



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
**Universidad del Perú. Decana de América**  
**Facultad de Ciencias Físicas**  
**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de**  
**Fluidos**

**Instalación de tuberías de polietileno (HDPE) para**  
**redes de alcantarillado: colector Torres de Marcavalle**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

**AUTOR**

**Joaquín Alejandro CONTRERAS ALMIDÓN**

Lima, Perú

2005



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Contreras, J. (2005). *Instalación de tuberías de polietileno (HDPE) para redes de alcantarillado: colector Torres de Marcavalle*. Monografía Técnica para optar el título de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## **DEDICATORIA**

A mis padres Gilberto y Rosa que me dieron la luz para conocer este mundo  
y me apoyaron en todo el camino hacia mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Pedrosa Alanya por su valiosa colaboración con mi persona.

A Erika, el amor de mi vida, la luz que me acompaña en todo momento.

A mis futuros colegas y amigos que me acompañaron en mi carrera profesional.

A mi alma mater y a mi E. A. P. Ingeniería Mecánica de Fluidos

Bach. Ing. Joaquín Contreras Almidón

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	1
III. GENERALIDADES.....	2
3.1 Descripción de la Obra.....	2
3.2 Ubicación de la Obra.....	2
3.3 Vías de Acceso.....	2
3.4 Condiciones Climáticas.....	2
IV. ESPECIFICACIONES TECNICAS.....	4
4.1 Tuberías de Polietileno.....	4
4.1.1 Características Generales.....	5
4.1.2 Consideraciones de Diseño.....	5
4.1.3 Características Técnicas NTP-ISO 8772 (2002).....	7
4.2 Dimensiones y Espesores.....	8
4.3 Transporte y Almacenamiento de Tuberías.....	8
4.4 Instalación de Tuberías.....	10
4.5 Deflexión de Tuberías.....	13
4.6 Buzones de Polietileno.....	14
4.7 Soldadura por Termofusión de Tuberías de HDPE.....	16
4.7.1 Descripción del Equipo de Termofusión.....	17
4.7.1.1 Elemento Calefactor.....	17
4.7.1.2 Refrentadora.....	18
4.7.1.3 Sistema de Unión.....	18
4.7.1.4 Sistema de Transmisión de Energía Hidráulica.....	19
4.7.1.5 Motor de Accionamiento de la Unidad de Potencia.....	19
4.7.1.6 Generador Eléctrico.....	20
4.7.2 Parámetros de la Soldadura de Termofusión.....	20
4.7.2.1 Temperatura Superficial.....	21
4.7.2.2 Presión de Pre-calentamiento.....	21
4.7.2.3 Presión de Calentamiento.....	21
4.7.2.4 Presión de Unión.....	21
4.7.2.5 Tiempo de Enfriamiento.....	22

4.7.3	Proceso de Soldadura por Termofusión de Tuberías de HDPE.....	22
4.7.3.1	Colocación de las Tuberías.....	22
4.7.3.2	Presentación.....	22
4.7.3.3	Refrentado.....	23
4.7.3.4	Pre calentamiento.....	23
4.7.3.5	Calentamiento.....	23
4.7.3.6	Separación.....	23
4.7.3.7	Unión o Asentamiento.....	23
4.7.3.8	Enfriamiento.....	23
4.7.4	Control de Calidad.....	24
4.7.4.1	Ensayos No Destructivos.....	25
	A. Inspección Visual.....	25
	B. Prueba de Inspección por Ultrasonido.....	26
	C. Prueba de Presión Hidrostática.....	27
4.7.4.2	Ensayos Destructivos.....	28
4.8	Soldadura por Extrusión.....	29
4.8.1	Equipo y Proceso de Soldadura por Extrusión.....	29
4.8.2	Control de Calidad.....	30
4.8.2.1	Ensayos No Destructivos.....	30
	A. Prueba Caja de Vacío.....	30
	B. Prueba de Chispa Eléctrica.....	30
	C. Prueba de Canal de Aire.....	30
4.8.2.2	Ensayos Destructivos.....	30
	A. Prueba de Corte.....	30
	B. Prueba de Desgarre.....	30
V.	CONCLUSIONES.....	31
VI.	RECOMENDACIONES.....	31
VII.	ANEXOS.....	31
	7.1 Tablas	
	7.2 Presupuesto de Obra	
	7.3 Análisis de Costos Unitarios	
	7.4 Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA)	
	7.5 Planos	

# INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE POLIETILENO (HDPE) PARA REDES DE ALCANTARILLADO: COLECTOR TORRES DE MARCAVALLE

## I. INTRODUCCIÓN.

En la presente monografía se describirá las especificaciones técnicas para habilitar e instalar las tuberías en un sistema de alcantarillado con tubos de polietileno (HDPE).

Se dará mayor énfasis al sistema de Control de Calidad de la unión por termofusión de las tuberías y las especificaciones técnicas que se tendrán en cuenta durante la ejecución de los trabajos. Son los puntos considerados en la descripción de la presente monografía.

En la instalación del Colector “Torres de Marcavalle” ubicado en la ciudad de La Oroya – Yauli – Junín, se utilizo tubería de polietileno (HDPE) que cumple con la norma **NTP ISO 8772 Tubos y Conexiones de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), para sistemas enterrados de drenaje y alcantarillado**. Se ejecutara teniendo en cuenta todos los aspectos técnicos contenidos en dicha Norma.

En la presente monografía se describirá el proceso de instalación y habilitación de tuberías de polietileno (HDPE) para alcantarillado sanitario. Se mostrara las normas vigentes de instalación para el referido sistema. Además se mostraran las Especificaciones Técnicas para la obra: **Colector “Torres de Marcavalle”** con tubería de polietileno (HDPE)  $\phi$  8” en la ciudad de La Oroya – Yauli – Junín.

El objetivo primordial de la obra es mejorar el sistema de recolección de aguas servidas del sector Torres de Marcavalle que pertenecen a DOE RUN PERU en la ciudad de La Oroya. Forman parte del proyecto Sewage, que además contempla similares obras para los sectores de Chulec, Sudete y Fundición.

## II. ANTECEDENTES.

En el marco de la ejecución del Programa de Adecuación y Medio Ambiente (PAMA) DOE RUN PERU – La Oroya División convoco la elaboración del proyecto **“Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Alcantarillado y Disposición Final de los Desagües de Doe Run Perú – La Oroya”**, el cual comprende el mejoramiento del sistema de alcantarillado, estructuras de cámaras de bombeo y equipamiento mecánico y eléctrico.

Dentro de este proyecto contempla la ejecución del colector “Torres de Marcavalle” en el cual se instalaran tuberías de HDPE de 8” así como la inserción de buzones del mismo material.

### **III. GENERALIDADES.**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA.**

El colector “Torres de Marcavalle” recibirá los desagües del sector Torres de Marcavalle con tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) de 200 mm de diámetro y descargara en el colector existente “Buenos Aires”. Se construirán 8 buzones que varían entre 1.20 m – 3.60 m de profundidad.

De acuerdo a la profundidad se construirán buzones de 1.20 y 1.50 m de diámetro, con techo de concreto armado y solado de concreto simple. La tubería se soldó por extrusión al cuerpo del buzón, las tapas son de hierro dúctil con mecanismo de seguridad.

#### **3.2 UBICACIÓN DE LA OBRA.**

La obra se desarrolla en el distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, y corresponde a las habilitaciones “Torres de Marcavalle”. Las obras a ejecutar se desarrollaran en el área ubicada en la margen derecha del río Yauli. La Oroya se encuentra ubicada a 3750 msnm en la cuenca alta del río Mantaro, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, Sierra Central al oeste de la cordillera occidental del Perú. Distante 176 Km. al este de la capital del país, así como a 125 Km. de la capital del Departamento (Huancayo). Tiene una superficie total de 388.42 Km<sup>2</sup>.

#### **3.3 VÍAS DE ACCESO.**

La Oroya constituye el punto de convergencia de las 3 vías de comunicación del centro del país, una hacia la costa a Lima, otra hacia el sur a Huancayo (Huancavelica, Ayacucho, Cuzco) y la tercera ruta hacia Tarma, el Valle de Chanchamayo y también Junín, Pasco, Tingo María hasta Pucallpa. Por la provincia de Yauli pasa la Carretera Central, que es el eje articulador transversal más importante del Perú.

#### **3.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS.**

Existen dos estaciones climatológicas bien marcadas:

- a. Temporada de clima seco: se inicia en el mes de Abril y termina el mes de septiembre. Se caracteriza por fuertes heladas e intenso frío, tanto en las mañanas como en las noches.
- b. Temporada de lluvias: se inicia el mes de Octubre y concluye en el mes de marzo, presentando fuertes lluvias y nevadas en las partes más altas.

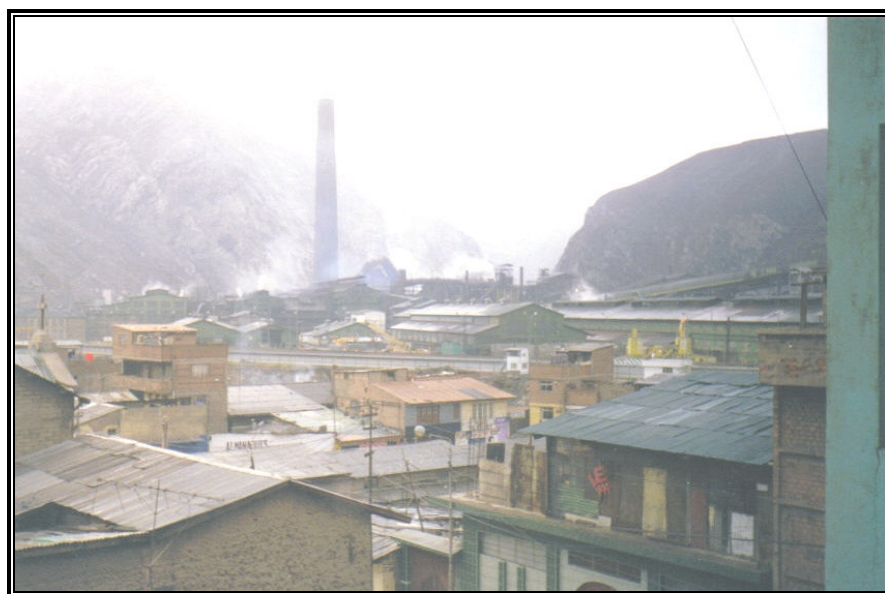


*Fig1. Vista Panorámica de la ciudad de La Oroya*

El clima es frígido boreal y seco en las partes bajas con una temperatura promedio anual de 8 grados centígrados.

En la región Jalca el clima es frígido de tundra, a veces gélido con temperaturas que descienden debajo de los 0 grados centígrados, con precipitaciones pluviales de 700 mm al año en forma variada. Siendo los meses de diciembre, enero, febrero y marzo los de mayor precipitación pluvial.

La temperatura varía de acuerdo a la ubicación geográfica, siendo la más alta registrada a la fecha de 22.2 grados centígrados en febrero de 1998 (Estación Oroya, 3750 msnm) y la más baja -8.1 en Agosto de 1997 (estación Atocsaico 4150 msnm).



*Fig2. La ciudad de La Oroya*

#### IV. ESPECIFICACIONES TECNICAS.

Las Especificaciones Técnicas fueron utilizadas para el control de calidad de instalación de las tuberías y buzones. Para la ejecución de las obras, se tuvo prioridad lo especificado en los planos del proyecto y se aplicaron las siguientes normas:

- Reglamento Nacional de Construcciones.
- Normas Técnicas Nacionales (INDECOPI).

Entre las acciones preliminares necesarias para la habilitación e instalación de tuberías de polietileno (HDPE) se mencionan las siguientes:

- i. Habilitar las tuberías de polietileno (HDPE), junto con todos los materiales para uniones y otras piezas requeridas para su instalación en las tuberías a instalarse.
- ii. Suministro de materiales, mano de obra, equipo y los servicios necesarios para la instalación de tuberías de polietileno y la prueba hidráulica del sistema terminado.

Fue utilizada como referencia esencial la **NTP ISO 8772 Tubos y Conexiones de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), para sistemas enterrados de drenaje y alcantarillado.**

##### 4.1 TUBERÍAS DE POLIETILENO.

El polietileno es un material termoplástico obtenido por la polimerización del eteno. Las tuberías de polietileno son una alternativa eficiente, de buena relación costo/beneficio, en tuberías para la conducción de diversos fluidos de importancia (agua potable y servida, gas natural, relaves). Sus diámetros están comprendidos entre 20 y 600 mm.



*Fig.3 Tuberías de Polietileno.*

#### **4.1.1 Características Generales.**

Dentro de sus principales características se encuentran su gran resistencia química, su flexibilidad y su poco peso. La flexibilidad del tubo de polietileno le permite ser curvado sobre, debajo y alrededor de obstáculos así como también hacer elevaciones y cambios direccionales.

En las pruebas conducidas por Williams Brothers Engineering Company (Tulsa, Oklahoma), la tubería de Polietileno de alta densidad fue comparada con tuberías de acero de grados X-52. Ambos sistemas de tubería fueron probados y comparados utilizando una suspensión de mineral de hierro. La magnetita tenía una gravedad específica de cinco (cinco veces el peso del agua) y el tamaño de una partícula gruesa. Con una velocidad de la suspensión de 13.5 pies por segundo, el sistema superó al sistema de tubería de acero X-52 por 4 a 1. Con una velocidad de 17 pies por segundo, el ratio de desempeño fue 3 a 1.

Estas pruebas, bajo condiciones controladas, demuestran que la tubería de polietileno es superior al acero en las aplicaciones de manejo de sólidos en suspensión. Estos productos han demostrado un excelente desempeño en el manejo de desechos de minas, cenizas volátiles, fango, lodos y rocas de dragado y otros materiales abrasivos.

Tienen una alta resistencia a la corrosión, a incrustaciones y al crecimiento de bacterias. La tubería de polietileno negro, que contiene de 2 a 2.5% de negro de humo finamente molido, puede ser almacenada con seguridad en los exteriores de la mayoría de los climas por muchos años sin que sufra daños por exposición a los rayos ultravioleta. El negro de humo es el aditivo más efectivo para proteger de efectos climatológicos a los materiales plásticos. Cuando el negro de humo es utilizado no se requieren otros estabilizadores o absorbentes de rayos ultravioleta.

#### **4.1.2 Consideraciones de diseño.**

La diferencia básica en el dimensionamiento hidráulico de tuberías de HDPE con respecto a tuberías de materiales tradicionales, reside en la bajísima rugosidad que éstas presentan. Las tuberías de HDPE tienen una superficie extremadamente lisa, lo cual se traduce en una excelente capacidad de escurrimiento.

Por sus excelentes propiedades, se necesita un diámetro menor para transportar un volumen determinado comparado con tuberías de acero, fierro o concreto. Además, mantienen estas características de flujo durante toda su vida útil.

Las ecuaciones que relacionan el flujo de un fluido con su caída de presión en un sistema de tuberías involucran un factor de fricción que depende del material de la tubería. Las fórmulas más comúnmente utilizadas para los cálculos hidráulicos son las de Hazen-Williams y de Colebrook.

En la fórmula de Hazen-Williams, la influencia de la rugosidad se considera en el coeficiente C, que para tuberías de HDPE la literatura técnica determina en 150. En la fórmula de Colebrook, los valores de rugosidad adoptados son:

Para diámetros  $\leq 200$  mm:  $\varepsilon = 10 \mu\text{m}$  ( $1,0 \times 10^{-2}$  mm)

Para diámetros  $> 200$  mm:  $\varepsilon = 25 \mu\text{m}$  ( $2,5 \times 10^{-2}$  mm)

Para diámetros medios y velocidades medias, las diferencias que resultan de la aplicación de las rugosidades  $\varepsilon$  en la fórmula de Colebrook o  $C=150$  en la fórmula de Hazen-Williams, no tiene mucha importancia práctica. Actualmente se considera la fórmula de Colebrook como la que proporciona resultados más exactos.

Ejemplos de escurrimiento gravitacional son sistemas de alcantarillado, líneas para la conducción de agua y transporte de pulpas. Algunos pueden operar con flujo a sección llena y otros con flujo a sección parcial. Gracias a las paredes extremadamente lisas y a las excelentes propiedades de flujo de las tuberías de HDPE, es posible diseñar sistemas muy eficientes. Se requieren tres aspectos para seleccionar una tubería de HDPE para un sistema de escurrimiento gravitacional:

- 1) Los requerimientos de caudal.
- 2) La pendiente de la línea.
- 3) La selección de un diámetro interno adecuado.

En sistemas de escurrimiento gravitacional en donde el flujo es a sección parcial, el caudal se calcula con la fórmula de Manning:

$$Q = AxR_h^{2/3} \frac{\sqrt{S}}{\eta}$$

Donde:

Q = caudal, m<sup>3</sup>/s

A = área sección transversal del diámetro interno, m<sup>2</sup>

R<sub>h</sub> = radio hidráulico (DI/4), m

DI = diámetro interno de la tubería, m

S = pendiente, m/m

$\eta$  = coeficiente de Manning

#### 4.1.3 Características Técnicas NTP – ISO 8772 (2002).

La norma NTP – ISO 8772 (2002) establece los requisitos que deben cumplir los tubos, conexiones y juntas de polietileno de alta densidad (HDPE) con diámetros nominales exteriores desde 110 mm hasta 2 000 mm, así como para accesorios con anillos de sello elastomérico y de diámetro nominal exterior desde 110 mm hasta 400 mm, utilizados para el transporte de sólidos y desechos de los desagües domésticos, mediante sistemas de drenaje por gravedad y tuberías de alcantarillado.

También se aplica a tubos, conexiones y juntas para el transporte de descargas de origen industrial, siempre que se tenga en cuenta las condiciones de resistencia química y de temperatura. (Aprobada con R. 121-2002/INDECOPI-CRT Publicada el 2002). Las características técnicas de la tubería de Polietileno NTP – ISO 8772 (2002):

Material:	Polietileno de alta densidad (HDPE), compuesto del copolimero de etileno y olefinas de alto peso molecular.	
Densidad (resina base):	945 Kg/m <sup>3</sup> – 2000 Kg/m <sup>3</sup>	(ISO 1183)
Densidad (compuesto):	955 Kg/m <sup>3</sup> – 2000 Kg/m <sup>3</sup>	(ISO 1183)
Índice de fluidez 190 °C/5Kg:	0.85 g/10min.	(ISO 1133)
Tensión máxima elástica:	21 Mpa.	(ISO 6259)
Alargamiento de rotura:	> 600%	(ISO 6259)
Modulo de elasticidad:	1000 Mpa	(ISO 527)
Temp. de ablandamiento vicat (1Kg):	125 °C	(ISO 306)
Temp. de ablandamiento vicat (5Kg):	72 °C	(ISO 306)
Elasticidad térmica (OIT* 210 °C):	> 20 min.	(ISO 10837)
Contenido de negro humo:	2%	(ASTM D 1693)
Temperatura máxima de trabajo:	45 °C	
Resistencia a la combustión:	Auto Extinguible.	
Resistencia a ácidos y álcalis:	Excelente.	
Material Volátil:	9 % máximo	
Tamaño promedio de partícula:	0.010 µm – 0.025 µm	
Extracto de tolueno:	0.1 % máx.	

\* Oxidación Induction Time

#### Comportamiento Hidráulico:

Coefficiente de fricción:	n = 0.009 (Manning)
	C = 150 (Hazen – Williams)

Características Mecánicas y Físicas: (Tabla N° 3, anexo 8.1).

Características Geométricas: (Tabla N° 1, anexo 8.1).

## 4.2 DIMENSIONES Y ESPESORES.

Las tuberías mantienen su diámetro y al aumentar el espesor de la pared, decrece el diámetro interior en la Tabla N° 2 del anexo 8.1 se muestra como varía de acuerdo a la serie. El número “SDR” es el cociente de diámetro del tubo para el espesor de las paredes. Se calcula al dividir el diámetro exterior especificado del tubo por el espesor mínimo especificado de las paredes del tubo.

Cualquier tamaño de tubo con un SDR en común está preparado para operar a la misma presión, sin tener en cuenta el  $D_e$ .

SDR = Standard Dimensional Relation (Relación Dimensional Estándar)

$D_e$  = Diámetro externo

$t$  = Espesor de la pared

$$t = \frac{D_e}{SDR}$$

## 4.3 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE TUBERÍAS.

Las tuberías son de 12 metros de largo, en todos los diámetros. Al descargar las tuberías de un camión fue necesario bajarlas con cuidado de manera que no se dañe la superficie. Fue especialmente importante proteger los extremos de la tubería, ya que en caso de daño hubiera dificultado el proceso de soldadura, instalación y control de deflexión.



*Fig.4 Transporte de Tuberías de Polietileno*

Al descargar tuberías fue conveniente hacerlo con sogas textiles y no metálicas que hubieran podido rayar la tubería. Al utilizar grúa horquilla se tuvo cuidado en no dañar los tubos con las puntas y uñas del equipo usando eslingas de lona.

Después de descargarlas, las tuberías fueron colocadas sobre una superficie plana desprovista de elementos punzantes. Cuando las tuberías se almacenan en pilas, se debe evitar un peso excesivo que puede producir ovalizaciones en las tuberías del fondo. Deben almacenarse en superficies planas, sin cargas puntuales, como piedras u objetos puntiagudos, de tal manera que el terreno de apoyo proporcione un soporte continuo a las tuberías inferiores.

Las limitantes en la altura de almacenamiento dependerán del diámetro y espesor de pared de la tubería y de la temperatura ambiente. Las tuberías de HDPE se pueden almacenar a la intemperie bajo la luz directa del sol, pues son resistentes a la radiación UV. Sin embargo, la expansión y contracción causada por un calentamiento repentino debido a la luz solar pueden hacer que la tubería se incline y ceda si no es restringida adecuadamente. Para tal efecto puede utilizarse apoyos con tabloncillos de madera, con una separación de 1 m entre cada apoyo. Además, deben tener cuñas laterales que impidan el desplazamiento de las filas.

En la tabla N° 5 del anexo 8.1 se muestran alturas de apilamiento, según su relación dimensional. Durante la instalación puede tomarse ventaja de la ovalidad, colocando el diámetro mayor de la tubería en la vertical. Se detalla una serie de recomendaciones para un correcto transporte de tuberías de HDPE.



*Fig.5 Almacenamiento de Tuberías de Polietileno*

Los vehículos de transporte deben soportar la longitud completa de tuberías deben estar libres de objetos sobresalientes y agudos. Además se deben prevenir curvaturas y deformaciones durante el transporte.

- Al cargar y descargar las tuberías no hay que golpearlas, arrastrarlas ni tirarlas para no dañar su superficie. Es importante proteger los extremos para evitar deterioros que puedan dificultar el proceso de soldadura.
- Al descargar los rollos o tiras es mejor usar sogas textiles y no metálicas, las que pueden rayar la tubería.
- Las tuberías de HDPE tienen una superficie muy lisa. La carga debe ser firmemente asegurada para prevenir deslizamientos.

#### **4.4 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS.**

Algunas veces la tubería puede ser dañada durante el transporte, descarga o almacenaje. Por esta razón la tubería debe ser nuevamente inspeccionada antes de la instalación definitiva. Cualquier tubería rechazada debe ser dejada de lado y notificar al proveedor el motivo del rechazo. Debido a que las tuberías de HDPE se pueden unir en largos tramos sobre la superficie, basta excavar zanjas angostas que permitan instalarlas, lo que se traduce en una economía en los costos de instalación. Gracias a la facilidad de manejo, la tubería se puede colocar rápidamente en la zanja cuidando de no exceder los radios mínimos de curvatura recomendados.

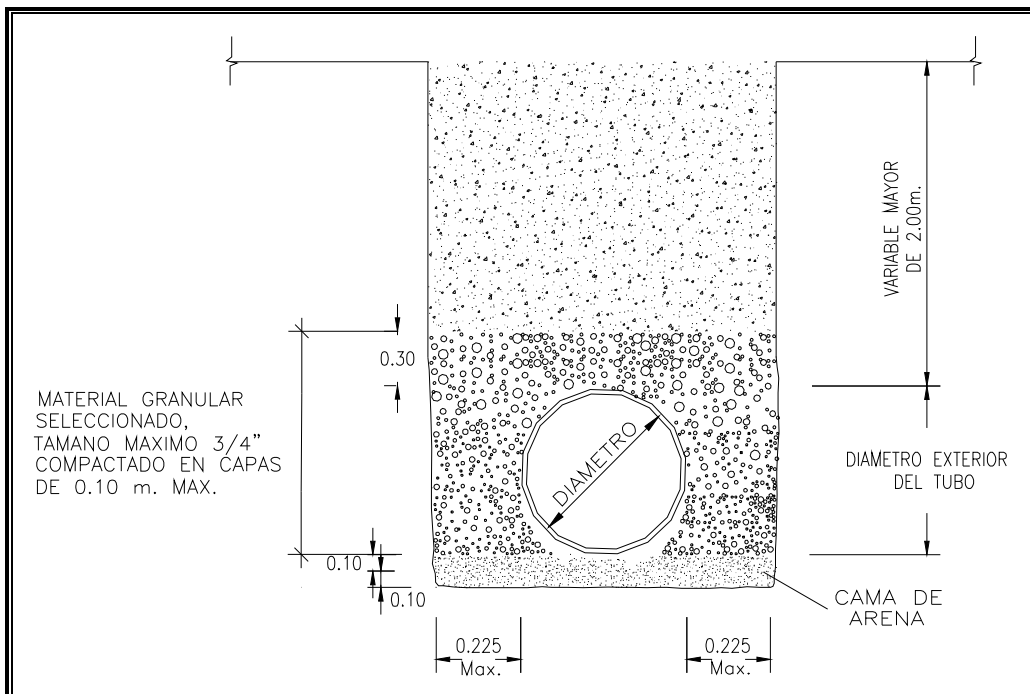


*Fig.6 Tuberías de HDPE.*

El ancho de la zanja variará dependiendo de su profundidad y del tipo de suelo. El ancho del encamado debe ser suficiente para permitir una adecuada compactación alrededor de la tubería. Con relación a la profundidad de la zanja, ésta depende de varios factores: diámetro y espesor de la tubería, cargas producto del flujo vehicular, estructuras estáticas, etc. Con respecto al fondo de la zanja, éste debe ser relativamente uniforme y sin piedras, proporcionando un apoyo continuo a todo el largo de la tubería. Cuando se encuentran rocas o piedras que puedan dañar o causar cargas puntuales sobre la tubería, éstas deben retirarse y se debe rellenar el fondo de la zanja utilizando un encamado de material fino, como gravilla o arena.

Para la mayoría de los sistemas presurizados, no es necesaria una nivelación exacta del fondo de la zanja, a menos que esto sea especificado. Para sistemas de flujo gravitacional, la pendiente se debe graduar de igual forma que para tuberías de otros materiales. Antes de la instalación es importante inspeccionar las zanjas, la maquinaria de instalación y los materiales de relleno para asegurarse que correspondan a lo especificado en el proyecto.

Es necesario además revisar los equipos de soldadura en instalación, y asegurarse que todo esté conforme antes de empezar con el trabajo. La zanja donde será enterrada la tubería estará de acuerdo con las especificaciones: el ancho de la zanja tendrá como mínimo la suma del diámetro de la tubería más 0.45 cm para permitir una buena compactación. Las medidas de una zanja se pueden ver en la Fig.5.



*Fig.7 Sección Típica de Zanja.*

En primer término se efectuó la nivelación y trazo del eje de la tubería, las tuberías de HDPE se pueden unir sobre la superficie y luego bajar hasta la zanja. Se debe tener especial cuidado en no dejar caer la tubería y evitar condiciones que produzcan tensiones forzadas o deformaciones durante la instalación. Antes de instalar la tubería se retiro del fondo las piedras y desechos. En terrenos de malas características mecánicas tales como rellenos, en caso de duda, debe ser discutido con un especialista en mecánica de suelos. Después de la fundación se instaló una cama de arena de 20 cm en dos capas de 10 cm. de espesor cada una.

El área inmediata del tubo (75%) se rellenara con material selecto y se compactara con una densidad Proctor 95 %. El propósito del relleno de la zanja es dar un apoyo firme y continuo alrededor de la tubería. El aspecto más importante para lograr una exitosa instalación es realizar un correcto relleno alrededor de la tubería. Esta zona de relleno es la más importante ya que hace el trabajo de trasladar las cargas verticales hacia el suelo circundante.

El material de estabilizado se colocara en capas delgadas a ambos lados de la tubería. Se utilizara un compactador vibratorio para arena o roca molida y compactador de impacto para arcilla.

Después de 0.30 m por encima del tubo se rellenara con material de inferior calidad con la misma densidad de compactación o bien usar el mismo material de la zanja eliminando las piedras de mayor tamaño a 2". La altura del relleno tiene como mínimo la siguiente:

<b>Tubería (mm)</b>	<b>Relleno secundario sobre tubería (mm)</b>
< 600 mm	150
< 900 mm	300
> 900 mm	450

Se deben tomar todas las precauciones para asegurar una estabilidad de largo plazo para el relleno compactado. Cuando se tiene zanjas con paredes en malas condiciones, movimientos de tierras o napas freáticas altas, deben ser utilizados procedimientos especiales de instalación.

El relleno final se hizo con una retroexcavadora utilizando el material original de la zanja. La maquinarias utilizadas no debe circular por sobre la tubería hasta que ésta esté tapada con un mínimo de 1 m o un diámetro de tubería, cualquiera que resulte ser mayor.

Las tuberías son flexibles y como tales están expuestas a una carga mucho menor que las tuberías rígidas en una zanja enterrada del mismo tipo. Las tuberías rígidas se soportan por sí mismas; en las flexibles trasladamos las cargas verticales del terreno lateral de ellas. Esta es la razón por la cual una buena compactación del terreno lateral ayuda al control de deflexión en las tuberías. Una tubería rígida normalmente falla en forma catastrófica, rompiéndose. Las tuberías flexibles se pueden deformar sin producir daños mayores. Las tuberías flexibles trasladan las cargas puntuales esporádicas al resto de la tubería, pudiendo soportar este tipo de esfuerzo en mejor forma que las tuberías rígidas.

#### 4.5 DEFLEXIÓN DE TUBERÍAS.

La deflexión juega un papel importante y fue verificado por el contratista y la inspección. La deflexión de la tubería debe estar dentro del límite máximo de deflexión permitido. El personal encargado debe controlar la deflexión durante la instalación.

Debido a que las tuberías de HDPE son capaces de deflectarse, su diseño se basa justamente en determinar la deflexión esperada y limitarla a valores adecuados. Su mayor o menor deformación depende de su relación diámetro/espesor (SDR) y del tipo y grado de compactación del suelo envolvente. El método más usado para determinar las deflexiones es el de M. Spangler, quien publicó en 1941 su fórmula IOWA, la que fue modificada por R Watkins en 1955, quien le dio la forma actualmente empleada:

$$\Delta y = \frac{K(D_L \times W_e + W_t)}{(E \times I / r^3) + 0.061 \times E}$$

Ahora, expresada en términos de la relación dimensional estándar, SDR:

$$\Delta y = \frac{K(D_L \times W_e + W_t)}{(2E / 3)(SDR - 1)^3 + 0.061 \times E}$$

En ambas fórmulas los términos tienen el siguiente significado:

$\Delta y$  = Deflexión vertical de la tubería, cm.

$D_L$  = Factor de deflexión a largo plazo recomendado por Spangler  $1 < D_L < 1.5$

$W_e$  = Carga de terreno, Kgf/m lineal.

$W_t$  = Cargas vivas, Kgf/m lineal.

$r$  = Radio medio de la tubería, cm.

$I$  = Momento de inercia de la pared de la tubería por unidad de longitud  
( $I = e^3 / 12$ ),  $\text{cm}^3$ .

$E$  = Módulo de elasticidad del polietileno.

SDR = Standard Dimensional Relation (Relación dimensional estándar).

$E'$  = Módulo de reacción del suelo, Kgf/cm<sup>2</sup>.

$e$  = Espesor de la tubería, cm.

K = Factor de encamado, dependiente del ángulo de apoyo.

Angulo de encamado (grados)	K
0	0,110
30	0,108
45	0,105
60	0,102
90	0,096
120	0,090
180	0,083

#### 4.6 BUZONES DE POLIETILENO.

El manejo y la descarga fueron realizados de manera cuidadosa y a tiempo para proveer la instalación completa. La excavación para la inserción de los buzones primeramente fue realizado con maquinaria y completada manualmente para poder obtener el espacio necesario para la colocación del buzón. El techo fabricado en obra fue de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y con refuerzo de acero corrugado  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , con espesor de losa de 0.30 m, Fig.8.

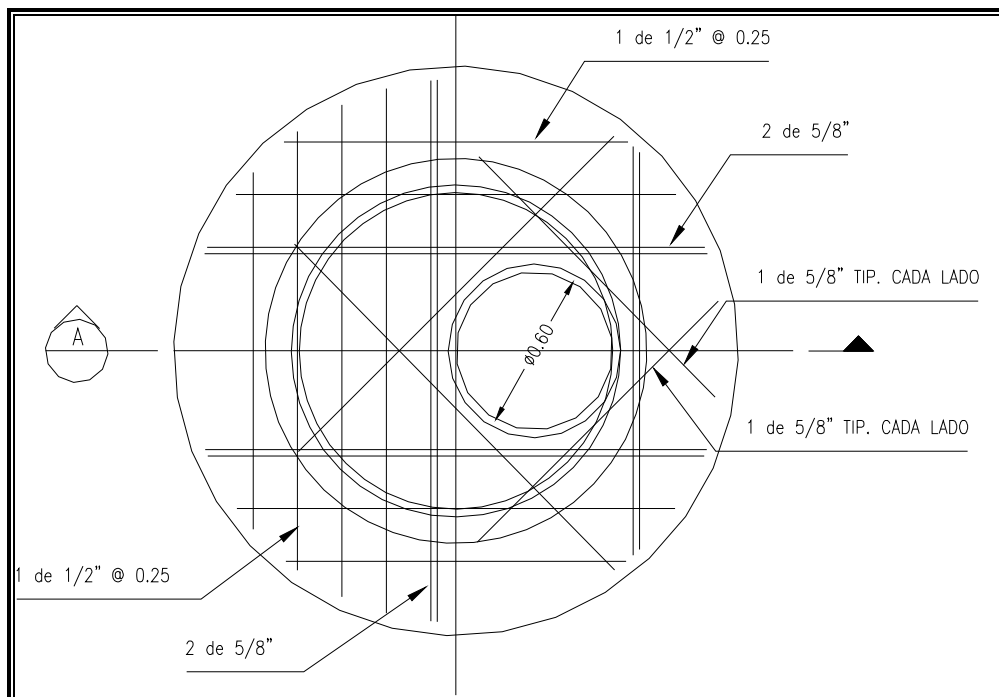


Fig.8 Planta Armadura de Techo de Doble Malla.

Debajo del techo y sobre el cuerpo se colocó una tapa de hierro liso de  $e=3/16''$  y con un ducto de inspección de 0.60m de diámetro y  $e=3.16''$  (Fig.7), sobre el que se apoyó el marco de hierro dúctil. Se reforzó con un perfil L de  $3'' \times 3'' \times 1/4''$ .

Se colocó un refuerzo circular de fierro interior de diámetro similar al buzón y 0.15m de alto. El cuerpo es de tubería corrugada de polietileno de alta densidad HDPE, de diámetro de 1200 mm. El fondo del buzón está sellado con una plancha cuadrada lisa de HDPE de 1" de espesor unida mediante soldadura por extrusión.

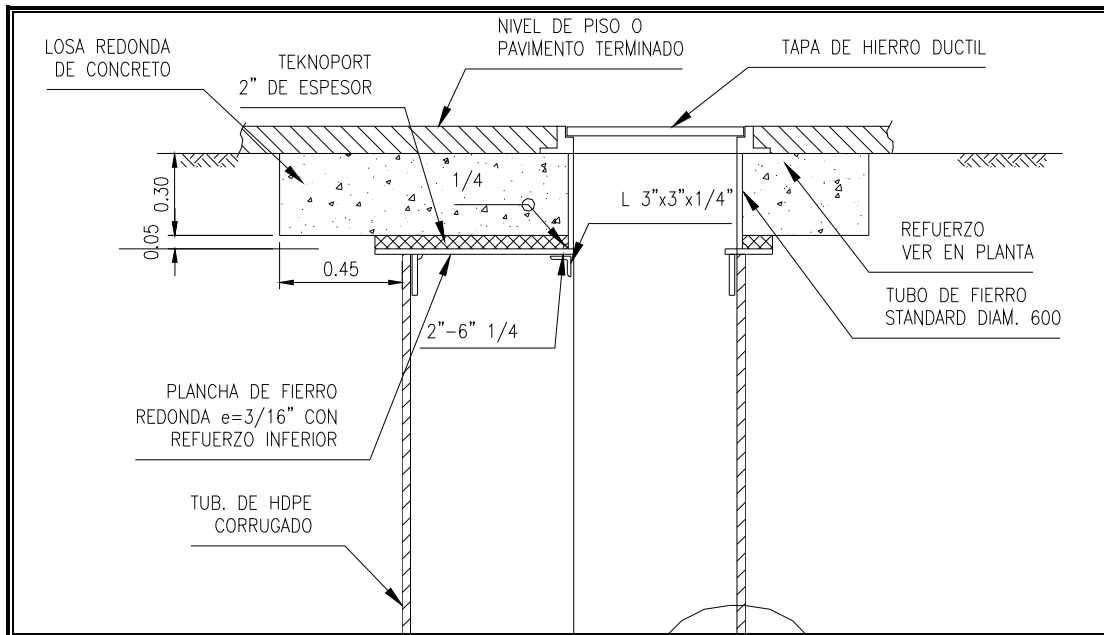


Fig.9 Detalle de Techo de Buzón.

Las tuberías que descargan al buzón se soldaron al cuerpo mediante una plancha cuadrada lisa de HDPE de 1/2" de espesor (soldadura por extrusión, Fig.10). La tubería de descarga forma en el interior la media caña cortando el tubo en forma horizontal en la sección media. El fondo se rellena hasta una altura de 3/4 el diámetro de la tubería con concreto  $f'c=210 \text{ Kg./cm}^2$ .

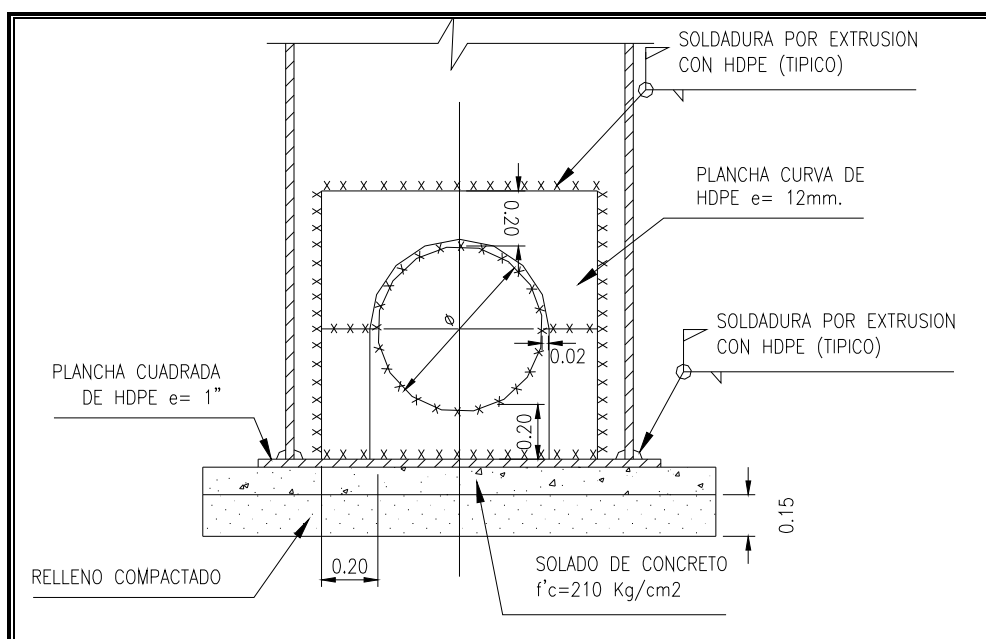
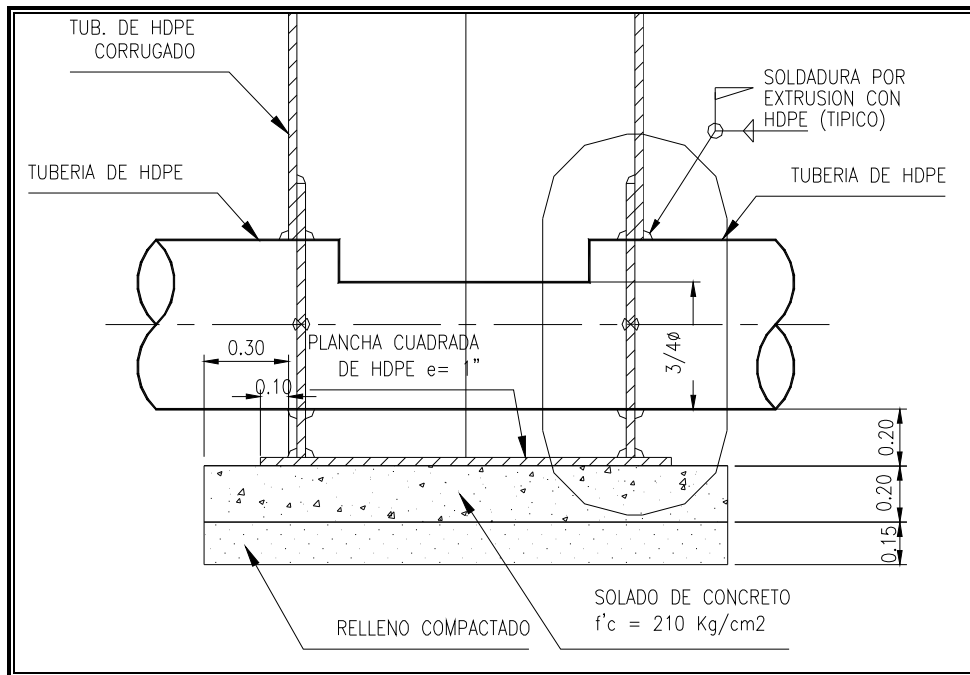


Fig.10 Detalle de Soldadura por Extrusión.



*Fig.11 Detalle de Soldadura por Termofusión.*

Para la instalación se colocó el cuerpo de tubería corrugada de HDPE sobre la base cuadrada de HDPE de 1" de espesor y se soldó por extrusión, aquí se aprovechó para hacer un orificio en la parte baja del cuerpo para colocar la tubería de 8".

En obra la base de concreto fue vaciada sobre un relleno compactado. Se colocó el buzón sobre la base de concreto, proporcionando estanqueidad entre buzón y tubería, seguidamente se colocó una plancha cuadrada de HDPE de 1/2" de espesor con soldadura por extrusión.

Se relleno a los bordes externos del buzón y luego vaciar concreto para la media caña del buzón. Luego se colocó la plancha circular de fierro, y sobre ella una plancha de teknoport, y el refuerzo de fierro corrugado, luego de vaciar el concreto se colocan el marco y tapa. El terreno alrededor del buzón fue compactado adecuadamente.

#### **4.7 SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN DE LAS TUBERÍAS DE HDPE.**

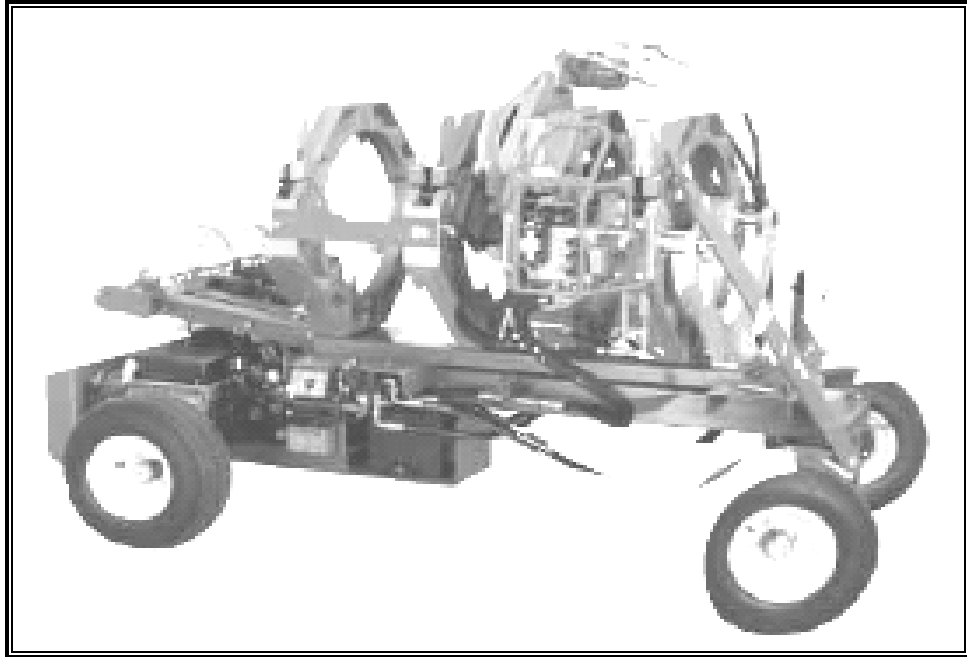
El polietileno es un polímero de cadena recta, con moléculas conteniendo millares de átomos de carbono alineados. Para estos materiales un calentamiento origina un reblandecimiento antes de llegar a su punto de fusión sin alterar su estructura molecular, es decir sin que se haya modificado las propiedades químicas del material.

Este proceso de ablandamiento-endurecimiento puede darse a cabo repetidas veces sin alteración de sus propiedades. Es precisamente esta propiedad la que se aprovecha en la soldadura por termofusión. El polietileno es uno de los materiales más representativos de este grupo y se presta convenientemente para la unión por este método.

#### 4.7.1 Descripción del Equipo de Termofusión.

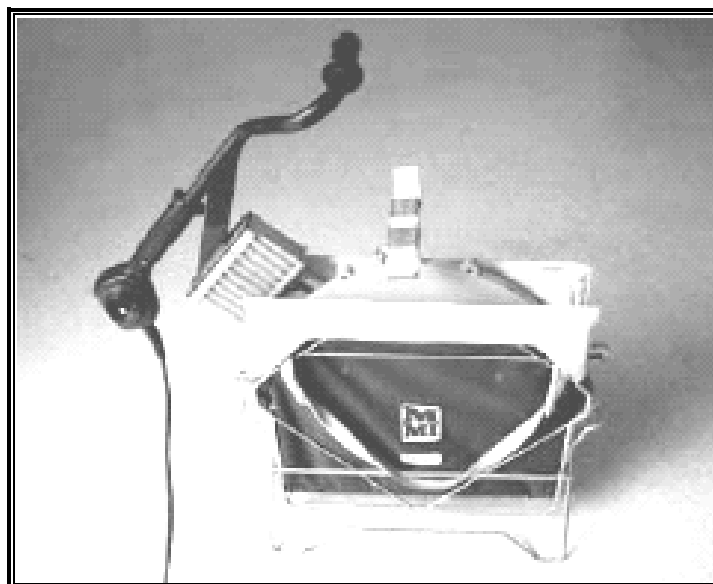
Se clasifican principalmente de acuerdo al sistema de transmisión de potencia que emplean. Pueden ser:

- De accionamiento mecánico. Para tuberías de pequeño diámetro (menores de 4”).
- De accionamiento hidráulico. Son los equipos mas apropiados para uso industrial.



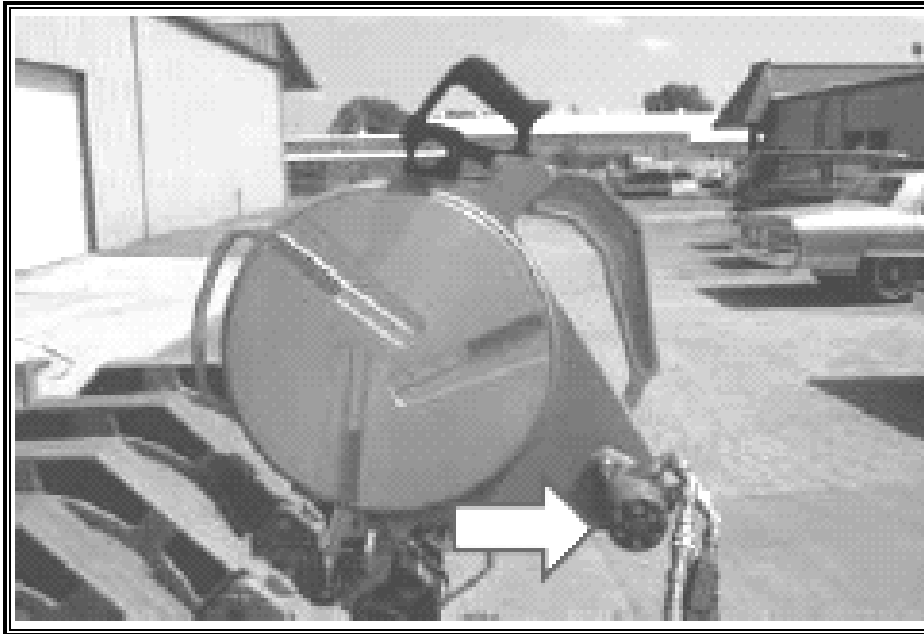
*Fig.12 Equipo de Termofusión modelo N° 412.*

**4.7.1.1 Elemento Calefactor.** Plancha Metálica de calentamiento a base de una resistencia eléctrica interna. El metal de la plancha es liviano para facilitar su manipuleo y tiene una cubierta fina de Teflón para evitar la adhesión del material plástico.



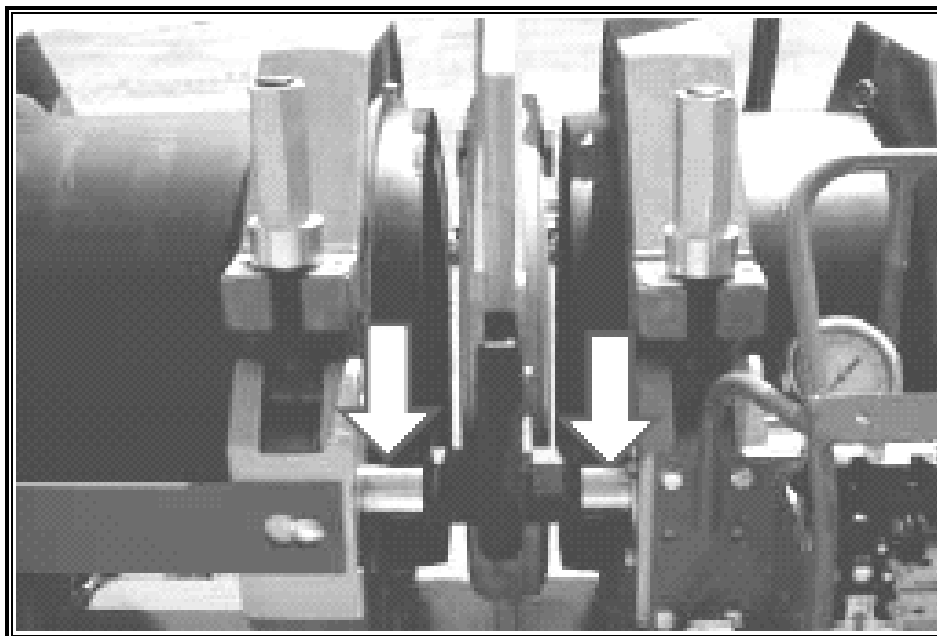
*Fig.13 Elemento Calefactor.*

**4.7.1.2. Refrentadora.** Disco giratorio provisto de cuchillas que realiza la operación de arranque de viruta con la finalidad de uniformizar la superficie de las caras a unir y lograr que el contacto entre ellas sea total.



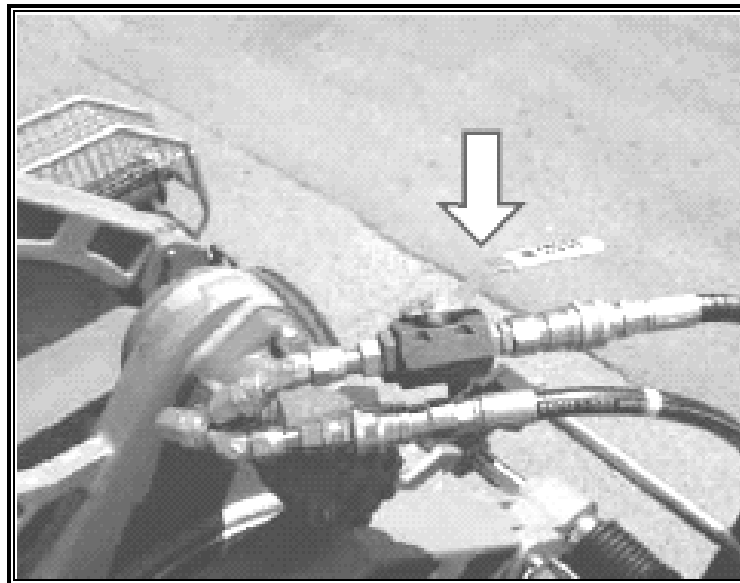
*Fig.14 Refrentadora.*

**4.7.1.3. Sistema de Unión.** Es un sistema mecánico o hidráulico cuya función es poner en contacto y/o separar la tubería sucesivamente con el elemento calefactor, la refrentadora y los extremos de la tubería fundida.

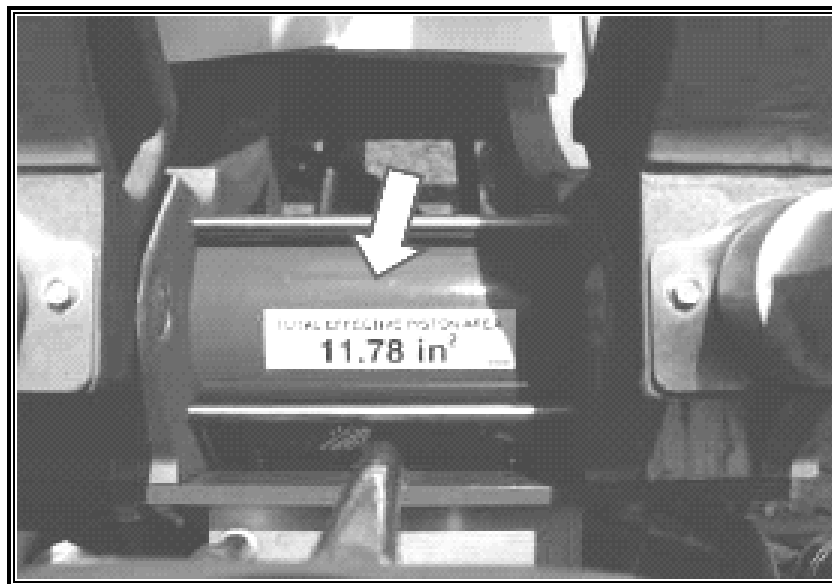


*Fig.15 Sistema de unión (mordazas).*

**4.7.1.4. Sistema de Transmisión de energía hidráulica.** Este sistema esta conformado por la bomba, tubería y accesorios que conducen y transmiten la energía a los mecanismos del equipo.

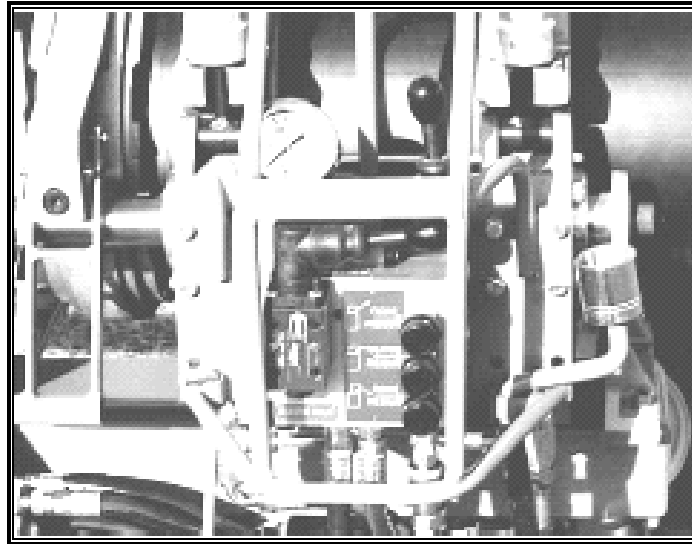


*Fig.16 Válvula esférica.*



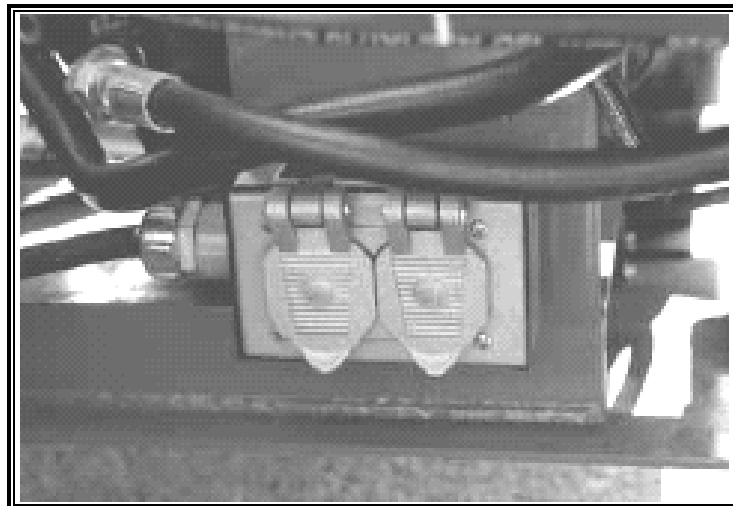
*Fig.17 Cilindro hidráulico.*

**4.7.1.5. Motor de Accionamiento de la Unidad de Potencia.** Puede ser eléctrico o de combustión interna, se encarga de proveer de energía mecánica a la bomba hidráulica y en algunos casos también al generador.



*Fig.18 Unidad de potencia.*

**4.7.1.6. Generador Eléctrico.** Es el mecanismo que provee de energía eléctrica al elemento calefactor. En los equipos de energía autónoma, este mecanismo es accionado por el motor de combustión interna que también acciona la bomba.



*Fig.19 Generador eléctrico.*

#### **4.7.2 Parámetros de la Soldadura de Termofusión.**

Son las magnitudes que se deben controlar para asegurar una junta de garantía:

- Temperatura superficial de la plancha.
- Presión de precalentamiento.
- Presión de calentamiento.
- Presión de unión.
- Tiempo de enfriamiento.
- Tiempo de separación.

Los valores de las magnitudes enunciadas no son fijos, varían de acuerdo al espesor de la tubería (SDR) y al diámetro. Existen algunas recomendaciones generales sobre algunos valores referenciales para conseguir una buena junta, que se describen a continuación:

**4.7.2.1 Temperatura Superficial.** El valor de la temperatura recomendada por el fabricante varia entre 400 °F – 450 °F. Valores cercanos al límite inferior, para tuberías de pequeño diámetro, por la facilidad de controlar el espesor del cordón y los valores cercanos al límite superior para tuberías de diámetro mayores, con el objeto de acelerar la fusión.

**4.7.2.2 Presión de Pre-calentamiento.** Es la presión necesaria para poner en contacto a las tuberías con la plancha de calentamiento. Puede tomar la misma presión del proceso de refrendado. Se debe mantener esta presión hasta la formación del anillo básico de fusión.

**4.7.2.3 Presión de Calentamiento.** Una vez conseguido el anillo básico de fusión; se debe reducir al mínimo la presión para permitir la formación de una buena masa fundida en los extremos.

**4.7.2.4 Presión de Unión.** El principio de la fusión de calor consiste en calentar dos superficies a una temperatura determinada y después fusionarlos aplicando fuerza. Dicha presión hace que fluyan los materiales fundidos, haciendo que se mezclen y se fusionen. Cuando se calienta el tubo de polietileno, la estructura molecular cambia de un estado cristalino a un estado amorfo. Cuando se aplica la presión de fusión, las moléculas de cada parte de polietileno se mezclan. A medida de que se enfría la unión, las moléculas vuelven a su forma cristalina y como resultado se ha convertido en una unidad homogénea. Los valores de presión son variables y dependientes del diámetro y espesor (SDR) de la tubería y del tipo de maquina utilizada. La cantidad de tiempo para realizar una unión depende de los factores ya mencionados, como regla general es de 1 ½ a 2 minutos por tubo, dependiendo del espesor. Siempre se debe consultar los parámetros y procedimientos recomendados por el fabricante.

Definición de variables:

$D_e$  = Diámetro externo, pulg.

$t$  = Espesor de la pared, pulg.

$\Pi$  = 3.1416

SDR = Standard dimensional relation (relación dimensional estándar)

PIF = Presión interfacial recomendada por el fabricante, PSI.

AETP = Área efectiva total del pistón, pulg<sup>2</sup>.

Formulas:

$$t = \frac{D_e}{SDR} \quad AREA = (D_e - t) \times t \times \Pi \quad FUERZA = AREA \times PIF$$

$$PRESION = \frac{(D_e - t) \times t \times \Pi \times PIF}{AETP} + 30P.S.I.(Arrastre)$$

Tamaño del tubo = 8"

$D_e$  del tubo = 8.625 pulg.

SDR del tubo = 11

Presión interfacial recomendada = 75 PSI

Utilizando una unidad de fusión Modelo-28

$$t = \frac{D_e}{SDR} = \frac{8.625}{11} = 0.784 \text{ pulg} \quad AETP = 4.710 \text{ pulg}^2 \text{ (extraída de la tabla N° 4)}$$

$$PRESION = \frac{(8.625 - 0.784) \times 0.784 \times 3.1416 \times 75}{4.710} + 30P.S.I.(Arrastre) = 338PSI$$

**4.7.2.5 Tiempo de Enfriamiento.** Se inmoviliza la unión fundida hasta que enfríe y tome fuerza, los tiempos de enfriamiento de la unión dependen del espesor de las paredes y son establecidos por el fabricante de la tubería. Se debe respetar los tiempos de enfriamiento puesto que el objetivo es lograr la integridad de la unión.

#### **4.7.3 Proceso de Soldadura por Termofusión de Tuberías de HDPE.**

Antes de empezar el proceso de soldadura es recomendable que todo el equipo eléctrico y las fuentes de alimentación estén ubicadas en lugares seguros, si esto no se hace podría producirse una explosión y un accidente fatal. Previamente se deben preparar los soportes del tubo ajustando la altura de manera que el tubo quede alineado con las mordazas. El proceso de soldadura por termofusión, por ser de polietileno de alta densidad requiere que se siga un procedimiento especial que a continuación se detalla:

**4.7.3.1 Colocación de las Tuberías.** Se deben limpiar el interior y el exterior de los extremos de los tubos que serán fundidos. Se abren las mordazas superiores y se instalan las tuberías a soldar sobre la maquina en cada par de mordazas asegurando un ajuste adecuado hasta que las tuberías estén perfectamente alineadas, se dejan que los extremos de la tubería sobresalgan alrededor de 1" del frente de las mordazas para el refrentado.

**4.7.3.2 Presentación.** Después de hacer el montaje de las tuberías sobre la maquina, se verifican las siguientes condiciones: perpendicularidad de las caras con el eje de las tuberías y contacto total de las caras de los tubos a soldarse. Luego se procede a refrentar la tubería.

**4.7.3.3 Refrentado.** Se coloca la refrentadora entre los extremos juntos de las tuberías. Se une a ella con el mecanismo de unión y el espacio que quede indicara la cantidad de material que es necesario cortar del extremo del tubo. Se acciona la refrentadora y luego se inspecciona ambos extremos de los tubos para comprobar que el recorte es correcto. Si la comprobación es positiva; se retira la refrentadora. Luego se juntan los extremos de los tubos bajo presión de fusión para verificar que no haya deslizamientos, y si lo hubiera se ajustan las mordazas.

**4.7.3.4 Precalentamiento.** Una vez que la plancha energizada haya alcanzado la temperatura recomendada por el fabricante; se coloca ésta entre los extremos de las tuberías. Se pone en contacto a las tuberías con la plancha a una presión determinada y se calienta hasta la formación del anillo básico de fusión. El calentador no es a prueba de explosiones, la operación del calentador en un entorno peligroso sin tomar las precauciones de seguridad necesarias podría tener como resultado una explosión y un accidente fatal.

**4.7.3.5 Calentamiento.** Una temperatura de calentamiento incorrecta puede resultar uniones de fusión de baja calidad. Se verifica la temperatura del calentador prestando atención a la lectura en el termómetro de cuadrante. Después de reducir al mínimo la presión de la plancha en contacto las tuberías; se calienta hasta formar un espesor de cordón suficiente en ambos extremos de las tuberías.

**4.7.3.6 Separación.** Es el tiempo que se toma para poner en contacto las tuberías una vez retirado el plato calefactor. Este tiempo debe ser el mínimo posible para evitar la solidificación de la masa plastificada.

**4.7.3.7 Unión o Asentamiento.** Conseguidas las condiciones requeridas en el proceso anterior; se separan las tuberías para poder retirar la plancha. Se juntan rápidamente los extremos fundidos a la presión de unión.

**4.7.3.8 Enfriamiento.** Sin reducir la presión, se deja enfriar por el tiempo necesario hasta que el material alcance la temperatura ambiente.

Finalizado este paso, se aflojan las mordazas y se corren las tuberías, dejando el ultimo extremo de la tubería a la altura de la maquina y colocando la siguiente tubería. De todos los pasos mencionados se consideran como fases sujetas de control a las siguientes:

- Precalentamiento.
- Calentamiento.
- Separación.
- Unión.
- Enfriamiento.
- Presión.
- Tiempo.



*Fig.20 Soldadura por Termofusión de Tuberías de Polietileno*

#### **4.7.4 Control de Calidad.**

El programa de control de calidad de una soldadura depende en gran manera de que en cada fase se haya trabajado dentro de los rangos apropiados de presión, temperatura y tiempo especificados; se controlaran estos parámetros en el formato denominado PROTOCOLO DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA, donde deben reflejarse los valores recomendados.

La configuración de la junta nos indicara directamente la corrección de los valores asignados en el control anterior. Se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Una mayor presión que la recomendada, hará que el reborde de sobreponga a si mismo pudiendo resultar una fusión de baja calidad ya que el reborde será expulsado al diámetro exterior e interior de la fusión creando un “anillo frío” en la zona central de la fusión.
- Una menor presión de la recomendada dará como resultado una fusión inadecuada debido a un contacto insuficiente en el área fusionada.
- El reborde formado debe ser uniforme en tamaño y forma en todo el rededor de la junta tanto en el diámetro externo como el interno.

### **Pautas de ancho y espesor del reborde fundido.**

<b>Medida del Tubo (mm)</b>	<b>Ancho del Reborde (mm)</b>	<b>Espesor del Reborde (mm)</b>
32 - 90	Cerca de 2	3 - 7
90 - 160	2 - 3	7 - 9
160 - 200	3 - 5	8 - 10
200 a mas	5 - 7	13

Un buen alineamiento es condición básica para que la tubería pueda soportar con normalidad esfuerzos de flexión en la zona de costura. A fin de poder verificar la calidad de la instalación de la tubería de HDPE, es necesario efectuar pruebas destructivas y no destructivas.

**4.7.4.1 Ensayos No Destructivos.** Los ensayos no destructivos son aquellos que determinan la durabilidad o calidad de una parte sin limitar su utilidad, o la aplicación de métodos físicos indirectos como es la transmisión de sonido. Dichos métodos no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas dimensionales de un material, lo que hace posible la reutilización de la pieza en estudio una vez concluido el ensayo.

Las soldaduras se pueden inspeccionar usando métodos no destructivos que incluyen la inspección visual de la geometría del cordón de la soldadura, la inspección por ultrasonido, inspección por presión hidrostática y presión neumática; estas pruebas pueden detectar fallas, tales como desalineación, poros e inclusive huecos y grietas.

Si bien los ensayos no destructivos son relativamente fáciles de aplicar, el personal que los realice se recomienda que el personal que los realice haya sido debidamente capacitado y calificado y que cuente con la experiencia necesaria a fin de que se interpreten y evalúen correctamente los resultados y se evite el desperdicio de material o las pérdidas de tiempo por sobre inspección.

**A. Inspección Visual.** Se recomienda esta técnica para comprobar la integridad superficial del material, por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que estén en la superficie. Es necesario aclarar que soldaduras visualmente buenas no garantizan una buena calidad mecánica. La examinación visual generalmente determina condiciones en las superficies tales como desalineamiento en las superficies de las uniones, forma o evidencias de fugas. Accesos o ángulos de visión e iluminación son consideraciones muy importantes ya que el examen visual depende directamente de las condiciones existentes.

El examen visual directo normalmente puede hacerse al ojo a unos 24 in (609.6 mm) y el ángulo de visión no menos de 30° de la superficie a ser examinada. Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión, al igual que lentes de aumento o lupas. Se debe tener el área suficientemente iluminada. La iluminación puede ser natural o artificial (350 lux). El control del examen visual se puede observar a través de lentes, fibras ópticas, cámaras, etc. Es necesario aclarar que soldaduras visualmente buenas no garantizan una buena calidad mecánica, es por ello que sería deseable una prueba fiable no destructiva para control de calidad de la tubería en el campo.

**B. Prueba de Inspección por Ultrasonido.** Los ultrasonidos son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sonicas, diferenciándose de estas en que su campo de frecuencias se encuentra en la zona audible. Este método es uno de los principales de los ensayos no destructivos. Su aplicación permite conocer la integridad del material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la soldadura, además de la determinación de diferencias en la estructura del material y sus propiedades físicas. El equipo es el siguiente:

- Equipo ultrasónico con generador de señales de 2.25 MHZ con un elemento de Lucita de 6 mm x 6 mm (1/4" x 1/4").
- Palpadores de incidencia angular, específicamente de emisión 60°.
- Acoplante: aceite.
- Trapos de limpieza.

Se aplica una limpieza manual en toda el área de la soldadura y sus alrededores, con el propósito de eliminar todo rastro de suciedad presente en la misma. La superficie debe estar libre de suciedad y completamente seca. Se calibrara el equipo a una frecuencia nominal de 4 MHZ. Una vez limpia la superficie se procederá a la aplicación del acoplante, en este caso el aceite. Si el haz de ultrasonido es suficientemente divergente, se cubre el espesor de la unión sin necesidad de desplazar el palpador con movimiento de vaivén. La presentación de los resultados radica en la altura de los ecos de indicación o “picos”, estos representan la intensidad del haz ultrasónico reflejado. La forma de la indicación del eco, puede proporcionar alguna información acerca de la morfología de la heterogeneidad. Si la indicación del eco alcanza una altura total con pocos escalones (modos de frecuencia) normalmente suele proceder de un reflector plano irradiado en dirección próxima a la perpendicularidad en dicho plano; esto será un indicativo de una buena soldadura. Por el contrario si la heterogeneidad no es plana o es irregular o, siendo plana o rugosa no se irradia perpendicularmente, la elevación de la irradiación del eco suele ser mas gradual, resultando una soldadura deficiente, indicando micro porosidades.

**C. Prueba de Presión Hidrostática.** De las pruebas no destructivas se realizan las pruebas de presión hidrostáticas a las líneas HDPE antes de entrar en servicio, son más confiables y utilizados por las empresas de fabricación e inspección de tuberías de polietileno de alta densidad. Es necesario aclarar que debido a la visco-elasticidad del plástico se produce un alargamiento por la elevada tensión periférica, adicionalmente se requiere agua de relleno como sustancia para la intensidad de la presión hidrostática. El éxito de la prueba es juzgado entonces por la cantidad de agua de relleno que se necesita para restaurar y mantener la presión original de la prueba.

Los trabajos deben ser realizados por personas especializadas, tanto las que realizaran las uniones como las que ejecutaran los ensayos y la aprobación de la instalación. La prueba de tuberías de Polietileno de Alta Densidad se debe realizar en “longitudes razonables”, basadas en el sitio de trabajo, en el diámetro de la tubería y la disponibilidad del volumen de agua requerido para la prueba hidrostática. Se recomienda dejar expuestas las tuberías en sus uniones durante la prueba hidrostática. Una pequeña fuga en la soldadura se puede localizar mas fácilmente cuando esta expuesta. Las condiciones del sitio, la instalación de la tubería, el procedimiento de la prueba y el contratista o el ingeniero dictaran si la soldadura quedara expuesta durante la prueba.

Cualquier tubería de polietileno expuesta debe protegerse temporalmente contra los cambios bruscos de temperatura durante la prueba. El agua, la tubería y el terreno deben estabilizarse térmicamente y equilibrarse. La tubería debe llenarse y asentarse durante la noche (32 °F el agua) para la estabilización térmica. El periodo de tiempo para la estabilización térmica dependerá de la temperatura del agua de descarga, las dimensiones de la tubería y condiciones climáticas.

Para la estabilidad térmica, seguridad y para limitar la desviación del anillo que se forma por la unión, la tubería debe ser sostenida fuertemente no solo al inicio y en el extremo de la línea a examinar, sino también en todas las curvas y desviaciones horizontales y verticales para así evitar un variación en las dimensiones, la tubería esta deba estar cubierta por tramos de manera tal que se evite deflexiones laterales bruscas de la línea.

La presión de prueba debe tomarse a partir del punto mas bajo de la tubería de manera que se expulse el aire a medida que la tubería se este llenando. Debe localizarse unos dispositivos mecánicos de descarga de aire, adecuados en los puntos altos. La bomba puede operar a mano o mecánicamente, una pre-prueba debe hacerse en la bomba y en las válvulas, para asegurarse de no existir goteos o fugas de agua en la prueba.

Se debe someter a la tubería a una presión de prueba de 1.5 veces la presión de diseño, una ligera caída de presión no solo ocurrirá debido a la expansión de presión sino también debido a las fluctuaciones en la temperatura durante la prueba; con los aumentos de temperatura, la presión medida aumentara. Después de haber alcanzado la presión de prueba esta debe permanecer constante durante 5 horas, bombeando consecutivamente una cantidad suficiente de agua.

El volumen de agua  $\Delta V(3H - 2H)$  necesario para mantener el volumen de agua constante entre la segunda y tercera hora tiene que ser medido, de la misma manera el volumen de agua entre la cuarta y quinta hora  $\Delta V(5H - 4H)$ .

Esto quiere decir que en intervalos irregulares de dos (2) horas deben restaurarse la presión de la prueba para el sucesivo bombeo. Así de este modo se puede determinar el aumento de volumen, midiendo la cantidad de agua que se ha introducido seguidamente.

Si el volumen de agua  $\Delta V(5H - 4H)$  es más grande que:

$$\Delta V(5H - 4H) = 0,550x\Delta V(3H - 2H)$$

Entonces, se puede decir que no hay una fuga o un cambio imprevisible del volumen de la tubería durante el periodo de la prueba debido a un aumento de temperatura y/o alargamiento axial. Cuando se produce una fuga, esta se expresa a menudo en volumen de agua por la longitud de la tubería y para los diferentes diámetros de la misma. Si este volumen se transfiere para ser válido durante una hora y para la longitud de la tubería real probada  $V_{leak,1h}$ , el criterio de aceptación podría formularse de la siguiente manera:

$$\Delta V(5H - 4H) = 0,550x\Delta V(3H - 2H) + L_{eak,1h}$$

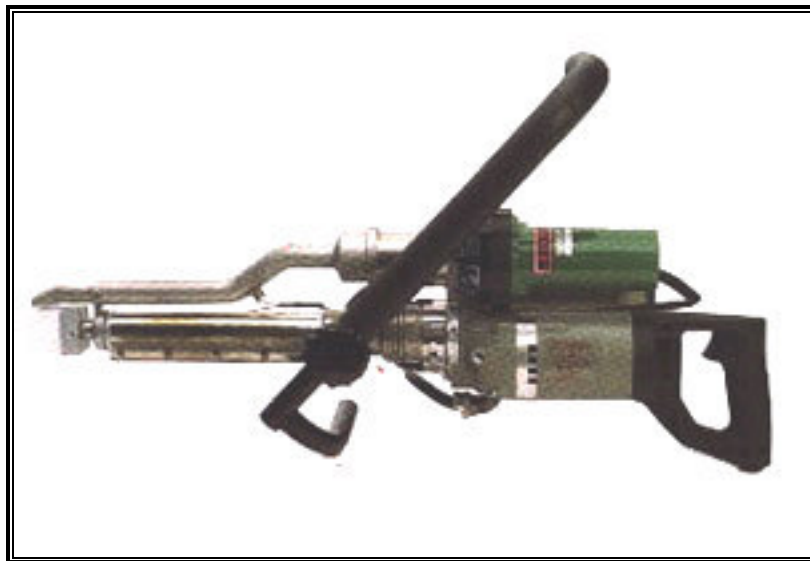
**4.7.4.2. Ensayos Destructivos.** Dentro de los ensayos destructivos para las tuberías de polietileno se considera la prueba del doblado, este ensayo consiste en tomar una probeta de los extremos sujetándola fuertemente manteniéndola fija y se ejerce la misma presión a cada lado, solo si es de pared delgada se puede hacer con las manos. Antes o después del ensayo no deben aparecer fisuras, poros ni cavidades en la unión, ni en el cordón interior, ni en el exterior.

## 4.8 SOLDADURA POR EXTRUSIÓN.

### 4.8.1 Equipo y Proceso de Soldadura por Extrusión.

Extrusión quiere decir dar forma a una masa metálica, plástica, alimento, etc. haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. En este caso es la unión por extrusión se ejecuta mediante una soldadora guiada manualmente, provista de una cámara de fusión de material de aporte, una boquilla para la extrusión del aporte y una boquilla de precalentado de la superficie que recibirá el material de aporte o extruido. Esta maquina se denomina Extrusora.

El material de aporte, también HDPE, ya sea como cordones o hilo es ingresado a la cámara de fusión donde por medio de un tornillo sin fin es hecho fluir a través de la boquilla de extrusión. Mientras el operador guía la boquilla de extrusión apoyándola sobre las partes a unir, un flujo de aire caliente expedido por la boquilla de precalentado prepara las superficies previamente pulidas para su perfecta adherencia con el cordón de soldadura.



*Fig.21 Soldadora por Extrusión de Material de Aporte*

Las variables de control para este tipo de maquina son la temperatura de fusión del material de aporte, que dependerá del tipo de polímero empleado y la temperatura de flujo de aire caliente, que dependerá del espesor de las laminas y de las condiciones ambientales. Previa a la ejecución de la soldadura las superficies a soldar por el método de extrusión deben ser previamente unidas de modo de garantizar el contacto pleno de las superficies bajo el cordón de soldadura.

## 4.8.2 Control de Calidad.

**4.8.2.1. Ensayos No Destructivos.** Existen fundamentalmente tres tipos de ensayos no destructivos para la verificación de la estanqueidad de las uniones:

**A. Prueba de Caja de vacío.** Se ejecuta sobre las uniones realizadas por extrusión. Consiste en someter la totalidad del cordón de soldadura a una presión de vacío determinada por el espesor de la tubería para comprobar si la disolución jabonosa aplicada con anterioridad revela la existencia de burbujas de aire.

**B. Prueba de chispa eléctrica.** La prueba de chispa eléctrica se utiliza en cordones de extrusión a los cuales se les ha dejado inserto un alambre de cobre previo a la colocación del material de aporte. Este ensayo se lleva a cabo utilizando un dispositivo semejante a una escobilla metálica conectado a una fuente de energía eléctrica, la existencia de porosidades o discontinuidades en la soldadura producirá que la unidad emita una señal audible o chispa eléctrica. Hay que tener en cuenta la peligrosidad de esta prueba en caso de realizarla en un ambiente cargado de gas por su riesgo potencial de explosión.

**C. Prueba de canal de aire.** Consiste en la aplicación de aire a presión dentro del canal espacio dejado por la soldadora y se verifica que no exista pérdida de presión.

**4.8.2.2. Ensayos Destructivos.** A diferencia de los ensayos no destructivos, que tienen como objetivo determinar la estanqueidad de todas las uniones, los ensayos destructivos sirven para evaluar estadísticamente la calidad de las soldaduras. Los ensayos son ejecutados en probetas cortadas directamente. Estos ensayos son de dos tipos:

**A. Prueba de Corte.** Consiste en someter la unión entre las láminas de la probeta de ensayo a un esfuerzo de corte directo ejecutado a una velocidad determinada. Para esto, se fijan los extremos (respecto al eje de soldadura) a las respectivas tenazas del tensiometro y se procede con el ensayo. Una vez finalizado el ensayo se registra la máxima resistencia de la probeta y se indica si la falla se produjo fuera o en la soldadura.

**B. Prueba de Desgarre.** El procedimiento es semejante en metodología y condición de aprobación al ensayo de corte. Su diferencia radica en que para someter a desgarre la soldadura, los extremos de la probeta, asidos por las tenazas, corresponden a las laminas ubicadas a un mismo extremo de la soldadura. La aprobación de la probeta requiere que la eficiencia al desgarre iguale o exceda las especificaciones de construcción.

## **V. CONCLUSIONES.**

1. En la actualidad las tuberías de polietileno son usadas para resolver diversidad de problemas que se presentan en las distintas ramas de la ingeniería: colectores, redes de agua potable, traspones de relaves mineros, acueductos, alcantarillas, líneas de conducción, etc. Gracias a su flexibilidad se puede eliminar la necesidad de conexiones y reducir los costos de instalación. Esta tubería es muy lisa interiormente con lo cual es muy fácil transportar líquidos por gravedad con pendientes mínimas.
2. Comparados con los materiales de tubería tradicionales, los sistemas de tubería HDPE pueden ofrecer ahorros en instalación, mano de obra y equipo. La tubería de polietileno es muy competitiva, considerando el potencial que tiene de reducir costos de mantenimiento y dar una larga vida de servicio en diversas aplicaciones.
3. Antes de la ejecución de la obra mencionada las aguas servidas descargaban directamente al río Yauli, en la actualidad se ha mejorado el sistema de recolección de aguas servidas del sector Marcavalle, Torres de Marcavalle, en el marco de ejecución del PAMA por parte de DOE RUN dirigiéndolas hacia el colector “Buenos Aires” para la futura planta de Tratamiento de Aguas Servidas; disminuyendo la contaminación.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

1. Para trabajar con sistemas de tuberías de polietileno se recomienda contactar con empresas de experiencia verificada en la instalación, manejo y control de calidad de estos materiales, ante una buena instalación se obtendrá buenos beneficios.
2. Recomiendo adicionar este tema en los cursos electivos de la curricula de nuestra Escuela Académica, solo en campo se ve este tipo de instalación ya que en la mayoría de obras se esta implementando este sistema por lo cual deberíamos estar preparados para este tipo de situaciones.
3. La obra se ejecuto en los meses de Diciembre y Enero, época de lluvias, para una mejor ejecución era recomendable trabajar en los meses de verano puesto que las lluvias frecuentes perjudicaban la instalación y el material de relleno, aun así se pudo completar la instalación de dicho colector.

## **VII. ANEXOS.**

### **7.1. TABLAS.**

### **7.2. PROGRAMA DE ADECUACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL (PAMA).**

### **7.3. PRESUPUESTO DE OBRA.**

### **7.4. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.**

### **7.5 PLANOS.**

## VII. ANEXOS.

### 7.1 TABLAS.

**Tabla N° 1.** Características Geométricas de las tuberías de HDPE. (Norma NTP-ISO 8772 (2002))

<b>Diámetro Nominal</b>	<b>Serie</b>	<b>Diámetro Interno</b>	<b>Espesor</b>	<b>Longitud</b>
110 mm	8	96,8 mm	6,6 mm	25 m
160 mm	8	141,0 mm	9,5 mm	6 m a 12 m
200 mm	8	176,2 mm	11,9 mm	6 m a 12 m
250 mm	8	220,4 mm	14,8 mm	6 m a 12 m
315 mm	8	277,6 mm	18,7 mm	6 m a 12 m
355 mm	8	312,8 mm	21,1 mm	6 m a 12 m
400 mm	8	352,6 mm	23,7 mm	6 m a 12 m
450 mm	8	396,6 mm	26,7 mm	6 m a 12 m
500 mm	8	440,8 mm	29,6 mm	6 m a 12 m
630 mm	8	555,4 mm	37,3 mm	6 m a 12 m

**Tabla N° 2** Espesor Nominal de pared de Tuberías (HDPE) en mm.

<b>SDR</b>	<b>SDR 33</b>	<b>SDR 26</b>	<b>SDR 17</b>
<b>D</b>	S16	S12,5	S8
110	3,4	4,2	6,6
160	4,9	6,2	9,5
200	6,2	7,7	11,9
250	7,7	9,6	14,8
315	9,7	12,1	18,7
355	10,9	13,6	21,1
400	12,3	15,3	23,7
450	13,8	17,2	26,7
500	15,3	19,1	29,6
630	19,3	24,1	37,3

**Tabla N° 3.** Características Mecánicas y Físicas de las tuberías de HDPE. Norma NTP-ISO 8772 (2002).

Tipo de Prueba	T (°C) Ensayo	Tiempo Ensayo	Requisito	Observaciones
Presión Sostenida	20 °C	1 Hora	13 Bar.	Presión Hidráulica Interna
Reversion Longitudinal	110 °C	-	3% máx.	Ensayo en horno

**Tabla N° 4.** Áreas Efectivas Totales del Pistón (Presión de unión, [www.mcelroy.com](http://www.mcelroy.com))

Modelo de Fusión	Fuerza Alta (Estándar)	Fuerza Media (Alta Velocidad)	Fuerza Baja (Velocidad Extra Alta)
28	4.71	-	1.67
412	11.78	6.01	3.14
618	11.78	6.01	3.14
824	29.44	15.32	9.45
1236	29.44	15.32	9.45
1648	31.42	14.14	-
2065	31.42	-	-

**Tabla N° 5.** Alturas de apilamiento - Pipe Institute para tuberías de HDPE.

Diámetro Nominal (mm)	Numero de Filas de Apilamiento		
	SDR ≤ 18	18 ≤ SDR ≤ 26	26 ≤ SDR ≤ 32.5
110	45	26	14
125	40	23	12
140	35	20	11
160	31	17	10
180	27	15	9
200	24	13	8
250	17	10	6
280	15	9	5
315	13	8	5
355	12	7	4
400	11	6	4
450	10	6	4
500	9	6	3
560	8	5	3
630	7	4	3
710	6	4	3

## **7.2 PROGRAMA DE ADECUACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL (PAMA):**

El Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, documento en el cual se detallan todos los proyectos que están ejecutando las empresas que operan en el sector minero para mitigar la contaminación ambiental en todos sus aspectos, de modo que sus emisiones sean conformes a las normas de los niveles máximos establecidos.

Estos proyectos se deben realizar dentro de los plazos legalmente establecidos: desde 1997 hasta el año 2001 para las actividades mineras y hasta el año 2006 para las actividades metalúrgicas. En 1996 obligatoriamente cada una de las empresas que operaban dentro del sector minero presentaron al Ministerio de Energía y Minas sus respectivos PAMA para su revisión y aprobación.

El PAMA del Complejo Metalúrgico de La Oroya fue elaborado por Centromin Perú S.A., el mismo que fue aprobado en enero de 1997. Doe Run Perú y Centromin Perú comparten los compromisos de ejecutarlos, según las responsabilidades ambientales definidas en el contrato de transferencia y a los cronogramas establecidos.

Para la elaboración del PAMA se analizaron los siguientes aspectos:

- Impacto ambiental.
- Inversión.
- Factibilidad de su ejecución como un negocio en marcha.
- Introducción de cambios tecnológicos.

Después de analizar estos factores, el plan estratégico de los proyectos fue establecido en base a las prioridades de impacto e implementación de tecnologías adecuadas, determinándose su ejecución en el siguiente orden:

1. El tratamiento de los efluentes líquidos, el manipuleo y el almacenamiento adecuado de los residuos sólidos.
2. Compactación de tecnologías para concentrar los gases de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>).
3. Construcción de una planta de ácido sulfúrico Proyecto de Relleno Sanitario en Cochabamba.

Por la naturaleza de sus procesos el Complejo Metalúrgico de La Oroya genera emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos que impactan el medio ambiente y su proceso de adecuación ambiental se inicio desde la promulgación de las normas legales pertinentes. De acuerdo a estas normas se hicieron los programas de monitoreo, de evaluación preliminar y la elaboración del PAMA. Al adquirirse esta empresa se firmó el contrato de estabilidad administrativa ambiental. Actualmente según las normas legales Doe Run Perú es una empresa en proceso de Adecuación Ambiental.

Esto último significa que para el año 2007 se habrán ejecutado todos los proyectos PAMA que permitirán que las emisiones de las operaciones no alcancen los límites máximos permisibles de acuerdo a las leyes ambientales. En diciembre de 1998, Doe Run Perú solicitó la modificatoria de su PAMA, la misma que fue aprobada en Octubre de 1999, incrementándose sus inversiones de 107 a 168 millones de dólares.

Desde octubre de 1997, Doe Run Perú viene ejecutando los proyectos PAMA de acuerdo al cronograma establecido. En 1999 se inició un Programa de Mitigación y Control del impacto de las emisiones gaseosas y material particulado.

Además, se han establecido varios Programas de Forestación y mejora de la jardinería en las diversas áreas verdes. Doe Run Perú continúa ejecutando un programa de mitigación ambiental, mientras están en ejecución los proyectos PAMA, entre ellos la Planta de Ácido Sulfúrico. Los objetivos del programa de mitigación son los siguientes:

- Disminuir la cantidad de material particulado que se emite por la chimenea principal.
- Reducir el impacto ambiental de las emisiones gaseosas mediante el ajuste de procesos operativos en las plantas generadoras de S02.
- Mejorar la eficiencia de captación de material particulado en todos los colectores de polvo (Bag House) del Complejo Metalúrgico.
- Control de las emisiones fugitivas.