deberá revisar exteriormente y reportar a quien corresponda cualquier anomalía en el mecanismo.

Es conveniente, en caso de que la válvula esté abierta, operarla en un cuarto de su carrera y dejarla nuevamente abierta para verificar que realmente está habilitada (Fig.5.3).

Control y Reparación de Fugas.

Dentro de las actividades del mantenimiento se debe contemplar lo relativo a "control y reparación de fugas".

Las fugas en líneas de conducción se presentan en diversas formas y por diversas causas. Estas van desde fugas producidas por un poro engendrado desde el momento de construcción en uniones soldadas o en el cuerpo del tubo, hasta fugas producidas por corrosión o por accidentes.

Es importante señalar que todas las fugas presentan características diferentes, aún cuando aparentemente sean semejantes.

BALEROS

Fig. 5.3 Algunas partes importantes de una válvula.

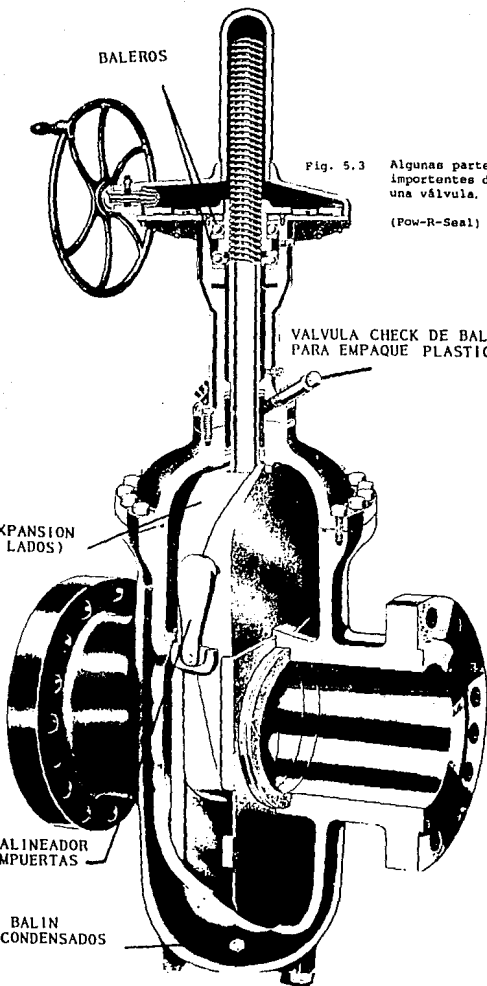
(Pow-R-Seal)

VALVULA CHECK DE BALIN PARA EMPAQUE PLASTICO

COMPUERTAS DE EXPANSION (SELLAN A AMBOS LADOS)

ELEMENTO ALINEADOR DE LAS COMPUERTAS

VALVULA CHECK DE BALIN PARA DRENADO DE CONDENSADOS



ab

Existen elementos prefabricados de patentes americanas - para el control y reparación de las fugas; sin embargo, la -- práctica ha demostrado la problemática que representa su uso debido a sus grandes dimensiones y exagerado peso, lo que provoca grandes esfuerzos adicionales a la tubería y en la mayoría de los casos, al término de la operación, la cual es sumamente laboriosa, el resultado es negativo (Fig. 5.4).

La misma práctica ha obligado a diseñar sistemas de fácil manejo con elementos elaborados en taller, que representan mayor confiabilidad y seguridad, tanto para los equipos -- como para el personal, desde el manejo hasta su desempeño

Evidentemente que en el caso de una fuga mayor, como una rotura, su reparación obliga a suspender el flujo, vaciar la tubería y colocar un tramo nuevo de tubo (Carrete).

Es de la absoluta competencia del departamento de Mantenimiento la elaboración de injertos y seccionamientos sobre -- tuberías en operación, con el fin de obtener ramales, colocar válvulas de seccionamiento o sustituir un tramo de línea sin interrumpir el flujo, haciendo uso de herramientas como la -- "Tapping Machine" y los "Stopples", equipos de la marca T.D. Williamson.

De modo general, la cuadrilla de mantenimiento tiene como misión el realizar todos los trabajos necesarios para conservar los equipos e instalaciones operando en perfectas condiciones y a su máxima eficiencia, prolongando así su vida -- útil.

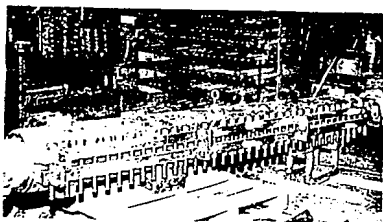
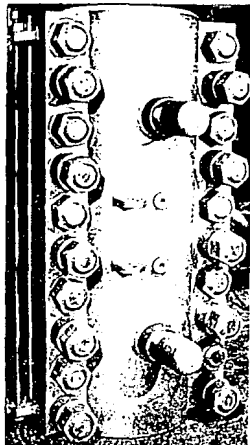


Fig. 5.4 Elementos prefabricados para Control y Reparación de fugas.
*Nótense el volumen y la cantidad de espárragos, características que hacen impráctico el uso y manejo de estos elementos.

5.6 MANTENIMIENTO INTERIOR.

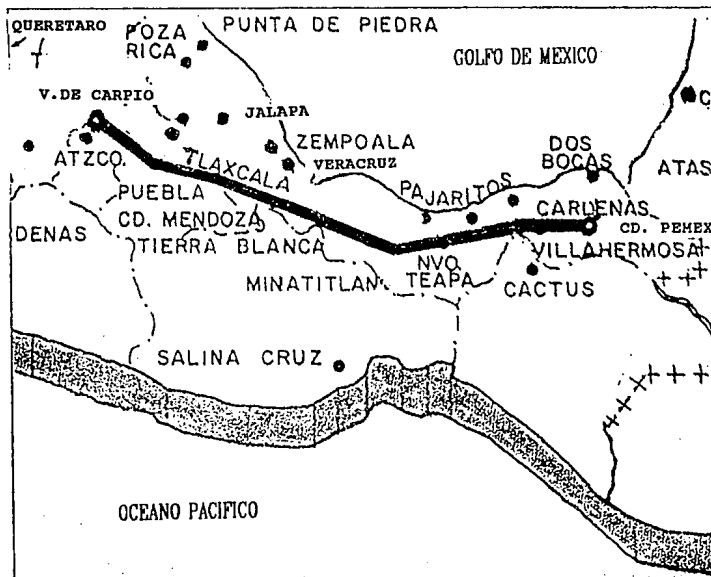
En el mantenimiento interior de la tubería deberán intervenir tanto el departamento de operación como el de mantenimiento. El primero tiene a su cargo el verificar los componentes del gas a manejar, vigilar los inhibidores que se le están aplicando en calidad y cantidad, comunicando al departamento de mantenimiento los cambios o alteraciones del producto, sobre todo en los porcentajes de licuables que puedan haber variado y generar depósitos, los cuales deberán ser removidos para evitar la formación de celdas electrolíticas.

El departamento de mantenimiento será el encargado de la limpieza interior de las tuberías, de acuerdo a un calendario que se deberá llevar siempre actualizado.

Los equipos indicados para este trabajo son los "Diablos de Limpieza", calculando el tiempo de recorrido así como el horario mas conveniente para la maniobra, considerando que a su paso deberán cerrarse las válvulas que alimentan a los usuarios, de manera que no se afecten los intereses de aquellos.

CAPITULO VI: CALCULO DE LA TUBERIA

LA SIGUIENTE FIGURA MUESTRA EL PROYECTO DE CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE UNA LINEA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL, CUYO ORIGEN ES CIUDAD PEMEX, TABASCO, Y EL DESTINO ES VENTA DE CARPIO, ESTADO DE MEXICO.



LA LINEA TIENE UNA LONGITUD TOTAL DE PROYECTO DE 779.8 KILOMETROS.

CAPITULO VI: CALCULO DE LA TUBERIA.

I. DATOS A MANEJAR:

PRODUCTO A MANEJAR:	GAS NATURAL (METANO)
CARACTERISTICAS:	GAS DULCE, CON UN MAXIMO DE IMPUREZAS DE:
	AGUA : 7 LBS. POR MMscf. (Million Standard Cubic Feet)
	H ₂ O : 1 gr. POR CADA 100 PIES CUBICOS.
	AZUFRE : 20 gr. POR CADA 100 PIES CUBICOS.
	CO ₂ : 3 % EN PESO.
	O ₂ : 1 % EN PESO.
	HIDROCARBUROS LICUABLES: 0.2 Gal. POR CADA 100 PIES CUBICOS.
VOLUMEN A MANEJAR	: 550 MMscfd. (Million Standard Cubic Feet Day)
PRESION MAXIMA DE TRABAJO	: 950 Psig. (DESCARGA DE LAS ESTACIONES DE COMPRESION)
PRESION MINIMA DE TRABAJO	: 600 Psig. (INYECCION A LAS ESTACIONES DE COMPRESION)

II. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.

a) UTILIZANDO LA FORMULA DE WEYMOUTH:

$$q'h = 28.0 d^{2.667} \sqrt{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{Sg Lm}\right) \left(\frac{520}{T}\right)}$$

*** q'h = FLUJO DEL GAS EN FT³/HR, PARA CONDICIONES NORMALES: 14.7 Psia Y 60° F.

$$q'h = 550,000,000 \frac{FT^3}{DAY} \left(\frac{1 DAY}{24 HR}\right) = 22,916,666.7 \frac{FT^3}{HR}$$

*** P = PRESION MAXIMA Y MINIMA DE TRABAJO DEL GAS, EN Psia.

$$P_1 = 950 + 14.7 = 964.7 \text{ psia.}$$

$$P_2 = 600 + 14.7 = 614.7 \text{ psia.}$$

*** Sg = GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS RELATIVA AL AIRE. (AIRE = 1)

$$Sg = 0.6 \text{ (Metano)}$$

CALCULO DE LA TUBERIA.

II. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.

*** L_m = LONGITUD EN MILLAS. (DISTANCIA PROMEDIO ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION)

- * MAS ADELANTE SE CALCULARA LA DISTANCIA MAXIMA PROMEDIO ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION EN FUNCION A LA FRICCION DEL FLUIDO AL DESPLAZARSE POR LA TUBERIA. SI ESTE VALOR FUERA MAYOR O IGUAL AL VALOR QUE SE PRESENTA EN ESTA SECCION, INDICA QUE EL VALOR AQUI SUPUESTO ES CORRECTO. EN CASO CONTRARIO, SE DEBERA SUPONER OTRO VALOR DE DISTANCIA PROMEDIO ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION O BIEN, AUMENTAR EL DIAMETRO DE LA TUBERIA QUE MAS ADELANTE SE DETERMINARA. ESTAS DOS OPCIONES DEBERAN LLEVAR TAMBIEN SU CALCULO CORRESPONDIENTE SIMILAR AL QUE A CONTINUACION SE PRESENTA:

- + LA DISTANCIA ENTRE LA PRIMER ESTACION DE TRATAMIENTO EN CIUDAD PEMEX, TABASCO, Y EL DESTINO DE LA LINEA DE CONDUCCION EN VENTA DE CARPIO, ESTADO DE MEXICO, ES DE 780 -- KILOMETROS.

ASI PUES, SE TIENE COMO DATO:

$$\text{Longitud Total (Lt)} = 780 \text{ Kms.}$$

CONSIDERANDO QUE UN NUMERO ADECUADO DE ESTACIONES DE COMPRESION, EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS DE LOS USUARIOS Y A LOS OBSTACULOS NATURALES QUE SE DEBERAN LIBRAR, SE CONSIDERA DE 11 ESTACIONES INCLUYENDO ORIGEN Y DESTINO, DE MANERA QUE LA DISTANCIA PROMEDIO ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION DEBE SER:

$$L_m = \frac{780}{11} = 71.0 \text{ Kms.} \quad \frac{1.0 \text{ Millas}}{1.6 \text{ Kms.}} = 44.0 \text{ Millas.}$$

*** T = TEMPERATURA ABSOLUTA DEL GAS EN $^{\circ}$ R.

$$T = 60 + 460 = 520 \text{ }^{\circ} \text{ R}$$

*** d = DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN PULGADAS.

- * EN ESTE CASO, "d" ES LA INCOGNITA.

CALCULO DE LA TUBERIA.

II. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.

DESPEJANDO DE LA ECUACION DE WEYMOUTH LA INCOGNITA "d", LA ECUACION QUEDA:

$$d = \sqrt{\frac{2.667}{28.0} \frac{q'h}{\sqrt{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{Sg Lm}\right) \left(\frac{520}{T}\right)}}$$

SUSTITUYENDO VALORES, LA ECUACION QUEDA:

$$d = \sqrt{\frac{2.667}{28.0} \frac{22,916,667}{\sqrt{\left(\frac{(964.7)^2 - (614.7)^2}{(0.6) \cdot (44.0)}\right) \left(\frac{520}{520}\right)}}$$

$$d = 25.5'' \text{ (Pulgadas)}$$

b) UTILIZANDO LA ECUACION DE PANHANDLE:

$$q'h = 36.8 E d^{2.6182} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{Lm}\right)^{0.5394}$$

PARA CONDICIONES NORMALES: 14.7 Psia, 60 °F. Y Sg = 0.6

DONDE: E = EFICIENCIA DEL FLUJO POR LA TUBERIA.

E = 1.0.- TUBERIA NUEVA SIN CURVAS, CODOS NI VALVULAS, NI CAMBIOS DE DIAMETRO O ELEVACIONES.

E = 0.95.- TUBERIA EN MUY BUENAS CONDICIONES DE OPERACION.

E = 0.92.- TUBERIA EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION.

E = 0.85.- TUBERIA EN CONDICIONES DESFAVORABLES DE OPERACION.

CALCULO DE LA TUBERIA.

II. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.

DESPEJANDO DE LA ECUACION DE PANHANDLE LA INCOGNITA "d", LA ECUACION QUEDA:

$$d = \sqrt[2.6182]{\frac{q^3 h}{36.8 E \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{L_m} \right)^{0.5394}}}$$

SUSTITUYENDO VALORES, LA ECUACION QUEDA:

$$d = \sqrt[2.6182]{\frac{22,916,667}{36.8 \times 0.92 \left(\frac{(964.7)^2 - (614.7)^2}{44.0} \right)^{0.5394}}}$$

$$d = 24.1 \text{ " (Pulgadas)}$$

TOMANDO EN CUENTA LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ECUACIONES DE WEYMOUTH Y PANHANDLE, Y CONSIDERANDO QUE EL VOLUMEN DE GAS YA ESTA ESTABLECIDO ASI (NO HAY AUMENTOS), SE TOMARA PARA EL DISEÑO UN DIAMETRO NOMINAL DE 24 PULGADAS.

III. PERDIDAS POR FRICCION.

ESTA SECCION SIRVE PARA VERIFICAR QUE EL VALOR SUPUESTO DE LA DISTANCIA PROMEDIO ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION ES CORRECTO (44.0 MILLAS)

PARA ENCONTRAR LAS PERDIDAS POR FRICCION, ES NECESARIO CONOCER LOS SIGUIENTES DATOS:

S _g	.- GRAVEDAD ESPECIFICA DEL PRODUCTO.	0.6
T	.- TEMPERATURA DE OPERACION EN ° F.	60
μ	.- VISCOSIDAD ABSOLUTA EN CENTIPOISES.	TABLA 6.1
d	.- DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN PULGADAS.	TABLAS 6.5
q ³ h	.- VOLUMEN A MANEJAR EN scf/hr.	22,916,667
Re	.- NUMERO DE REYNOLDS.	CALCULO.
E	.- EFICIENCIA DEL FLUJO DENTRO DE LA TUBERIA.	0.92
ε	.- RUGOSIDAD RELATIVA DE LA PARED DEL TUBO AL FLUIDO.	TABLA 6.3
P ₁	.- PRESION MAXIMA DE OPERACION.	950 Psi.

CALCULO DE LA TUBERIA.

III. PERDIDAS POR FRICCIÓN.

*** VALOR DE LA VISCOSIDAD (μ):

UTILIZANDO LA TABLA 6.1, LA CUAL NOS INDICA LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES GASES, SE OBTIENE LA VISCOSIDAD DEL METANO, TOMANDO EL VALOR DE $S_g = 0.6$ EN LA SECCION QUE SE INDICA COMO "VAPORES, HIDROCARBUROS Y GAS NATURAL", EN UN RANGO DE ENTRE 0.5 Y 1.0 DE GRAVEDAD ESPECIFICA.

ASI PUES, EL VALOR QUE SE OBTIENE ES:

$$\mu = 0.011 \text{ cps.}$$

DIAMETRO INTERIOR (d):

CONSIDERANDO QUE PARA UN TUBO DE 24 " DE DIAMETRO NOMINAL, EL DIAMETRO EXTERIOR ES IGUAL AL DIAMETRO NOMINAL, SE ESCOGERA UN VALOR DE ESPESOR DE PARED EN BASE A LAS TABLAS 6.5, PARA UN DIAMETRO NOMINAL DE 24 ", QUE ESTE APROBADO PARA MANEJAR MINIMO 950 Psi DE PRESION DE TRABAJO SEGUN LAS NORMAS A.H.S.I. B 31-4 Y B 31-8, AMBAS INCLUIDAS EN LAS ESPECIFICACIONES A.P.I.

SE ENCUENTRAN EN TUBERIAS TIPO A.P.I Std SLX-52 LOS SIGUIENTES DATOS:

ESPESOR DE PARED (")	PRESION DE PRUEBA	PRESION DE TRABAJO (Psi)			
		TIPO "A"	TIPO "B"	TIPO "C"	TIPO "D"
0.344"	1267 PSI	1074			
0.406"	1495 PSI		1055		
0.438"	1613 PSI			949	
0.500"	1842 PSI				867

CONSIDERANDO EL ESPESOR DE 0.344", EL DIAMETRO INTERIOR ES:

$$d = 24 - 2 (0.344) = 23.312 \text{ "}$$

*** FLUJO DE GAS (q'h):

EN LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA SE TRANSFORMO EL VALOR DE q'h A scf/hr.
(INCISO a) DE LA SECCION II.)

$$q'h = 22,916,666.7 \frac{\text{FT}^3}{\text{HR.}}$$

CALCULO DE LA TUBERIA.

III. PERDIDAS POR FRICCION.

*** NUMERO DE REYNOLDS (Re):

DE LAS DIFERENTES EXPRESIONES PARA OBTENER EL NUMERO DE REYNOLDS, LAS CUALES VARIAN EN LAS UNIDADES QUE SE MANEJAN Y EN LAS VARIABLES QUE INCLUYEN, SE ESCOGERA PARA ESTE CASO LA MAS APROPIADA EN FUNCION DE LAS VARIABLES CONOCIDAS, ESTA ES LA SIGUIENTE:

$$Re = \frac{0.482 * q'h * 5g}{d * \mu}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$Re = \frac{0.482 (22,916.667) (0.6)}{(23.312) (0.011)}$$

$$Re = 2.585 * 10^7$$

*** FACTOR DE FRICCION (f):

CONSIDERANDO QUE SE ESTA UTILIZANDO UNA TUBERIA DE ACERO, Y SE LE HACE PERIODICAMENTE SU LIMPIEZA INTERIOR Y MANTENIMIENTO GENERAL, SE UTILIZA LA TABLA 6.4 PARA OBTENER EL FACTOR DE FRICCION. (EN CASO DE CUALQUIER TIPO DE TUBERIA COMERCIAL, DESCONOCIENDO SU ESTADO DE LIMPIEZA, ES PREFERIBLE UTILIZAR LA TABLA 6.3)

DE ESTA MANERA, EL FACTOR DE FRICCION QUE SE OBTIENE ES:

$$f = 0.012$$

LA MANERA DE TRADUCIR EL VALOR DEL FACTOR DE FRICCION A PSI PERDIDAS POR EL FLUIDO EN SU RECORRIDO ES EN BASE A FORMULAS DIFERENTES. AL IGUAL QUE PARA EL CALCULO DEL NUMERO DE REYNOLDS, SE UTILIZA LA FORMULA QUE MAS SE ACERCA A LAS NECESIDADES ACTUALES Y QUE ESTAN APROBADAS POR LAS ESPECIFICACIONES A.P.I.

CALCULO DE LA TUBERIA.

III. PERDIDAS POR FRICCIÓN.

*** PERDIDAS POR FRICCIÓN POR MILLA (f_c):

LAS ECUACIONES QUE SE UTILIZARAN PARA OBTENER LAS LIBRAS DE PRESION PERDIDAS EN EL RECORRIDO DEL FLUIDO POR LA TUBERIA SON LAS SIGUIENTES:

$$f_c = E f \sqrt[2.1761]{P_1^2}$$

Y

$$f_c = (E d^{2.6118})^{0.2364}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$f_c = 0.92 (0.012) \sqrt[2.1761]{(950)^2}$$

$$f_c = 6.87 \text{ Psi / Milla.}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$f_c = (0.92 * (23.312)^{2.6118})^{0.2364}$$

$$f_c = 6.852 \text{ Psi / Milla.}$$

SI SE CONSIDERA QUE LA MAXIMA DIFERENCIA DE PRESION EN EL FLUIDO ES:

$$P_2 - P_1 = 950 - 600 = 350 \text{ Psi}$$

*** DISTANCIA PROMEDIO MAXIMA ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION (L_m):

LA DISTANCIA PROMEDIO MAXIMA ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION RESULTA DE LA RELACION ENTRE LA MAXIMA DIFERENCIA DE PRESION PERMISIBLE EN EL FLUIDO Y LA PRESION PERDIDA POR EFECTOS DE FRICCIÓN EN CADA MILLA. PARA CADA CASO SERA:

$$L_m = \frac{350 \text{ Psi}}{6.87 \text{ Psi / Milla.}}$$

$$L_m = 50.9 \text{ Millas.}$$

$$L_m = \frac{350 \text{ Psi}}{6.852 \text{ Psi / Milla.}}$$

$$L_m = 51 \text{ Millas.}$$

DE ESTA MANERA, AL COMPARAR CON LA "L_m" QUE SE APLICO COMO SUPUESTA PARA EL CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA (45.3 MILLAS) Y VERIFICAR QUE ES MAYOR EN AMBOS CASOS, EL CALCULO SE CONSIDERA CORRECTO.

CALCULO DE LA TUBERIA.

IV. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE COMPRESION.

DE ACUERDO A LA TOPOGRAFIA DEL TERRENO, PERO PRINCIPALMENTE AL CONSUMO DE GAS REQUERIDO POR LA INDUSTRIA, SERA NECESARIO LOCALIZAR LAS ESTACIONES DE COMPRESION COMO SIGUE:

LOCALIDAD	No. DE ESTACION	LONGITUD (Mi.)	LONGITUD (Mts)	DIST. AL ORIGEN
CIUDAD PEMEX	INICIO	0.0	0.0	0.0
VILLA HERMOSA	1	54.4	87,544	87,544
AGUA DULCE	2	62.2	100,075	187,617
MINATITLAN	3	33.05	53,177	240,794
Sn. JUAN SUGAR	4	40.0	64,140	304,935
LOMA BONITA	5	40.35	64,947	369,881
TIERRA BLANCA	6	41.28	66,428	436,309
OMEALCA	7	39.0	62,691	499,000
ORIZABA	8	30.5	49,140	548,140
TECAMACHALCO	9	34.0	54,654	602,785
VENTA DE CARPIO	10	110.0	177,015	779,800

COMO SE PUEDE OBSERVAR, LAS DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES DE COMPRESION NO SON CONSTANTES. ESTO SE DEBE A VARIOS FACTORES, SIENDO LOS PRINCIPALES EL CONSUMO DE LOS USUARIOS EXISTENTES ENTRE DOS ESTACIONES, LA INYECCION DE GAS POR OTROS CAMPOS PRODUCTORES Y LA MISMA TOPOGRAFIA DEL TERRENO.

EJEMPLO DE ESTO ES QUE ENTRE LA ESTACION 1 Y 2 ESTA LA INYECCION DEL PRODUCTO DEL CAMPO DE EXTRACCION DE MAGALLANES, MIENTRAS QUE EN EL ULTIMO TRAMO, ENTRE LAS ESTACIONES 9 Y 10, SE TIENE UN DESCENSO CONSIDERABLE DE NIVEL, Y ADEMAS SE ENCUENTRA LA TRAMPA DE DIABLOS DE SAN MARTIN -- TEXMELUCAN.

LA TRAMPA DE DIABLOS DE SAN MARTIN TEXMELUCAN SE LOCALIZA EXACTAMENTE COMO SIGUE:

	LONGITUD (Mts)	DIST. AL ORIGEN
9	54,645	602,785
T.D: S.W.T.	94,932	697,717
10	82,083	779,800

CALCULO DE LA TUBERIA.

V. LOCALIZACION DE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO:

LA LOCALIZACION DE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO ESTA EXPRESADA DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL SISTEMA, PERO TOMANDO EN CONSIDERACION LOS PARAMETROS NECESARIOS QUE RIGEN LA INSTALACION DE VALVULAS DE SECCIONAMIENTO, EXPLICADOS EN EL CAPITULO III.

PARA ESTE CASO, LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO SE LOCALIZAN SEGUN LA SIGUIENTE TABLA:

LOCALIZACION DE LA VALVULA		DISTANCIA AL ORIGEN
TEQUILA		26,740
CRUCE CON EL RIO GRIJALVA	MARGEN DERECHA	43,433
	MARGEN IZQUIERDA	43,643
VILLAHERMOSA		67,543
CRUCE CON EL RIO SAMARTA	MARGEN DERECHA	92,020
	MARGEN IZQUIERDA	93,484
LA "Y"		122,979
PEJE LAGARTERO		152,979
CRUCE CON EL RIO TONALA	MARGEN DERECHA	183,372
	MARGEN IZQUIERDA	183,480
TEAPA		210,776
CRUCE CON EL RIO COTZACOALCOS	MARGEN DERECHA	225,921
	MARGEN IZQUIERDA	226,513
COMEJEN		274,122
CRUCE CON EL RIO SAN JUAN	MARGEN DERECHA	316,556
	MARGEN IZQUIERDA	316,897
MATA LIMON		344,914
CRUCE CON EL RIO TESECHOACAN	MARGEN DERECHA	357,481
	MARGEN IZQUIERDA	358,321
CRUCE CON EL RIO PAPALOAPAN	MARGEN DERECHA	389,677
	MARGEN IZQUIERDA	390,101
LAS NARANJAS		415,439
TETELA		462,948
TUXPANGO		528,766
ESPERANZA		571,000
TEPEACA		630,660
PUEBLA		665,954
MANACAMILPA		723,747
TEXCOCO		755,299
ESTACION No 10		LLEGADA

Tabla 6.1: VISCOSIDAD DE VARIOS GASES.

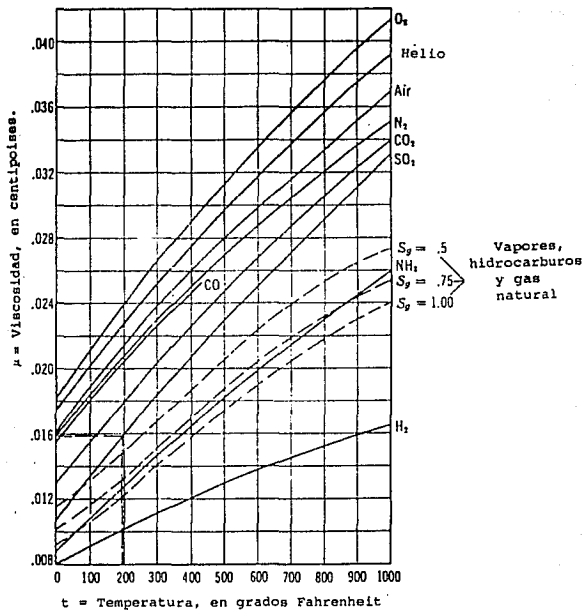


Tabla 6.2: RUGOSIDAD RELATIVA Y FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERIAS, EN CASOS DE FLUJO TURBULENTO:

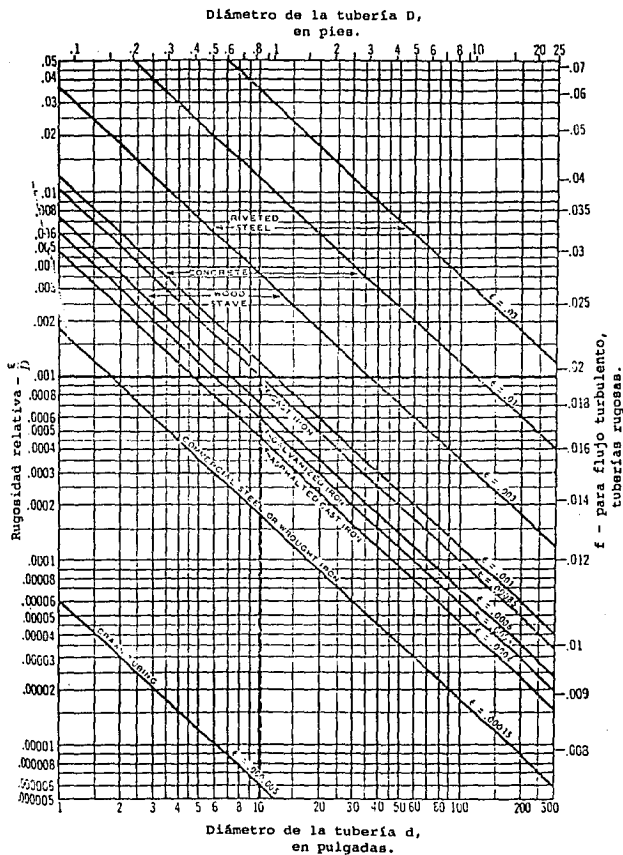


Tabla 6.3: FACTORES DE FRICCIÓN PARA CUALQUIER TIPO DE TUBERIA COMERCIAL.

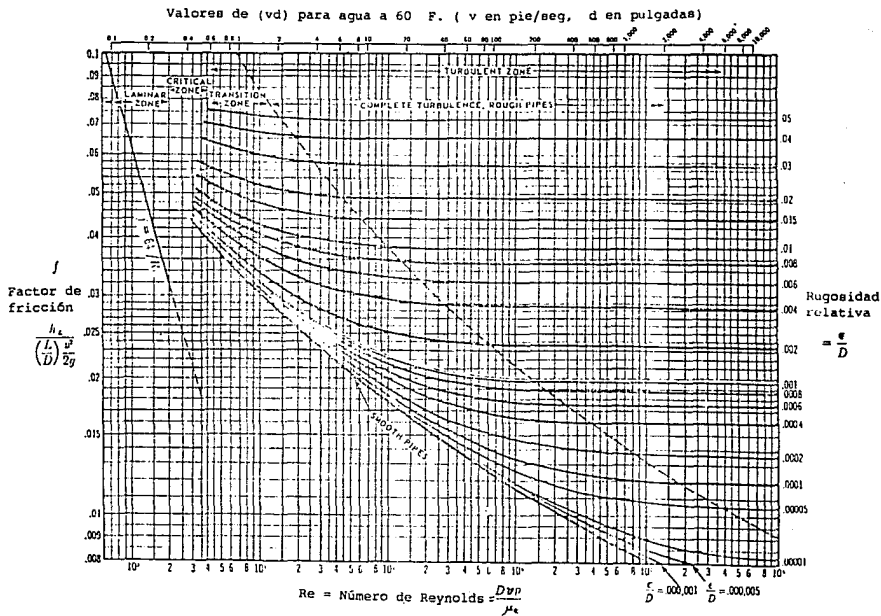
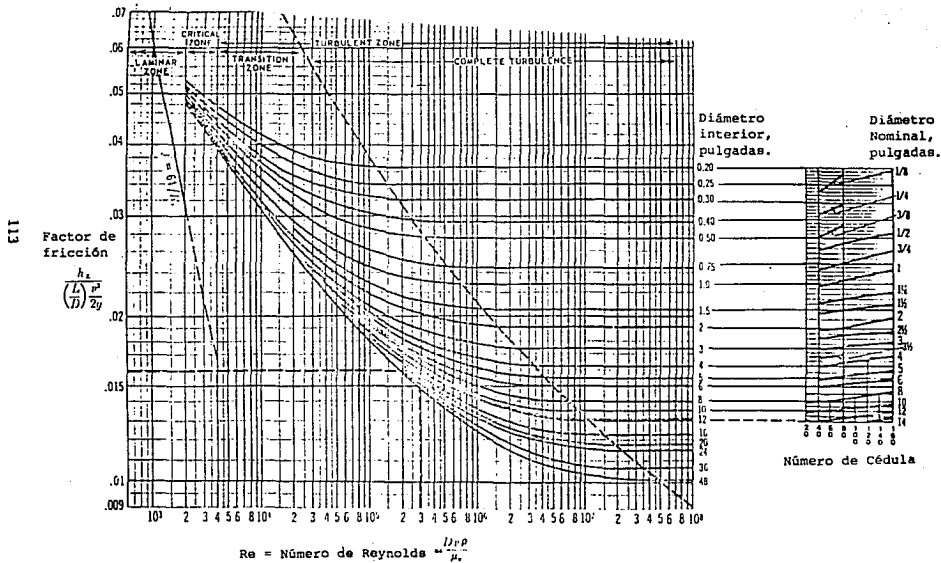


Tabla 6.4: FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERIA DE ACERO EN BUEN ESTADO DE LIMPIEZA.



TABLAS 6.5

ESPECIFICACIONES PARA TUBERIA

API Std. 5LX

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.
(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-42

Tubería soldada por resistencia eléctrica,
por arco eléctrico

ó por arco sumergido.

(Esfuerzo mínimo de cedencia especificado - 42,000 psi)

Díámetro Nominal (Pulgadas)	Díámetro Exterior (Pulgadas)	Peso (lb/pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máxima Presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "D" (Psi)
6	6.625	12.89	0.188	1180	1572	2074	1716	1410	1182	954
		14.97	0.219	2030	1777	2360	1939	1656	1389	1111
		17.02	0.259	2380	2073	2625	2182	1907	1585	1288
		18.81	0.280	2670	2370	3018	2516	2130	1735	1420
		21.07	0.312	2910	2615	3383	2818	2374	1978	1583
		23.06	0.344	3020	2850	3708	3141	2617	2181	1745
		25.03	0.375	3200	3050	4042	3424	2853	2378	1902
		27.37	0.417	3020	3250	4655	3914	3286	2725	2191
8	8.625	16.50	0.188	1380	1773	1556	1318	1093	916	732
		18.77	0.203	1490	1267	1640	1422	1185	989	791
		19.64	0.219	1620	1360	1812	1526	1280	1069	853
		21.76	0.258	1810	1556	2010	1701	1461	1218	971
		24.70	0.277	2020	1726	2293	1943	1619	1348	1079
		27.74	0.312	2180	1926	2583	2188	1823	1520	1216
		28.56	0.327	2360	2056	2648	2258	1902	1568	1254
		30.40	0.344	2520	2142	2848	2412	2010	1625	1310
33.01	0.375	2740	2328	3104	2629	2191	1826	1461		
36.26	0.426	3020	2550	3626	3072	2560	2133	1766		
43.35	0.500	3520	3550	4140	3506	2912	2435	1948		
10	10.75	21.15	0.188	1750	1063	1249	1059	881	735	588
		22.84	0.203	1350	1448	1348	1142	952	793	634
		25.03	0.219	1460	1241	1454	1232	1027	856	684
		28.01	0.250	1620	1420	1661	1407	1172	977	782
		31.20	0.279	1840	1581	1853	1570	1308	1090	872
		34.31	0.307	2040	1731	2029	1727	1439	1202	960
		38.20	0.344	2390	1947	2265	1935	1619	1344	1075
		40.48	0.363	2420	2056	2424	2053	1711	1426	1141
48.19	0.428	2910	2474	2910	2465	2024	1732	1369		
54.74	0.500	3020	2550	3321	2817	2344	1954	1563		
12	12.75	27.22	0.203	1140	969	1136	963	802	669	525
		28.28	0.219	1230	1046	1222	1039	866	722	577
		31.38	0.250	1410	1199	1400	1186	988	824	650
		37.45	0.281	1580	1343	1573	1339	1111	928	740
		41.51	0.312	1750	1488	1747	1480	1233	1028	827
		43.77	0.330	1850	1573	1848	1565	1304	1087	870
		45.35	0.344	1930	1641	1926	1632	1360	1133	906
		49.56	0.375	2100	1785	2100	1776	1483	1236	984
53.56	0.406	2280	1938	2274	1926	1605	1338	1070		
57.53	0.428	2460	2091	2453	2078	1732	1443	1154		
65.47	0.500	2810	2389	2800	2372	1976	1647	1318		
14	14	30.97	0.210	1080	918	1021	897	756	630	504
		32.20	0.219	1120	952	1112	946	788	657	525
		36.71	0.250	1300	1080	1275	1070	900	750	600
		41.21	0.281	1440	1224	1414	1214	1012	813	674
		45.86	0.312	1600	1360	1591	1348	1123	936	749
		50.14	0.344	1760	1495	1754	1486	1238	1022	826
		54.81	0.375	1920	1637	1913	1620	1350	1128	900
		61.37	0.428	2240	1904	2234	1892	1577	1314	1051
72.89	0.500	2550	2168	2550	2160	1800	1500	1200		
16	16	36.87	0.218	880	873	918	818	680	575	460
		42.05	0.250	1120	952	1114	957	788	657	525
		47.22	0.281	1260	1071	1254	1042	885	738	580
		50.36	0.312	1400	1190	1382	1175	982	818	655
		54.61	0.344	1540	1310	1508	1305	1080	900	720
		60.88	0.375	1680	1428	1673	1418	1181	985	788
		72.72	0.428	1980	1669	1955	1659	1380	1150	920
		82.77	0.500	2240	1904	2221	1890	1573	1313	1050

9/11

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.

(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-42

Tubería soldada por resistencia eléctrica.

por arco eléctrico

ó por arco sumergido.

(Esfuerzo mínimo de cedencia especificado - 42,000 psi)

Diámetro Nominal (Pulgadas)	Diámetro Exterior (Pulgadas)	Peso (Lb./pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máximo de presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en cañal. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en cañal. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en cañal. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en cañal. Tipo "D" (Psi)		
18	18	47.33	0.250	1006	850	997	840	100	584	467		
		53.72	0.281	1120	952	1114	943	187	656	524		
		59.03	0.312	1240	1054	1239	1048	274	728	582		
		64.82	0.344	1376	1165	1351	1156	362	802	642		
		70.59	0.375	1520	1287	1488	1283	450	876	700		
		76.34	0.406	1670	1377	1611	1364	537	948	758		
		82.06	0.438	1840	1475	1737	1472	626	1022	818		
		87.45	0.500	1970	1692	1934	1690	714	1107	894		
		20	20	57.73	0.250	900	765	893	756	630	525	420
				59.73	0.281	1010	859	1003	850	708	590	472
63.71	0.312			1120	952	1114	943	786	655	524		
67.16	0.344			1240	1046	1228	1040	867	723	578		
74.60	0.375			1340	1139	1319	1134	945	788	630		
85.01	0.406			1450	1233	1443	1228	1023	858	687		
94.41	0.438			1570	1375	1568	1355	1101	920	746		
101.83	0.500			1750	1477	1765	1502	1200	1000	810		
22	22			59.07	0.250	870	737	892	688	513	418	342
				65.74	0.281	970	829	972	775	614	517	429
		72.38	0.312	1070	867	1013	858	715	596	477		
		78.51	0.344	1170	952	1116	945	788	657	525		
		86.81	0.375	1270	1037	1217	1031	858	716	573		
		93.69	0.406	1370	1122	1318	1116	930	775	620		
		100.75	0.438	1470	1216	1421	1204	1003	836	669		
		114.81	0.500	1670	1386	1623	1374	1145	955	764		
		24	24	63.43	0.250	750	634	744	610	525	438	350
				71.25	0.281	840	714	836	701	580	492	394
78.06	0.312			930	791	928	786	655	546	427		
86.85	0.344			1030	876	1023	867	722	607	487		
94.85	0.375			1120	952	1116	945	788	657	525		
102.37	0.406			1210	1029	1208	1023	853	711	569		
110.10	0.438			1310	1114	1303	1104	920	767	613		
123.49	0.500			1490	1267	1488	1260	1050	875	700		
26	26			68.75	0.250	690	587	687	582	485	404	323
				77.25	0.281	780	663	772	654	545	454	363
		85.73	0.312	870	731	857	726	605	504	411		
		94.19	0.344	950	808	934	800	667	556	464		
		102.63	0.375	1030	876	1030	873	727	606	495		
		110.05	0.406	1120	952	1115	945	787	656	525		
		118.44	0.438	1210	1029	1208	1023	848	708	566		
		126.17	0.500	1380	1173	1333	1165	965	808	646		
		28	28	74.09	0.250	640	544	638	540	450	375	300
				83.81	0.281	720	617	717	607	506	422	337
92.41	0.312			800	680	796	674	562	468	374		
101.53	0.344			880	748	877	743	619	518	413		
110.64	0.375			960	816	956	810	675	563	450		
119.72	0.406			1040	884	1035	877	731	609	488		
128.78	0.438			1120	952	1117	946	788	657	526		
148.45	0.500			1280	1088	1275	1080	900	750	600		
30	30			78.43	0.250	600	510	595	504	420	350	280
				89.27	0.281	670	570	670	567	472	394	315
		98.08	0.312	750	638	742	629	524	437	349		
		108.88	0.344	820	697	819	693	578	487	385		
		118.65	0.375	900	765	885	760	630	529	438		
		128.40	0.406	970	823	948	818	682	569	455		
		138.13	0.438	1050	891	1042	883	738	613	490		
		157.53	0.500	1200	1010	1190	1000	840	700	560		

911

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.

(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-46

Tubería soldada por resistencia eléctrica,

por arco eléctrico

ó por arco sumergido.

(Esfuerzo mínimo de cedencia especificado - 46,000 psi)

Diámetro Nominal (Pulgadas)	Diámetro Exterior (Pulgadas)	Peso (lb/pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máxima Presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en construc. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en construc. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en construc. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en construc. Tipo "D" (Psi)
6	6.625	12.85	0.188	1953	1660	2719	1829	1556	1305	1044
		14.97	0.219	2290	1947	3245	2160	1825	1521	1216
		17.02	0.250	2618	2219	3850	2489	2083	1736	1388
		18.97	0.240	2920	2482	4305	2789	2333	1944	1555
		21.01	0.312	3200	2550	5081	3129	2600	2187	1723
		23.06	0.344	3200	2550	4550	3439	2866	2389	1911
		25.03	0.375	3075	2550	4427	3150	2625	2104	2043
		27.57	0.432	3000	2550	5099	4319	3599	3000	2400
		16.90	0.188	1510	1284	1704	1444	1203	1005	827
		18.77	0.203	1630	1385	1840	1553	1299	1083	856
19.64	0.213	1760	1456	1986	1692	1402	1169	934		
22.36	0.250	2010	1707	2254	1920	1600	1333	1086		
24.20	0.272	2170	1844	2431	2042	1712	1417	1167		
26.14	0.312	2300	1947	2719	2242	2060	1712	1374		
28.05	0.322	2583	2193	3118	2642	2261	1826	1465		
30.00	0.344	2480	2150	2719	2402	2100	2000	1600		
33.04	0.375	3000	2550	3400	2880	2400	2336	1859		
36.16	0.438	3000	2550	3911	3564	2923	2336	1859		
43.25	0.500	3000	2550	4533	3840	3200	2567	2133		
10	10.75	21.15	0.188	1370	1165	1366	1159	955	804	643
		22.88	0.203	1480	1258	1476	1251	1042	869	695
		24.60	0.219	1620	1360	1593	1349	1124	937	750
		26.84	0.250	1820	1547	1819	1541	1284	1070	816
		31.20	0.279	2030	1726	2039	1719	1433	1194	855
		34.30	0.307	2240	1904	2233	1819	1526	1214	1031
		38.20	0.344	2510	2115	2557	2120	1765	1472	1128
		43.48	0.385	2680	2261	2655	2249	1814	1522	1250
		48.19	0.428	3000	2550	3185	2693	2249	1874	1499
		54.74	0.500	3000	2550	3637	3081	2567	2140	1717
12	12.75	27.22	0.203	1750	1063	1245	1055	879	733	586
		29.28	0.219	1850	1148	1343	1138	948	790	632
		33.31	0.250	1940	1309	1531	1299	1082	902	722
		33.45	0.261	1730	1471	1724	1463	1217	1014	811
		41.51	0.312	1920	1632	1913	1621	1351	1126	900
		43.77	0.330	2030	1726	2024	1714	1429	1181	937
		45.55	0.344	2110	1794	2110	1787	1489	1245	952
		48.56	0.375	2300	1955	2350	1980	1624	1352	1083
		53.56	0.406	2490	2117	2491	2110	1758	1465	1172
		57.53	0.438	2680	2287	2686	2275	1896	1580	1264
65.42	0.500	3000	2550	3067	2598	2165	1804	1443		
14	14	30.93	0.210	1180	1002	1173	994	828	690	552
		32.20	0.219	1230	1046	1223	1036	863	720	576
		36.71	0.250	1400	1190	1397	1183	995	822	657
		41.21	0.281	1570	1335	1520	1310	1109	924	739
		45.68	0.312	1750	1484	1743	1476	1230	1025	820
		50.14	0.344	1920	1641	1922	1628	1357	1131	904
		54.57	0.375	2100	1785	2054	1774	1476	1232	985
		63.33	0.438	2450	2083	2446	2052	1727	1438	1151
		72.08	0.500	2800	2382	2793	2366	1972	1642	1314
		36.81	0.219	1080	918	1070	906	755	630	501
40.85	0.250	1230	1046	1227	1025	863	718	575		
47.22	0.281	1380	1173	1374	1164	970	808	646		
52.38	0.312	1530	1301	1525	1282	1071	897	718		
57.48	0.344	1680	1437	1681	1424	1187	988	781		
62.58	0.375	1840	1564	1843	1552	1287	1087	882		
72.72	0.438	2150	1878	2141	1814	1511	1280	1088		
82.37	0.500	2450	2083	2444	2070	1725	1438	1150		

111

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.

(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-46

Tubería soldada por resistencia eléctrica,

por arco eléctrico

o por arco sumergido.

(Esfuerzo mínimo de coherencia especificado - 46,000 psi)

Díametro Nominal (Pulgadas)	Díametro Exterior (Pulgadas)	Peso (lb/pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máxima Presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "D" (Psi)
18	18	47.39	0.250	1090	927	1086	920	767	639	511
		53.22	0.281	1230	1046	1221	1034	862	716	574
		59.05	0.312	1370	1165	1356	1148	957	788	636
		64.88	0.344	1506	1275	1484	1264	1055	878	703
		70.71	0.375	1639	1386	1629	1380	1150	959	787
		76.54	0.406	1770	1505	1784	1494	1245	1038	830
20	20	82.36	0.438	1910	1624	1903	1612	1343	1120	906
		88.19	0.500	2100	1815	2123	1840	1524	1278	1022
		94.02	0.250	980	833	978	820	690	575	460
		99.85	0.281	1100	935	1089	931	776	647	517
		105.68	0.312	1220	1037	1216	1030	868	716	572
		111.51	0.344	1350	1148	1345	1139	949	791	633
22	22	117.34	0.375	1470	1250	1466	1242	1035	863	690
		123.17	0.406	1590	1352	1589	1345	1121	934	747
		129.00	0.438	1720	1463	1713	1451	1209	1008	806
		134.83	0.500	1900	1666	1935	1655	1380	1150	920
		140.66	0.250	930	751	886	752	627	523	418
		146.49	0.281	1050	850	999	846	705	588	470
24	24	152.32	0.312	1170	944	1109	940	783	653	522
		158.15	0.344	1290	1046	1223	1036	863	720	576
		163.98	0.375	1410	1139	1322	1129	941	784	627
		169.81	0.406	1530	1232	1443	1223	1019	849	690
		175.64	0.438	1660	1326	1557	1318	1099	916	733
		181.47	0.500	1780	1513	1727	1506	1255	1046	836
26	26	187.30	0.250	1020	829	974	814	690	575	470
		193.13	0.281	1140	927	1088	915	775	646	528
		198.96	0.312	1260	1027	1217	1017	861	718	598
		204.79	0.344	1380	1120	1321	1120	950	791	650
		210.62	0.375	1500	1219	1440	1222	1035	863	715
		216.45	0.406	1620	1311	1563	1323	1120	934	778
28	28	222.28	0.438	1740	1406	1687	1427	1209	1007	840
		228.11	0.500	1920	1586	1829	1580	1340	1130	959
		233.94	0.250	760	646	751	636	530	442	354
		239.77	0.281	850	729	845	716	596	497	398
		245.60	0.312	940	799	933	795	662	552	447
		251.43	0.344	1040	884	1024	876	730	605	487
30	30	257.26	0.375	1130	961	1128	956	796	664	531
		263.09	0.406	1230	1046	1221	1025	862	719	575
		268.92	0.438	1330	1122	1317	1115	928	776	620
		274.75	0.500	1510	1284	1504	1274	1061	885	708
		280.58	0.250	700	595	699	591	493	411	328
		286.41	0.281	790	672	785	665	554	462	369
30	30	292.24	0.312	880	748	871	738	615	513	410
		298.07	0.344	970	825	961	814	678	565	452
		303.90	0.375	1050	893	1047	897	733	616	493
		309.73	0.406	1140	959	1124	950	800	667	544
		315.56	0.438	1230	1046	1223	1036	863	720	576
		321.39	0.500	1400	1190	1387	1183	986	822	657
30	30	327.22	0.250	600	511	552	460	384	314	257
		333.05	0.281	700	629	723	621	517	431	345
		338.88	0.312	800	697	813	689	574	478	383
		344.71	0.344	900	765	897	760	633	528	432
		350.54	0.375	990	833	976	830	690	580	484
		356.37	0.406	1080	901	1058	896	747	623	498
362.20	0.438	1180	978	1136	963	802	669	535		
368.03	0.500	1310	1114	1303	1104	920	767	613		

211

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.

(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-52

Tuberia soldada por resistencia eléctrica.

por arco eléctrico

ó por arco sumergido.

(Esfuerzo mínimo de cedencia especificado - 52,000 psi)

Díametro Nominal (Pulgadas)	Díametro Exterior (Pulgadas)	Peso (Lb/pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máxima Presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en constr. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en constr. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en constr. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en constr. Tipo "D" (Psi)
6	6.625	17.89	0.188	2220	1887	2508	2125	1771	1478	1180
		14.87	0.219	2340	2130	2972	2475	2063	1719	1375
		11.82	0.250	2460	2368	3236	2616	2155	1783	1418
		18.87	0.280	3020	2716	3736	3164	2633	2188	1759
		21.87	0.312	3060	2950	4163	3517	2939	2448	1959
		21.82	0.344	3220	2990	4550	3888	3240	2700	2160
		23.87	0.375	3250	3250	5081	4239	3532	2949	2355
		28.87	0.432	3300	3550	5765	4883	4068	3398	2712
8	8.625	16.50	0.188	1710	1454	1977	1632	1360	1124	907
		19.50	0.219	1840	1564	2201	1763	1483	1224	979
		19.64	0.219	1810	1537	2145	1721	1435	1175	956
		22.34	0.250	2270	1930	2562	2110	1808	1507	1266
		24.70	0.277	2310	2134	2839	2405	2004	1610	1326
		27.74	0.312	2430	2166	3159	2703	2257	1881	1505
		29.58	0.332	2530	2487	3300	2815	2330	1947	1563
		30.40	0.344	3020	2550	3576	2987	2489	2074	1659
33.04	0.375	3020	2550	3844	3256	2713	2261	1803		
38.28	0.438	3070	2550	4489	3802	3169	2641	2112		
42.33	0.500	3000	2550	5175	4311	3611	3015	2427		
10	10.75	21.15	0.188	1550	1318	1546	1210	1018	810	728
		27.65	0.203	1670	1420	1669	1414	1178	987	866
		24.68	0.219	1810	1539	1821	1526	1271	1060	918
		28.04	0.250	2000	1751	2054	1712	1451	1210	978
		31.20	0.275	2100	1935	2294	1913	1619	1450	1080
		34.24	0.307	2312	2151	2595	2138	1782	1495	1184
		38.28	0.344	2430	2406	2839	2390	1981	1624	1331
		40.48	0.365	3000	2500	3021	2547	2119	1764	1482
48.18	0.438	3000	2500	3501	3051	2547	2119	1695		
54.74	0.500	3000	2500	4111	3483	2907	2419	1925		
12	12.75	22.72	0.203	1410	1199	1408	1192	994	828	682
		29.28	0.219	1520	1292	1518	1286	1072	893	714
		32.78	0.250	1740	1479	1733	1468	1222	1029	846
		37.45	0.281	1950	1684	1942	1650	1375	1146	917
		41.31	0.312	2170	1875	2163	1832	1527	1273	1048
		43.71	0.330	2190	1947	2298	1938	1615	1346	1087
		45.35	0.344	2320	2097	2385	2020	1684	1403	1127
		49.56	0.375	2600	2270	2599	2203	1825	1508	1223
53.55	0.405	2820	2397	2815	2385	1987	1658	1325		
57.33	0.438	3000	2500	3037	2573	2144	1787	1423		
65.42	0.500	3000	2500	3466	2936	2447	2039	1631		
14	14	30.93	0.210	1320	1131	1376	1123	936	780	624
		37.20	0.219	1390	1182	1383	1171	976	814	658
		38.71	0.250	1580	1341	1519	1337	1114	929	741
		41.21	0.281	1780	1513	1724	1501	1252	1044	835
		45.68	0.312	1980	1683	1970	1669	1391	1159	927
		50.14	0.344	2180	1853	2172	1840	1533	1278	1022
		54.58	0.375	2370	2015	2368	2006	1672	1393	1114
		63.37	0.438	2710	2355	2766	2343	1952	1627	1302
72.05	0.500	3000	2500	3160	2674	2228	1857	1486		
16	16	35.81	0.219	1220	1037	1210	1025	854	712	570
		40.85	0.250	1390	1182	1381	1170	975	812	650
		47.22	0.281	1560	1324	1553	1315	1096	914	731
		50.36	0.312	1730	1471	1724	1460	1217	1014	811
		54.58	0.344	1910	1615	1901	1610	1349	1118	885
		60.58	0.375	2090	1769	2071	1785	1462	1219	975
		72.72	0.438	2430	2066	2470	2050	1708	1424	1139
		82.17	0.500	2710	2355	2763	2340	1950	1625	1300

b11

PRESION DE TRABAJO PARA TUBERIA.
(Basado en el Código ASA B-31.4-1959 y ASA B-31.8-1958)

API Standard 5LX-52
Tubería soldada por resistencia eléctrica,
por arco eléctrico
ó por arco sumergido.
(Esfuerzo mínimo de cedencia especificado - 52,000 psi)

Díametro Nominal (Pulgadas)	Díametro Exterior (Pulgadas)	Peso (lb/pie)	Espesor de pared (Pulgadas)	Presión de prueba en fábrica (Psi)	85% de la presión de prueba en fábrica (Psi)	Máxima presión de prueba hidrostática (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "A" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "B" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "C" (Psi)	Presión de trabajo en construcc. Tipo "D" (Psi)
18	13	41.39	0.250	1730	1468	1227	1010	866	722	518
		53.22	0.281	1300	1173	1300	1169	974	817	630
		59.03	0.312	1510	1300	1533	1330	1081	902	721
		64.82	0.344	1630	1437	1630	1431	1187	994	795
		70.59	0.375	1850	1573	1842	1560	1300	1084	887
		76.34	0.406	2000	1700	1994	1689	1408	1173	931
20	20	83.06	0.438	2160	1826	2154	1822	1519	1266	1012
		93.45	0.500	2460	2051	2456	2080	1733	1465	1156
		52.73	0.250	1110	944	1105	936	780	650	520
		59.73	0.281	1250	1063	1242	1052	877	732	584
		65.71	0.312	1380	1173	1379	1168	973	811	648
		72.16	0.344	1530	1301	1521	1284	1072	895	716
22	22	78.89	0.375	1660	1411	1658	1404	1170	975	780
		85.01	0.406	1800	1530	1784	1520	1261	1051	844
		91.41	0.438	1950	1649	1916	1640	1367	1133	911
		104.13	0.500	2270	1887	2210	1872	1560	1300	1010
		58.00	0.250	1000	859	1005	851	709	591	473
		63.24	0.281	1130	951	1129	956	797	664	531
24	24	72.38	0.312	1240	1071	1254	1062	885	738	590
		79.51	0.344	1390	1182	1382	1171	976	813	650
		86.41	0.375	1510	1284	1507	1271	1064	887	709
		93.43	0.406	1640	1394	1631	1387	1151	960	784
		100.17	0.438	1770	1505	1760	1491	1243	1036	848
		114.81	0.500	2010	1709	2005	1702	1418	1182	946
26	26	63.41	0.250	930	791	921	780	650	542	433
		71.75	0.281	1040	884	1035	877	731	609	487
		79.05	0.312	1150	978	1119	973	811	676	541
		86.85	0.344	1270	1080	1267	1074	895	746	596
		94.62	0.375	1390	1182	1331	1130	945	783	629
		102.37	0.406	1500	1275	1495	1266	1055	875	704
28	28	110.10	0.438	1620	1377	1613	1361	1139	945	759
		125.49	0.500	1850	1573	1842	1560	1300	1084	867
		68.75	0.250	860	731	850	720	600	500	400
		77.25	0.281	960	816	955	809	674	562	450
		85.73	0.312	1070	910	1051	899	749	624	499
		94.19	0.344	1170	995	1130	991	826	684	550
30	30	102.63	0.375	1280	1080	1275	1080	900	750	600
		111.05	0.406	1390	1182	1380	1169	974	812	650
		119.44	0.438	1500	1284	1487	1261	1051	876	701
		136.17	0.500	1700	1445	1700	1440	1200	1000	800
		74.88	0.250	790	672	790	669	557	465	372
		82.26	0.281	890	757	890	757	628	522	416
30	30	92.41	0.312	990	842	985	834	695	580	464
		101.53	0.344	1090	927	1088	920	769	639	511
		110.84	0.375	1190	1012	1184	1003	836	697	557
		119.72	0.406	1300	1097	1282	1086	905	754	600
		128.19	0.438	1390	1182	1383	1171	976	814	651
		146.85	0.500	1580	1343	1578	1337	1114	929	743
30	30	78.43	0.250	740	629	737	614	510	434	341
		87.27	0.281	830	706	805	701	584	487	390
		96.86	0.312	920	782	920	779	649	541	437
		106.88	0.344	1020	867	1014	859	716	597	477
		117.12	0.375	1120	944	1105	938	788	650	520
		128.40	0.406	1220	1020	1186	1013	844	704	563
30	30	138.13	0.438	1320	1105	1290	1046	881	759	607
		157.53	0.500	1490	1259	1473	1248	1000	867	693

120

CONCLUSIONES.

Una de las conclusiones que brotan a primera instancia con el desarrollo de este trabajo es que el diseño, cálculo, selección y construcción de una línea de gas natural tiene que ver con muchas disciplinas, tales como resistencia de materiales; dinámica de fluidos; procedimientos de soldadura; administración de personal; trabajos especiales y de mantenimiento, tanto generales como específicos para una línea de conducción; Normas y Especificaciones internacionales; geografía; aspectos legales; corrosión (Química); protección catódica; válvulas; etc. y que cada una por separado bien puede ser un tema de tesis o de un estudio todavía mas profundo. En este trabajo se toca cada tema con la profundidad requerida únicamente para comprender la magnitud del tema y entender su relación con el proyecto completo de diseño y construcción.

Como "Manual para Construcción de un Gasoducto", este trabajo cumple con los siguientes puntos:

a) Primeramente se dejan establecidos los procedimientos mediante los cuales se lleva la planeación y construcción de una línea de conducción de hidrocarburos, específicamente los relativos a una línea de gas natural.

b) Queda especificado en varios capítulos que para muchas decisiones que se deben tomar en campo, la última palabra esta en el ingeniero supervisor encargado de la construcción de la obra al momento de que se deban tomar dichas decisiones.

c) Los parámetros de construcción, tales como la trayectoria específica de la línea, la colocación exacta de las estaciones de compresión, de las válvulas de seccionamiento, la profundidad y ancho de la zanja, las obras especiales, etc., quedan a criterio del ingeniero a cargo del diseño de la línea, que deberá apoyarse en las Normas y Especificaciones que apliquen en cada caso.

d) Se mencionan las Normas y Especificaciones que rigen la construcción de estas obras en nuestro país, que en este caso son las Normas de Petróleos Mexicanos, las cuales están totalmente de acuerdo con las normas norteamericanas que rigen internacionalmente: Los Códigos A.S.M.E., A.N.S.I., A.P.I., A.W.S., etc. y se menciona en que parte interviene cada uno de ellos.

Como una medida ecológica para la ciudad de México re--- presenta una opción más para controlar o disminuir los nive--- les de contaminación del aire y evitar las ya conocidas "In--- versiones Térmicas", tan comunes en tiempos de frío y tan -- perjudiciales para todo ser viviente.

Este punto conviene recalcarlo: El Metano es el hidro--- carburo con la combustión mas limpia, ya que como se explico anteriormente, no produce cenizas ni residuos contaminantes como ácidos, sulfuros, alquitranes o parafinas que puedan ir hacia la atmósfera o que puedan impregnar las tuberías.

El punto anterior se refiere a lo que actualmente se está viviendo en la ciudad de México y probablemente comienza a presentarse en otras ciudades del país, pero debemos considerar lo que puede ocurrir en un futuro no muy lejano:

Las condiciones de desarrollo tecnológico actuales están exigiendo más recursos energéticos diariamente, y es un hecho que las reservas de petróleo son un recurso no renovable. Estas condiciones están orientando a la industria a buscar mas alternativas alterando en el mínimo posible la infraestructura ya instalada. Una de las tendencias para cubrir estas necesidades es el aprovechar los yacimientos de carbón mineral, al cual si se le hace pasar por un proceso de hidrogenación, se puede obtener como resultado Metano.

En México, esta alternativa se puede cubrir explotando - los yacimientos de carbón en nuestro país, o bien aprovechando los recursos de carbón de Estados Unidos, país que cuenta con una de las reservas mas grandes de carbón mineral en el planeta.

El conocer acerca de las líneas de conducción de hidro--- carburos, de sus ventajas, de sus características y su operación, brinda una opción mas para el aprovechamiento de los - recursos actuales y la adaptación a los posibles cambios que requiera nuestro país para crecer y mantenerse en el mundo -- desarrollado.

Desde el punto de vista del desarrollo personal, considero que este trabajo sirvió para remarcar los conocimientos adquiridos durante los años de estudio, y así mismo el poder observar la magnitud de las decisiones que se toman desde el momento de aceptar el reto de diseñar y/o hacer el proyecto de una línea de conducción, durante la realización de la obra y en el momento de la entrega de la misma. Estas responsabilidades se van a presentar lógicamente en cualquier proyecto, y será el ingeniero más capacitado, responsable y seguro el que pueda obtener la confianza de los clientes, en este caso la empresa para la cual se este trabajando o los consumidores directos del servicio.

Este trabajo sirvió además para adquirir nuevos conocimientos acerca de un área que desconocía, aplicando algunas experiencias que se tenían de antemano y logrando encontrar el punto de unión entre varias ramas de la ingeniería que en su momento se aprendieron por separado.

Otro parámetro importante que se debe tomar en cuenta es el hecho de que nadie, por capacitado y responsable que sea, puede en esta sociedad salir adelante sin el apoyo y colaboración de los demás miembros de la sociedad. Por un lado se trabaja para cumplir y satisfacer necesidades de los demás, y por otro lado se espera el reconocimiento y apoyo de esas personas que trabajan con nosotros, desde el personal a nuestro cargo hasta el mismo cliente, pasando por los compañeros de trabajo e incluso por aquellas personas que tan sólo están trabajando geográficamente junto a nosotros.

BIBLIOGRAFIA:

CRANE. Co. "FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS AND PIPE", 1976.

I.M.P. "PRINCIPIOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA"

White, Frank M. "MECANICA DE FLUIDOS". Mc.Graw Hill, 1984.

Bertin, John J. "MECANICA DE FLUIDOS PARA INGENIEROS". Prentice Hall, 1984.

Flinn, Richard A. y Trojan, Paul K. "MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES". Mc.Graw Hill, 1986.

Horowitz, Henry. "SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICA". - Ed. R.S.I.S.A. , 1979.

MARKS. "MANUAL DEL INGENIERO MECANICO". Mc. Graw Hill, - 1989.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES:

ANSI B.31.4-1974. "SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETROLEO -- LIQUIDO POR TUBERIAS".

ANSI B.31.8-1982. "SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE GAS POR TUBERIA".

API 5LX. "HIGH TEST PIPE LINE".

"ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE OBRAS. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETROLEO POR TUBERIA. Norma 3.374.01". PETROLEOS MEXICANOS, 1975.

"REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE TUBERIAS DE TRANSPORTE. Norma A-VIII-1".

"REGLAMENTO INTERIOR PARA LA TRAMITACION DE LOS DERECHOS DE VIA DE LOS NUEVOS DUCTOS PARA EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS Y PRODUCTOS PETROQUIMICOS. Normas A-VIII-2 Y A-VIII-3".

CATALOGOS:

Pipe Line Industry. "PIPE LINE CATALOG". Gulf Publishing Company Inc. Revisado de la publicacion de 1970.

Protexa.- MANUAL DE RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS.

F.I.P. -CATALOGO DE VALVULAS DE SECCIONAMIENTO PARA LINEAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS. (Distribuidor de W.K.M.)

T.D. WILLIAMSON. -CATALOGO GENERAL DE EQUIPOS PARA MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE TUBERIAS.

REMCO Manufacturing Company Inc.- EQUIPOS Y MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION DE LINEAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.

Him Pipe Beveling Machine Company Inc.- HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA PARA ARMADO DE TUBERIAS.