



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

RECIBIDO EN
ACATLAN A LOS 30 DE
NOVIEMBRE DE 1991

SR. ADRIAN GARCES ORTIZ
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 18 DE
NOVIEMBRE DE 1991, ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA
DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE
TESIS: " TUBERIA DE POLIETILENO PARA LA CONDUCCION DE AGUA EN
LA C.T. CARBON II COAH.", EL CUAL SE DESARROLLARA COMO SIGUE:

- I. - ANTECEDENTES.
- II. - LINEA DE CONDUCCION.
- III. - TUBERIAS DE POLIETILENO.
- IV. - JUSTIFICACION TECNICA PARA EL EMPLEO DE LA TUBERIA
DE POLIETILENO EN LA CONDUCCION DE AGUA.
- V. - OBRAS DE IMPORTANCIA QUE UTILIZAN TUBERIAS DE
POLIETILENO PARA LA CONDUCCION DE AGUA.
- VI. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFIA.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL SR. ING.
ALEJANDRO PENA BONILLA.



PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO
ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERA PRESTAR
SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO
REQUISITO BASICO PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL, ASI COMO
DE LA DISPOSICION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS
ESCOLARES EN EL SENTIDO DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE
LOS EJEMPLARES DE LA TESIS, EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO.
ESTA COMUNICACION DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA
TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO. RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
ACATLAN. EDO. DE MEX. A 12 DE ENERO DE 1992



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

FALLA DE ORIGEN

ING. CARLOS ROSALES AGUILAR
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A MI MADRE Y A MI PADRE

*GRACIAS A SU ESFUERZO Y APOYO
ESTE LOGRO PROFESIONAL SE LOS
DEBO UNICAMENTE A USTEDES,
POR SU COMPRESION Y SU
LUCHA INCONDICIONAL,
PARA LA CULMINACION
DE MIS ESTUDIOS
PROFESIONALES.*

A MI HERMANO

*GRACIAS POR TU AYUDA
INCONDICIONAL Y TUS
BUENOS DETALLES, PARA
MI ES UN HONOR DEDICARTE
ESTE TRABAJO PROFESIONAL,
QUE SIN TU APOYO NO LO
HUBIERA PODIDO LOGRAR.*

A TI MIRIAM

*GRACIAS POR HABER CONFIADO EN
MI, Y ESTE ES EL INICIO DE UNA
NUEVA VIDA QUE ESPEREMOS
QUE LLEGUE A SER TAN
PRÓSPERA COMO LA
CULMINACION DE
ESTE TRABAJO.*

INDICE

CAPITULO I ANTECEDENTES	1
1.1 CONCEPTO DE HIDRAULICA. SUBDIVISIONES	1
1.2 BREVE HISTORIA DE LAS LINEAS DE CONDUCCION	2
1.3 LA HIDRAULICA Y SU EVOLUCION	3
1.4 SITUACION ACTUAL DE LAS LINEAS DE CONDUCCION	7
CAPITULO II LINEAS DE CONDUCCION	8
2.1 TUBERIAS METALICAS	8
2.2 TUBERIAS NO METALICAS	10
2.2.1 TUBERIAS DE PVC	10
2.2.2 TUBERIAS DE POLIETILENO	12
2.2.3 TUBERIAS DE FIBROCEMENTO	14
CAPITULO III TUBERIAS DE POLIETILENO	15
3.1 HISTORIA DE LAS TUBERIAS DE POLIETILENO	15
3.2 PROPIEDADES DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	15
3.2.1 CARACTERISTICAS	16
3.2.2 FLUJO DE LIQUIDOS Y CALCULO	29
3.2.3 ESFUERZO HIDROSTATICO DE DISEÑO DEL MATERIAL	30
3.2.4 PRESION DE TRABAJO DE LA TUBERIA	31
3.2.5 GRAFICA DEL FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA	32
3.2.6 COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE POLIETILENO ENTERRADA	34
3.2.7 CALCULO DE DEFLEXION	35
3.2.8 ESPACIAMIENTO RECOMENDADO PARA SOPORTES DE TUBERIA	43
3.2.9 RESISTENCIA QUIMICA	46
3.3 USOS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	46
3.3.1 DE LA TUBERIA DE POLIETILENO A LA MINERIA	47
3.3.2 TUBERIA DE POLIETILENO PARA CONDUCCION DE GAS NATURAL	48

3.4 PARTICULARIDADES DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	49
3.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	49
3.4.2 SOPORTE Y RELLENO DE LA TUBERIA	49
3.4.3 TERMOFUSION	50
3.4.4 LIMITES DE TEMPERATURA	51
3.4.5 COMPATIBILIDAD	51
3.4.6 CONEXIONES Y ACCESORIOS	51
3.4.6.1 ACCESORIOS	54
3.4.7 PRECAUCIONES EN LA OBRA	55
3.4.8 UNION DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	56
3.4.9 HERRAMIENTAS	58
3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	60
CAPITULO IV JUSTIFICACION TECNICA PARA EL EMPLEO DE LA TUBERIA DE POLIETILENO EN LA CONDUCCION DE AGUA	62
4.1 PROYECTO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA CARBON II DE LA CFE	62
4.2 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DE LA RED HIDRAULICA	62
4.3 DESARROLLO DE UN TRAMO ESPECIFICO DEL PROYECTO GENERAL	67
4.4 COMPARATIVA DE POLIETILENO CON PVC Y ASBESTO CEMENTO	80
CAPITULO V OBRAS DE IMPORTANCIA QUE UTILIZAN TUBERIAS DE POLIETILENO PARA LA CONDUCCION DE AGUA	89
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFIA	95

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1 CONCEPTO DE HIDRAULICA. SUBDIVISIONES

El significado etimológico de la palabra hidráulica es "conducción de agua ", del griego; hydor, agua; y aulos, tubo, conducción.

Sin embargo, actualmente se le atribuye a la palabra hidráulica un significado mucho mas amplio: es el estudio del comportamiento del agua y de otros líquidos, ya sea en reposo o en movimiento. De aquí resulta una importante división teórica, o sea:

HIDRAULICA

1.1 GENERAL O TEORICA

- HIDROSTATICA

- HIDRODINAMICA

1.2 APLICADA O HIDROTECNICA

La Hidrostática estudia las propiedades de los líquidos en reposo, mientras que la Hidrodinámica tiene por objeto el estudio de los líquidos en movimiento.

HIDRAULICA APLICADA

1.1 HIDRAULICA URBANA

- SISTEMA DE ABASTO

- SISTEMA ALCANTARILLADO

- SISTEMA DESAGÜE PLUVIAL

- DRENAJE DE AREAS

1.2 HIDRAULICA RURAL O AGRICOLA

1.3 HIDRAULICA MARITIMA

- PUERTOS

- OBRAS MARITIMAS

1.4 INSTALACIONES HIDRAULICAS INDUSTRIALES

1.5 TECNICA HIDROELECTRICA

1.2 BREVE HISTORIA DE LAS LINEAS DE CONDUCCION

En todos los tiempos, las grandes ciudades han debido preocuparse de su suministro de agua. Incluso las ciudades antiguas de importancia se dieron pronto cuenta de que el carácter local de sus suministros -pozos poco profundos, manantiales y arroyos, era inadecuado para cubrir las modestas demandas sanitarias de entonces, y se vieron obligados a construir acueductos que trajeran el agua de fuentes lejanas. No cabe decir, sin embargo, que tales sistemas de suministro puedan compararse con los tiempos modernos; solo unos pocos ciudadanos entre los mas ricos disponían de agua corriente en sus casas o jardines, mientras la mayor parte de los habitantes transportaban el agua a sus viviendas, en vasijas, desde un numero reducido de fuentes o caños públicos. Las ciudades medievales eran mas pequeñas que en la Antigüedad y el suministro publico de agua era prácticamente inexistente. Los acueductos que había en la antigua Atenas, Roma y ciudades provinciales romanas, cayeron en desuso y su utilidad fue hasta olvidada.

El ingeniero de obras hidráulicas, en los tiempos antiguos, tropezaba con el gran problema de no disponer de un tipo de tubería que pudiese resistir siquiera moderadas presiones. Usó tuberías de arcilla, plomo, madera vaciada, de pequeño tamaño; pero, aun con estas, como con sus acueductos y túneles de mampostería, seguía la línea de pendientes hidráulicas, y raramente dispuso sus conducciones bajo presión.

Fue en el siglo XVII cuando se hicieron los primeros experimentos con tubería de hierro fundido, pero solamente a mediados del siglo XVIII empezaron a ser suficientemente baratas para permitir su amplio uso. La duración del hierro fundido y su inmunidad contra roturas y escapes hicieron pronto su uso casi universal, aunque el acero y otros materiales fueron también empleados. Este audaz avance, junto con el desarrollo de los métodos de elevación del agua, hicieron económicamente posible, incluso para los pueblos mas pequeños, la canalización de suministros de agua y su entrega en la casa de los ciudadanos.

Aunque algunas ciudades pudieron recoger agua potable de regiones deshabitadas, y con esto reducir las enfermedades endémicas a un nivel bajo, muchas otras se encontraron que

sus manantiales estaban peligrosamente contaminados y que el peligro se incrementaba al aumentar la población en su cuenca. Como consecuencia, se desarrollaron métodos de tratamiento que, desde que se aplicaron adecuadamente, han eliminado el riesgo.

La eficiencia de la filtración del agua fue reconocida por los ingenieros ya en el siglo XIX; pero los Municipios tardaron bastante en convencerse de la necesidad de gastar dinero en salvar vidas, y el tratamiento del agua no fue ampliamente adoptado hasta el año 1900 aproximadamente.

El suministro de agua de Filadelfia se hizo en un principio desde ríos en creciente contaminación, sin tratamiento de ninguna clase hasta 1906, en que se completó la instalación de filtros lentos de arena. Una reducción inmediata en la fiebre tifoidea siguió durante un período de siete años. Una tendencia a incrementar al final de este período, posiblemente causada por el aumento de la contaminación del agua no tratada, fue reprimida por la desinfección con cloro del agua filtrada. Después de 1920, se consiguió una disminución aun mayor mediante una cuidadosa vigilancia de las personas infectadas que se convertían en portadores de los gérmenes.

1.3 LA HIDRAULICA Y SU EVOLUCION

Desde los mas remotos tiempos se conocen obras hidráulicas de cierta importancia. Se tienen noticias de que en la antigua Mesopotamia existían canales de riego, construidos en la planicie situada entre los ríos Tigris y Eufrates; en Nipur (Babilonia), existían colectores de aguas negras desde 3,570 A.C.

Importantes obras de riego fueron también construidas en Egipto, veinticinco siglos antes de Cristo, bajo la orientación de Uni. Durante la XII dinastía se habían realizado significativas obras hidráulicas, inclusive el lago artificial de Meris, destinado a la regulación de las aguas del bajo Nilo.

El primer sistema público de abastecimiento de agua del que se tiene conocimiento, es el acueducto de Jewan, construido en Asiria en el año 691 A.C.

Grandes acueductos fueron construidos por los romanos, en varias partes del mundo. A partir del año 312 A.C. En el año 70 A.C. Sextus Julius fue nombrado Superintendente de Aguas de Roma.

En los siglos XVI la atención de los filósofos se volcó hacia los problemas encontrados en los proyectos de fuentes de agua monumentales, muy en boga en la Italia de aquella época. Así fue como Leonardo da Vinci percibió la importancia de observación en ese sector. Un nuevo tratado, publicado en 1586 por Stevin y las contribuciones de Galileo, Torriceli y Bernoulli constituyeron la base para la nueva rama científica.

A Euler se le deben las primeras ecuaciones generales para el movimiento de los fluidos. En su tiempo, los conocimientos que hoy constituyen la Mecánica de los Fluidos, se presentaban separados en dos campos distintos: la Hidrodinámica Teórica que estudiaba los fluidos perfectos y la Hidráulica Empírica donde cada problema era investigado separadamente. Desafortunadamente, sus estudios fueron encauzados separadamente en estos dos sentidos.

La asociación de estas dos ramas iniciales, constituyendo la "Mecánica de los fluidos", se debe principalmente a la Aerodinámica.

Conviene mencionar que la Hidráulica siempre constituyó un campo fértil para las investigaciones y análisis matemáticos, logrando dar lugar a estudios teóricos que frecuentemente se alejaban de los estudios experimentales. Varias ecuaciones así deducidas tuvieron que ser corregidas por coeficientes prácticos, lo que contribuyó para que la hidráulica sea también denominada: "ciencia de los coeficientes". Las investigaciones experimentales hicieron famosos a varios físicos de la Escuela Italiana, pudiendo citar entre ellos a Venturi, Bidone y otros.

Apenas en el siglo XIX, con el desarrollo de la producción de tubos de hierro fundido, capaces de resistir presiones internas relativamente elevadas, con el crecimiento de las ciudades y la importancia cada vez mayor de los servicios de abastecimiento de agua, además, consecuencia del empleo de nuevas máquinas hidráulicas, la Hidráulica tuvo un progreso rápido y acentuado.

Las investigaciones de Reynolds, los trabajos de Rayleigh y los experimentos de Froude constituyeron la base científica para ese progreso.

Las centrales hidroeléctricas comenzaron a ser construidas hacia el fin del siglo pasado.

INVENCIONES	AUTORES	FECHA	PAISES
Alcantarillado sanitario	---	3750 a.C.	Babilonia
Drenaje	Empédocles	450 a.C.	Grecia
Tornillo de Arquímedes	Arquímedes	250 a.C.	Grecia
Bomba de pistón	Ctesibius-Hero	200-120 a.C.	Grecia
Acueductos romanos	---	150 a.C.	Roma
Termas romanas	---	20 a.C.	Roma
Uso del vapor de agua	David Ramsey Thomas Savery	1630-1698	Inglaterra
Barómetro	E. Torricelli	1643	Italia
Compresor de aire	Otto Von Guericke	1654	Alemania
Tubería de hierro fundido-Bomba centrífuga	Johan Jordan	1664 1680	Francia
Máquina de vapor	Denis Papin	1690	Francia
Recipiente de inodoro	Joseph Bramah	1775	Inglaterra
Turbina hidráulica	Benoit Fourneyron	1827	Francia
Prensa hidráulica	Simon Stevin Joseph Bramah	1600 1796	Inglaterra Holanda
Empleo de hélices	Jonh Ericson	1836	Suecia
Tubo de barro vitrificado	Francis	1846	Inglaterra
Tubos de concreto armado	J.M.Momier	1867	Francia
Central hidroeléctrica		1882	Estados Unidos
Turbina de vapor	C.A.Parsons De Laval	1884 1884	Inglaterra Suecia
Submarino	J.P.Hollan	1898	Estados Unidos
Tubo de asbesto-cemento	A.Mazza	1913	Italia

Tabla 1.1 Antecedentes

1.4 SITUACION ACTUAL DE LA LINEAS DE CONDUCCION

Aunque hoy la hidráulica incluye el estudio de fluidos, hasta hace poco tiempo, el trabajo experimental se limitaba al agua.

La Mecánica de los Fluidos es más general, comprende los problemas relativos a los líquidos y a los gases.

Los Fluidos son los cuerpos cuyas moléculas tienen la propiedad de mover, las unas con relación a las otras, bajo la acción de fuerzas de mínima magnitud.

Los fluidos se subdividen en líquidos y gases (vaporosos). Los líquidos tienen las moléculas más cercanas y toman la forma del recipiente que los contienen, pero conservando su volumen prácticamente constante.

Los gases ocupan todo el volumen del recipiente que los contienen, aunque sean colocados en recipientes de diferente volumen. Su pequeña densidad y alta compresibilidad son características importantes.

Actualmente se está trabajando con líneas de conducción de diferentes materiales, por citar algunos ejemplos tenemos líneas de conducción hechas de mampostería, concreto armado, medias cañas, etc. (canales). Otros materiales empleados para la conducción de fluidos son las tuberías de acero al carbón con costura o sin costura, todo depende de las presiones que se vayan a manejar, las tuberías hechas de polímeros que en este campo encontramos las tuberías de Poli Cloruro de Vinil (PVC), tuberías de polietileno de alta densidad, tubería y/o manguera industrial, etc. Y por último se hará mención de las tuberías de asbesto cemento (fibro-cemento) ya poco empleadas, debido a información que surgió en los medios de comunicación referente a dichas tuberías producían células cancerígenas en el cuerpo humano y la misma nota informativa quedó respaldada por lo que fue Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE)

CAPITULO II. LINEAS DE CONDUCCION

2.1 TUBERIAS METALICAS

El acero se emplea frecuentemente para tuberías de agua, especialmente para grandes conducciones y sifones invertidos donde las presiones son altas y los tamaños grandes. Sin embargo, debido a las dificultades que presentan los empalmes, el acero muy rara vez se ocupa para las tuberías de distribución, aunque ha habido excepciones a esta regla, especialmente en California. Siendo el acero mucho más resistente que el hierro fundido, los grandes tubos de acero construidos para altas presiones tienen un peso mucho menor. Además de esta ventaja, los tubos de acero son más baratos, más fáciles de construir y más sencillos de transportar que los de hierro fundido. Presentan, sin embargo, importantes desventajas. los tubos no son apropiados para resistir cargas exteriores, ya que el vacío parcial producido al vaciar un tubo rápidamente puede dar origen a hundimientos o torceduras. los tubos roblonados sufren una pérdida en su capacidad de conducción debido a que las uniones y los roblones reducen el diámetro neto del tubo. El escaso espesor de las paredes y una mayor susceptibilidad para la corrosión dan origen a elevados gastos de conservación y a una reducción de su vida. Los tubos de acero, en condiciones medias, tienen una vida de 25 a 50 años. Las aguas y suelos corrosivos dan condiciones desfavorables. La arena, la arcilla, la pizarra y la ceniza, producen picaduras periféricas en la tubería.

Las tuberías de acero al carbón soldados longitudinalmente se destinan a la conducción de fluidos, solidos y semisolidos. Este tipo de tubería se fabrica también o se designa como tubería de acero con costura y sin costura, entendiéndose que la tubería de acero con costura es aquella que cuenta en su lomo, un cordón de soldadura y la tubería sin costura es aquella en la que prácticamente no se aprecia dicho cordón de soldadura.

El uso de tubería de acero en acueductos ha ido en aumento y ésto se debe a las ventajas que presenta el acero como son: alta resistencia a la tensión, vida útil larga, gran capacidad de conducción aún en casos de incremento del caudal y economía en su instalación. Además la ductilidad del acero permite su instalación en terrenos con topografía irregular, así mismo la alta capacidad de soporte de carga permanente y accidental, ductilidad, alta resistencia al impacto y seguridad.

El proceso de fabricación de la tubería es como sigue: el primer paso se inicia al introducir la materia prima por unas tijeras circulares cuya función es cortar las orillas de la placa, a fin de obtener posteriormente una unión perfecta. Inmediatamente después el tubo es formado en frío por una serie de rodillos, en varios pasos consecutivos.

Una vez concluida esta operación, se procede a aplicar una corriente eléctrica con una potencia de 600 Kw para soldar el tubo y obtener la más alta calidad. En virtud de que la materia prima se ve alterada por este proceso y con objeto de restituir a la misma sus propiedades de ductilidad, se aplica a la un tratamiento térmico a una temperatura mínima de 870°C.

Posteriormente se procede a inspeccionar la tubería por medio de ultrasonido; y posteriormente, se seccionan ambos extremos de la pieza para someterlos a prueba de aplastamiento y así verificar el material y la soldadura. Y por último se somete la tubería a la prueba hidrostática para verificar lo hermético de la misma.

Las características de estas tuberías es que se presentan en varios diámetros comerciales como son 144 mm a 1,219 mm. Fabricándose en tramos hasta 15.5 m.

Con este largo se obtiene ahorros considerables en el tiempo y en el costo de instalación, ya que a mayor longitud de tramos se utilizan menos juntas o uniones de campo, además de que se reducen gastos por manejos y transportación.

2.2 TUBERIAS NO METALICAS

2.2.1 TUBERIAS DE PVC

La tubería de Poli Cloruro de Vinil (PVC)(Tabla 2.2.1) se empezó a emplear en México aproximadamente en el año de 1946, como una alternativa en líneas de conducción por su bajo costo tanto de instalación como de operación, con la única limitante de soportar solamente presiones de rangos no mayores a los 25 Kg/cm².(Tabla 2.2.2)

La presentación de tubería de PVC se puede encontrar en el mercado, en tramos de 6 m ó mas según se requiera.

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA DE PVC

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	INTERPRETACION
Densidad	1.4	GR/CM	Su bajo valor representa menor peso con respecto a otros tubos
Resistencia a la tensión a 23°C.	492	KG/CM ²	Resistencia a la presión hidráulica
Resistencia al impacto Charpy a 23°C	633	KG — CM/CM ¹	Resistencia a golpes
Dureza	78-82	SHORE D	Resistencia a la penetración
Resistencia a la compresión 23°C	633	KG/CM ²	Comportamiento frente a las cargas vivas
Esfuerzo de diseño hidrostático	140	KG/CM ²	Garantiza la vida útil de la tubería
Coefficiente de rugosidad de Manning	0.009		Si es bajo el coeficiente ofrece mínima resistencia al paso de agua
Módulo de elasticidad	28100	KG/CM ²	Respuesta al golpe de ariete
Hermeticidad	Buena		El flujo de agua no presenta fugas

Tabla 2.2.1.

PRESIONES DE TRABAJO EN TUBERIAS DE PVC EN SISTEMAS INGLES Y METRICO

SISTEMA INGLES

RD	PRESION DE TRABAJO (LB/PLG²)	PRESION DE PRUEBA (LB/PLG²)	PRESION SOSTENIDA A LARGO PERIODO (1000 Hs 23c) (LB/PLG²)
13.5	318.53	1009.62	675.45
21.0	199.08	639.90	426.60
26.0	159.26	504.81	335.59
32.5	127.98	398.16	277.29
41.0	100.96	318.53	213.30
64.0	63.99	204.77	136.51

SISTEMA METRICO

CLASE	PRESION DE TRABAJO (KG/CM²)	PRESION DE PRUEBA (KG/CM²)	PRESION SOSTENIDA A LARGO PERIODO (1000 Hs 23c) (KG/CM²)
5	5.0	16.0	10.7
7	7.0	22.4	15.0
10	10.0	32.0	21.5
14	14.0	44.7	29.5
20	20.0	64.0	42.5

Tabla 2.2.2

La tubería de PVC tiene la ventaja de instalarse por medio de campana integrada y coples, esto se hace por medio de productos cementantes. La tubería en tramo está integrada por lo que se llama conexión hembra y macho.

Las conexiones de la tubería de PVC son las que a continuación se enumeran:

- Tee
- Codo de 22°
- Codo de 45°
- Codo de 90°
- Cople de reparación hidráulica
- Cruz
- Reducción campana
- Abrazadera hidráulica
- Tapón
- Anillo de hule
- Otros

2.2.2 TUBERIAS DE POLIETILENO

La tubería de polietileno de alta densidad es material plástico con ciertas características (negro de humo), las que se tratarán en su respectivo momento, capaz de soportar la conducción de fluidos y gases a presión.

Fue creada en Alemania y perfeccionada en Estados Unidos, para posteriormente ser introducida a México en el año de 1970.

La ventaja de dicha tubería es que su unión se hace a base de un procedimiento llamado "termofusión", el que consiste en pegar la tubería por medio de calor en forma de vulcanización.

Cabe hacer notar que dicha tubería no es necesario darle casi ningún tipo de mantenimiento, ya que resiste todo tipo de corrosión, así como al ataque de innumerables agentes químicos. Cuenta con un acabado tipo espejo en su interior de n-0.009 "Manning" y aproximadamente 50 años de vida útil enterrada y 15 años de resistencia a la intemperie.

Esta tubería presenta una alta compresibilidad, ya que puede comprimirse hasta dejar el diámetro interior totalmente cerrado, recuperando su diámetro original, sin que con esto altere sus propiedades originales.

Por el material de la fabricación con que está hecha este tipo de tubería, es semiflexible dando como resultado que en tramos largos se pueda evitar el uso de conexiones para cambio de dirección, como el ejemplo de codos de 45 y 90 grados.

Las tuberías de polietileno cuentan con casi todos los accesorios necesarios para instalarla, como es el caso de:

1. silletas
2. tee
3. cople
4. brida
5. tapón
6. reducción
7. codo

Con respecto al equipo para instalarla sería:

1. carro alineador
2. calentador eléctrico
3. escuadrador
4. generador eléctrico

Las aplicaciones de la tubería son: en la minería para evitar la abrasión y los suelos difíciles; en la construcción se emplea para evitar las fugas de agua así como los altos costos de excavación; y por último en la industria para disminuir los tiempos al hacer los tendidos de las mismas (líneas de conducción).

2.2.3 TUBERIA DE FIBROCEMENTO

El tubo de fibrocemento consta de una mezcla de cemento Portland y fibra de asbesto. Estos tubos se han empleado durante muchos años con éxito en Europa. En Gran Bretaña se fabrican desde 1928 y tienen una vida útil superior a 30 años. Se fabrican en longitudes de 4 m, y en tamaños de 50 a 600 mm (2" a 24"), para presiones de trabajo de 5, 7, 10 y 14 kg/cm². Tiene la ventaja de su inmunidad a la acción de los suelos ordinarios y también de los ácidos y sales, y no siendo conductores de la electricidad, no les afecta la electrólisis. No se producen tuberculizaciones, y por lo tanto el tubo permanece liso aunque conduzca agua corrosiva, deduciéndose de los ensayos que el valor de C de la fórmula de Hazen-Williams puede ser de 140.

CAPITULO III. TUBERIAS DE POLIETILENO

3.1 HISTORIA DE LAS TUBERIAS DE POLIETILENO

Con el desarrollo de los plásticos después de la segunda guerra mundial, se descubrió la enorme versatilidad que estos presentaban para cubrir todo género de necesidades. Sobresalió entre éstas la elaboración de tuberías, donde el polietileno de alta densidad empezó a desarrollar, primero para la conducción de gas natural, especialmente en Europa, E.U. y Canadá, diversificándose luego para toda clase de fluidos a presión, aprovechando la gran resistencia al ataque químico que este material presenta, incluyendo la conducción de agua potable.

Conforme se desarrollaba la industria, se iba perfeccionando constantemente la calidad de las resinas hasta alcanzar a mediados de los 80's los grados más grandes que hasta ahora presenta, donde gracias a una distribución molecular optimizada, se presentaba un producto que ofreciera grandes cualidades de resistencia a la presión, sin demérito de sus demás cualidades poliméricas.

Con esta clase de resina, conocida por su clave **PPI** (Plastic Pipe Institute) como polietileno de alta densidad PE-3408 con la que se elabora desde 1986 la tubería de polietileno en México.

3.2 PROPIEDADES DE LA TUBERIA DE POLIETILENO

La tubería de polietileno de alta densidad, tiene características sobresalientes con respecto a otros materiales al momento de compararse.

- **Ligereza**
- **Resistencia a la abrasión**
- **Resistencia al ataque químico**
- **Excelente resistencia al impacto**
- **Magnífica resistencia a la presión interna**
- **Excelente resistencia al intemperismo**
- **Sistema de unión por termofusión**
- **Excelente flexibilidad**

Es precisamente este último punto en el que se centra el estudio de la tubería.

Definamos ante todo el módulo de elasticidad de un material, que como una cualidad propia de resistencia que ofrece éste a sufrir deformaciones.

El modulo de elasticidad del polietileno, ofrece una variable muy característica. puesto que varía con el esfuerzo al que se ve impuesto.

La materia prima con la que se fabrica la tubería de polietileno PE 3408 de Alta-Densidad (HDPE) y Extra Alto Peso Molecular (EHMW), lo que entre otras propiedades, la convierten en la tubería que mejores características ofrece en aplicaciones para la conducción de agua potable, industria, minera, etc, donde la corrosión y la erosión representa los problemas más importantes a resolver.

3.2.1 CARACTERISTICAS

Las tuberías de polietileno al igual que sus aditamentos especiales se unen por medio del sistema de termofusión, el cual consiste en calentar ambos tramos a unir hasta alcanzar su punto de fusión, donde al tener dicha condición se unen ambos tramos por medio de presión y se espera a que enfrién dichas partes, consiguiendo esto se separan los tramos del equipo

de termofusión y se verifica si la termofusión ha sido concluida. Al finalizar dicho procedimiento se logra una unión monolítica más resistente que la misma tubería y con un 100% hermética.

Otra forma de unir la tubería de polietileno con sistemas no compatibles, es decir unión de polietileno con PVC, con cobre u otro tipo de material metálico, se puede hacer por medio de adaptadores bridados o de compresión como es el caso de las tuercas unión.

No existe ningún producto hasta la fecha conocido que pueda unir la tubería de polietileno por medio de algún elemento cementado.

A la fecha, se encuentran tuberías de polietileno en México con diámetros nominales de 13 mm (1/2") a 900 mm (36"), de diferentes espesores de pared conocidos como RD que significa la relación de dimensiones que sirve para la clasificación de dicha tubería, según su rango de presión de trabajo, es la abreviatura de: "Relación de Dimensiones". El RD se refiere a la proporción que existe entre el diámetro exterior y el espesor mínimo de pared del tubo. Pudiendo expresarse por medio de la siguiente fórmula.

$$RD = \frac{D}{e}$$

Donde: RD = Relación de dimensiones
 D = Diámetro exterior del tubo
 e = espesor mínimo de pared del tubo

Dentro de un mismo RD la proporción entre el diámetro exterior y el espesor de pared se mantiene constante. Esto significa que un RD-17, el diámetro exterior es 17 veces mayor que el espesor de pared. Esto es sin importar el diámetro de que se trate.

Por ejemplo, una tubería de 100 mm (4"), con diámetro exterior real de 114.3 mm y un espesor de pared de 6.7 mm es el RD-17. Un tubo de 300 mm (12"), con diámetro exterior real de 323.8 mm y un espesor de pared de 19 mm, es también un RD-17.

Los RD comerciales para la tubería de polietileno de fabricación mexicana son:
RD-9, RD-11, RD-13.5, RD-17, RD-21, RD-32.5, RD-41. (Según Tablas 3.2.1 a 3.2.8)

A menor número RD corresponde una pared más gruesa en comparación con el diámetro exterior, inversamente, a mayor número RD corresponde una pared más delgada en comparación con el diámetro exterior.

Teniéndose dos tuberías del mismo diámetro, la de espesor de pared mayor será más resistente que la de pared más delgada. Por esto, las tuberías RD alto son para presiones más bajas que las RD bajo. Como ejemplo de esto, un RD-13.5 se utiliza para una presión de trabajo mayor que un RD-21.

Todas las tuberías de un mismo RD, sin importar el diámetro, tendrán la misma capacidad de trabajo. Una tubería RD-17 de 100 mm (4"), podrá utilizarse para la misma presión de trabajo que una RD-17 de 900 mm (36"), o una de 50 mm (2"), del mismo RD-17.

RD-9	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 56.2
	18.7	14.0	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA (mm)	NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR mm	ESPEJOR DE PARED (mm)	LARGO ROLLOS O TRAMOS (m)	PESO (Kg/ml)
13	1/2	21.3	2.3	150	0.146
19	3/4	26.7	3.0	150	0.235
25	1	33.4	3.7	150	0.355
32	1 1/4	42.2	4.6	150	0.542
38	1 1/2	48.3	5.3	150	0.716
50	2	60.3	6.7	150	1.124
60	2 1/2	73.0	8.1	150	1.650
75	3	88.9	9.8	12	2.480
100	4	114.3	12.7	12	4.138

Tabla 3.2.1

RD-11	PRESTON DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 45.0
	15.0	11.2	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR PARED	LARGO ROLLO O TRAMO	PESO
mm	pulg	mm	mm	metros	Kg/m
50	2	60.3	5.5	150	0.970
60	2 1/2	73.0	6.6	150	1.440
75	3	88.9	8.1	12	2.070
100	4	114.3	10.4	12	3.440
150	6	168.3	15.3	12	7.350
200	8	219.1	19.9	12	12.715
250	10	273.0	24.8	12	19.010
300	12	323.8	29.4	12	27.870
350	14	355.6	32.3	12	32.310
400	16	407.4	36.9	12	42.800
450	18	457.2	41.5	12	54.532

Tabla 3.2.2

RD-13.5	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 36.1
	12.0	9.0	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR PARED	LARGO ROLLO TRAMO	PESO
mm	pulg.	mm	mm	metros	Kg/ml
32	1 1/4	42.2	3.1	150	0.400
38	1 1/2	48.3	3.6	150	0.560
50	2	60.3	4.5	150	0.810
60	2 1/2	73.0	5.4	150	1.050
75	3	88.9	6.6	12	1.745
100	4	114.3	8.5	12	2.880
150	6	168.3	12.6	12	6.240
200	8	219.1	16.2	12	10.410
250	10	273.0	20.2	12	15.910
300	12	323.8	24.0	12	22.960
350	14	355.6	26.3	12	27.075
400	16	407.4	30.1	12	35.615
450	18	457.2	33.8	12	44.990
500	20	508.0	37.6	12	55.590
550	22	558.8	41.3	12	67.180
600	24	609.6	45.1	12	80.098

Tabla 3.2.3

RD-17	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 28.0
	9.3	7.0	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR PARED	LARGO ROLLO O TRAMO	PESO
mm	pulg	mm	mm	metros	Kg/ml
50	2	60.3	3.5	150	0.660
60	2 1/2	73.0	4.2	150	0.915
75	3	88.9	5.2	12	1.420
100	4	114.3	6.7	12	2.320
150	6	168.3	9.9	12	5.190
200	8	219.1	12.9	12	8.510
250	10	273.0	16.1	12	13.320
300	12	323.8	19.0	12	18.600
350	14	355.6	20.9	12	22.115
400	16	407.4	23.9	12	28.870
450	18	457.2	26.8	12	35.610
500	20	508.0	29.8	12	45.000
550	22	558.8	32.8	12	54.520
600	24	609.6	35.8	12	65.019
650	26	660.4	38.8	12	76.285
700	28	711.2	41.8	12	88.544
750	30	762.0	44.8	12	101.617
800	31.5	800.0	47.0	12	111.986
810	32	812.0	47.8	12	115.696
850	34	863.0	50.8	12	130.570
900	36	914.4	53.7	12	146.233

Tabla 3.2.4

RD-21	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 22.3
	7.4	5.6	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR PARED	LARGO ROLLOS O TRAMOS	PESO
mm	ulg	mm	mm	metros	Kg/ml
60	2 1/2	73.0	3.4	150	0.770
75	3	88.0	4.2	12	1.172
100	4	114.3	5.4	12	1.932
150	6	168.3	8.0	12	4.100
200	8	219.1	10.4	12	6.900
250	10	273.0	12.9	12	10.870
300	12	323.8	15.3	12	15.250
350	14	355.6	16.9	12	18.338
400	16	407.4	19.3	12	23.020
450	18	457.2	21.8	12	31.350
500	20	508.0	24.8	12	38.320
550	22	558.8	26.6	12	45.325
600	24	609.6	29.0	12	53.947
650	26	660.4	31.4	12	62.432
700	28	711.2	33.8	12	72.391
750	30	762.0	36.2	12	83.090
800	31.5	800.0	38.1	12	91.123
810	32	812.0	38.7	12	94.740
850	34	863.0	41.1	12	106.923
900	36	914.4	43.5	12	119.843

Tabla 3.2.5

RD-26	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 18
	6.0	4.5	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR PARED	LARGO ROLLO O TRAMO	PESO
mm	pulg.	mm	mm	metros	Kg/ml
32	1 1/4	42.2	1.6	150	0.206
38	1 1/2	48.3	1.8	150	0.271
50	2	60.3	2.3	150	0.425
60	2 1/2	73.0	2.8	150	0.619
75	3	88.9	3.4	12	0.920
100	4	114.3	4.4	12	1.528
150	6	168.3	6.5	12	3.314
200	8	219.1	8.4	12	5.606
250	10	273.0	10.5	12	8.675
300	12	323.8	12.5	12	12.202
350	14	385.6	15.6	12	14.676
400	16	407.4	15.6	12	19.169
450	18	457.2	17.6	12	24.261
500	20	508.0	19.5	12	29.950
550	22	558.8	21.5	12	36.857
600	24	609.6	23.4	12	43.047
650	26	660.4	25.4	12	49.708
700	28	711.2	27.3	12	58.902
750	30	762.0	29.3	12	67.392
800	31.5	800.0	30.8	12	74.438
810	32	812.0	31.3	12	77.460
850	34	863.0	33.2	12	87.394
900	36	914.4	35.2	12	97.170

RD-32.5	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		PRESION DE REVENTAMIENTO 14.2
	4.7	3.6	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPEJOR PARED	LARGO ROLLO O TRAMO	PESO
mm	ulg	mm	mm	metros	Kg/ml
75	3	88.9	2.7	12	0.735
100	4	114.3	3.5	12	1.430
150	6	168.3	5.2	12	2.780
200	8	219.1	6.7	12	4.510
250	10	273.0	8.4	12	7.044
300	12	323.8	9.9	12	9.850
350	14	355.6	10.9	12	11.740
400	16	407.4	12.5	12	15.596
450	18	457.2	14.0	12	19.730
500	20	508.2	15.6	12	24.140
550	22	558.8	17.2	12	29.460
600	24	609.6	18.7	12	34.963
650	26	660.4	20.3	12	41.125
700	28	711.2	21.8	12	47.590
750	30	762.0	23.4	12	54.140
800	31.5	800.0	24.6	12	60.545
810	32	812.0	25.0	12	62.384
850	34	863.6	26.5	12	70.870
900	36	914.4	28.1	12	81.000

Tabla 3.2.7

RD-41	PRESION DE TRABAJO Kg/cm ²		FRESION DE REVENTAMIENTO 11.3
	3.7	2.8	
FACTOR DE SEGURIDAD	3	4	

MEDIDA NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPEJOR PARED	LARGO ROLLO O TRAMO	PESO
mm	pulg.	mm	mm	metros	Kg/ml
100	4	114.3	2.8	12	1.140
150	6	168.3	4.1	12	2.220
200	8	219.1	5.3	12	4.100
250	10	273.0	6.6	12	5.830
300	12	323.8	7.8	12	8.300
350	14	355.6	8.6	12	9.450
400	16	407.4	9.9	12	12.400
450	18	457.2	11.1	12	15.750
500	20	508.2	12.4	12	19.430
550	22	558.8	13.6	12	24.130
600	24	609.6	14.8	12	27.945
650	26	660.4	16.1	12	32.875
700	28	711.2	17.3	12	38.104
750	30	762.0	18.5	12	43.719
800	31.5	800.0	19.5	12	47.898
810	32	812.0	19.8	12	49.835
850	34	863.6	21.0	12	56.228
900	36	914.4	23.0	12	63.137

Tabla 3.2.8

La tersura de la pared del interior de la tubería se conserva durante todo el tiempo que se requiere su servicio, debido a la resistencia que se tiene a las incrustaciones.

Los valores empleados para el cálculo de flujo son:

C de 150 para la fórmula de Hazen-Williams y

n de 0.009 como factor de Manning.

Con la tubería de polietileno no se tiene el riesgo de pérdidas de material por fracturas debidas a golpes en el manejo de carga, almacenamiento o instalación. Esto evita hacer gastos para excedentes por mermas y desperdicios.

En todos los diámetros de tubería es posible disminuir considerablemente la cantidad de codos para el cambio de dirección, si el radio de curvatura de la tubería se conserva con un mínimo de 10 veces el diámetro del tubo, según el RD que se utilice. Esto, aunado a la tersura de su pared, disminuye al mínimo posible las pérdidas por fricción.

La tubería de polietileno pesa menos que la mayoría de otras tuberías en los mismos diámetros, como es el caso del concreto, el acero, el asbesto-cemento y el fierro fundido.

Su peso específico es de 0.955-0.957 por lo que puede inclusive flotar en el agua, característica que se refleja en ahorros substanciales en mano de obra y manejo para acarreos e instalación de la tubería.

Las tuberías de polietileno son inertes a la acción de la mayoría de los agentes químicos que se manejan en la industria y no se ve afectada por la composición natural de los diferentes terrenos o agua marina.

Como las tuberías de polietileno no son conductores de electricidad no se presenta la corrosión por electrólisis. Asimismo, no favorece el crecimiento de algas o bacterias, ni la formación de incrustaciones.

El tiempo de vida útil estimado para la tubería en redes subterráneas que conducen agua a 23°C es de cuando menos 50 años en condiciones normales de operación, lo que supera con creces cualquier estimado de amortización en este capítulo de servicios públicos.

Las tuberías de polietileno se utilizan también en el manejo de materiales altamente abrasivos, como es el caso de conducción de lodos o "slurry", con una vida hasta 4 veces mayor que el acero en estos sistemas, por lo cual tienen gran aceptación en la industria minera.

Las de alta densidad cuentan con una protección contra los daños que pudiera causar su exposición a los rayos ultra-violeta del sol. El material contiene de 2-3% de negro de humo, uniformemente disperso, que además de darle color negro uniforme lo protege de los efectos adversos de la intemperie.

Las propiedades físicas y químicas del material proporcionan características relevantes para poder utilizarse en cualquier tipo de terreno. La tubería no es frágil ni excesivamente rígida, se flexiona ajustándose al contorno natural del terreno y absorbe esfuerzos por impacto, por lo que no requiere de encamados, acostillamientos, atraques ni de cepas muy profundas. Solo en terreno rocoso se recomienda proteger la tubería del contacto directo de rocas muy agudas.

Las características de resiliencia y flexibilidad permite que la tubería absorba esfuerzos por oleaje, vibración o movimientos de terreno, por lo que su aplicación resulta la opción ideal en el cruce de ríos, lagos, pantanos o donde el terreno sea arenoso o inestable.

Todas las tuberías termoplásticas son sensibles a los cambios de temperatura, conforme la temperatura aumente, la resistencia de la tubería a esfuerzos prolongados disminuye y viceversa.

3.2.2 FLUJO DE LIQUIDOS Y CALCULO

La superficie tersa de las tuberías de polietileno resiste la formación de incrustaciones y la corrosión, minimizando también las pérdidas por fricción, lográndose propiedades de flujo superiores a las de muchos otros sistemas de tuberías.

Conociéndose el diámetro interior de una tubería y suponiendo una velocidad nominal, el volumen del flujo se puede calcular con la fórmula:

$$Q = 0.7854 VD^2$$

Donde: Q = Gasto en m³/s
 V = Velocidad media, en m/s
 D = Diámetro, en m

Conociendo el gasto necesario y suponiendo una velocidad nominal de flujo, el diámetro del tubo se obtiene con:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0.7854 V}}$$

Por otro lado, conociendo el gasto necesario y el diámetro interior del tubo, la velocidad de flujo será:

$$V = \frac{Q}{0.7854 D^2}$$

Caída de presión

El cálculo de pérdidas de flujo se basa en la fórmula Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

f = Factor de fricción, adimensional

g = Aceleración de la gravedad, en m/s^2

h_f = Pérdidas por fricción, en m

D = Diámetro, en m

L = Longitud del tubo, en m

V = Velocidad media, en m/s

3.2.3 ESFUERZO HIDROSTATICO DE DISEÑO DEL MATERIAL

El esfuerzo hidrostático de diseño para el material de polietileno se determina por la consideración adoptada internacionalmente para este tipo de material, teniendo como base los datos siguientes:

Esfuerzo hidrostático a períodos largos a 23°C a 100,000 hrs 112.52 Kg/m²

Factor de seguridad 2.0

Esfuerzo hidrostático de diseño 56.26 Kg/m²

Estos datos se toman como base para:

3.2.4 PRESIÓN DE TRABAJO DE LA TUBERÍA

$$P = \frac{2Se}{D-e}$$

Donde: **P** = Presión de trabajo
 S = Esfuerzo hidrostático de diseño
 D = Diámetro exterior del tubo
 e = Espesor mínimo de pared

Los rangos de presión de la tubería de polietileno se clasifican como anteriormente se mencionó, en la relación de dimensiones (RD).

$$RD = \frac{D}{e}$$

Por lo que la fórmula de presión de trabajo de la tubería puede presentarse de las siguientes maneras:

$$P = \frac{2Se}{D-e} \quad \text{ó} \quad P = \frac{2S}{RD-1}$$

Donde: **P** = Rango de presión, en Kg/cm²
 D = Diámetro exterior del tubo, en cm

e = Espesor mínimo de pared, en cm

S = Esfuerzo hidrostático de diseño

RD= Relación de dimensiones

Considerando que la temperatura de trabajo de las tuberías en el campo, no es la de laboratorio, de 23°C, sino que puede tener variantes hacia abajo o hacia arriba de este valor, la modificación de las fórmulas anteriores, por efectos de temperatura, se presentan:

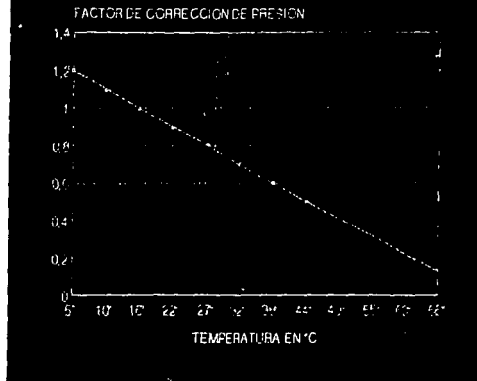
$$P = \frac{2S}{RD-1} F \quad \text{ó} \quad P = \frac{2Se}{D-e} F$$

Donde: **P** = Presión de diseño, en Kg/cm²
D = Diámetro exterior del tubo especificado, en cm
S = Esfuerzo hidrostático de diseño, en Kg/cm²
e = Espesor mínimo de pared, en cm
F = Factor de diseño de servicio, según temperatura
RD= Relación de dimensiones

3.2.5 GRAFICA DEL FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA

Con objeto de contar con los porcentajes en los que aumenta o disminuye la capacidad de trabajo de la tubería de polietileno de alta densidad, como resultado de la temperatura, se presenta la siguiente gráfica con las coordenadas de temperatura y factor de corrección correspondiente, cuando la tubería tiene el factor de 1.0, que equivale al 100% de su capacidad.

GRAFICA DEL FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA



El factor de diseño de la tubería, respecto a su temperatura, es conveniente manejarlo con debido cuidado, ya que pueden presentarse varios problemas durante su instalación y operación. Esto es con el fin de que la línea no sufra deterioros o daños.

El coeficiente de expansión-contracción térmica del polietileno de alta densidad es de:

$$CET = 6.67 * 10^{-3} \text{ cm/mt/}^{\circ}\text{C}$$

Ejemplo: Suponiendo que se tiene una tubería de polietileno de 2,500 m. fue instalada en la mañana a 15°C; al mediodía a 35°C, cuanto medirá ?;...Y en la noche a 5°C ?.

El fenómeno que ocurre al mediodía es una expansión será como sigue:

$\text{Expansión} = 6.67 \cdot 10^{-3} \text{ cm/m/}^\circ\text{C} (2,500 \text{ m}) \cdot (+20^\circ\text{C}) = 333.5 \text{ cm.}$

La línea creció 3.335 metros a lo largo de 2,500 metros, ahora mide 2,503.335 metros.

El otro fenómeno que ocurre en la noche es una contracción y se presenta como:

$\text{Contracción} = 6.67 \cdot 10^{-3} \text{ cm/m/}^\circ\text{C} (2,500 \text{ m}) \cdot (-10^\circ\text{C}) = -166.75 \text{ cm.}$

Esto indica que la línea se contrajo en 1.6675 m, y ahora mide 2,498.332 metros.

Esta característica es propia del material, por lo tanto no depende ni del diámetro ni del RD.

3.2.6 COMPORTAMIENTO DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO ENTERRADA

La flexibilidad de la tubería de polietileno permite que pueda deformarse sin presentar fractura o falla. al grado de que el terreno circundante a la tubería le proporcionará un soporte contra compresión. En el caso de las tuberías rígidas el esfuerzo provocado por el peso del relleno debe absorberlo principalmente la tubería.

La resistencia y estabilidad o flexibilidad de la combinación tubería-terreno ha sido ampliamente analizada con experiencia tanto en el campo como en el laboratorio.

Las características de flexibilidad y resistencia de la tubería de polietileno la convierten en la solución ideal para líneas de conducción enterradas. Esta tubería puede ajustarse fácilmente a la configuración del terreno por muy tortuoso que sea, eliminando una gran cantidad de codos. Su capacidad para soportar deflexiones sin dañarse le permite liberarse de esfuerzos provocados por el peso de la tierra, que podría dañar a otro tipo de tuberías mas rígidas y frágiles.

Cargas de compresión

La carga total estimada sobre una tubería enterrada es la suma del peso del relleno sobre el tubo más las sobrecargas externas. Las cargas del relleno por unidad lineal de tubería pueden calcularse conociendo el tipo de material, las dimensiones de la zanja y el diámetro del tubo.

En caso de que la tubería se encuentre con arena o relleno húmedo, para materiales granulares no cohesivos, la carga debe reducirse en un 10%. En caso de arcillas secas el valor debe incrementarse en un 30% y para las arcillas húmedas el incremento debe ser de un 40%.

En el caso de tuberías enterradas bajo el nivel freático, la carga sobre el tubo puede reducirse debido al efecto de flotabilidad producido por el agua. Sin embargo, esta disminución no debe tomarse en cuenta debido a que la altura del nivel freático puede tener variantes muy significativas en sus dimensiones.

Aún suponiendo que la altura del nivel freático no tuviera variantes importantes, un criterio conservador para el diseño es considerar uniforme el valor de la mayor carga en estas condiciones.

En el cálculo de los esfuerzos totales que actúan sobre una tubería enterrada, deben considerarse también las sobrecargas debidas al tránsito de vehículos.

3.2.7 CALCULO DE DEFLEXION

Las experiencias, con las tuberías de polietileno han mostrado que no se presentan fallas por aplastamiento cuando las condiciones de instalación son las correctas.

La teoría de las cargas externas aceptadas por ASTM (American Society for Testing and Materials) y AWWA (American Water Works Association), es la teoría para tubos flexibles desarrollada por Spangler y derivada de sus observaciones de tuberías flexibles de pared delgada.

En la clasificación técnica de productos tubulares, se entiende por tubo rígido aquel que no permite deformaciones mayores de 0.1% de su diámetro, sin que haya fracturas.

Tubo semirrígido aquel que permite deformaciones entre 0.1 y 3% sin sufrir fracturas, y tubo flexible todo aquel que permite deformaciones de más de 3% sin fractura.

Existen básicamente dos tipos de cargas externas: las llamadas cargas muertas provocadas por el efecto del peso de la tierra sobre la tubería, y las llamadas cargas vivas que pueden ser estáticas o de movimiento (por vehículos).

Estudios exhaustivos hechos en tuberías rígidas y flexibles enterradas demostraron que:

1. Las cargas desarrolladas sobre la tubería rígida son mayores que las desarrolladas sobre las tuberías flexibles.
2. Las cargas externas tienden a concentrarse directamente abajo y arriba del tubo rígido, creando un momento de aplastamiento que debe ser resistido por las paredes del tubo. En los tubos flexibles la carga es distribuida uniformemente alrededor de su circunferencia, y la carga en cualquier punto es menor que en el tubo rígido.
3. Las cargas externas son soportadas por fuerzas de compresión en la sección transversal de la tubería. En tubos flexibles, parte de estas cargas son anuladas por la presión hidráulica interna y otras partes son transmitidas lateralmente al material del tubo y del tipo de relleno.

4. Conforme se va deformando la tubería (sin fracturarse) transfiere la carga vertical en reacciones horizontales radiales y son soportadas por la presión pasiva de la tierra alrededor del tubo. Cuando la pared de éste es rígida, la anterior no ocurre sino que toda la carga tiene que ser soportada por el tubo, a diferencia de las tuberías de polietileno, la cual transmite parte de la carga al terreno alrededor del tubo.

Estas son las diferencias entre el comportamiento del tubo rígido, y el comportamiento del tubo flexible; es por esto que la teoría de las cargas combinadas sobre tubos rígidos, no se debe de aplicar a las tuberías flexibles.

a) Determinación de Cargas Muertas

Para la determinación de las cargas muertas en tuberías flexibles, se recomienda la teoría de Marston, que se expresa:

$$W_c = C_D \cdot w_t \cdot B_D$$

En donde: W_c = carga muerta (Kg/m de tubería)

C_D = coeficiente de Marston (Fig.3.2.7.I)

w_t = densidad del material de relleno (Kg/m³).

B_D = Ancho de la cepa medida en el lecho superior del tubo (m).

D = Diámetro exterior del tubo (m)

Marston demostró que usando este criterio, se obtienen los valores máximos para las cargas en condición de zanja, o sea que los valores calculados con esta ecuación son siempre mayores a los reales, en dicha condición.

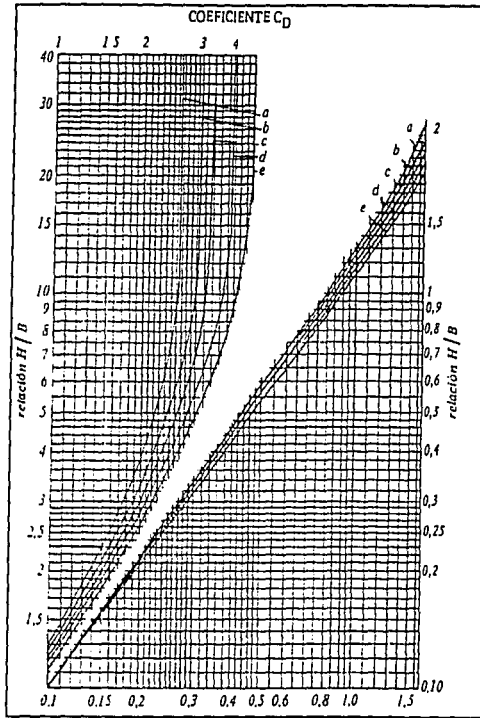


Fig. 3.2.7.1

GRAFICA REPRESENTATIVA PARA CALCULAR EL COEFICIENTE C_D EN FUNCIÓN DE H/B_D

Curvas para diferentes materiales de relleno como sigue:

- a.-Granulada y falta de cohesión (1.7 Ton/m³)
- b.-Para grava y arena (1.9 Ton/m³)
- c.-Material húmedo y fangoso (2 Ton/m³)
- d.-Arcilla o lodo espeso (2.1 Ton/m³)
- e.-Arcilla suturada (2.2 Ton/m³)

b) Determinación de Cargas Vivas

Para calcular las cargas vivas en tuberías flexibles, se usa el criterio recomendado por AWWA:

$$W_e = C_s \frac{P_c F}{L}$$

En donde: W_e = carga viva (en Kg/m de tubería)

C_s = coeficiente de carga en función del diámetro del tubo (Fig.3.2.7.II)

P_c = carga concentrada en Kg

F = Factor de impacto

L = Longitud efectiva del tubo en la cual ocurre la carga (m)

P_c se toma normalmente como 4550 Kg., según las recomendaciones para todo tipo de tuberías AWWA.

VALORES DE IMPACTO

TIPO DE TRAFICO	VALOR DE F
Carretera	1.5
Ferrocarril	1.75
Aeropuertos	1.00

c) Determinación de la máxima deformación

La teoría de Spangler para el cálculo de la máxima deformación en tuberías flexibles, recomendada por AWWA y ASTM es:

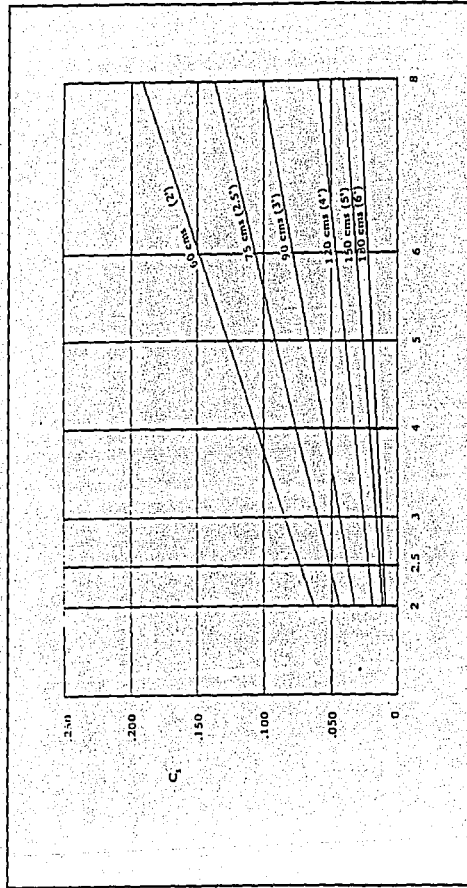


Figura 3.2.7.11

**VALOR DEL COEFICIENTE C, PARA CARGAS VERTICALES SUPERPUESTAS
CONCENTRADAS**

- * El diametro nominal en pulgadas
- * Los números sobre las líneas significan profundidad de zanja

$$X_{\text{máx}} = \frac{Kr^3 (De Wc + We)}{EI + 0.061 E' r^3}$$

En donde:

$X_{\text{máx}}$	=	máxima deformación transversal en cm
K	=	constante de encamado
r	=	radio promedio del tubo m
De	=	factor de deformación a largo plazo
Wc	=	carga muerta Kg/cm
We	=	carga viva Kg/cm
E	=	módulo de elasticidad del material de la tubería kg/cm ²
I	=	momento de inercia de la sección transversal del tubo, por metro de tubo, igual a $e^3/12$ (cm ³)
e	=	espesor promedio del tubo en cm
E'	=	módulo de reacción del suelo Kg/cm ²

El valor de $X_{\text{máx}}$ que se obtiene con la expresión anterior, es la máxima deformación transversal que pueda sufrir el tubo, sin presión interna y con carga de aplastamiento, la presión interna actúa en sentido opuesto a la presión de aplastamiento. Como el tubo es flexible permite que esas dos fuerzas tiendan a cancelarse. Luego entonces, la presión interna actúa en beneficio de la resistencia del tubo al aplastamiento.

K es el coeficiente de encamado y depende del ángulo de contacto del tubo con la tierra.

La siguiente tabla, muestra los valores de K en función del ángulo de contacto.

COEFICIENTE DE ENCAMADO K

ANGULO DE CONTACTO	VALOR DE K
0°	0.110
30°	0.108
45°	0.105
60°	0.102
90°	0.096
120°	0.090
180°	0.083

El valor promedio de K se recomienda de 0.10

El valor de r, es el radio promedio del tubo y es igual a:

$$r = \frac{D-e}{2}$$

La recomendación de Spangler da un valor para "De" de 1.5. Esto quiere decir que la deformación final a largo plazo, ocasionada por las cargas muertas, puede llegar a ser 50% mayor que la deformación inicial, esto es un valor conservador ya que con presión interna, la deformación X es menor.

Como la sección de la tubería es de un anillo perfecto, el momento de inercia I por unidad de longitud es igual a $e^3/12$.

El modulo de reacción del suelo E' , depende de la resistencia pasiva de la tierra en los lados del tubo, o sea que depende de la calidad de la compactación. La tabla a continuación, presenta los valores de E' para las diferentes calidades de mano de obra.

MODULO DE REACCION DEL SUELO (E')

TIPO DE MANO DE OBRA	E'
Muy buena compactación	49 Kg/cm ²
Mediana compactación	35
Mala compactación	21
Sin compactación	14

3.2.8 ESPACIAMIENTO RECOMENDADO PARA SOPORTES DE TUBERIA

En algunas instalaciones visibles, puede presentarse la necesidad de soportar la tubería de polietileno, de una forma que no pueda ser continua. Por ejemplo, sobre armaduras, o bien, soportados de colgantes. En tales casos los apoyos deben espaciarse convenientemente para asegurar un soporte adecuado de la tubería.

Debe procurarse que los soportes tengan puntos de apoyo amplios y tersos, evitando elementos o superficies angostas de textura abrasiva o cortante. El ancho de los soportes debe ser igual a, cuando menos, el diámetro del tubo para minimizar los esfuerzos de concentración, distorsión y daños físicos.

A continuación se demuestra cómo calcular el espaciamiento de los soportes para la tubería de polietileno. (Ver Tabla 3.2.8)

La deflexión de la tubería, entre dos soportes, puede calcularse utilizando las fórmulas de una viga con carga uniformemente repartida. La deflexión máxima, $Y_{m\acute{a}x}$, es equidistante entre los soportes. La carga total es la suma del peso del tubo sin apoyo y el fluido en su interior.

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \frac{(W_{tubo} + W_{fluido})d^4}{EI}$$

Donde: E = Módulo de elasticidad en períodos largos, en Kg/cm^2 ; $E = 210$
 Kg/cm^2
 I = Momento de inercia, en cm^4
 $I = 3.1416/64(DE^4 - DI^4)$
 d = Distancia entre soportes, en cm
 W_{tubo} = peso del tubo, en Kg/cm
 W_{fluido} = peso del fluido, en Kg/cm .

ESPACIAMIENTO RECOMENDADO PARA SOPORTES DE TUBERIA

Las distancias se consideran en metros, a temperatura de 21°C. Se supone la tubería llena de agua.

MEDIDA NOMINAL mm	MEDIDA NOMINAL pulg	DIAMETRO EXTERIOR mm	RD-9	RD-11	RD-13.5	RD-17	RD-21	RD-32.5
50	2	60.3	1.55	1.50	1.45	-----	-----	-----
75	3	88.9	1.90	1.80	1.75	1.70	1.60	-----
100	4	114.3	2.15	2.05	2.00	1.90	1.80	1.65
150	6	168.3	2.60	2.50	2.45	2.30	2.20	2.00
200	8	219.1	3.00	2.90	2.80	2.65	2.55	2.30
250	10	273.0	3.30	3.20	3.10	2.95	2.85	2.55
300	12	323.8	3.60	3.50	3.40	3.25	3.10	2.80
350	14	355.6	3.80	3.70	3.55	3.40	3.25	2.95
400	16	406.4	4.10	3.95	3.80	3.60	3.45	3.15
450	18	457.2	4.30	4.20	4.00	3.80	3.65	3.35
500	20	508.0	4.55	4.40	4.25	4.00	3.85	3.50
600	24	609.6	5.00	4.80	4.65	4.40	4.25	3.85

Tabla 3.2.8

3.2.9 RESISTENCIA QUIMICA

La naturaleza del material de polietileno para la fabricación de tubería, le otorga una extraordinaria resistencia al ataque de la mayoría de los agentes químicos que se manejan en la industria, por lo que resulta ser la tubería apropiada para conducir estos productos o para instalarse en un ambiente donde estos agentes químicos estén presentes.

Esta característica es una ventaja relevante que permite el uso del polietileno en el área industrial, ya que esta tubería soporta la exposición a ambientes corrosivos, sean estos ácidos o alcalinos, húmedos o secos, sin llegar a oxidarse, escamarse o perforarse, aunque lleguen a existir reacciones químicas o eléctricas en el ambiente o terreno circundantes.

El polietileno no favorece la formación de algas, bacterias u hongos y es resistente al ataque biológico marino; así como en tierra del ataque de roedores.

Todo esto, aunado a su sistema de unión por termofusión, que la hace a pruebas de fugas, permite su aplicación en todos aquellos lugares donde se requiere evitar que existan fugas de productos que resulten corrosivos o contaminantes para otros materiales o ambientes. Del mismo modo, esto también es aplicable cuando se requiere que el fluido que se conduce no resulte contaminado por filtraciones de otros elementos externos, como puede suceder con tuberías de otros materiales y sistemas de unión.

3.3 USOS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO

La tubería de polietileno, a diferencia de otros plásticos y materiales tradicionales, reúne excelentes propiedades físicas, ideales para utilizarse en la industria. La selección de este tipo de material se debe a la gran resistencia que ofrece a la abrasión, a la tersura de sus paredes interiores que ofrecen muy poca resistencia al flujo de fluidos y sólidos en suspensión, así como su resistencia química que hace a la tubería prácticamente inmune al ataque de la mayoría de los agentes químicos.

La ligereza del polietileno elimina la necesidad de equipos pesados para el manejo e instalación de tubería, como en el caso de líneas de acero. En vista de la tubería de polietileno se presenta en longitudes de 12 metros, el número de tramos por unir se reduce considerablemente, en comparación con las presentaciones comerciales de otras tuberías que son de 4 ó 6 metros de longitud.

La flexibilidad de las tuberías de polietileno permite las uniones fuera de la cepa y facilita su posterior instalación dentro de ésta, rolando o empujando la tubería, más que cargándola, haciendo posible su acomodo de acuerdo al contorno del terreno, eliminando gran cantidad de codos y trabajos de predoblado, necesarios con otras tuberías. La tubería de polietileno puede ajustarse a curvaturas permanentes, con radios de 10 veces el diámetro del tubo sin dañarse o afectar sus propiedades físicas.

El polietileno, a diferencia de otras tuberías plásticas, tiene excelente resistencia a las fracturas por impacto, así como los efectos producidos por el golpe de ariete. Para absorber este último, en forma satisfactoria, se considera un factor de 1.25 por la presión máxima de operación para quedar dentro de los límites razonables de las características de un sistema con polietileno.

La temperatura de fragilidad de la tubería de polietileno es de -177°C , por lo que conserva su flexibilidad aún en climas severos y bajo condiciones extremadamente adversas. A diferencia de otras tuberías, resiste la fractura que pueda ocasionar el congelamiento de los líquidos que se presentan en tuberías expuestas a medios de bajas temperaturas.

3.3.1 DE LA TUBERIA DE POLIETILENO A LA MINERIA

Dentro de los usos más significativos de la tubería de polietileno, están las líneas de conducción de agua y las de manejo de lodos o "jales", en minería.

MATERIALES MANEJADOS EN MINERIA

En la aplicación de la tubería de polietileno en minería se puede mencionar el manejo de una suspensión de arena de cuarzo en agua, extraída con un 30% de arena, en volumen, y un promedio de partículas con diámetro de aproximadamente 300 micrones. El material se maneja a través de una tubería de 25 cm (10") de diámetro nominal, con un flujo de 2.30 m³/s a 3.95 m³/s y una presión entre 6 Kg/cm² y 6.30 Kg/cm².

Otra de las aplicaciones ha sido el manejo de suspensiones de carbón y pirita, en agua, con un 10% de sólidos en volumen y partículas de 500 micrones. La temperatura de operación es de 20°C, a una presión de 4 Kg/cm² y una velocidad de flujo de 3 m/s

Las pruebas de laboratorio demuestran la excelente resistencia a la abrasión que tiene la tubería de polietileno, con respecto a la tubería de acero, ya que con diámetros y espesores de pared semejantes, la tubería de polietileno tiene una duración de 4 veces mayor que la de acero.

3.3.2 TUBERIA DE POLIETILENO PARA CONDUCCION DE GAS NATURAL

La tubería de polietileno es ocupada ampliamente para la conducción de gas natural así como para el gas LP. Con la modificación que estas tuberías no cuentan con la protección del negro de humo para evitar el ataque de la radiación solar, sin embargo la materia prima con que se elabora la resina cuenta con una pigmentación de color amarillo con lo que se identifica fácilmente a la tubería de gas, y le permite estar a la intemperie por un tiempo prolongado, sin afectar sus características.

3.4 PARTICULARIDADES DE LA TUBERIA DE POLIETILENO

3.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION

La tubería de polietileno puede comprimirse hasta detener el flujo, sin cambio significativo en sus propiedades físicas, según se ha determinado repetidamente en pruebas de laboratorio, tanto a reventamiento instantáneo como a presión sostenida.

3.4.2 SOPORTE Y RELLENO DE LA TUBERIA

La tubería de polietileno no requiere en terreno tipo I y II, de plantilla o encamado, ya que por su flexibilidad se ajusta al contorno del terreno de la cepa. Sólo en el caso de terreno tipo III, se requerirá una plantilla de 5 cm, de espesor, para evitar el contacto directo con aristas agudas del fondo.

El relleno en terreno tipo I y II puede hacerse con el mismo material de excavación, evitando únicamente las rocas o piedras muy agudas. En terreno tipo III será necesario hacerlo con material de banco.

El compactado solo se requerirá para protección del piso o pavimento que se vaya a colocar.

SECCIONES DE ZANJADO

DIAMETRO DE TUBO		ZONA SUBURBANA MTS		ZONA URBANA MTS	
MM	FULGADAS	ANCHO	PROFUNDIDAD	ANCHO	PROFUNDIDAD
25-100	1-4	0.30	0.30	0.30	0.60
150	6	0.35	0.35	0.35	0.65
200	8	0.40	0.40	0.40	0.70
250	10	0.45	0.45	0.45	0.75
300	12	0.50	0.50	0.50	0.80
350	14	0.55	0.55	0.55	0.85
400	16	0.60	0.60	0.60	0.90
450	18	0.65	0.65	0.65	0.95
500	20	0.70	0.70	0.70	1.0
550	22	0.75	0.75	0.75	1.05
660	24	0.80	0.80	0.80	1.10
650	26	0.85	0.85	0.85	1.15
700	28	0.90	0.90	0.90	1.20
750	30	0.95	0.95	0.95	1.25
800	31.5	1.0	1.0	1.0	1.30
810	32	1.0	1.0	1.0	1.30
580	34	1.10	1.10	1.10	1.40
900	36	1.15	1.15	1.15	1.45

3.4.3 TERMOFUSION

Esta característica de poder unir la tubería y conexiones por medio de calor y presión controladas, es propia de determinados tipos de polietilenos, como el PE-3408, y no debe practicarse indiscriminadamente, ya que incluso dentro del grupo de polietilenos adecuados para la termofusión, las condiciones, temperatura, presión y tipo de contacto son diferentes.

La unión por termofusión resultante en todos sus tipos (a tope, socket o silleta), es más resistente que la tubería misma, debido al aumento del espesor en los puntos de contacto. La temperatura de fusión es de $260^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, los tipos de calentamiento varían conforme el diámetro y tipo de conexión.

3.4.4 LIMITES DE TEMPERATURA

La tubería de polietileno puede trabajar en casi todas las condiciones de temperatura exterior, sus límites son -177°C hasta 65°C . No se recomienda para conducciones de gases a mayor temperatura interior de 45°C , ya que por su característica de aumento de volumen puede sobrepasar los límites de la tubería.

3.4.5 COMPATIBILIDAD

La tubería de polietileno es compatible con otros sistemas de tuberías como son: el PVC, asbesto y el mismo acero, ya sea la unión de tubería con tubería, o tubería con conexiones y accesorios.

3.4.6 CONEXIONES Y ACCESORIOS

Las conexiones de polietileno pueden ser moldeadas o prefabricadas, de acuerdo al diámetro de que se trate.

Las conexiones moldeadas son aquellas que se fabrican por medio de inyección del compuesto en un molde, que permite obtener cada conexión de una sola pieza. Estas pueden utilizarse con tuberías de cualquier RD y están disponibles en diámetros de hasta 150 mm (6"), en piezas comunes como tees, codos, coples tapones y reducciones.

Las conexiones prefabricadas están hechas a base de segmentos de tubería que se cortan y unen a tope, de acuerdo con la conexión deseada, ya sean codos, yeas o tees.

La conformación de las conexiones es substancialmente diferente a la de la tubería misma. Los esfuerzos a los que se somete una conexión por presión interna son mayores que los que tiene que soportar la tubería, a una misma presión de trabajo. por esta razón las conexiones moldeadas se fabrican con espesores de pared mayores que los de las tuberías con las que se utilizan, para soportar la misma presión de diseño.

Cuando se tienen conexiones prefabricadas el espesor de pared no se puede aumentar como en el caso anterior, de aquí que sea necesario reclasificar a la mayoría de las conexiones prefabricadas a un rango de presión menor que el considerado para la tubería de la cual se ha hecho, esto indica que las piezas prefabricadas están hechas o son equivalentes a una tubería con espesor de pared igual al del RD-11.

De acuerdo a la experiencia, es recomendable que cuando se utilicen conexiones prefabricadas como son los codos, las yeas, o las tees, en sistemas a presión, se les estime un rango de esfuerzo de 60% en relación con la presión de trabajo de la tubería de la cual se fabricaron. Cuando las presiones de trabajo vayan a ser mayores a ese 60%, es recomendable utilizar conexiones prefabricadas de un RD mayor al de la tubería de la línea principal donde se apliquen.

Por su forma y método de fabricación, los adaptadores bridados pueden utilizarse a la misma presión de diseño que la de la tubería de la que se fabricaron. Este es un elemento que se utiliza como transición entre el polietileno y otro tipo de tuberías como el PVC, asbesto-cemento y el acero, así como el acoplamiento para válvulas de operación y equipos o bien donde se requiera de una brida ciega desmontable. Estos adaptadores bridados están constituidos por medio metro de tubería de polietileno, que en uno de sus extremos tiene una brida de polietileno, en la cual se apoya una contrabrida deslizable de fierro, sobre la cual se aplicará el esfuerzo de ajuste de los tornillos.(fig.3.4.6)

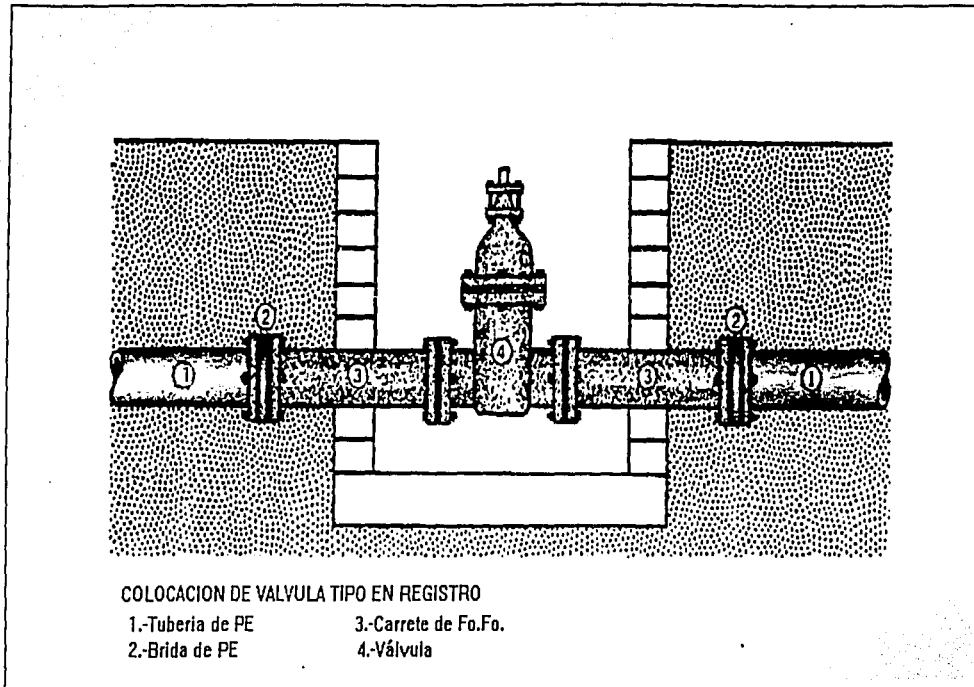


Figura 3.4.6

Como se observa en la fig. 3.4.1, la unión de la tubería de polietileno con otro sistema se hace por medio de una extremidad bridada (N° 1 y 2), formado por:

- *1/2 m tubería de PE
- *Brida de PE
- *Contrabrida de FoFo
- *Empaque de neopreno

Las tuberías de polietileno cuentan con conexiones para la tubería, conocidas como silletas, que aplicadas sobre la línea principal permiten la salida para tuberías secundarias o de servicio con el diámetro requerido, eliminando la instalación de tees y reducciones así como de abrazaderas. Las silletas son conexiones de polietileno con una base semicircular que se coloca sobre la curvatura del tubo principal y de la cual sale el cople de derivación del diámetro menor.

Todas la conexiones mencionadas anteriormente son de polietileno a excepto de la contrabrida que es de fierro y por esta razón su instalación con la tubería es por medio de termofusión, pero existen otros elementos que sirven de transición entre los tubos subterráneos de polietileno y las tomas o salidas a los edificios y las tuberías de fierro para los cuadros o medidores llamadas tomas domiciliarias. Estas conexiones llevan por nombre el de transitoma, únicamente disponible para diámetros de 13 mm y de 19 mm.

3.4.6.1 ACCESORIOS

Dentro de esta clasificación se tiene al adaptador transitoma, que es una pieza de bronce con un extremo de rosca hembra en diámetros de 13 mm (1/2") ó 19 mm (3/4"), para recibir tubos o conectores roscados en estas medidas. El otro extremo del adaptador es cónico, que permite la entrada del tubo de polietileno de los diámetros mencionados, asegurándose la sujeción mediante un anillo de nylon dentado, que permite que el tubo penetre fácilmente pero que por la posición de las estrías sujeta la punta del tubo previniendo que se salga. La hermeticidad se logra con otro anillo interior elástico que proporciona un sello a prueba de goteras que resiste cualquier tipo de presión del tubo o tubería de polietileno. Este tipo de adaptador se utiliza primordialmente en líneas de conducción de agua potable o para riego.

3.4.7 PRECAUCIONES EN LA OBRA

DISTRIBUCION EN LA OBRA

Al acarrear la tubería al lugar de la obra, se deberá tener presente que existen dos sistemas de trabajo para unir por termofusión: unión en un punto o unión en toda la línea. Si se trabaja con tuberías en líneas rectas largas, donde el terreno sea accidentado, o sea necesario pasar bajo otras tuberías, se recomienda utilizar el sistema de unión un punto, esto es, tramos de 150 metros que luego serán tirados por tres o cuatro hombres, o amarrados a la defensa de un vehículo, dependiendo del diámetro de la tubería, así como del terreno y equipo que se disponga. Al utilizar este sistema, se procurará evitar el roce de la tubería con aristas cortantes, y facilitar su deslizamiento en puntos críticos mediante rodillos con secciones del mismo tubo de polietileno.

Cuando se va a trabajar sobre un camino plano o en longitudes cortas, lo más conveniente es unir un tramo por tramo en toda su extensión, por lo que la tubería deberá depositarse a todo lo largo y en el lado contrario al que se colocó la tierra producto de la excavación para facilitar las maniobras de unión.

EXCAVACION

Esta deberá ajustarse a las especificaciones de proyecto, para obtener un ahorro más significativo en el concepto de excavación. Se recomienda observar las siguientes reglas:

ANCHO Zona suburbana. Se considera el diámetro de la tubería en cm y a éste se le suman 10 cm a cada lado.

Zona urbana. También serán 10 cm a cada lado de la tubería.

PROFUNDIDAD Zona suburbana. A partir del lomo de la tubería serán 20 cm.

Zona urbana. Será solamente 50 cm a partir del lomo de la tubería.

En caso de que la tubería cruce con vías de ferrocarril deberá darse un colchón mínimo de 1.00 m y adicionalmente se protegerá con una manga metálica.

Se evitará colocar tubería directamente sobre aristas cortantes de piedra. Cuando se presente esta situación, se deberá colocar una cama de 5 cm de espesor en toda el área.

Al colocar la tubería en la cepa, se tendrá precaución de tenderla serpenteada es decir, no recta, para facilitar los movimientos de contracción y dilatación que se presenten.

No se recurrirá de ningún tipo de compactación especial, si ésta se efectúa será para protección de la carpeta asfáltica o piso que se coloque.

PRUEBA HIDROSTATICA DE LA LINEA

Deberá probarse la línea a 1.5 veces la presión de trabajo del proyecto. Preferiblemente se dejarán descubiertas las uniones durante la prueba hidrostática para detectar con mayor rapidez cualquier tipo de falla y poder repararla en el momento.

3.4.8 UNION DE LA TUBERIA DE POLIETILENO

El tipo de unión de la tubería de polietileno es por termofusión, esto es, fundición mediante calentamiento de una porción de los extremos o caras por unir, se pone en contacto, y al enfriar se consigue una unión mas resistente que la propia tubería.

La tubería de polietileno nunca debe roscarse, deberá unirse entre si, o acoplarse a otro material por termofusión, en el primer caso, y por medios mecánicos en el segundo caso.

El corte de la tubería deberá efectuarse mediante un serrucho o segueta y procurando seguir una circunferencia, para evitar el desperdicio del material.

No se deberá unir la tubería de polietileno, con polietilenos que no sean del mismo tipo ni

de la misma clase, ya que molecularmente no son iguales los polietilenos al someterse a calor o al unirse por medio de termofusión. (Tabla 3.4.8)

RENDIMIENTOS DE INSTALACION POR TERMOFUSION METROS LINEALES POR DIA

DIAME-TRO mm	DIAME-TRO pulg	PRESEN- TACION	TIPO UNION	A	B	C
25-38	1 - 1 1/2	150	COPLA	5,400	3,000	1,500
50	2	150	TOPE	3,750	2,400	1,200
60	2 1/2	150	TOPE	3,000	1,600	800
100	4	12	TOPE	840	600	480
150	6	12	TOPE	600	480	240
200	8	12	TOPE	600	480	240
250	10	12	TOPE	480	360	180
350	14	12	TOPE	300	240	168
450	18	12	TOPE	180	120	96
600	24	12	TOPE	180	120	96
900	36	12	TOPE	180	120	96

Tabla 3.4.8

OBSERVACIONES: En los diámetros de tubería de 25 mm (1") a 60 mm (2 1/2") no está considerado el tiempo por maniobras de desenrollado de los tramos.

En los diámetros de 25 mm (1") a 250 mm (10") deberá contarse con 4 personas de apoyo, así como un equipo de maniobras y arrastre.

En los diámetros comprendidos de 300 mm (12") a 900 mm (36") se deberá contar con 3 personas de apoyo, así como grúas o jiap para maniobras y equipo de gran capacidad de arrastre.

Los tres tipos de factores considerados para rendimientos en metros lineales por día son :

- a) Cuando la instalación sea llevada a cabo en un terreno sumamente accesible y se cuente con el apoyo anteriormente descrito, además de no estar supeditado el avance de obra a terceros.

- b) Cuando la instalación sea llevada a cabo en un terreno accidentado y/o el apoyo proporcionado no cumpla con los requisitos antes mencionados.
- c) Cuando la instalación sea llevada a cabo en un terreno altamente accidentado y/o no se cumplan los requerimientos de apoyo descritos anteriormente.

3.4.9 HERRAMIENTAS

CARRO ALINEADOR HIDRAULICO

Los accesorios de este tipo de carro alineador preparan en forma adecuada los extremos de los tubos y facilitan la unión de los mismos con la termofusión.

Un mecanismo hidráulico permite perfilar los extremos de los tubos con un esquadrador que, después del corte, se puede retirar de la zona de unión.

La precisión en la colocación de los tubos se logra con cuatro anillos de ajuste. Dos de los anillos son fijos y los otros dos están montados sobre unas guías que les permiten movimiento. Estos anillos pueden sujetar, lo mismo tramos rectos de tubo que conexiones como tees, codos, carretes bridados y algunas otras conexiones sin necesidad de adaptadores especiales.

El calentador reúne las características de control termostático de temperatura, recubrimiento de teflón en las caras y un mecanismo que permite colocar o retirar el calentador en el área de fusión.

Un sistema eléctrico para el control de la bomba hidráulica permite un manejo adecuado en el movimiento y en el tiempo de fusión. Este equipo sirve para termofusionar diámetros de 350 mm (14") a 900 mm (36").

CARRO ALINEADOR MANUAL

El carro alineador consiste básicamente en cuatro anillos de presión montados sobre ángulos y base de aluminio. Dos de ellos con movimiento hacia adelante y hacia atrás, mediante un maneral que sirve para juntar y retirar las puntas del tubo. Los anillos de presión aparte de alinear la tubería, ayudan a redondear la misma para asegurar una buena unión.

El carro alineador es fácilmente transportable, ya que cuenta con ruedas y es liviano.

Este equipo sirve para termofusionar tuberías de diámetros que comprenden de 50 mm (2") a 250 mm (10").

ESCUADRA EXTREMOS

El escuadra extremos es un equipo diseñado para preparar las dos puntas del tubo a unir. Consiste básicamente en dos discos de aluminio con maneral para girarlos. Cada disco tiene un juego de navajas de 90° con lo que al girarlas en las puntas del tubo, producen virutas de polietileno, dejando la superficie limpia y asegurando una superficie plana y perpendicular al tubo.

Estos equipos pueden escuadrar tuberías y conexiones comprendidas en los diámetros de 32 mm (1 1/4") a 250 mm (10").

CALENTADOR

El calentador se utiliza para aplicar al tubo la temperatura correcta en la unión. Está constituido de aluminio y provisto de acuerdo a su tamaño de resistencia, termómetro y termoswitch adecuados, están terminadas sus caras con recubrimientos de teflón para evitar la adherencia del polietileno caliente.

La energía requerida para estos calentadores, es proporcionada por una planta eléctrica portátil.

3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO

La continua investigación para el desarrollo del polietileno de alta densidad le otorga características sobresalientes cuando se le compara con tuberías a base de materiales tradicionales.

A continuación se enlistarán las ventajas del material de polietileno y asimismo sus desventajas consigo mismo y con otros materiales comerciales.

- La tubería de polietileno cuenta con una gran gama de diámetros que va de 13 mm a 900 mm. Se pueden encontrar tuberías de acero y concreto en diámetros superiores al de 900 mm.
- Las tuberías de polietileno pesan menos que cualquier otro tipo de tubería hecha con materiales convencionales, como es el caso de el acero, el asbesto-cemento, el fierro fundido, etc. Su peso específico es de 0.955-0.957 por lo que puede incluso flotar en el agua.
- En todos los diámetros de tubería es posible disminuir considerablemente la cantidad de codos para el cambio de dirección.
- La tersura de la pared interior de la tubería de polietileno se conserva durante todo el tiempo que se requiere de su servicio, debido a la resistencia que tiene a las incrustaciones. Los valores empleados para el cálculo del flujo son: C de 150 para la fórmula de Hazen-Williams y de 0.009 como factor de Manning.
- Las uniones de la tubería se hacen por medio de la termofusion.

- **Una desventaja importante de las tuberías plásticas ya sea polietileno o PVC, es que al presentarse algún fluido ya sea en estado líquido o gaseoso, con una temperatura mayor a los 60°C, la tubería tiende a perder las propiedades de resistencia y durabilidad.**

- **Un problema que se maneja como una desventaja es en la instalación de las tuberías de polietileno en clima lluvioso ya que como se mencionó, la termofusión del polietileno se hace por medio de calentadores eléctricos de 110V a 220V respectivamente, y al trabajar en lluvia es muy frecuente que existan accidentes de alto riesgo por electrocución, por lo que no es recomendable trabajar bajo esas condiciones y esto repercute en gran medida en la obra.**

- **El polietileno es inerte a la acción de la mayoría de los agentes químicos que se manejan en la industria y no se ve afectada por la composición natural de los diferentes terrenos o agua marina. El polietileno no es conductor de la electricidad, por lo que no se presenta la corrosión por electrólisis.**

- **La protección con la que cuentan las tuberías de polietileno de negro de humo la hace más resistente a la exposición de los rayos ultravioleta del sol al envejecimiento.**

CAPITULO IV. JUSTIFICACION TECNICA PARA EL EMPLEO DE LA TUBERIA DE POLIETILENO EN LA CONDUCCION DE AGUA

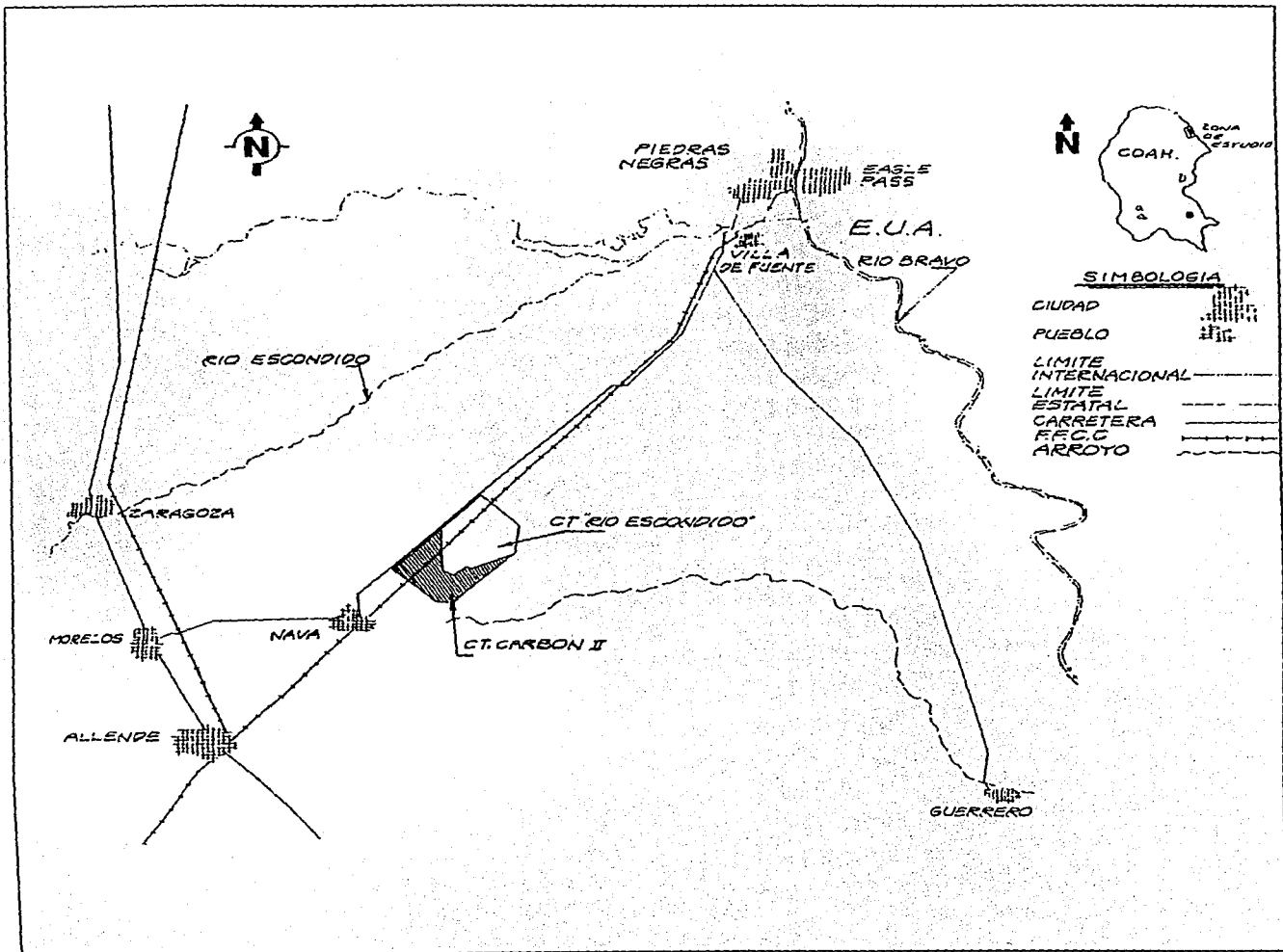
4.1 PROYECTO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA CARBON II DE LA CFE

La Central Termoelectrica Carbón II se localiza en la parte norte del Estado de Coahuila, sobre las coordenadas geográficas de 20° 28´ latitud Norte y 100° 41´ longitud Oeste. La ubicación aproximada de la central es de 28 km al suroeste de la ciudad de Piedras Negras, y a 305 MSNM. Esta central utilizará carbón como combustible primario y consta de 4 unidades de 350 MW cada una. La primera etapa de construcción comprende 2 unidades (U1 y U2). Como se muestra en la figura 4.1

4.2 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DE LA RED HIDRAULICA

Para satisfacer las necesidades de agua de servicio, de repuesto al ciclo, contra incendio y del sistema de manejo de carbón y cenizas, la central contará con un sistema de abastecimiento de agua constituido por una red de catorce bombas conectadas a pozos, mas una bomba conectada al estanque de enfriamiento de la C.T. Río Escondido (Lic. José López Portillo) y cuya distribución es tal que definen tres baterías de pozos. En la figura que se muestra a continuación es posible observar el arreglo del sistema, en donde también se indican los diámetros y la clase del tubo e cada uno de los diferentes tramos.(Fig.4.2)

La tubería instalada es de polietileno extruido de alta densidad y entrega agua a diferentes puntos (la pileta de la torre de enfriamiento, al tanque de agua de servicio y al sistema de manejo de carbón y cenizas).

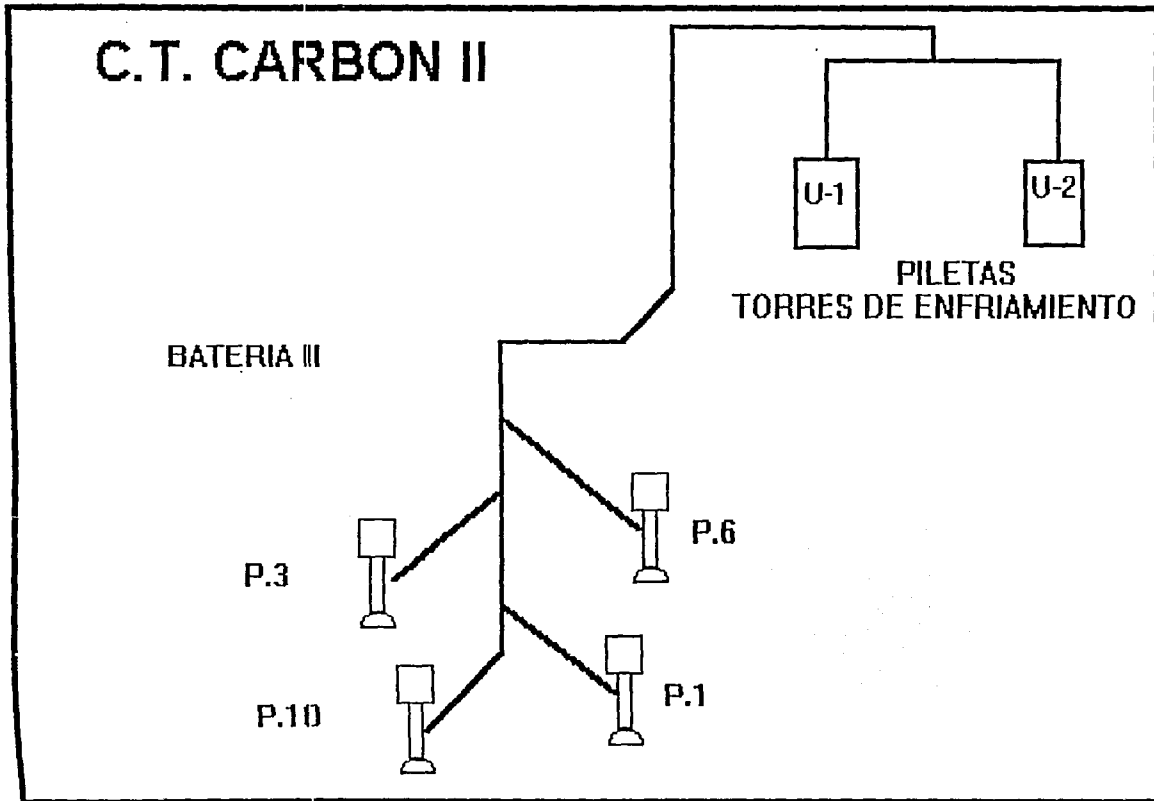


El gasto real requerido por las unidades 1 y 2 al sistema es de 548 LPS, aunque la conducción de diseño involucró la consideración de una aportación total de 880 LPS por parte de todas las bombas.

De acuerdo a esta condición de diseño, la operación normal involucra el funcionamiento de las tres baterías (I, II, y III), aportando un gasto de 880 LPS para servir a la pileta de la torre de enfriamiento, al tanque de agua de servicios y al sistema de manejo de carbón y cenizas. Este gasto resulta de la suma de los gastos de diseño de todos los pozos y del estanque de enfriamiento. En cada pozo se consideró como de diseño, el valor obtenido de afectar al gasto de explotación recomendado por un factor que incluye un 10% de su valor inicial.

El sistema puede ser operado en forma parcial con dos o con una de las baterías mencionadas.

A continuación se presenta la información correspondiente a los datos de diseño del sistema proporcionados por el proyecto:



NIVELES DEL AGUA

14.14 M EN EL POZO 1	291.45 M
25.55 M EN EL POZO 3	284.42 M
20.73 M EN EL POZO 3A	279.96 M
23.59 M EN EL POZO 6	283.46 M
15.96 M EN EL POZO 7A	278.82 M
09.51 M EN EL POZO 9A	283.44 M
08.79 M EN EL POZO 10	297.28 M
23.13 M EN EL POZO 11	288.73 M
24.16 M EN EL POZO 12	287.27 M
08.60 M EN EL POZO 13	299.91 M
25.09 M EN EL POZO 14	288.70 M
18.24 M EN EL POZO 15	297.34 M
11.95 M EN EL POZO 17	296.10 M
28.32 M EN EL POZO JARA	281.30 M
04.70 M EN EL ESTANQUE	308.30 M

NIVELES PIEZOMETRICOS REQUERIDOS EN LAS ENTREGAS:

- 318.43 m para la pileta de la torre de enfriamiento
- 325.79 m para el tanque de agua de servicios
- 322.75 m para el sistema de manejo de carbón y cenizas

4.3 DESARROLLO DE UN TRAMO ESPECIFICO DEL PROYECTO GENERAL

1. Determinación del diámetro utilizable para el cálculo hidráulico de la línea de conducción de la batería II.

Para la determinación del diámetro posible a utilizar es necesario conocer las velocidades de flujo recomendables por el fabricante donde:

VELOCIDAD MAXIMA = 2.0 m/s
 VELOCIDAD MINIMA = 0.5 m/s

El gasto del pozo aplicado al estudio de optimización será el siguiente:

POZO	Q _{DISEÑO}	Q _{ORIGINAL}	UNIDADES
10	27.50	25	LPS
1	79.31	72.10	LPS
3	47.3	43	LPS
6	12.54	11.40	LPS

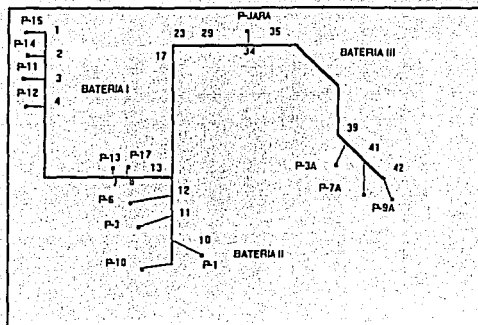
Para determinar los diámetros máximos y mínimos de cada tramo se hace uso de las siguientes expresiones:

$$D_{MAX} = \left(\frac{4Q}{\pi V_{MIN}} \right)^{1/2}$$

$$D_{MIN} = \left(\frac{4Q}{\pi V_{MAX}} \right)^{1/2}$$

A continuación se presentan las características de la batería II según croquis 4.3 quedando:

TRAMO	LONGITUD (m)	GASTO (m ³ /s)	D _{MÍN}	D _{MÁX}	D _{PIC}
P10-10	560.019	0.0275	0.132	0.242	6-8
10-11	19.23	0.1068	0.261	0.476	12-18
11-12	530.10	0.1514	0.313	0.572	14-20
12-13	276.40	0.1667	0.326	0.595	14-20
P1-10	647.27	0.0793	0.225	0.410	10-16
P3-11	249.98	0.0473	0.174	0.317	8-12
P6-12	605.55	0.0125	0.089	0.163	4-6

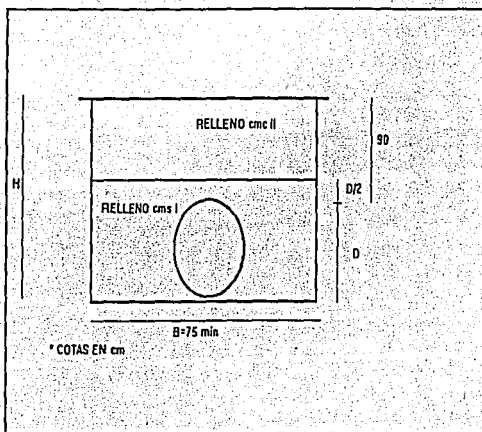


Croquis 4.3

A continuación se presentan ocho alternativas de estudio como sigue:

TRAMO	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
P10-10	6	8	10	10	10	10	10	10
10-10	12	14	16	18	20	20	20	20
11-12	14	16	18	20	22	24	22	24
12-13	14	16	18	20	22	26	24	26
P1-10	10	12	14	16	18	18	18	18
P3-10	8	10	12	14	14	14	14	14
P6-12	4	6	8	8	8	8	8	8

Condiciones de zanjado para la evaluación de volúmenes de obra (Croquis 4.3.II)



Croquis 4.3.II

Excavación = $b \cdot h$

Relleno I = $(1.5 d)(b) - 3.1415 d^2/4$

Relleno II = $(h - 1.5 d)b$

Si el diámetro + 0.20 < 0.75 usar B = 0.75

DIAMETRO mm	0.90+DIAM m	B m	EXCAVACION m ³ /ml	RELLENO I m ³ /ml	RELLENO II m ³ /ml
100	1.00	0.75	0.75	0.1046	0.6375
150	1.05	0.75	0.7875	0.1511	0.6188
200	1.10	0.75	0.825	0.1936	0.6000
250	1.15	0.75	0.8625	0.2322	0.5813
300	1.20	0.75	0.900	0.2668	0.5625
350	1.25	0.75	0.9375	0.2975	0.5438
400	1.30	0.75	0.975	0.3243	0.5250
450	1.40	0.75	1.0125	0.3472	0.5063
500	1.45	0.75	1.050	0.3662	0.4875
550	1.45	0.75	1.0875	0.3812	0.4688
600	1.50	0.80	1.2000	0.4373	0.4800
650	1.55	0.85	1.3175	0.4969	0.4888
700	1.60	0.90	1.4400	0.5602	0.4950
750	1.65	0.95	1.5675	0.6270	0.4988
800	1.70	1.00	1.7000	0.6973	0.5000
850	1.75	1.05	1.8375	0.7713	0.4988
900	1.80	1.10	1.9800	0.8488	0.4950

Los volúmenes correspondientes a cada uno de los conceptos mencionados anteriormente, se toman de las normas editadas por la SAHOP, con la aclaración de que la excavación será hecha con maquinaria, por lo cual el ancho mínimo será de 0.750 m, además el colchón mínimo es de 0.90 m sobre el lomo del tubo para evitar efectos de congelación.

Los costos unitarios asociados a los anteriores conceptos son:

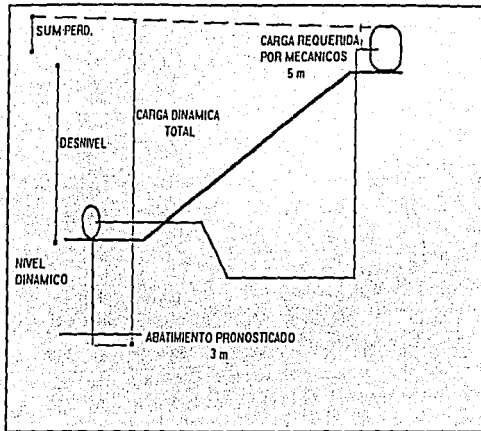
Excavación	N\$ 29.50/m ³
Relleno I (seleccionado)	N\$ 16.26/m ³
Relleno II	N\$ 12.50/m ³
Costo flete (Monterrey-C.T. Carbón)	N\$ 0.21/m
Costo de instalación	N\$ 28.43/m

2. Determinación de las cargas dinámicas en las bombas

Para definir el valor de las cargas dinámicas de las bombas es preciso evaluar las pérdidas totales a lo largo de todos los tramos de las diferentes trayectorias. Así mismo se requiere determinar el desnivel que existe entre el nivel del terreno donde se ubica cada bomba y el nivel del punto de descarga en los tanques, así como también el nivel dinámico del pozo correspondiente. La figura representada a continuación da la idea básica del cálculo mencionado (Croquis 4.3.III).

De esta manera, la expresión que se utilizará para determinar la carga dinámica de las bombas será la siguiente:

$$HDT = \text{Sumatoria de pérdidas} + \text{desnivel(carga de posición)} + \text{nivel dinámico del pozo} + \text{carga requerida por el área mecánica} + \text{abatimiento pronosticado por operación del trabajo.}$$



Croquis 4.3.III

3. DETERMINACION DE LOS COSTOS DE INVERSION

El costo de inversión se obtiene al transformar a anualidades el costo de la inversión total inicial.

El primer paso consiste en el cálculo de la obra civil y tubería, misma que se desarrolla a continuación.

El segundo paso consiste en la conversión mencionada y considerar un período de vida económica del sistema de 30 años y una tasa de interés del 12% anual.

La expresión a utilizar para determinar el valor de la anualidad es:

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

En donde la fracción encerrada en paréntesis corresponde al valor del factor de recuperación, mismo que resulta:

$$\text{FRC} = 0.1241437$$

Cálculo de pérdidas de energía en la conducción

Batería II

Tramo P10-10.

Diámetro = 6"

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\text{Area} = 3.1415(0.1524)^2/4 = 0.0182 \text{ m}$$

$$\text{Gasto} = 0.0275 \text{ m}^3/\text{seg (diseño)}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$\text{Velocidad} = 0.0275/0.0182 = 1.5110 \text{ m/s}$$

$$\text{Longitud} = 560.019 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de fricción de Manning} = 0.009$$

K es un coeficiente dado por Manning

$$K = \frac{10.3 n^2}{D^{16/3}}$$

$$K = 18.9863$$

Pérdidas por fricción

$$H_f = K L Q^2$$

$$H_f = 8.041$$

Otras pérdidas el 5% de Hf

$$H_f = 0.402$$

$$H_{f_{TOTAL}} = 8.041 + 0.402$$

$$H_{f_{TOTAL}} = 8.4430 \text{ m}$$

4. CALCULO DE SOBREPRESION POR GOLPE DE ARIETE

Batería II

Tramo P10-10

Diámetro = 6" = 15.24 cm

Espesor de pared del tubo = 0.80 cm

Vel = 1.51 m/s

$$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{Ea d}{Et e}}}$$

$E_a = \text{Módulo de elasticidad del agua } 20,700 \text{ Kg/cm}^2$

$E_t = \text{Módulo de elasticidad de la pared del tubo } 8,160 \text{ Kg/cm}^2$

$145 V = 145 (1.51) = 218.95$

$E_a * d = 20,700 (15.24) = 315,468$

$E_t * e = 8,160 (0.80) = 6,528$

$E_a * d / E_t * e = 48.325$

$48.325 + 1 = 49.325$

$(49.325)^{1/2} = 7.023$

$h = 218.95 / 7.023 = 31.175 \text{ m}$

De acuerdo con la experiencia

Sobrepresión de golpe de ariete de la válvula = 80% h

SPGA de válvula = 24.94 m

Sobre presión de golpe de ariete del tubo = 20% h

SPGA de tubo = 6.235 m

Presión total = Golpe de ariete del tubo + Pérdidas por fricción

$P_t = 6.235 \text{ m} + 8.443 \text{ m}$

$P_t = 14.678 \text{ m Aprox } 15.0 \text{ m}$

$P_t = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$

Por lo tanto la tubería corresponde a RD-41

5. DETERMINACION DE CARGAS DINAMICAS EN LAS BOMBAS

Dentro del análisis económico del sistema de abastecimiento de agua, el costo de operación resulta importante. Parte primordial de este costo lo constituye la carga dinámica total que deben poseer las bombas para asegurar la entrada del agua a las diferentes descargas. A continuación se desarrollan los cálculos requeridos para determinar las cargas dinámicas de las bombas.

Cálculo de pérdidas por línea

Batería II

Tramo P10-10 8.443 m

** Haciendo los cálculos similares para toda la batería II con la alternativa numero 1 se obtiene una pérdida de 31.427 m.

Se consideran 5 m de carga requerida por equipo mecánico y 3 m de abatimiento por lo que $K = 8$ m

Pozo 10

Pérdida total = 31.427 m

Desnivel = 11.11 m

Nivel dinámico = 9.54 m

$H_{BOM} = 31.427 + 11.11 + 9.54 + 8 = 60.077$ m

Costo de operación de la alternativa 1 batería II pozo 10 con una eficiencia de la bomba del 80%

Gasto = 0.0275 m³

Cot = 60.077 m

$$POT = \frac{\gamma Q H_{BOM}}{76 \eta}$$

Pot = 1000(0.0275)(60.077)/76(0.80) = 27.17 Hp

KWH = Hp * 0.7457 = 27.17(0.7457) = 20.26 KWH

Costo KWH = N\$0.15

Duración de la operación = 7,008 Hr

Costo de operación = N\$ 21,297.32

* Efectuando los mismos cálculos de costo de operación para cada una de las alternativas y tomando en cuenta las 3 baterías con sus pozos respectivos tenemos:

Costos de operación	A-1 = N\$ 877,914.84
	A-2 = N\$ 599,185.67
	A-3 = N\$ 465,492.06
	A-4 = N\$ 475,009.25
	A-5 = N\$ 454,629.43
	A-6 = N\$ 436,252.39
	A-7 = N\$ 450,558.91
	A-7 = N\$ 441,221.39

6. CALCULO DEL COSTO DE LA OBRA CIVIL

Batería II Tramo P10-10

Conceptos unitarios

- Tubería de 6" de diámetro
- Excavación = 0.7875 m³/ml
- Excavación = N\$29.50
- Relleno tipo I = 0.1511 m³/ml
- Relleno tipo I = N\$16.26
- Relleno tipo II = 0.6188 m³/ml
- Relleno tipo II = N\$12.50
- Instalación y prueba = N\$28.43

Volumen de obra

- Longitud de la línea = 560.019 m
- Excavación = 441.2 m³
- Relleno tipo I = 84.62 m³
- Relleno tipo II = 346.539 m³
- Instalación y prueba = 560.019 m

Costos de obra civil

Excavación = N\$13,015.40 m³

Relleno I = N\$1,375.92 m³

Relleno II = N\$4,333.73 m³

Instalación y pruebas = N\$15,918.54

Tubería = N\$25,525.80

Plantilla = N\$0.00

* Todos los demás cálculos se hicieron igual para terminar la batería II y en su totalidad para las baterías I y III, en una hoja de cálculo (Excel). Obteniéndose los siguientes resultados:

Costo de obra civil A-1 = N\$7'890,863.29

A-2 = N\$ 7'544,092.30

A-3 = N\$ 8'203,921.71

A-4 = N\$ 9'468,542.49

A-5 = N\$10'916,457.66

A-6 = N\$13'731,908.37

A-7 = N\$11'420,381.22

A-8 = N\$12'913,879.61

Con los cálculos anteriores se obtienen los valores de costos de inversión (Anualidad) y costos de operación (Bombeo):

$$A = 0.1241437 * 7'890,863.29 = 979,593.07$$

$$A = 0.1241437 * 7'544,092.30 = 936,551.53$$

$$A = 0.1241437 * 8'203,921.71 = 1'018,465.19$$

$$A = 0.1241437 * 9'468,542.49 = 1'175,459.90$$

$$A = 0.1241437 * 10'916,457.66 = 1'355,209.44$$

$$A = 0.1241437 * 13'731,908.37 = 1'704,729.91$$

$$A = 0.1241437 * 11'420,381.22 = 1'417,768.38$$

$$A = 0.1241437 * 12'913,879.61 = 1'603,176.79$$

Comparándolos en la siguiente tabla se tiene:

ALTERNATIVA	COST.OPERACION BOMBEO ANUAL N\$	COST.INVERSION ANUAL N\$	COST.TOTAL COMPARATIVO N\$
1	877,914.84	979,593.07	1'857,507.91
2	599,185.67	936,551.53	1'535,737.20
3	465,492.06	1'018,465.19	1'483,957.25
4	475,009.25	1'175,459.90	1'650,469.15
5	454,629.43	1'355,209.44	1'809,838.87
6	436,252.39	1'704,729.91	2'140,982.30
7	450,558.91	1'417,768.38	1'868,327.29
8	441,221.39	1'603,176.79	2'044,398.18

Al observar la tabla anterior se concluye que la alternativa más económica corresponde a la número 3

4.4 COMPARATIVA DE POLIETILENO CON P.V.C. Y ASBESTO CEMENTO

POLIETILENO

CALCULO DE PERDIDA DE ENERGIA EN LA CONDUCCION BATERIA II TRAMO P10-10

DIAMETRO = 6" = 0.1524 m

$$A = \pi D^2/4$$

$$A = 0.0182 \text{ m}$$

$$\text{GASTO DE DISEÑO} = 0.0275 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = Q/A = 1.5110 \text{ m/s}$$

$$\text{LONGITUD DE LA LINEA} = 560.019 \text{ m}$$

COEFICIENTE DE FRICCION = 0.009

$$K = 10.3n^2/D^{12/3}$$

$$K = 10.3(0.009)^2/(0.1524)^{5.333} = 18.9863$$

PERDIDAS POR FRICCION

$$H_f = K L Q^2$$

$$H_f = 18.9863(560.019)(0.0275)^2 = 8.0459$$

OTRAS PERDIDAS 5% H_f

$$H_{F_{TOTAL}} = 8.4482$$

CALCULO DE SOBREPRESION POR GOLPE DE ARIETE

$$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$$

VELOCIDAD = 1.5110 m/s

ESPESOR DEL TUBO $e = 0.80$ m

$E_a =$ MODULO DE ELASTICIDAD DEL AGUA = 20,700 Kg/cm²

$E_t =$ MODULO DE ELASTICIDAD DE LA PARED DEL TUBO = 8,160 Kg/cm²

$$145V = 145(1.5110) = 219.09$$

$$E_a d = 20,700(15.24) = 315,468$$

$$E_t e = 8,160(0.80) = 6,528$$

$$E_a d / E_t e = 48.3254 + 1 = 49.3854^{1/2} = 7.0232$$

$$h = 219.09 / 7.0232 = 31.1952$$

SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE 80% $h = 24.95$ m valvula

SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE 20% $h = 6.239$ m TUBO

PRESION TOTAL = GOLPE DE ARIETE DEL TUBO + PERDIDAS POR FRICCION

$$\text{PRESION TOTAL} = 6.239 + 8.4482 = 14.68 \text{ m} = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

DETERMINACION DE LA CARGA DE LA BOMBA

$$\text{PERDIDA EN LA LINEA DEL TRAMO} = 8.4482$$

SE CONSIDERA 5m DE CARGA REQUERIDA POR EQUIPO MECANICO Y 3 m DE ABATIMIENTO POR LO QUE $K=5+3=8\text{m}$

$$\text{PERDIDA} = 8.4482 \text{ m}$$

$$\text{DESNIVEL} = 11.11 \text{ m}$$

$$\text{NIVEL DINAMICO} = 9.54 \text{ m}$$

$$H \text{ BOM} = 8.4482 + 11.11 + 9.54 = 29.0982$$

$$POT = \frac{\gamma Q H_{BOM}}{76 \eta}$$

$$POT = 1000(0.0275)(29.0982)/76(0.80) = 13.1612 \text{ Hp}$$

$$KWH = 13.1612(0.7457) = 9.8143 \text{ KWH}$$

$$\text{COSTO DE OPERACION} = 9.8143(0.15) = 1.4721 * 7,008\text{HR} = \text{N\$ } 10,316.79$$

CALCULO DEL COSTO DE LA OBRA CIVIL

PRECIO UNITARIO

TUBERIA DE 6"

$$\text{EXCAVACION} \quad 0.7875 \text{ m}^3/\text{ml}$$

$$\text{EXCAVACION} \quad \text{N\$}29.50$$

$$\text{RELLENO TIPO I} \quad 0.1511 \text{ m}^3/\text{ml}$$

$$\text{RELLENO TIPO I} \quad \text{N\$}16.26$$

$$\text{RELLENO TIPO II} \quad 0.6188 \text{ m}^3/\text{ml}$$

RELLENO TIPO II N\$12.50
 INSTALACION Y PRUEBA N\$28.43

VOLUMEN DE OBRA

LONGITUD DE LA LINEA = 560.019 m

EXCAVACION = 441.0150 m³

RELLENO TIPO I = 84.61 m³

RELLENO TIPO II = 346.53 m³

INSTALACION Y PRUEBA 560.019 m

COSTO DE OBRA CIVIL

EXCAVACION N\$13,009.94
 RELLENO I N\$1,375.75
 RELLENO II N\$4,331.62
 INST. Y PRUEBA N\$25,525.80
 TOTAL N\$60,164.45

COSTO DE INVERSION $A = 60,164.45(0.1241437) = 7,469.03$

COSTO OPERACION	COSTO INVERSION	COSTO TOTAL
BOMBEO ANUAL	ANUAL	
N\$10,316.79	N\$7,469.03	N\$17,785.82

P.V.C.

CALCULO DE PERDIDA DE ENERGIA EN LA CONDUCCION PARA 6"

A=0.0182 m

Q=0.0275 m³
V=1.5110 m/s
L=560.019 m
n=0.009
K=18.9863
Hf_{TOTAL} =8.4482m

CALCULO DE SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE

$$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{Ea d}{Et e}}}$$

ESPEJOR DEL TUBO=0.40

Ea=20,700 Kg/cm²

Et=28,100 Kg/cm²

145V=145(1.511)=219.095

Ead=20,700(15.24)=315,468.00

Ete=28,100(0.40)=11,240.00

Ead/Ete=315,468/11,240=28.0665+1=29.0662^{1/2} = 5.3913

h=219.095/5.3913=40.6386 m

SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE 80%h=32.5109 m

SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE 20%h=8.1277 m

PRESION TOTAL = 8.1277+8.4482 =16.5759 m =1.5 Kg/cm²

Hbom=PERDIDA+DESNIVEL +NIVEL DINAMICO

$$H_{bom} = 8.4482 + 11.11 + 9.54 = 29.0982$$

$$POT = \frac{\gamma Q H_{BOM}}{76 \eta}$$

$$POTENCIA = 1000(0.0275)(29.0982)/76(0.80) = 13.1612 \text{ Hp} * 0.7457 = 9.8143 \text{ KW}$$

$$POT = 9.8143 \text{ KW} * \text{N}\$0.15 * 7,008 \text{ Hr} = \text{N}\$10,316.79 \text{ COSTO DE OPERACION}$$

PRECIO UNITARIO

TUBERIA 6" P.V.C. = N\$41.90

EXCAVACION 0.7875 m³/ml N\$29.50

PLANTILLA 0.750m²/ml N\$65.00

RELLENO I 0.1511 m³/ml N\$16.26

RELLENO II 0.6188 m³/ml N\$12.50

INSTALACION Y PRUEBA N\$28.43

VOLUMEN DE OBRA

LANGITUD DE LINEA 560.019 m

EXCAVACION 441.015 m³

PLANTILLA 420.01 m²

RELLENO I 84.61 m³

RELLENO II 346.53 m³

INSTALACION Y PRUEBA 560.019 m

COSTO OBRA CIVIL

EXCAVACION N\$13,009.94

PLANTILLA N\$27,300.65

RELLENO I N\$ 1,375.75

RELLENO II N\$ 4,331.62

INSTALACION Y PRUEBA	N\$15,921.34
TUBERIA	N\$23,464.79
TOTAL	N\$85,404.09

COSTO INVERSION $A = 85,404.09(0.133883) = 11,434.15$

COSTO OPERACION	COSTO INVERSION	COSTO TOTAL
BOMBEO ANUAL	ANUAL	
N\$10,316.79	N\$11,434.15	N\$21,750.94

ASBESTO CEMENTO

DIAMETRO=6"

$A = 0.0182 \text{ m}$

$Q = 0.0275 \text{ m}^3/\text{s}$

$V = 1.5110 \text{ m/s}$

$L = 560.019 \text{ m}$

$n = 0.009$

$K = 18.9863$

$H_f = 8.0459$

SOBRE PRESION POR GOLPE DE ARIETE $h = 40.6386 \text{ m}$

PRESION TOTAL = 1.5 Kg/cm

POT=9.8143 KW

COSTO OPERACION N\$10,316.79

PRECIO UNITARIO

TUBERIA DE 6" N\$35.40

EXCAVACION	N\$29.50
PLANTILLA	N\$65.00
RELLENO I	N\$16.26
RELLENO II	N\$12.50
INST. Y PRUEBA	N\$28.43

VOLUMEN DE OBRA
SIMILAR A LOS ANTERIORES

COSTO DE OBRA CIVIL

EXCAVACION	N\$13,009.94
PLANTILLA	N\$27,300.65
RELLENO I	N\$ 1,375.75
RELLENO II	N\$ 4,331.62
INST. Y PRUEBA	N\$15,921.34
TUBERIA	N\$19,824.67
TOTAL	N\$81,763.97

COSTO INVERSION A=81,763.97(0.133883)=10,946.80

COSTO OPERACION	COSTO INVERSION	COSTO TOTAL
BOMBEO ANUAL	ANUAL	
N\$10,316.79	N\$10,946.80	N\$21,263.59

CUADRO COMPARATIVO

	COSTO OPERACION BOMBEO ANUAL	COSTO INVERSION ANUAL	COSTO TOTAL
POLIETILENO	N\$10,316.79	N\$7,469.03	N\$17,785.82
P.V.C.	N\$10,316.79	N\$11,434.15	N\$21,750.94
ASBESTO CEMENTO	N\$10,316.79	N\$10,946.80	N\$21,263.59

Como se puede observar en costo total, la mejor opcion es el polietileno de alta densidad, teniendo como unico inconveniente de no contar con el material en cualquier lado.

CAPITULO V. OBRAS DE IMPORTANCIA QUE UTILIZAN TUBERIAS DE POLIETILENO PARA LA CONDUCCION DE AGUA

A continuación se indicarán algunos organismos de gran importancia que utilizaron la tubería de polietileno para la conducción de agua o de otro elemento.

- En la ciudad de Matamoros, la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros suministró e instaló en Playa Lauro Villar 40,000 m lineales de tubería de 8" (200 mm) con sus respectivas conexiones en 1991
- El Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Coahuila suministró redes de distribución en la zona carbonífera, la cantidad de 20,000 m lineales de tubería en varios diámetros en los años de 1990 a 1991.
- La Secretaría de Recursos Hidráulicos (FIRCO) en la zona habitacional de Ejidos de Acuña, Coah, se instalaron 44,000 m lineales de tubería para la conducción de agua potable y para la instalación de tomas domiciliarias en el año de 1991.
- La Junta Estatal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Monterrey, N.L. instalo en la 1a y 2a etapa lagunas de oxidación y aproximadamente consto la obra de 25,000 m de tubería, en diámetros de 6 y 4 pulgadas de diámetro en 1991.
- La Junta Estatal de Agua Potable y Alcantarillado de Durango instaló tubería de polietileno por 14,000 m lineales en diámetros de 150 mm en el año de 1990.

- **Lo que fue la SEDUE, hoy SEDESOL y la JEAPA, Junta Estatal de Agua Potable y Alcantarillado instalaron un promedio de 7,000 m de tubería de 100 mm de diámetro en el año de 1990.**
- **En el Municipio de Pueblo Nuevo, Dgo, en el poblado de Chavarria Viejo y la Victoria se instalaron 14,000 m de tubería de 100 y 150 mm de diámetro respectivamente, en los años de 1990 y 1991.**
- **La Comisión Estatal de Agua Potable de Concepción del Oro instaló 3,000 m de tubería de 100 mm de diámetro en 1991.**
- **La Comisión Estatal de Agua Potable de Mesillas instaló 14,000 m de tubería de 50 y 60 mm de diámetro en 1991.**
- **La Comisión Estatal de Agua Potable de Villa García, N.L. instaló 3,000 m de tubería de 150 mm de diámetro en 1990**
- **La Comisión Estatal de Agua Potable de Fresnillo, Zac, instaló 3,500 m de tubería de 350 mm de diámetro en el año de 1991.**
- **El Instituto de la Vivienda de Zacatecas instaló en la red de distribución 36,000 m de tubería de 50, 75 y 100 mm de diámetro en los años de 1989-90-91.**
- **La Junta Central de Agua y Alcantarillado de Chihuahua, para la urbanización del Municipio instaló 8,000 m de tubería de 100 y 150 mm de diámetro, en los años comprendidos de 1990 a 1991.**
- **El Comité Administrador de Agua Potable y Alcantarillado de Querétaro instaló 90,000 m de tubería para toma domiciliaria de 13 mm de diámetro, en los años de 1990 y 91.**

- El Comité Organizador de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo instaló el acueducto Chimapán 8,000 m de tubería de 450 mm de diámetro en el año de 1991, y para el acueducto Chetumal se instaló 32,000 m de tubería de 600 mm en el año de 1990.
- La Secretaria de Turismo (CONTUR) y la Red de Distribución de Agua Potable y Alcantarillado Desarrollo Marina-Ixtapa instalaron 7,000 m de tubería de 250, 300, 350, 400, 500 mm de diámetro en 1991.
- La Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México (CEAS), instaló en el Valle de Chalco 250,000 m de tubería de varios diámetros para el programa de Solidaridad en 1991.
- La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) perteneciente al DDF, instaló en la Zona Lacustre el Rescate Ecológico de Xochimilco, la cantidad de 3,000 m de tubería de 600 mm de diámetro en 1991.
- La Comisión Para el Desarrollo Agropecuario del Estado de México (CODAGEM), conjuntamente con la CEAS del Estado de México instalaron en el Municipio de San Felipe del Progreso 4,000 m de tubería de 100 mm de diámetro en 1991.
- La CFE instaló tubería en los proyectos de:
La C.T. Carbón II U I y II, ubicada en el Estado, de Coahuila para el sistema contra incendio y para el enfriamiento de los condensadores, actualmente está instalándose la tubería.
- La C.T. Petacalco, ubicada en los límites de Michoacán y Guerrero instaló tubería para el enfriado de sus equipos.

- **La C.N. Laguna Verde, Ver, Instaló tubería de diferentes diámetros para zonas habitacionales de sus trabajadores (Farallón) y en la misma central para el desalojo de aguas pluviales.**
- **La C.T. Los Azufres, Mich. Instaló tubería de diferentes diámetros para la explotación de los pozos geotermoeléctricos.**

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características de la tubería de polietileno son de magnífica trascendencia en cualquier tipo de obra en donde se requiera esta.

Las tuberías de polietileno, por la materia prima con que se fabrican y tomando en cuenta que no le ataca casi ningún agente químico, podemos afirmar que no afecta o que no contamina la superficie en donde es colocada y por lo tanto es recomendable para cualquier tipo de suelo en donde se requiera.

Es única su unión de la tubería por termofusión, ya que los materiales convencionales se unen por medio de soldaduras, elementos cementados, juntas de tipo gibault, etc.

Las tuberías de polietileno es también uno de los pocos materiales que no se tiene el riesgo de pérdidas del material por fracturas, debido a golpes en el manejo de carga, almacenamiento o instalación. Esto evita hacer gastos excedentes por desperdicios.

Una recomendación de importancia, es que cuando se este haciendo la termofusion del polietileno se deba tener especial cuidado en la limpieza de los materiales, ya que si al momento de unir tramo con tramo de material, se encuentra con alguna partícula de polvo o grasa, u otro tipo de agente extraño de impureza, la termofusion no quedará y podrá ocasionar fugas en la línea.

Las tuberías de polietileno resisten a la abrasión en el manejo de materiales de minería como el caso de los lodos o slurry, con una vida de hasta 4 veces mayor que el acero.

Por lo expuesto anteriormente, se puede concluir que es benéfico trabajar con tuberías de polietileno, sin embargo la información al respecto de la misma no está muy difundida por ningún medio, ya que el mismo fabricante niega rotundamente la información técnica. Si está

acompañada de una buena negociación comercial, sí es fácil adquirir dicha información.

Con respecto a otros medios de difusión técnica como serían boletines informativos, exposiciones, asociaciones técnicas, gacetas, etc, está restringida dicha información para el estudiante ignorando el motivo.

Cuando la tubería pasa su tiempo útil de vida, ya sea 15 (intemperie) o 50 años (enterrada), el polietileno puede reciclarse para evitar atacar el medio en donde se encuentre el material.

Es importante enfatizar que el polietileno es uno de los materiales que esta a la vanguardia, pero tiende a mejorar y quizá mañana se tenga conocimiento de nuevos materiales en donde sea menor todavía las desventajas. Es por eso que siempre hay que estar estudiando y capacitándose para implementar los nuevos materiales a la ingeniería y la sociedad.

BIBLIOGRAFIA

- * **HIDRAULICA GENERAL**
GILBERTO SOTELO AVILA
ED. LIMUSA

- * **MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA**
RONALD V. GILES
ED. MC GRAW HILL

- * **ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO**
ERNEST W. STEEL
ED. GUSTAVO GIL

- * **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES**
C.F.E.

- * **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-E-18-1989**
SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
DIARIO OFICIAL 7 DE DICIEMBRE DE 1989

- * **MANUAL TECNICO EXTRUMEX, S. A. DE C. V.**

- * **PIPELINE DESING FOR WATER ENGINEERS**
DAVID STEPHENSON
ED. ELSEVIER

- * **APPLIED HYDRAULIC TRANSIENTS**
HANIF CHAUDHRY
ED. VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY