

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO



**ACTIVIDADES MAS REPRESENTATIVAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE GASODUCTOS Y CONTROL DE
CALIDAD DE LA SOLDADURA EN EL PROYECTO
CAMISEA**

**TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS PARA
OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE
PETRÓLEO y PETROQUÍMICA**

ELABORADO POR:

FABIAN FRANCISCO PEREZ INGA

PROMOCION 94-0

LIMA – PERU

2004

CONTENIDO

1. SUMARIO	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. CAPITULO I : BASE TEÓRICA	5
4. CAPITULO II : ACTIVIDADES BASICAS ANTES DE EMPEZAR A SOLDAR LAS TUBERÍAS	17
4.1. Trazado de la Ruta	17
4.2. Movilización	17
4.3. Calificación y Procedimiento de Soldadura y Soldadores	17
4.4. Negociación de Tierras y Replanteo	21
4.5. Localización de Obras u otras líneas existentes enterradas	22
4.6. Apertura y conformación del Derecho de Vía	23
4.7. Transporte y Tendido de Tubería	25
4.8. Doblado o Curvado de la Tubería	28
4.9. Rebiselamiento de la Tubería	29
5. CAPITULO III: SOLDADURA Y CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS	
5.1. Alineación y Soldadura	31
5.2. Control de Calidad de las Construcciones	34
5.2.1. Inspección Visual de Uniones Soldadas	34
5.2.2. Inspección de Soldaduras Mediante Ensayos No Destructivos	37
5.2.2.1. Tipos de Ensayos	37
5.2.2.2. Equipos y materiales	42
5.2.2.3. Procedimiento Radiográfico	43
5.2.2.4. Transporte y almacenamiento de la Fuente Radioactiva	49
5.2.2.5. Tipos de Discontinuidades de la Soldadura	50
5.2.2.6. Protección Radiológica del Operador	60
5.2.2.7. Equipo de Contingencia	62
5.2.2.8. Costo de una Inspección por ensayo no destructivo al Cordón de Soldadura	63

6.	CAPITULO IV: ACTIVIDADES Y OBRAS ESPECIALES ANTES Y DESPUÉS DEL BAJADO DE LA TUBERIA	
6.1.	Limpieza y Revestimiento de la Junta Soldada	65
6.2.	Apertura de Zanja	67
6.3.	Bajado de Tubería	69
6.4.	Tendido de Fibra Óptica	71
6.5.	Instalación de Sistema de Protección Catódica	71
6.6.	Tapado de Tubería	71
6.7.	Empalmes Especiales de Juntas Abiertas	72
6.8.	Cruces Especiales	74
6.9.	Instalación de Válvulas – Construcción y Montaje de Trampas	77
6.9.1.	Prueba Hidrostática	78
6.9.2.	Limpieza del Gasoducto	78
6.9.3.	Limpieza Final, Obras de Protección al Derecho de Vía y Recomposición.	81
7.	CONCLUSIONES	83
8.	RECOMENDACIONES	84

1. SUMARIO

El presente trabajo es una descripción detallada de todas las actividades que se realizaron para la construcción del gasoducto que permitirá transportar el gas natural y sus condensados desde los yacimientos de Camisea hasta Lima y Pisco respectivamente.

El propósito de este tema es demostrar que todo el proceso de construcción de los ductos están basados en normas, estándares y especificaciones que el consorcio dueño del proyecto utilizó debido a las exigencias que existen en la actualidad respecto a calidad, seguridad y protección del medio ambiente.

Estas actividades empiezan con la movilización del personal y el apoyo logístico hasta el frente designado para inicio de la obra. Continúan con la calificación de procedimientos y pruebas de soldadores; en forma paralela se van realizando las otras actividades como son: localización de obras u otras líneas existentes y enterradas; apertura y conformación del derecho de vía y construcción de obras de protección, transporte y tendido de tubería, doblado o curvado; hasta que llegamos a la etapa de alineación y soldadura, donde se menciona el proceso de soldar empleado, a la vez se indica en qué consiste la inspección visual y la función del inspector de soldadura.

Asimismo se hace una descripción de todo el proceso de la inspección mediante ensayos no destructivos y su importancia que tiene en el control de calidad de la soldadura para el cumplimiento de las normas y estándares establecidos en el contrato de construcción del gasoducto.

Dentro de los ensayos no destructivos se menciona los tipos de ensayo, equipos, materiales, transporte y almacenamiento de la fuente radioactiva, procedimiento radiográfico, tipos de discontinuidades o defectos en la soldadura, protección radiológica del operador del equipo, equipo de contingencia y costo de una radiografía y otros ensayos.

También se menciona la forma como se realiza la apertura de zanja, limpieza y revestimiento de la junta soldada, bajado de la tubería, empalmes especiales de juntas abiertas, tapado de tuberías, cruces especiales de ríos y carreteras, instalación de

Válvulas, construcción y montaje de trampas, diseño y construcción de sistemas de protección catódica, prueba hidrostática, limpieza del gasoducto.

Finalmente vienen las obras de protección al derecho de vía y recomposición.

2. INTRODUCCIÓN

Los Yacimientos de Camisea (San Martín/Cashiriari) se encuentran ubicados en el valle del bajo Urubamba, ambos están en el lote 88 de la zona amazónica del cuzco, 431 Km. al sur este de Lima y 230 Km. al norte del Cuzco. (Véase Figura 2.1)

Sus reservas cuantificadas hasta ahora son: 8.7 TCF (probadas) de gas y 587 MMBbl de Líquidos de Gas Natural (LGN).

El contrato de concesión para transporte y distribución del gas y condensados fue otorgado al consorcio Transportadora de Gas del Perú (**TGP**) conformado por: TEGAS (31.4%); SONATRACH (11.1%), SK Corp. (11.1%), GyM (2%); HUNT OIL (22.2%), PLUSPETROL (22,2%).

El proyecto de transporte consiste en la construcción de dos ductos, un gasoducto para gas natural de 732 Km con una capacidad para transportar inicialmente 450 MMCFD (Millones de Pies Cúbicos Por Día), ampliables a 729 MMCFD (Millones de Pies Cúbicos Por Día). El ducto está conformado por:

- 192 km de tubería de diámetro 32 pulgadas
- 310 km de tubería de diámetro 24 pulgadas
- 230 km de tubería de diámetro 18 pulgadas

El gas natural está compuesto por metano (88.54%), etano (10.33%), nitrógeno (0.54%), dióxido de carbono (0.57%) y propano (0.02%).

Un poliducto para líquidos de gas natural de 540 Km de largo con una capacidad para transportar de 70 MBD (Miles de Barriles Por Día). El ducto está conformado por:

- 435 km de tubería de diámetro 14 pulgadas
- 105 km de tubería de diámetro 10 pulgadas

En el diseño de construcción de los ductos la dimensión de los diámetros depende de la caída de presión del gas en el sistema a medida que se desplaza, también dependerá del volumen de fluido que se quiere transportar.

El gasoducto se inicia con diámetro de 32 pulgadas en Malvinas y llega al City Gate, en Lurín, con diámetro 18 pulgadas, la disminución en el diámetro es para compensar las pérdidas de carga del gas (pérdida de presión por fricción y la pérdida de energía por el cambio de sección de la tubería) y así tener en el punto de consumo la presión y el caudal requerido.

Estas líneas cuentan con 4 estaciones de bombeo y 2 estaciones de reducción de presión y un sistema de control Scada con fibra óptica y respaldo (backup) satelital y finalmente una red de distribución para gas natural en Lima, los ductos permitirán que el gas natural y los líquidos estén disponibles para consumo domestico, industrial y para exportación.

La inversión para la construcción de estos ductos asciende a US\$1,450 millones. Normalmente en la construcción de un gasoducto el trabajo se inicia en diferentes frentes, para el proyecto de Camisea la obra se dio inicio simultáneamente en tres frentes, Malvinas (Km.=0), Kepashiato (Km.=117) estos dos en la selva y Rumichaca (Km. 356) en la sierra de Ayacucho, posteriormente se fueron abriendo mas fuentes de trabajo ante la necesidad de concluir la obra en el plazo programado.

Para la ejecución de cada una de las actividades en la construcción de gasoductos se emplean métodos constructivos adaptados a las condiciones topográficas del terreno y a la experiencia de la Compañía contratista y requerimientos del cliente.

Para el proceso de soldar se utilizaron las normas API, las cuales nos proporcionan métodos para la producción de soldaduras de alta calidad, y a la vez nos presenta métodos de análisis adecuados para asegurar la calidad de estas soldaduras.

Figura 2.1

Ubicación de los Yacimientos de Camisea



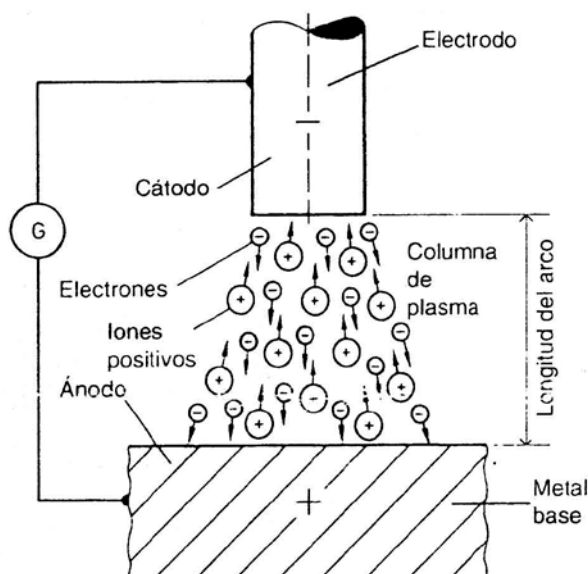
3. CAPITULO I

BASE TEÓRICA: Definición de Algunos Términos

- **ARCO ELECTRICO:** Es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco por otra parte, es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldadura¹. (Figura 3.1)

Figura 3.1

Descripción del arco eléctrico



- **SOPLO MAGNETICO:** Es la desviación del arco de soldar producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor del arco. Su efecto se suele presentar en los extremos de las piezas que se sueldan cuando éstas son ferromagnéticas².

¹ Véase el Manual del Soldador de Germán Hernández Riesco, página 32.

² Véase el Manual del Soldador de Germán Hernández Riesco, página 40.

- **SOLDAR POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS**

Soldar por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (Ver Figura 3.2). La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente solidifica.

A este proceso para soldar también se le denomina SMAW (Shielded Metal Arcwelding) según la Sociedad Americana de Soldadores (AWS).

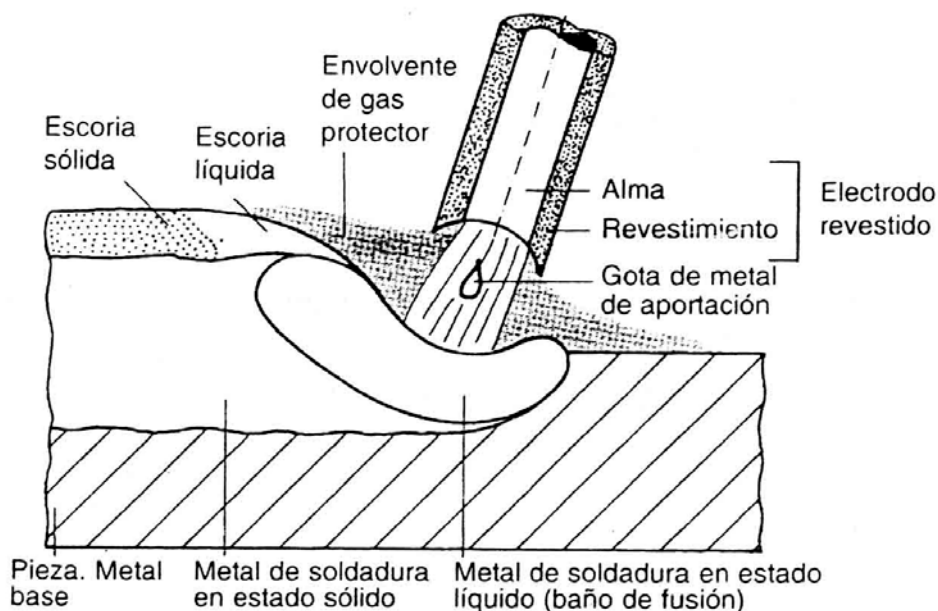
Soldar por arco con electrodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización en construcciones en campo, oleoductos, gasoductos.

La mayor parte de las aplicaciones de este tipo de proceso de soldar se dan para espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados y aceros inoxidables¹.

Figura 3.2

Descripción del proceso

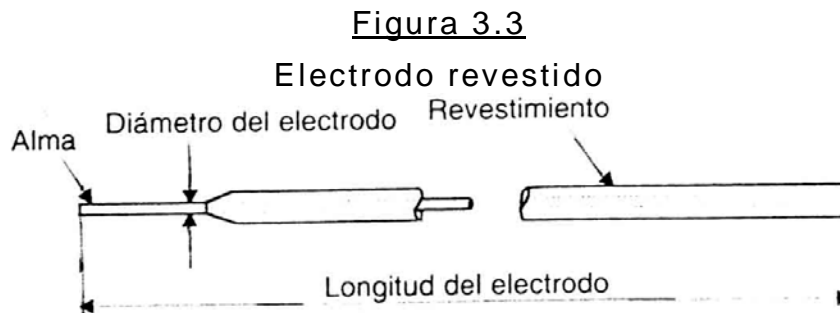


¹ Véase el Manual del Soldador de Germán Hernández Riesco, página 193.

- **ELECTRODOS REVESTIDOS**

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y que, al consumirse, produce la “aportación del material” que unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

Los electrodos revestidos están formados por (ver Figura 3.3)



- **PROCESO DE SOLDAR POR ARCO QUE UTILIZA GAS DE PROTECCIÓN**

La función primordial de los gases de protección es evitar que el metal a altas temperaturas, el baño de fusión y el electrodo, se oxiden o contaminen con impurezas. Si el aire entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionará con el material, produciendo óxidos, dando lugar a defectos en la soldadura.

Los procesos de soldar por arcos protegidos por gas más comunes son: soldadura Tungsteno Gas Inerte (TIG), soldadura Metal Gas Inerte / Metal Gas Activo (MIG/MAG), soldadura de plasma¹.

- **SOLDAR CON ALAMBRE TUBULAR**

En el proceso de soldar por arco con alambre tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional. En este proceso hay dos variantes:

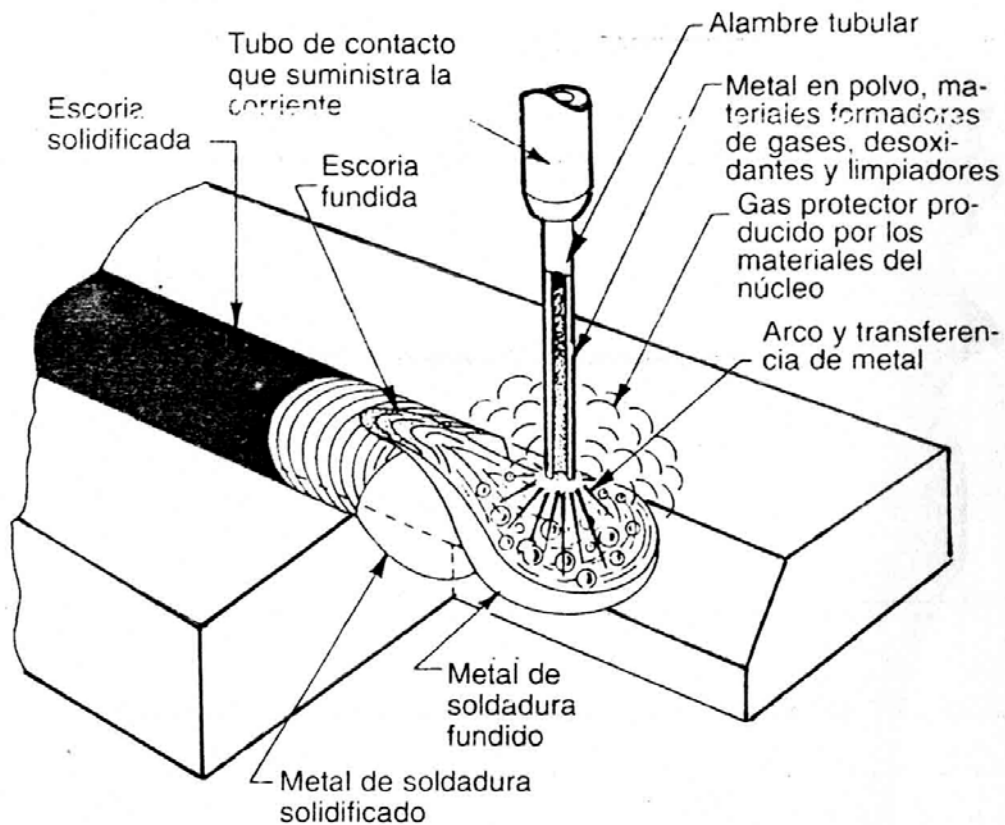
¹ Véase el Manual del Soldador de Germán Hernández Riesco, página 230.

- Autoprotegido (Self-Shielded ó Innershielded) (Ver figura 3.4) que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente. A este proceso de soldar se le denomina también: FCAW-S (Self-Shielded Flux Cored Arc Welding)
- Con protección de gas (gas-shielded ó outershielded) que suele ser CO₂ ó mezclas de CO₂ y Argón, que utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

A este proceso de soldar se le denomina: FCAW-G¹.

Figura 3.4

Proceso de soldar con alambre tubular autoprotegido

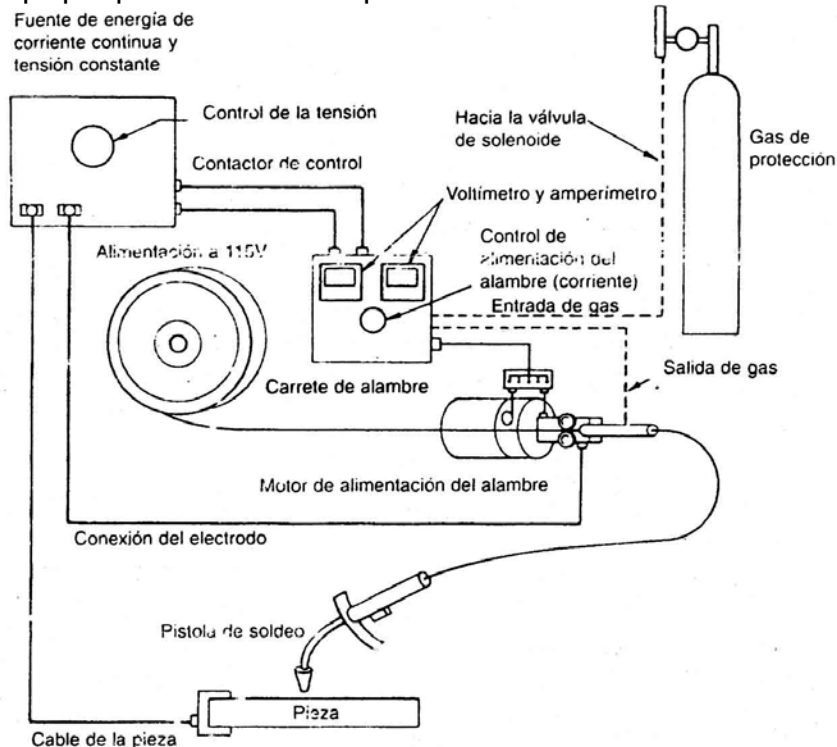


¹ Véase el Manual del Soldador de Germán Hernández Riesco, página 332.

- **EQUIPO DE SOLDAR (Figura 3.5)**

Figura 3.5

Equipo para el soldar por arco con alambre tubular



Nota: La protección gaseosa se utiliza solamente con los alambres que lo requieran.

- **DISCONTINUIDAD O IMPERFECCIÓN:** Es la interrupción en la estructura típica de un material tal como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas ó físicas. Estas anomalías o irregularidades se presentan en la unión soldada y son detectables visualmente ó por ensayos no destructivos¹.
- **DEFECTO:** Es una discontinuidad o imperfección que por su naturaleza o efecto acumulado vuelve a una parte del objeto no apto para cumplir con los mínimos estándares o especificaciones, esto implica una generación de reportes de no conformidad y reparación².

DEFINICIÓN DE DISCONTINUIDADES:

- **POROSIDAD:** Se define porosidad como gas atrapado por solidificación del metal de soldadura antes de que el gas tenga la posibilidad de salir a la superficie del relleno

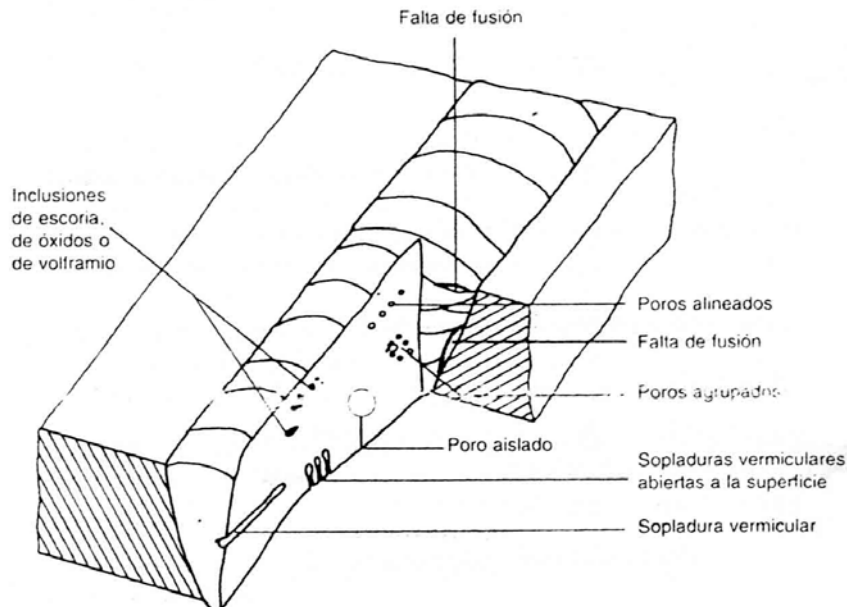
¹ Véase Estándar API – 1104, Sección III.3.2.4.

² Véase Estándar API – 1104, Sección III.3.2.5.

fundido y escape. La porosidad es generalmente esférica pero puede ser alargada o de forma irregular¹. (Figura 3.6).

Figura 3.6

Discontinuidad: Porosidad



- **INCLUSIONES DE ESCORIA:** Se define una inclusión de escoria como un sólido no metálico o también residuos de revestimiento del electrodo o del fundente atrapado y solidificado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal de la tubería. Pueden presentarse en forma aislada, alineada o agrupada².
- **FALTA DE FUSION:** es una discontinuidad o falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado (soldadura). Es decir se produce una pegadura y no una verdadera unión³ (Figura 3.7).

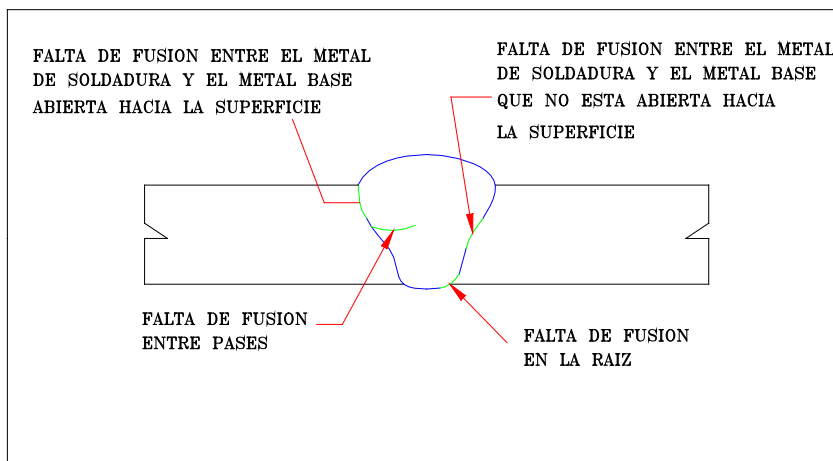
¹ Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 29.

² Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 29.

³ Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 30.

Figura 3.7

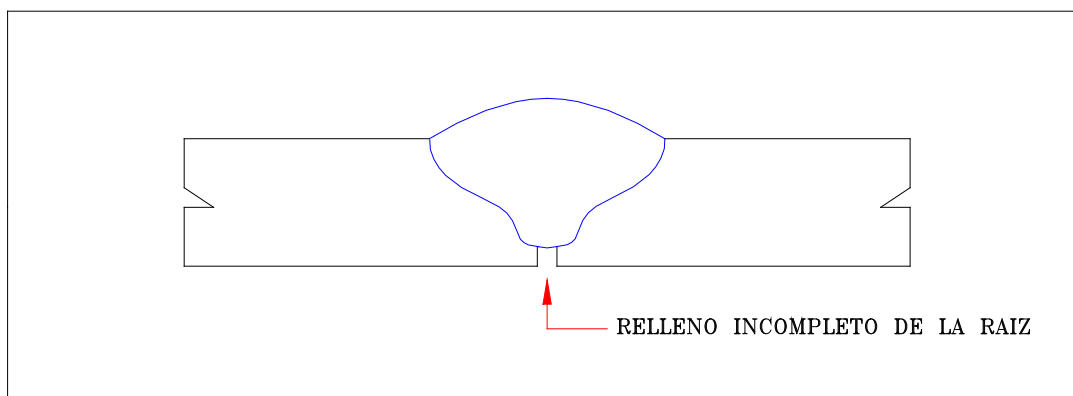
Discontinuidad: Falta de Fusión



- **FALTA DE PENETRACION:** Se define como penetración incompleta al relleno incompleto de la raíz de la soldadura. Existen dos variantes (Figura 3.8).

Figura 3.8

Discontinuidad: Falta de Penetración

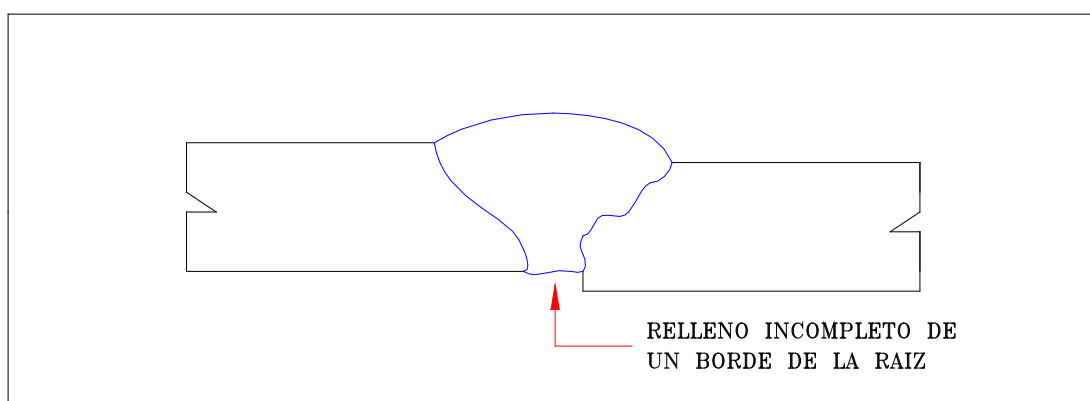


- **PENETRACIÓN INCOMPLETA POR DESALINEACIÓN:** Se define así a la condición que existe cuando un borde (canto) de la raíz, se encuentra expuesta (no adherida), debido a uniones de tuberías o accesorios desalineados¹ (Figura 3.9).

¹ Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 30.

Figura 3.9

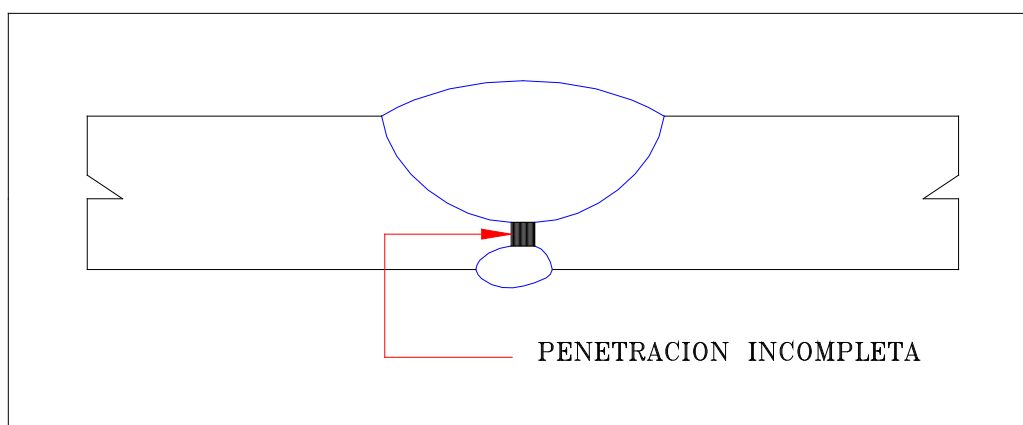
Discontinuidad: Penetración Incompleta por Desalineación



- **PENETRACIÓN INCOMPLETA ENTRE PASES:** (Fig. 3.9.1)

Figura 3.9.1

Discontinuidad: Penetración Incompleta Entre Pases



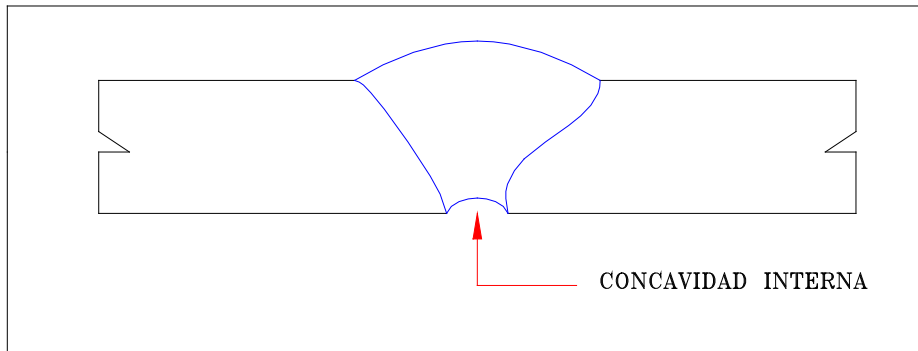
- **SOLDADURA QUEMADA (*Burn-Through*):** Es la parte de la pasada de raíz en que la penetración excesiva ha provocado un estallido del metal de relleno¹.
- **CONCAVIDAD INTERNA:** Es un canal longitudinal continuo o discontinuo en el pase de raíz de la soldadura debido a insuficiente deposición de metal de aportación² (Fig. 3.9.2).

¹ Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 31.

² Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 31.

Figura 3.9.2

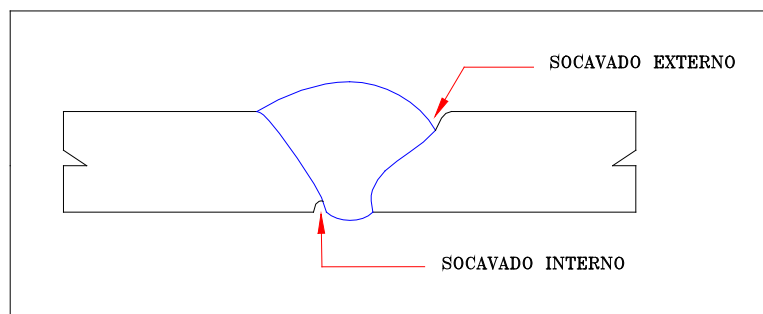
Discontinuidad: Concavidad Interna



- **SOCAVACIÓN INTERNA:** Se define como socavación interna a una muesca fundida en el metal base adyacente al borde o raíz de las soldaduras que quedó sin rellenar con el metal de la soldadura¹. (Véase Fig. 3.9.3).

Figura 3.9.3

Discontinuidad: Socavados



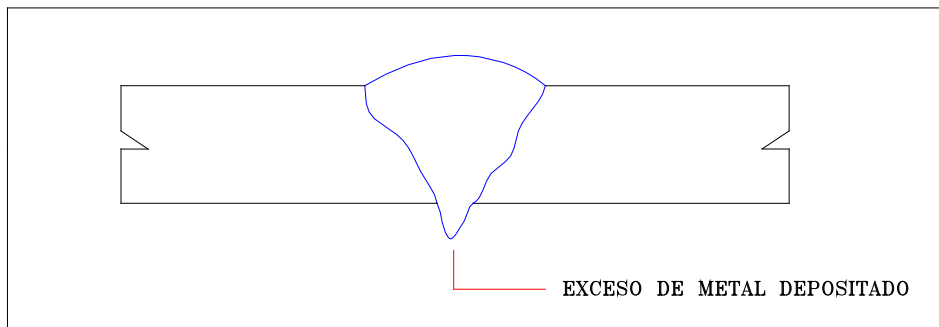
- **EXCESO DE PENETRACION:** Es un exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura, normalmente ocurre cuando se suelda por un solo lado² (Véase Fig. 3.9.5).

¹ Véase el Estándar API – 1104, Sección IX, página 32.

² Véase el Manual del Soldador, de Germán Hernández Riesco, página 574.

Figura 3.9.4

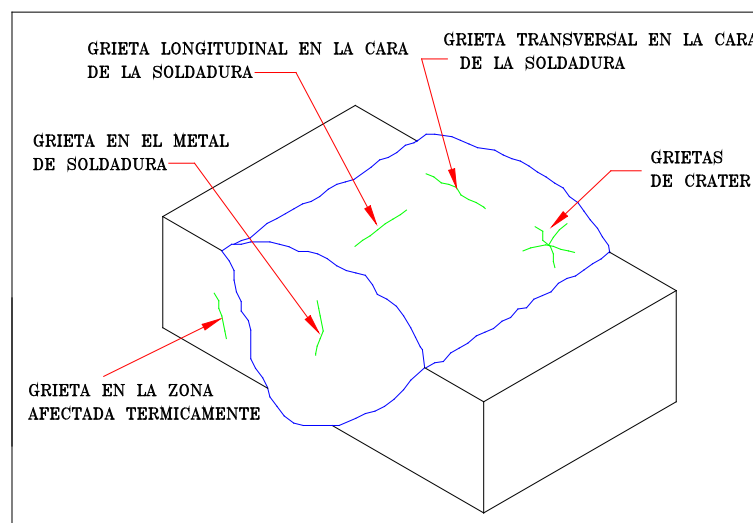
Discontinuidad: Exceso de Penetración



- **GRIETAS:** Son el efecto de una ruptura local incompleta. Ningún código de diseño admite este tipo de defecto, ya que cuando la construcción soldada se somete a la carga para la que ha sido diseñada la grieta, crecerá y provocará su rotura catastrófica¹. (Figura 3.9.5).

Figura 3.9.5

Discontinuidad: Grietas



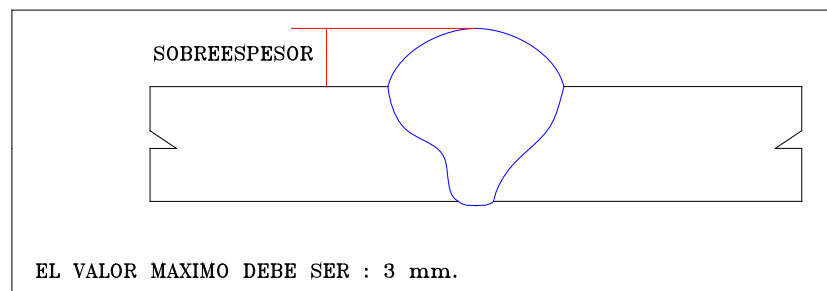
- **SOBRE ESPESOR EXCESIVO:** Se define como el metal de soldadura en exceso a la cantidad requerida para llenar la junta². (Véase Figura 3.9.6).

¹ Véase el Manual del Soldador, de Germán Hernández Riesco, página 575.

² Véase el Manual del Soldador, de Germán Hernández Riesco, página 575.

Figura 3.9.6

Discontinuidad: Sobreespesor excesivo



- **GOLPE DE ARCO:** (Arc Strike): Se define como la discontinuidad producida por un arco que consiste en cualquier metal refundido localizado, metal afectado térmicamente, o un cambio en la forma de la superficie de cualquier metal¹.

- **ENSAYOS DESTRUCTIVOS (DT)**

Son pruebas que se efectúan sobre los materiales para determinar sus propiedades mecánicas; y si éstos cumplirán con éxito la función para la que fueron construidos. Estas pruebas producen cambios o alteraciones en la forma original del material².

- **ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT)**

Son una serie de pruebas que se efectúan sobre los materiales para determinar la existencia o no de discontinuidades sobre un área de interés. Estas pruebas no alteran, tampoco cambian la forma del material, es decir la pieza conserva su forma original³.

- **RAYOS X**

Son ondas electromagnéticas generadas en el interior de una ampolla de vidrio y resultan del bombardeo de un blanco metálico (ánodo) con electrones acelerados emitidos desde el cátodo⁴.

- **RAYOS GAMMA**

Son ondas electromagnéticas y son generados por la emisión espontánea de ciertos elementos inestables que por tratar de alcanzar su equilibrio tienden a irradiar o

¹ Véase el Manual del Soldador, de Germán Hernández Riesco, página 575.

² Véase el Estándar API – 1104, Sección V.

³ Véase Métodos y Prácticas de Técnicas de NDT: Manual de Estándares ASTM, página 1-19.

⁴ Véase el Manual de Radiografía Industrial, Nivel I, del IPEN, página 1-2.

liberar energía. La propiedad de todo radioisótopo de emitir radiaciones gamma es utilizada para realizar ensayos no destructivos¹.

- **EFFECTOS ESTOCÁSTICOS DE LA RADIACION**

Los efectos estocásticos se manifiestan biológicamente después de un periodo temporal desde la exposición e incluye el incremento de riesgo de cáncer y de trastornos hereditarios, estos efectos estocásticos parecen no tener umbral y pueden producirse tras dosis bajas de radiación. Se han identificado dos tipos de efectos estocásticos, los que se producen en células somáticas y que pueden inducir cáncer en el individuo expuesto y los que se producen en células germinales y pueden inducir alteraciones en la descendencia del individuo irradiado².

- **EFFECTOS DETERMINÍSTICOS DE LA RADIACIÓN**

Los efectos determinísticos implican la disfunción o la pérdida funcional de los tejidos debido principalmente al daño celular. Estos efectos resultan de la exposición a dosis altas en las cuales existe un umbral³.

¹ Véase el Manual de Radiografía Industrial, Nivel I, del IPEN, página 1-2.

² Véase el Manual de Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial, del IPEN, página 9-10.

³ Véase el Manual de Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial, del IPEN, página 9-10.

4. CAPITULO II

ACTIVIDADES BASICAS ANTES DE EMPEZAR A SOLDAR LAS TUBERÍAS

4.1 TRAZADO DE LA RUTA

El trazado de la ruta de los ductos según el consorcio Transportadora de Gas del Perú (**TGP**) se realizó en base a imágenes del terreno captadas por satélite y evaluadas utilizando los siguientes criterios:

- Minimizar los impactos sociales y culturales,
- Minimizar la intervención en áreas naturales protegidas,
- Evitar el cruce de centros poblados (áreas con poblaciones aisladas),
- Reducir el número de cruces de cursos de agua,
- Proveer la máxima seguridad y confiabilidad de los ductos, evitando la topografía agreste,
- Buscar zonas con accesos existentes

4.2 MOVILIZACIÓN

Esta actividad comprende el trasteo ó desplazamiento del personal administrativo y técnico al lugar destinado para iniciar la obra; comprende también el transporte de todos los equipos y herramientas necesarias para el desarrollo de la construcción de los ductos.

4.3 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SOLDADORES

Antes de iniciar las actividades de soldadura en la línea regular o en los cruces especiales de los diferentes frentes de obra, se debe establecer y calificar un procedimiento de soldadura detallado que demuestre que se pueden realizar soldaduras sanas con apropiadas propiedades mecánicas (tales como resistencia, ductilidad y dureza).

Este procedimiento a utilizarse durante todo el proyecto es calificado en un centro especializado en el que se hacen pruebas de laboratorio a las probetas soldadas. La calidad de la soldadura es determinada por ensayos destructivos, tales como: ensayos de tracción, ensayos de rotura con entalla (*nick break*) y los ensayos de doblado de raíz y cara. Los estándares API-1104 usados para la construcción de gasoductos definirán si el procedimiento es aceptado o rechazado.

La aceptación del procedimiento trae consigo el uso del término de variables esenciales los cuales tienen influencia sobre la sanidad y las propiedades mecánicas de la junta, estos son; tipo de materiales de aporte (electrodo), polaridad, el amperaje y voltaje para cada pase de soldadura. Véase Tabla I.

Posteriormente viene la calificación de soldadores, para esto la compañía contratista encargada de la construcción de los ductos crea un centro de capacitación de soldadores, al final del entrenamiento se realiza las pruebas a cada uno de ellos. El propósito de la calificación del soldador es determinar la habilidad de éste para realizar soldaduras sanas de acuerdo con un procedimiento de soldadura calificado y aprobado.

Para la calificación, el soldador usará la misma técnica que se utilizará durante el proceso de soldar las tuberías en los diferentes frentes. Véase Tabla II.

Las probetas soldadas serán calificadas según los estándares API-1104 Sección VI; el cual permite que la compañía califique, primero mediante una inspección visual, para luego dar pase a la inspección mediante radiografía, el cual viene a ser el ensayo destructivo.

Estas pruebas requieren un nivel de exigencia alto por parte de todos los que intervienen en el proyecto (dueño de la obra y la compañía contratista) debido a que la calidad y el éxito de la soldadura depende de los soldadores y como tal una mala calidad en la soldadura involucra excesivas reparaciones, cortes de la tubería y nuevas pruebas de ensayos no destructivos, al final redundando en el sobre costo al contratista. (Véase el Gráfico 4.3.1 donde se muestran las probetas para ensayo).

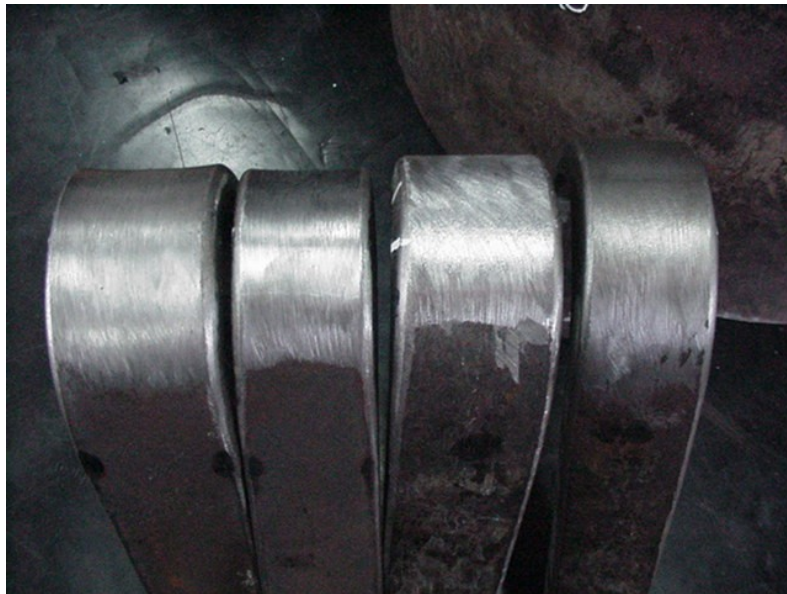
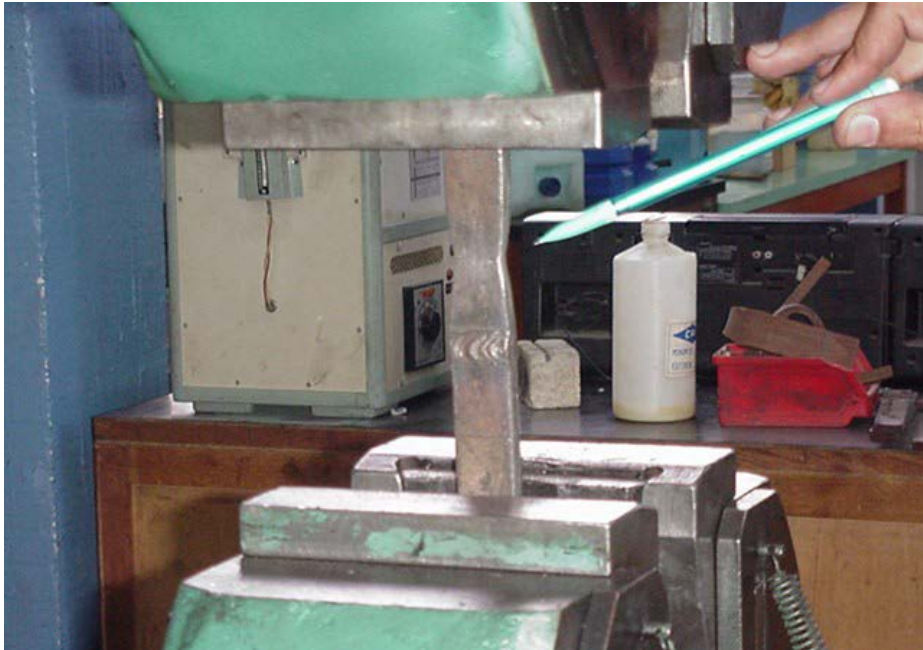
TABLA I
CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

RÉCORD DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS CAMISEA NATURAL GAS AND NGL TRANSPORTATION SYSTEM (API STANDARD 1104/99)				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lugar: Pisco ▪ Soldador ▪ Posición de soldar: 6G ▪ Dirección de soldar: DH ▪ Metal de aporte: E6010-E8010G ▪ Tipo y Grado del tubo: API5LGrx70 PSL2 ▪ Diámetro exterior del tubo: 14" ▪ Espesor del tubo: 6.35 mm. (nominal) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cliente TGP ▪ Inspector ▪ Temperatura ambiente: 30°C ▪ Tiempo de soldar: 1 hora ▪ Tipo de máquina de soldar: LINCOLN SAM 400 ▪ Amperaje de la máquina de soldar: 400 Amp. 			
PARÁMETRO DE SOLDADURA				
N° DE PASES	1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proceso ▪ Tipo de Electrodo (AWS) ▪ Diámetro (mm) ▪ Velocidad del arco (cm/min) ▪ Voltaje ▪ Amperaje ▪ Dirección: D↓ A↑ 	SMAW E6010 4 28-50 27-31 99-150 DH	SMAW E8010G 4 36-54 24-35 119-213 DH	SMAW E8010G 4 20-50 22-30 99-150 DH	SMAW E8010G 4 16-38 22-30 97-140 DH
ENSAYO DESTRUCTIVO				
N° DE TEST	1	2	3	4
Dimensión original (mm) Área original (mm ²) Maximun Load (MPa) Yied Strength (MPa)	26.15x6.22 162.5 671 575	26.00x6.25 162.5 660 599	27.20x6.22 169.2 664 623	26.30x6.20 163.1 673 599
TEST DE LABORATORIO				
RESULTADOS DEL TEST DE ESFUERZO DE TRACCIÓN				
T1 : OK		T3: OK		
T2: OK		T4: OK		
RESULTADOS DE TEST DEL TEST DE ROTURA (<i>Nick Break</i>)				
T1 : OK		T3: OK		
T2: OK		T4: OK		
RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLADO				
LADO: CARA		LADO: RAIZ		
T1 : OK	T3: OK	T1 : OK	T3: OK	
T2: OK	T4: OK	T2: OK	T4: OK	
EVALUACIÓN				
INSPECCIÓN VISUAL	CALIFICADO	OK	NO CALIFICADO	
INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA	CALIFICADO	OK	NO CALIFICADO	
RESULTADO DEL PROCEDIMIENTO				
CALIFICACIÓN: APROBADO.				

**TABLA II
CALIFICACIÓN DE SOLDADORES**

RECORD DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL Y NGL DE CAMISEA DE ACUERDO AL API 1104/94						
Fecha: 21-03-02						
Lugar: Pisco			TEST N° : 02			
Para: Récord de Calificación de Soldadores (WQR)						
Soldador: TONY						
Material: API 5L Gr x 70						
Diámetro y espesor de tubo: 14" - 0.250"						
Diseño de la unión: BISEL TIPO V con 33° de ángulo bisel						
Metal de aporte y número de pases: EG010-E8010 / 4 pases						
Posición: 6G						
Dirección de soldar: Vertical descendente.						
Tiempo entre pases: ± 5 minutos						
Tipo de alineador: Interno (CLAM)						
Limpieza o esmerilado: Amoladora – Cepillo						
Precalentamiento: 120 °C						
Proceso: SMAW						
Gas de protección y caudal: ninguno						
Velocidad de soldar: Según tabla adjunta.						
DIMENSIÓN DEL ELECTRODO Y NÚMERO DE PASES						
N° PASES	ELECTRO DO	TIPO	VOL TAJE	AMPE RAJE	POLA RIDAD	VELO CIDAD
1	E6010	FGP	26-30	94-145	-	28-50
2	E8010	SA70	25-36	120-214	+	35-50
3	E8010	SA70	20-50	100-140	+	20-50
4	E8010	SA70	21-30	99-120	+	16-30
EVALUACIÓN						
Inspección Visual		Calificado (X)		No Calificado ()		
Ensayo de Radiografía		Calificado (X)		No Calificado ()		

Figura 4.3.1
Probetas para Ensayo



4.4 **NEGOCIACIÓN DE TIERRAS Y REPLANTEO**

Esta es la actividad en la cual se define la ruta que finalmente llevara el gasoducto.

Un representante del Consorcio Transportadora del Gas de Perú (TGP) está encargado de realizar las negociaciones. En lugares como en la selva se ha tenido tensas negociaciones con los representantes de las comunidades dueñas de las tierras, tal como sucedió en uno de los pueblos de los Machiguenga donde la ruta de los ductos atraviesa por sus

terrenos de cultivo y a menos de 50 m de la vivienda de una familia, los pedidos de los jefes de comunidades para modificar la ruta de los ductos han sido negados. En otros casos, como lo que sucedió con los representantes de **CEDIA** (Centro para el Desarrollo del Indígena Amazónico), los cuales solicitaban la modificación de la ruta por un mínimo de 4.5 km para evitar que pase por el valle intacto de la cordillera de Vilcabamba, la ruta alternativa según **CEDIA** tendrá menos impacto de colonización y limitará el acceso a la mayor parte de la cordillera, al principio el pedido fue resistido pero posteriormente se accedió a la solicitud. Hechos como los mencionados ocurrieron en la sierra y costa, donde se presentaron casos en los que fue necesario dejar tramos abiertos durante la construcción de los ductos y continuar con el avance hasta que se concluya la negociación y así terminar todo el tramo.

En los casos donde los resultados de las negociaciones son negativos y las condiciones topográficas sean adversas, se hace necesario realizar un replanteo del trazado de la ruta de los ductos, esta actividad es importante para el contratista porque de ella depende evitar problemas mayores durante la construcción en algunos lugares. En consecuencia, es durante esta actividad que se pueden plantearse variaciones al trazado para evitar problemas sociales, técnicos o constructivos mayores.

En la selva y sierra fue necesario replantear la ruta de los ductos. Por la experiencia que tiene la empresa constructora, exigió que la ruta pase siempre por la parte mas alta de la cordillera para evitar tener problemas de erosión y la tubería quede descubierta después de ser enterrada.

4.5 LOCALIZACIÓN DE OBRAS U OTRAS LÍNEAS EXISTENTES ENTERRADAS

Normalmente esta actividad es realizada cuando la ruta de los ductos atraviesa centros poblados donde existe la posibilidad de encontrar servicios e infraestructuras de redes eléctricas subterráneas, líneas telefónicas, líneas de agua y alcantarillado y líneas de transporte de hidrocarburos. Por eso es importante informarse con todos los organismos del estado de dichas poblaciones para ubicar estas obras y líneas, luego realizar los trabajos que sean necesarios.

La ruta que tiene el gasoducto desde Malvinas lugar de inicio de los ductos hasta Lurín, no se encontró con este tipo de obra o líneas enterradas, porque en general la ruta pasa alejada de las poblaciones.

En cambio en la ruta del ducto que inicia de Lurín (*City Gate*) a La Pampilla recorriendo 61 km, debe realizarse esta actividad debido a que atraviesa 14 distritos densamente poblados y donde se encuentra este tipo de obras y servicios.

4.6 APERTURA Y CONFORMACIÓN DEL DERECHO DE VÍA

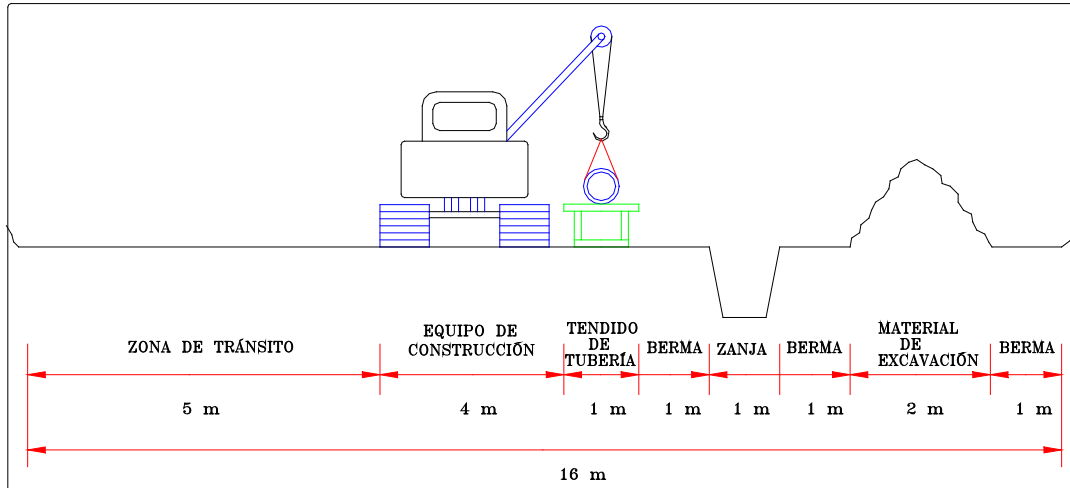
El derecho de vía es una franja transitable de terreno designado para la ruta del gasoducto, con un ancho que oscila entre 15 y 25 m (normalmente 16 m). Según recomendaciones de las normas API-1105, ASME B31.4/B31.8 que gobiernan las construcciones y además por las especificaciones técnicas contractuales.

El derecho de vía es usado para el transito de maquinaria pesadas, vehículos encargados de transportar equipos y materiales y principalmente para realizar los trabajos de tendido de tubería, soldadura, zanjado, bajado y tapado de tubería.

El ancho de 16 m se distribuye aproximadamente de la siguiente forma: (Véase Grafico 4.6.1).

Figura 4.6.1

Distribución del ancho del derecho de vía



Es importante mencionar, que muchas veces se encontraron lugares con lomas angostas ó con presencia de roca; en estos casos el ancho del derecho de vía es menor.

Existen variables que se deben tener en cuenta para la programación y métodos constructivos del frente de derecho de vía, estos son:

- Ancho del derecho de vía (según el tipo de trabajo a realizar y la maquinaria a movilizar)

- Topografía de la ruta (involucra obras de protección, rellenos, corte)
- Tipo de Suelo (si es blando, duro, roca, involucra tipo de maquinaria)
- Uso del Suelo (agricultura)
- Obstáculos (drenajes naturales, zonas pantanosa)

Después de quedar definido el procedimiento y las estrategias además de conocer la ruta que tendrá el gasoducto, se procedió a la apertura de trocha. Las dificultades fueron grandes debido a las condiciones topográficas del terreno y al hecho que la ruta trazada se inicia en la tupida selva del Cuzco, luego trepa la empinada falda oriental de la cordillera de los andes hasta una altitud de 4800 m.s.n.m. y finalmente desciende por ella hasta llegar al trecho final, el cálido ambiente costero.

Normalmente en lugares de densa vegetación como la selva, la apertura de trocha se inicia con el talado de árboles el cual es realizado por el personal de la zona contratado por la compañía contratista.

Este personal fue seleccionado porque están adaptados con este tipo de terreno y con las condiciones climatológicas que existen en la zona.

El inicio de esta actividad fue programado de acuerdo al estudio realizado en el comportamiento del clima con el propósito de aprovechar al máximo la ausencia de lluvias, debido a que las precipitaciones en la selva dejan el terreno prácticamente inaccesible.

Después de quedar despejado el terreno de vegetación, se procede a realizar el afirmado del mismo, utilizando para esto maquinaria pesada como: bulldozer, cargador frontal, retroexcavadora, motoniveladora, etc.

Muchas veces fue necesario realizar voladuras de rocas para abrirse paso, así también hacer algunas obras de protección geotécnica tales como trinchos laterales, muros de gaviones o muros de sacos de tierra para evitar los derrumbes de la vía y así quedar lista para realizar las otras actividades. Las dificultades encontradas en la costa para la construcción del derecho de vía fueron inferiores que en la selva y sierra. (Véase Grafico 4.6.2 en el cual se muestra la construcción del derecho de vía).

Figura 4.6.2

Construcción del Derecho de Vía



4.7 TRANSPORTE Y TENDIDO DE TUBERÍAS

El transporte de la tubería se realizó mediante barcos desde San Pablo, en Brasil, y Buenos Aires, en Argentina, hacia el puerto de Pisco, en el departamento de Ica, el cual se convirtió en el acopio principal de tuberías de diferentes diámetros, el lugar era parte del centro de operaciones de la Compañía Contratista (TECHINT).

Desde este lugar partían los convoy conformados por 7 a 10 unidades (llamadas cureñas) cada una de estas transportaban 14 tubos de diámetro 14 pulgadas, ó 6 tubos de diámetro 32 pulgadas, el convoy era guiado por seguridad por un recorridor el cual despejaba la ruta debido que la vía por donde transitaban no cuenta con el ancho necesario para permitir el paso de dos unidades a la vez.

El inicio de obra se dio en tres frentes; el Malvinas (Campamento Base Selva I) Kepashiato (Selva), Rumichaca (Campamento Base Sierra I); el transporte de tubería hacia Kepashiato se hizo de Pisco hasta Kiteni (Campamento Base Selva II), vía Cuzco Quillabamba, desde Pucallpa y usando el río como vía se trasladó las tuberías hasta Malvinas, donde quedaron acopiadas hasta hacerse el tendido de tubería a través del derecho de vía.

Todas las tuberías que se usaron fueron de 12 m de longitud y del tipo API 5LX70, el cual cumple con los requisitos de la norma para la transmisión y distribución de gas.

Existen variables a considerar para la programación y método a utilizar para esta actividad, estas son:

- Infraestructura de la zona por donde se hará el tendido (vías, ríos, accesos)
- Diámetro y peso de los tubos (El equipo necesario para manipularlos)
- Espesores de la tubería para su adecuada distribución (El espesor cambia en ciertos tramos de la línea).

Esta actividad es realizada según las especificaciones y técnicas contractuales y éstas exigen que el tendido ó riego de tubería se hagan sobre polines o sacos rellenos de tierra, así a todo lo largo de la ruta trazada, esto es para evitar que se pueda iniciar la corrosión por contacto directo con el suelo húmedo y para no dañar el revestimiento de la tubería.

Los ganchos de amarre que van a las puntas para cargar y descargar los tubos deben ser apropiados para no dañar los biseles. (Véase Gráfico 4.7.1, 4.7.2 y 4.7.3)

Figura 4.7.1

Acopio de Tuberías



Figura 4.7.2
Riego de Tuberías



Figura 4.7.3
Riego de Tuberías



4.8 DOBLADO O CURVADO DE LA TUBERÍA

Después del tendido o riego de tuberías a lo largo de todo el derecho de vía, surge la necesidad de que la trayectoria del conjunto de tubos soldados (lingada) coincida con la trayectoria muchas veces variable (rectas y curvas) de la ruta del gasoducto, este obstáculo es solucionado mediante la actividad del doblado o curvado del tubo en forma individual.

El topógrafo es el encargado de determinar y registrar en el tubo los grados de curvatura necesarios de éste para coincidir con la trayectoria de la ruta.

Posteriormente inicia su trabajo el grupo de curvado, el cual es encargado de realizar las mediciones para localizar los vértices de la curva, así como la ubicación donde se ejercerá la presión para obtener los grados de curvatura requeridos por el tubo.

El doblado o curvado es hecho en frío mediante una dobladora que actúa en forma neumática.

Durante la planificación de esta actividad se debe tener en cuenta dos variables importantes que determinarán el éxito de la operación.

- Diámetro, espesor y calidad de la tubería (tiene que ver el tipo de equipo).
- Topografía (la forma de la curva)

Los procedimientos de operación para la generación de las curvas en los tubos se hacen de acuerdo a normas ANSI / ASME B31.4/B31.8 (*American National Standards Institute / American Society of Mechanical Engineers*) donde existen consideraciones que el operador de la dobladora debe tener en cuenta.

- Radio mínimo de la curva es igual a 18 veces el diámetro exterior de la tubería.
- Se debe dejar 1 m recto en los extremos de la tubería para evitar el ovalamiento.
- Se debe estar pendiente cuando se realiza el doblado para que la costura longitudinal de los tubos no quede en la parte interna o externa de la curva.
- Se debe inspeccionar las zapatas de la dobladora, que estén en buenas condiciones para que el tubo se acople bien y se eviten deformaciones y arrugas.

Véase el Gráfico 4.8.1.

Figura 4.8.1

Doblado y Curvado de Tuberías



4.9 REBISELAMIENTO DE LA TUBERIA

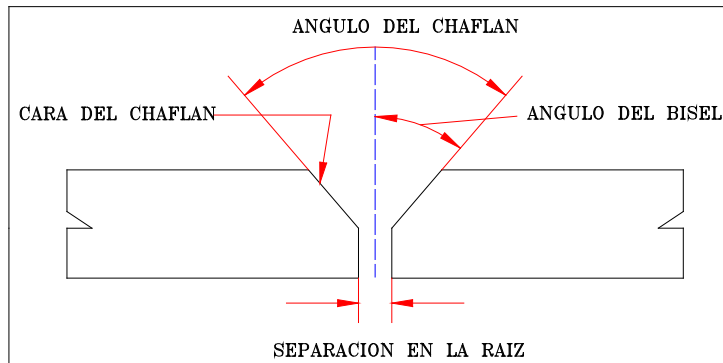
Esta actividad puede realizarse en la planta de fabricación o en la línea (lugar de operaciones).

El rebiselamiento consiste en arreglar los biseles o darles la forma según lo establecido en el diseño de construcción antes de soldar para obtener uniformidad en el cordón de soldadura.

El bisel usado es del tipo "V", tal como se muestra en el grafico 4.9.1.

Figura 4.9.1

Muestra del tipo del bisel usado



Para este proyecto el consorcio dueño de la obra proporciona a la compañía contratista la tubería con los biseles ya preparados. No hubo la necesidad de hacer esta actividad salvo en operaciones de empalme de tuberías y obras especiales.

5. CAPITULO III

SOLDADURA Y CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS

5.1 ALINEACIÓN Y SOLDADURA

Esta etapa del proyecto se inicio con la apertura de tres frentes de trabajo de línea regular (Malvinas, Kepashiato, Rumichaca).

Los frentes de línea regular son los más costosos en la construcción de un gasoducto por los recursos de personal y equipos que normalmente se asignan. (Véase Gráfico 5.1.1).

Figura 5.1.2

Línea Regular





El estándar utilizado para el proceso de soldar es el API 1104 conocido como Soldadura de Tuberías e Instalaciones Relacionadas (*Welding of Pipelines and Related Facilities*), el que está dirigido a soldar tuberías usadas en la compresión, bombeado, transmisión de petróleo, derivados y gas.

La alineación de los tubos para soldar fue realizada utilizando alineadores internos (CLAM) y externos (GRAPAS).

Normalmente para tuberías de gran diámetro, así como las que se usaron en este proyecto (18, 24, y 32 pulgadas) se utilizó alineador interno (Clam), en cambio para tuberías de diámetro pequeño como de 10 y 14 pulgadas (para Líquidos de Gas Natural) se utilizó el alineador externo (grapas).

La elección del alineador interno (Clam) en lugar del alineador externo (grapas) radica en el rendimiento productivo de alineado de tubos y la ventaja de operar fácilmente tuberías sumamente pesadas durante el alineado.

Tal es así que en una jornada de trabajo de 8 horas se tienen los siguientes resultados. Véase la Tabla III.

Tabla III

	TUBERÍAS ALINEADAS	TIPO DE ALINEADOR
TUBERIA DE Φ 24"	120	CLAM
TUBERIA DE Φ 32"	82	CLAM
TUBERÍA DE Φ 14"	50	GRAPA

Es importante mencionar que este rendimiento dependerá muchas veces de la habilidad del operador del equipo y de las condiciones topográficas del terreno.

Para soldar las tuberías de diámetro 10 y 14 pulgadas encargadas del transporte de Líquidos de Gas Natural (LGN), se utilizó el proceso de soldar por arco con electrodo revestido o SMAW.

Para soldar tuberías de diámetro 18, 24 32 pulgadas encargadas del transporte del gas natural, se utilizó el proceso de soldar por arco con alambre tubular autoprotegido o innershield. También se le conoce como FCAW.

Se utilizó para soldar tuberías de gran espesor y de diámetro grande el innershield en lugar del proceso SMAW, esto debido al rendimiento que tiene éste en producción de uniones soldadas.

Para el contratista es fundamental llevar un grupo de dos o más soldadores expertos en el fondeo (primer pase o pase de raíz) los de mayor pericia debido a que son los que imponen el ritmo de avance y definen el rendimiento del frente.

A continuación se presenta un cuadro donde se indicara los diámetros, espesores de las tuberías usadas y la producción diaria de uniones soldadas para diferentes frentes de trabajo (Véase la Tabla IV).

Tabla IV

Frente de obras	Tipo de acero	Diámetro del tubo	Espesor del acero	Proceso de soldar	Números de soldadores	Producción diaria de tubos soldados	longitud del tubo
Malvinas	Acero al carbono grado 5LX70	32''	0,625''	FCAW	20	30	12 m
Rumichaca	Acero al carbono grado 5LX70	24''	0,438''	FCAW	20	80	12 m
Kepashiato	Acero al carbono grado 5LX70	14''	0,250''	SMAW	10	30	12m

En el siguiente cuadro mostramos el tiempo empleado en soldar una junta (dos tubos) con diferentes procesos (Véase Tabla V).

Tabla V

Diámetro de la tubería	Proceso de soldar	Tiempo empleado en soldar una junta
32	FCAW	50 minutos
32	SMAW	150 minutos
14	SMAW	60 minutos

Todas las juntas soldadas deben ir marcadas y numeradas donde se indiquen el kilómetro; número de junta y los códigos de cada soldador que intervinieron en la soldadura.

La experiencia demuestra que es conveniente dejar una junta o pega abierta cada kilómetro (82 tubos); con el fin de poder manejar el conjunto de tubos soldados (lingada) a la hora de bajarla y así hacer coincidir con las curvas de la zanja para evitar cortes posteriores y esfuerzos excesivos en las juntas soldadas.

5.2 CONTROL DE CALIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

Un programa de control de calidad en este tipo de construcciones precisa utilizar técnicas de inspecciones, por esto la empresa dueña de la obra, así como la compañía contratista asignan sus inspectores con la finalidad de que las diferentes actividades que se realicen durante la construcción del gasoducto se hagan según los códigos, estándares y especificaciones establecidas en el contrato, dando como resultado una obra de niveles adecuados de calidad.

Así en este tipo de obras encontraremos inspectores de soldadura, inspectores de revestimiento, inspectores de bajado y tapado, inspectores de prueba hidrostática, etc.

5.2.1 INSPECCIÓN VISUAL DE UNIONES SOLDADAS

Antes de realizar la planificación y programación de las actividades de inspección veamos la definición, importancia y objetivos que se tienen sobre la inspección de las construcciones soldadas.

La inspección de construcciones soldadas podría definirse como el conjunto de actividades encaminadas a asegurar un determinado grado de fiabilidad del conjunto soldado, mediante la verificación del mismo por medios adecuados durante diferentes fases del proceso productivo.

La importancia de esta inspección se desprende de la responsabilidad de los equipos y construcciones que actualmente se fabrican soldando, los cuales, en determinadas condiciones de falla, afectan seria y directamente a la seguridad pública.

Así, el convencimiento de la importancia de inspeccionar estos conjuntos soldados, ha sido la causa de que en todos los países industrializados se hayan publicado códigos; especificaciones y normas relativas a su construcción e inspección.

De todo esto se deduce que el principal objetivo durante la inspección de soldadura es el de determinar el grado de fiabilidad, calidad o resistencia de conjunto soldado, esto dependerá del uso que se dará a la unión soldada.

Conocido que mediante la inspección visual durante todo el proceso productivo, se busca la calidad de la soldadura, donde el término calidad está siempre relacionado con la resistencia de la unión soldada al esfuerzo al que será sometido.

El inspector debe conocer que sólo existe un camino para determinar la calidad o resistencia de la soldadura, el cual es la medición y la conformidad con las especificaciones de los códigos o normas escogidas para esta construcción.

Existen tres elementos fundamentales para realizar una buena inspección visual.

- Personal calificado
- Herramientas de medición
- Las especificaciones (las que determinan si la soldadura es aceptada o rechazada)

Entendiéndose que la inspección visual durante todo el proceso productivo da mucho mayor garantía de producir uniones soldadas de calidad, entonces existirán factores que influyen la calidad de una unión soldada.

1. Materiales de construcción
2. Diseño de la Unión Soldada
3. Procedimiento de Soldadura
4. Forma de Aplicar la Soldadura
5. Programa de Inspección

Es importante para obtener el mayor aprovechamiento posible establecer una secuencia o un orden acerca de la forma del cómo y del cuándo la inspección será efectuada a todas las soldaduras que se realizan en el proyecto.

Esto se consigue realizando una planificación y programación de las actividades de inspección.

La experiencia nos permite realizar una serie de actividades de inspección, antes, durante y a la terminación de la soldadura.

□ **INSPECCIÓN ANTES DE SOLDAR**

Material Base

- Composición Química
- Características Mecánicas
- Homogeneidad
- Aspecto superficial y dimensiones principales
- Posibles defectos internos (laminaciones, grietas, etc)

Material de Aportación

- Composición Química
- Características Mecánicas
- Estado de Conservación (secado, condiciones de almacenaje, etc.)

Procedimiento de Soldadura

- Alcance
- Compatibilidad de los materiales base y de aportación.
- Ensayos de calificación
- Requerimientos específicos (precalentamientos, aporte térmico, etc.)

Calificación de Soldadores

- Alcance
- Ensayos de Calificación
- Validez de Calificación

Medios

- Características de las máquinas
- Características de los medios auxiliares
- Estado de conservación y funcionamiento

Preparación de la Unión

- Control de las preparaciones de los biseles
- Limpieza
- Características del punteado o medios de sujeción
- Alineación y separación entre bordes
- Predeformaciones
- Posición en la que vaya a soldarse

□ **INSPECCIÓN DURANTE LA APLICACIÓN DE SOLDADURA**

- Precalentamiento
- Temperatura entre pases
- Deposición y penetración del cordón de raíz
- Grietas en el cordón de raíz
- Resanado en el cordón de raíz
- Orden de deposición del resto de los cordones
- Limpieza entre cordones

- Forma de cordones
- Características eléctricas
- Velocidad de soldar
- Gases de protección

□ **INSPECCIÓN DESPUÉS DE SOLDAR**

- Velocidad de enfriamiento
- Aspecto exterior
- Dimensiones
- Tratamiento térmicos
- Deformaciones
- Ensayos destructivos y no destructivos.

De esto se comprueba que las actividades posibles de inspección “antes” de soldar superan a la suma de las indicadas “durante” y “después de soldar”: “En la preparación está la clave del éxito”.

Entonces se conseguirán soldaduras libres de imperfecciones, si todos los esfuerzos se dedican a preparar la unión correctamente.

5.2.2 INSPECCIÓN DE SOLDADURAS MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Después de realizar la inspección visual al cordón de soldadura terminado, el inspector de soldadura (*Welding Inspector*) se encarga de hacer el reporte de las uniones o juntas soldadas que no presentan defectos superficiales y están liberados para la realización de la inspección mediante ensayos no destructivos, estos ensayos no destructivos nos permiten detectar si las uniones soldadas tienen o no discontinuidades internas y si éstas pasan a ser defectos y rechazados para la preparación, según las especificaciones o estándares API 1104 escogidos para regular la construcción de estos ductos.

Las especificaciones del contrato exigen, por calidad y seguridad, que las inspecciones con ensayos no destructivos se hagan al 100% a las uniones o juntas soldadas, es decir se debe realizar la inspección a todas las soldaduras realizadas durante la construcción de los ductos.

5.2.2.1 TIPOS DE ENSAYO

El estándar API 1104 también abarca los procedimientos para la realización de los diferentes tipos de ensayos no destructivos.

Los ensayos son:

- Radiografía o Gammagrafía
- Ultrasonido
- Partículas Magnéticas
- Líquidos Penetrantes

En este proyecto, la compañía contratista (Techint), decidió que todas las soldaduras sean inspeccionadas por radiografía, por las diversas ventajas que este ensayo ofrece con respecto a los otros, para esto contrató los servicios del consorcio INGECONTROL – IPEN – BRASITEST, empresa con reconocido prestigio en este tipo de ensayo.

En este tipo de ensayos el consorcio realizó aproximadamente 100,000 ensayos radiográficos con diferentes equipos de gammagrafía (Techops, Crawler).

Durante toda la etapa de construcción de los ductos para el tramo Malvinas-Lurín.

Todos estos ensayos no destructivos fueron desarrollados para detectar discontinuidades en el cordón de soldadura, pero no todos pueden evaluar totalmente el interior de una soldadura.

Por ejemplo, los líquidos penetrantes solo harán evidentes las discontinuidades superficiales, tales como: poros socavados y fisuras.

Con la misma función, salvo un mayor alcance, estas las partículas magnéticas la cual detecta solo discontinuidades superficiales y las que están cerca de la superficie.

Por esta razón aunque con ligeras excepciones para los líquidos penetrantes, estos ensayos no se usaron en el proyecto.

El ultrasonido es un ensayo que si evalúa todo el interior y exterior de la soldadura, es decir nos da la seguridad de que todo el cordón será evaluado y así determinar si es aceptada o rechazada la soldadura.

La contratista Graña y Montero encargada de la construcción del ducto en el tramo de Lurín – La Pampilla utilizó para la inspección de la soldadura el ultrasonido, la razón fundamental de optar por este ensayo y no el radiográfico, es que la norma de seguridad del proyecto prohíbe que se utilice ensayos que pudieran afectar la salud pública, debido a que la ruta del ducto pasa casi en su totalidad a través de centros poblados y que la radiografía utiliza una fuente radioactiva para la inspección (aunque las ventaja técnica-económica de radiografía sean superior a la del ultrasonido).

El 95% de las inspecciones de soldadura durante la construcción de los ductos fue hecho con radiografías industrial, este hecho hace importante que se mencione en detalle en que consiste este ensayo no destructivo normalmente utilizado como medio de control de calidad.

La radiografía es un registro fotográfico del cordón de soldadura, la generación de la imagen se sustenta en la propiedad que tienen los Rayos X y Rayos Gamma (ondas electromagnéticas) de atravesar cualquier objeto sin dañarlo y sensibilizar una placa fotográfica colocada adecuadamente.

Los equipos generadores de radiaciones de rayos X son sumamente pesados y necesitan de energía eléctrica para su funcionamiento, es por esta razón que no se usan estos equipos en trabajos de inspección de campo, donde las condiciones en que se desarrolla la producción de soldadura son generalmente difíciles.

La ley que expresa el fenómeno de decaimiento de un elemento radiactivo y emisor de radiaciones gamma, será función exponencial que se puede escribir de la siguiente manera:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

donde:

- A_0 = Cantidad de radioisótopos existentes en el instante inicial (ci),
- λ = Constante de semi-desintegración,
- t = tiempo,
- A = cantidad de radioisótopo que queda al cabo del tiempo "t" (ci).

La constante de desintegración de un radioisótopo no puede ser modificada por ningún medio, por lo tanto la velocidad con que se desintegra es constante.

En consecuencia, la intensidad de la radiación sólo depende del número de átomos radiactivos presentes.

La velocidad con que se desintegran los núcleos en una fuente radiactiva es usada como una medida de la potencia o actividad de la fuente, la unidad empleada para medir la actividad es el curie (ci).

El ensayo que se efectúa usando radiaciones gamma, suele denominarse también gammagrafía industrial.

El iridio 192 es el radioisótopo ideal para radiografías y fue el que se utilizó en el proyecto, pero pueden usarse otros radioisótopos según las características del material del que está formada la pieza.

En la siguiente tabla se dan algunas características de las fuentes. Véase Tabla VI.

Tabla VI

Radioisótopos	Energía (meV)	Período de semi-desintegración (años)	Espesor óptimo del acero (mm)
Cobalto 60	1.17 – 1.33 (altas)	5.25	50 – 150
Cesio 137	0.662 (alta)	30	50 – 100
Iridio 192	0.2 – 1.4 (media)	74 (días)	10 – 70
Yterbio 169	0.008 – 0.31 (baja)	---	2.5 – 15
Tulio 170	0.08 (baja)	---	2.5 – 12.5

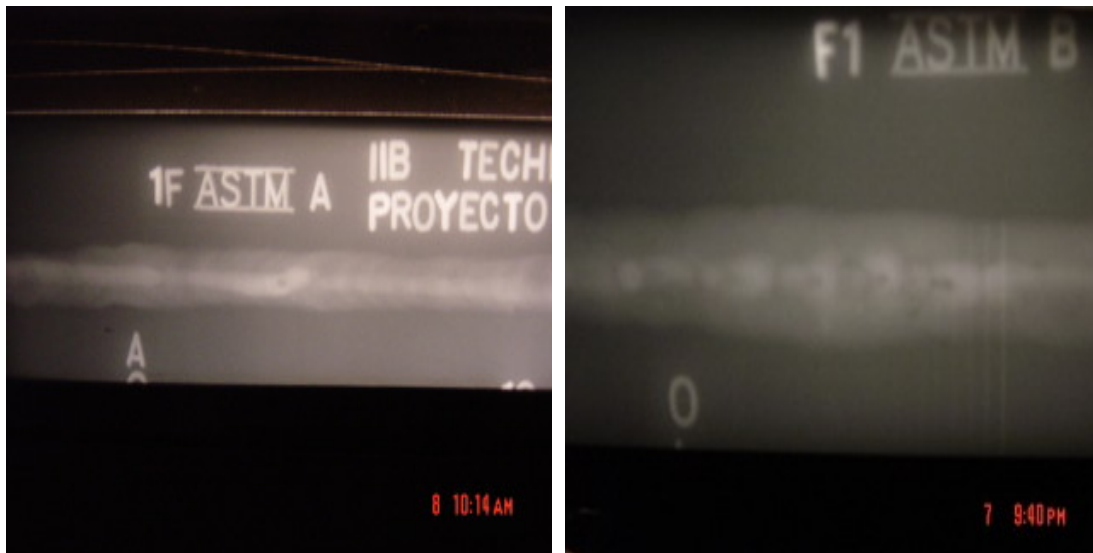
La radiación debe tener suficiente energía para penetrar directamente a través del objeto, pero con una atenuación suficientemente reducida al pasar a través de un defecto. El aumento de la transmisión a través del defecto debe producir una imagen más oscura en la película revelada. La actividad de la fuente determina la cantidad de radiación disponible. Demasiada actividad pone en velo a la radiografía, oscureciéndola en toda su extensión y reduciendo la probabilidad de describir el defecto. Una fuente de actividad baja requerirá más tiempo de exposición de la fuente para permitir que una radiación suficiente llegue a la película para crear la imagen.

El equipo de gammagrafía es ideal para realizar el ensayo de inspección a las construcciones del gasoducto, por las ventajas técnicas y económicas que ofrece en áreas remotas y en condiciones difíciles. Véase Gráfico 5.2.2.1.1 y 5.2.2.1.2, donde se muestra el equipo de ensayo radiográfico y además una placa radiográfica.

Figura 5.2.2.1.1
Equipo de Ensayo Radiográfico



Figura 5.2.2.1.2
Placas Radiográficas



5.2.2.2 EQUIPOS Y MATERIALES

Para el control de calidad de la soldadura mediante la inspección con radiografía ó gammagrafía se disponía de equipos suficientes para realizar la exposición de la fuente radioactiva y generar la imagen radiográfica en la película, así tenemos, los que realizan la irradiación por la parte externa del tubo y los que irradian dentro del tubo.

La elección de uno u otro equipo dependerá fundamentalmente del rendimiento productivo de los soldadores, más aun que en el contrato se exige radiografiar el 100 % de las soldaduras hechas en el día.

Por lo tanto, si la producción de soldaduras es pequeña se utiliza el equipo convencional (Techops 660 – spec) con el cual se irradia la parte exterior del tubo.

Si la producción de soldadura es grande se utiliza el crawler el cual irradia la pared interior del tubo.

Una forma de ver la capacidad de estos equipos es hacer un cuadro con resultados de campo, donde se compara el rendimiento de cada equipo en una jornada de 9 horas (Véase Tabla VII).

Tabla VII

	Espesor tubería	Diámetro tubería	Actividad de la fuente	Numero de exposiciones	Técnica de exposición	Tiempo para cada exposición	Tiempo en radiografiar una junta soldada	Producción diaria de juntas radiografiadas
Equipo convencional (Techops)	0.625"	32"	100 curie	3	Doble pared	9 min.	35 min.	16
Crawler	0.625"	32"	50 curie	1	Panorámica	3.20 min.	6 min.	90

Es importante mencionar que la producción diaria de radiografías depende de la actividad de la fuente, diámetro, espesor de la tubería y de la habilidad de los operadores del equipo.

Los equipos y materiales que se usaron en este proyecto son:

- A) EQUIPOS CONVENCIONALES (TECHOPS 660 – SPEC)
- Contenedor de plomo que almacena la fuente o isótopo radioactivo de Ir – 192
 - Un cable comando
 - Un tubo guía
 - Un colimador direccional
 - Un medidor de radiación (GEIGER – MULLER)

- Un dosímetro de película y un dosímetro de lapicero para cada trabajador
 - Un bip sonoro para radiación, por cada trabajador que opera la fuente
 - Cintas y carteles de señalización para seguridad
 - Películas
- En general con este equipo trabajan dos operadores para realizar la toma radiográfica

B) CRAWLER

- Un contenedor con la fuente de Ir – 192
- Una unidad de comando con fuente de Cs – 137
- Un carrito que se desplaza por dentro de la tubería, con batería recargable
- Un gama lux.
- Un medidor de radiación (Geiger-Muller)
- Dosímetro de película y dosímetro de lapicero para cada trabajador
- Un bip sonoro para radiación
- Cintas y carteles de señalización
- Películas

5.2.2.3 PROCEDIMIENTO RADIOGRÁFICO

Establece los requisitos mínimos para realizar el examen radiográfico de acuerdo con el estándar API-1104/99 Sección IX y según las especificaciones de construcción-examinación radiográfica Techint.

Precauciones para la seguridad del personal

El manejo de los materiales y equipo durante el examen radiográfico será hecho según los requisitos del IPEN IR.002.01 (requisitos de seguridad radiológica).

Los requisitos de seguridad radiológica se centran en criterios generales tales como límite de dosis para trabajadores expuestos y público, protección radiológica operacional y la obligación de personas que usan radiación a licenciarse o registrarse, vigilancia permanente de instalaciones y equipos.

Calificación del Personal de Inspección

El personal de inspección de soldadura se calificará por la experiencia y entrenamiento para la tarea de inspección especificada que realizará. Sus calificaciones deben ser aceptables a la compañía.

Certificación del Personal en Ensayos No destructivos

El personal se certificará en niveles I, II, III de acuerdo con las recomendaciones de la sociedad americana de pruebas no destructivas (NDT) y el procedimiento de certificación de ingenieros basados en exámenes generales, especializados prácticos, estudios y experiencia.

Solo los niveles II ó III serán los autorizados de interpretar los resultados de la prueba.

Los niveles I y II serán recertificados por lo menos cada tres años.

Equipos y Materiales

- Las fuentes de radiación debe ser iridium 192 (Ir-192) con una actividad máxima de 110 curie, mínimo 50 curie. Los equipos serán los crawlers y los convencionales.

- Película radiográfica.

Se usará película roll-pack tipo 2 D5 con pantalla de plomo de espesor 20 micras, ideal para fuentes de 15-192.

El procesado de la película es hecho normalmente según los procedimientos API-1104 y las recomendaciones de fabricante de los químicos, en tiempos para determinar temperaturas.

- Almacenamiento de la película, debe ser hecho de tal manera que estén protegidos de los efectos de la luz, calor excesivo, humedad excesiva, humos ó vapores perjudiciales y radiaciones penetrantes, así evitar que la emulsión de la película virgen se dañe.
- Penetrámetros, son indicadores de la calidad de imagen de la película, estos son de tipo de alambre y son descritos en el API-1104 como se muestra en la Tabla VIII.

Tabla VIII

Espesor de la tubería vs. diámetro del alambre del penetrámetro ASTM-E747				
Espesor de la pared del tubo		Diámetro del alambre esencial		
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	ASME set letter
> 0.250	> 6.4	0.008	0.20	A
> 0.250- 0.375	> 6.4 – 9.5	0.010	0.25	A O B
> 0.375 – 0.500	> 9.5 – 12.7	0.013	0.33	B
> 0.500 – 0.750	> 12.7 – 19.1	0.016	0.41	B
> 0.750 – 1.000	> 19.1 – 25.4	0.020	0.51	B

El penetrámetro de tipo de alambre se colocará en contacto con el ducto.

Cuando una soldadura completa (toda la circunferencia) se radiografía en una sola exposición donde la fuente está dentro del ducto, por lo menos, se pondrá cuatro penetrámetros a través de la soldadura y perpendicular a la longitud de ésta y se espaciarán aproximadamente igual alrededor de la circunferencia.

Para los procedimientos de exposición de doble pared / visión de pared simple (DWE/SWV) donde se requieren exposiciones múltiples para la inspección completa de la soldadura y cuando la longitud de la película a ser interpretada es mayor que 5 pulgadas (130 mm) se usarán dos penetrámetros en el lado de la película: uno estará a 1 pulg. (25 mm) del extremo de la película a ser interpretada y el otro estará al centro de la película.

Cuando la longitud de la película a ser interpretada es 5 pulg. (130 mm.) o menos, se pondrá un penetrámetro en el centro de la película a ser interpretada.

Cuando una soldadura reparada es radiografiada, por lo menos se pondrán un penetrámetro adyacente a cada área reparada.

Densidad de la película

La aprobación de la calidad de la película dependerá de la densidad de H&D en la porción de la película que registra el área de interés (cordón de soldadura) y ésta no será menor a 1.8 ni mayor de 3.5, sin embargo áreas fuera de la zona de interés pueden reflejar densidades en la película no menores a 1.5 y no mayores a 4.2

La densidad de la película es medida con densitómetros electrónicos o una cinta de película con patrones de diferentes densidades.

Nota: H&D se refiere al método de Hurtes-Driffield de definir el ennegrecimiento cuantitativo de la película.

Equipo Para Observación de la Película en el Momento de Evaluar la Soldadura

Para observación de las radiografías se utiliza el Negatoscopio, el cual debe tener una intensidad de luz variable para ayudar a la interpretación.

Requerimientos de la Cámara Oscura de Revelado

Una cámara oscura debe cumplir lo siguiente:

- Impedir la entrada de luz durante el revelado de la película.
- Tener la ventilación adecuada y aire acondicionado.
- Debe ser un lugar seco.
- Tenga agua necesaria y fuente de alimentación eléctrica.
- Que tenga dos sistemas de iluminación separados: un sistema de luz blanca y un sistema de lámparas con filtros adecuados para revelar.
- Se debe manipular las películas bajo condiciones de luz de seguridad (luz con filtro) según las recomendaciones del fabricante.
- Solo se manipulará las películas por sus bordes y con las manos limpias y secas, por si se toca se graban en la película, también debe evitarse el torcimiento y la presión excesiva. Si no se controla esto la película puede ser rechazada.

TÉCNICAS DE EXPOSICIÓN DE LA FUENTE PARA OBTENER UNA RADIOGRAFÍA

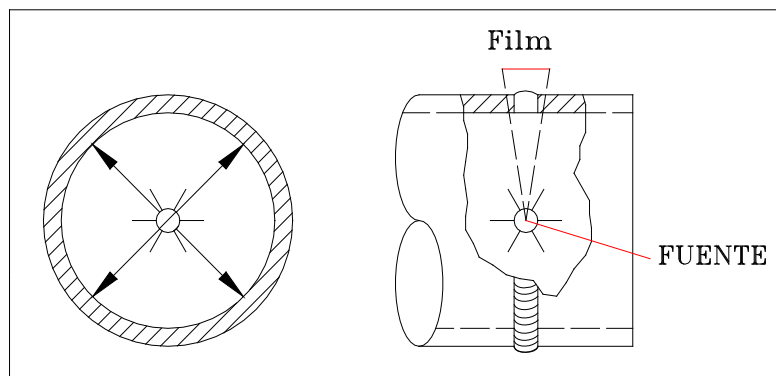
Las técnicas de exposición que se utilizaron en los programas de inspección fueron:

- La exposición de pared simple / visión de pared simple (SWE/SWV).

Es una técnica que requiere de una sola exposición simple para la inspección completa de la soldadura, esta radiografía se consigue con el Crawler (Véase Gráfico 5.2.2.3.1).

Gráfico 5.2.2.3.1

Exposición de pared simple



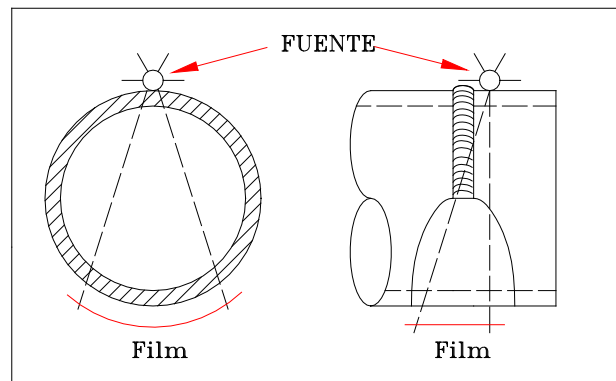
- La exposición de doble pared / visión de pared simple (DWE/SWV)

Esta técnica requiere de exposiciones múltiples para la inspección completa de la soldadura, ésta se usara cuando SWE/SWV no sea práctico.

La inspección completa de la soldadura es con tres exposiciones (cada película cubre 120° de la circunferencia) (Véase Gráfico 5.2.2.3.2).

Gráfico 5.2.2.3.2

Exposición de doble pared



Normalmente la técnica recomendada es la exposición de pared simple por las ventajas que ofrece en:

- Ahorro de tiempo en la obtención de la radiografía.
- La inspección del cordón de soldadura se hace en una sola exposición.
- El operador del equipo absorbe menos radiación
- Pero no siempre se puede aplicar esta técnica; existen varios factores:
 - a) Pendientes pronunciadas del terreno (Mayores de 45°); el Crawler que se desplaza por el interior del tubo no puede ascender.
 - b) No se dispone de Crawler para tuberías de diámetro menor a 14 pulgadas.

REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR TODA PELÍCULA RADIOGRÁFICA

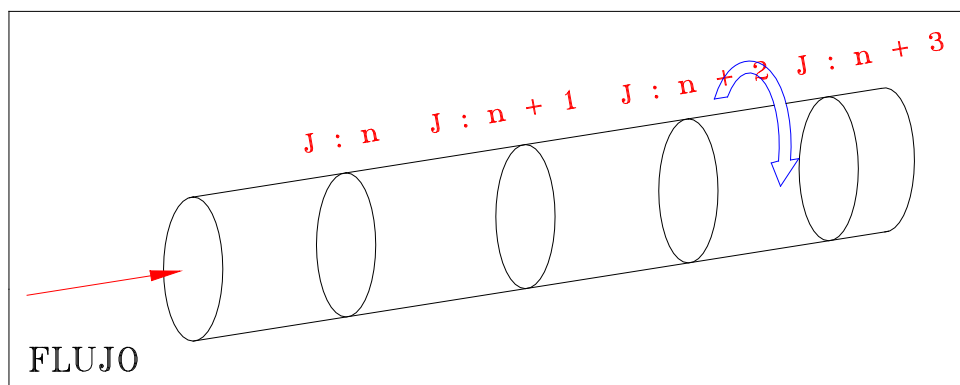
- Toda película debe tener un traslape de 2 pulgadas (50 mm) como mínimo.
- Cada radiografía estará permanentemente identificada con números y letras de plomo (7 mm al tamaño máximo)
- Siempre que mas de una imagen se use para inspeccionar una soldadura los marcadores de identificación aparecerán en cada imagen y las imágenes adyacentes se solaparán. El último marcador de referencia en cada fin de la imagen

aparecerá en cierto modo en las imágenes; esto asegura que ninguna parte de la soldadura se ha omitido.

- Se registrará en la tubería el punto de partida y el sentido que seguirá la cinta métrica hecha con números de plomo espaciados 5 cms. (0, 5, 10, 15, etc.).
- La cinta métrica de enrollarse sobre la tubería en el sentido mostrado en la figura (Véase Gráfico 2.5.2.2.3.3).

Gráfico 5.2.2.3.3

Forma de enrollarse la cinta métrica



Interpretación de la Película

Todas las radiografías estarán libres de daños mecánicos, químicos u otras manchas de tal magnitud que enmascaren y no se confundan con la imagen de cualquier discontinuidad en el área de interés (cordón de soldadura) tales manchas incluyen: velo, defectos de procesado como rayas, marcas de agua o manchas químicas, arañazos, marca digitales, suciedad.

Informes de Radiografías

Este informe es entregado al supervisor de control de calidad de la compañía contratista.

El informe incluirá:

- El número del informe, fecha
- La cantidad de soldaduras radiografiadas
- Cantidad de aceptadas
- Cantidad de rechazadas para reparación
- La fuente de radiación, tipo, actividad
- La marca de la película, tipo y método del proceso
- Tipo de penetrametro y el alambre esencial
- Nombre completo del que interpreta la radiografía

5.2.2.4 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LA FUENTE RADIOACTIVA

El trabajar con material radioactivo nos exige desarrollar un procedimiento con el objetivo de dar la seguridad a todo el personal involucrado en realizar estas actividades.

TRANSPORTE TERRESTRE-AÉREO Y ACUÁTICO

Para realizar el transporte de fuentes radioactivas, debe hacerse de acuerdo a los siguientes requisitos:

- a) Al transportar el material radioactivo debe adjuntarse los siguientes documentos
 - Copia de la “licencia de operación” emitida por el IPEN organismo regulador.
 - Copia de la tabla de decaimiento de la actividad de la fuente.
 - Ficha de emergencia con instrucciones a seguir en caso de accidentes.
- b) El transporte por carretera debe ser hecho con vehículos exclusivos para esta operación, el cual debe contar con una caja metálica fija donde se colocará el contenedor con la fuente radioactiva. La caja debe estar señalizada con el símbolo de radiación, este debe tener la siguiente inscripción.
 - Peligro – Radioactivo
 - Contiene Fuente Radioactiva: Ir-192
 - Teléfono de emergencia
- c) En el vehículo que transporta el material debe viajar solo personal de la empresa y ningún otro no relacionado con el transporte.
- d) El nivel máximo de radiación no debe exceder a 2 mSv/h (200 mrem/h) en cualquier punto de la superficie exterior de la caja metálica de transporte y 0.1 mSv/h (10 mrem/h) a 1 m del mismo.
- e) El nivel máximo permisible de radiación en cualquier posición normalmente ocupada por personas no debe exceder los 0.02 mSv/h (2 mrem/h).
- f) El contenedor de la fuente debe tener señalizada la categoría, amarillo II ó amarillo III, obedeciendo el criterio siguiente:
Amarillo II: Cuando el nivel de dosis en la superficie del irradiador fuera mayor que 0.005 mSv/h (0.5 mrem/h) y menor o igual a 0.5 mSv/h (50 mrem/h) y a un 1 m de la

superficie del mismo, a una razón de exposición menor o igual a 0.01 mSv/h (1 mrem/h).

Amarillo III: Cuando el nivel de dosis en la superficie del irradiador es mayor a 0.5 mSv/h (50 mrem/h) y menor o igual a 2 mSv/h (200 mrem/h) y a 1 m de la superficie del mismo, la razón de exposición sea mayor que 0.01 mSv/h (1 mrem/h) y menor o igual a 0.1 mSv/h (10 mrem/h).

- g) El equipo mínimo de seguridad durante el transporte es:
- Medidor portátil de radiación tipo Geiger-Muller.
 - Cintas y carteles de seguridad.

Almacenamiento de Fuentes Radiactivas

Para el almacenamiento de las fuentes radioactivas; el supervisor de radio protección en coordinación con el representante de seguridad de la compañía contratista determinaran que estos materiales sean guardados después de realizar la inspección en recintos (bunker) que satisfacen los siguientes requisitos:

- a) El área debe estar ubicado en un lugar aislado de personas pero sin embargo bajo el control del campamento.
- b) Proveer un pozo de almacenamiento con tapa de hierro y llave, de aproximadamente un metro. Para evitar la entrada y la acumulación de agua, es importante que la entrada del pozo esté aproximadamente 15 cm sobre el nivel del suelo, y su base esté formada por una capa de 40 cm de cascajo.
- c) El pozo de almacenamiento debe estar aislado por una cerca de 2.40 m de altura y las dimensiones laterales de 2.6 m. Esta cerca debe ser de un material resistente y con techo en dos aguas.
- d) Las paredes laterales de la cerca y de la tapa del pozo deben estar señalizado con los símbolos internacionales de radiación ionizante.

5.2.2.5 TIPOS DE DISCONTINUIDADES DE LA SOLDADURA

Durante la actividad de producción de uniones soldadas se encontraran diversas discontinuidades e imperfecciones en el cordón de soldadura, pero solo algunos de ellos por su magnitud serán considerados como defectos ya que excederán los valores limites de las normas de aceptación incluidas en el estándar API-1104, es decir la soldadura será rechazada sino cumple con las normas de aceptación.

Dependiendo del tipo de defecto de la soldadura, ésta podrá ser reparada, o en caso extremo se cortará la tubería, donde

se colocará un niple de longitud comprendida entre 1 y 1.5 metros.

Entre las principales discontinuidades que se encontraron durante la inspección tenemos:

Grietas: Las grietas pueden estar localizadas en

- El metal base
- El cordón de soldadura
- La zona de unión entre la zona afectada térmicamente y el cordón de soldadura

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Tensiones residuales elevada; enfriamientos rápidos y grandes deformaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Precalentar la unión para reducir el nivel de las tensiones residuales y utilizar una secuencia de soldar adecuada
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la composición del alambre
<ul style="list-style-type: none"> • Embridamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el embridamiento • Precalentar. • Utilizar un metal de aportación más dúctil. • Realizar un martillado.
<ul style="list-style-type: none"> • Interrumpir el arco de forma brusca especialmente cuando se suelda con altas intensidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuado

Véase el Gráfico 5.2.2.5.1., 5.2.2.5.2 y 5.2.2.5.3.

Figura 5.2.2.5.1
Grieta Transversal

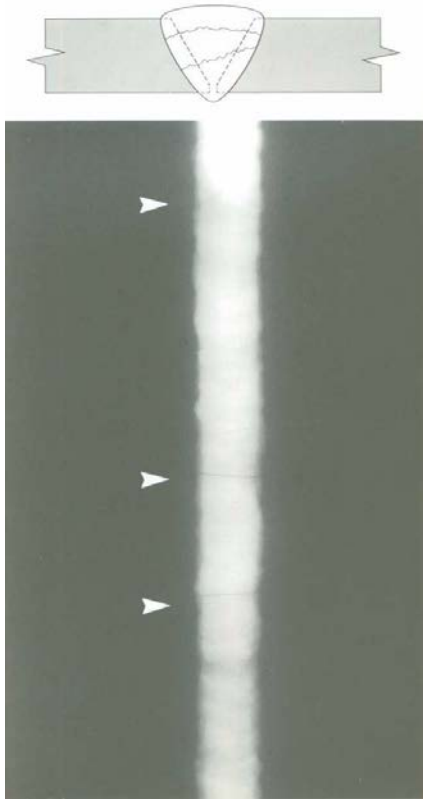


Figura 5.2.2.5.2
Grieta Longitudinal

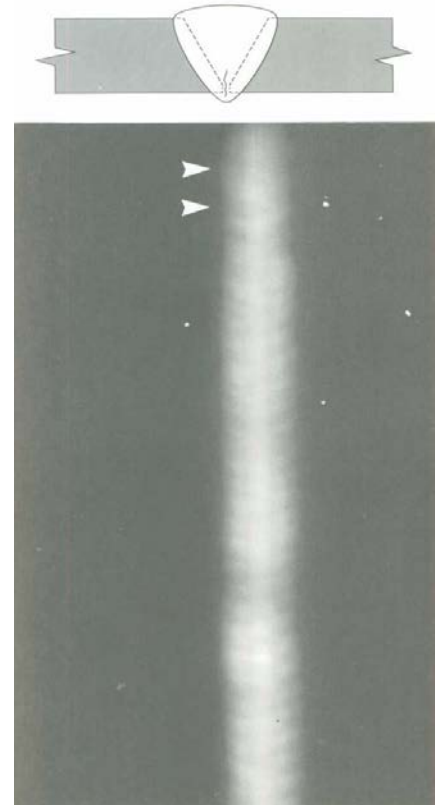
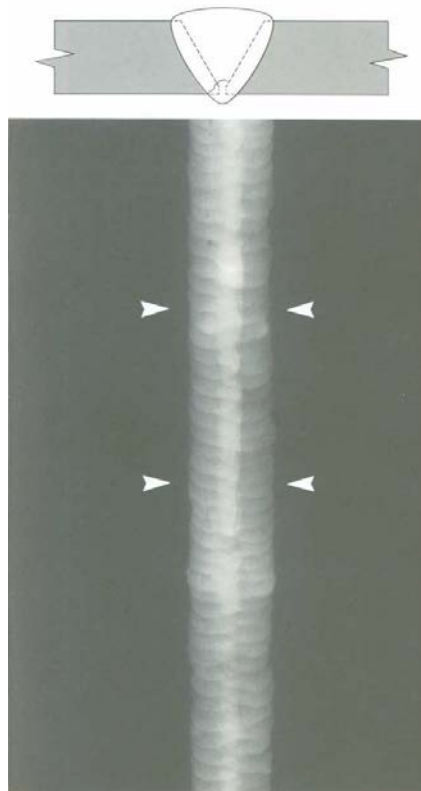


Figura 5.2.2.5.3
Grieta Longitudinal en la Raíz



Fusión Incompleta: Las causas más probables de esta discontinuidad y sus soluciones son:

CAUSAS	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido ó material extraño que impide la correcta fusión del material base. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar el material base, los chaflanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión
<ul style="list-style-type: none"> • Orientación inadecuada del electrodo (posición no centrada respecto a los bordes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar el electrodo correctamente
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad para soldar insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la intensidad
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de soldar demasiado alta 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la velocidad de soldar
<ul style="list-style-type: none"> • Incorrecta preparación de la unión a soldar 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar el ángulo de la unión

Véase el Gráfico 5.2.2.5.4 y 5.2.2.5.5.

Figura 5.2.2.5.4

Falta de Fusión de Pared Lateral

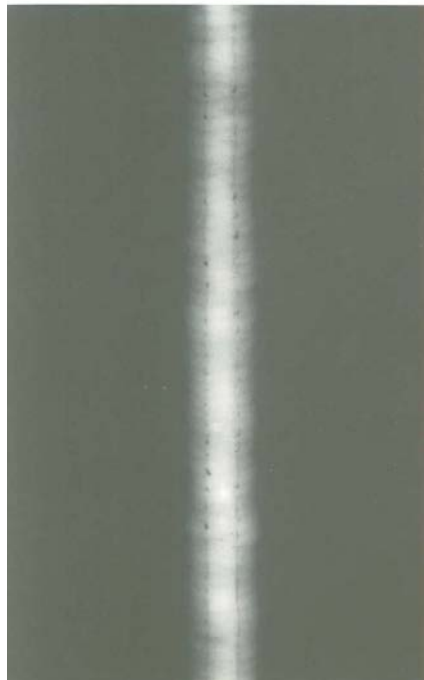
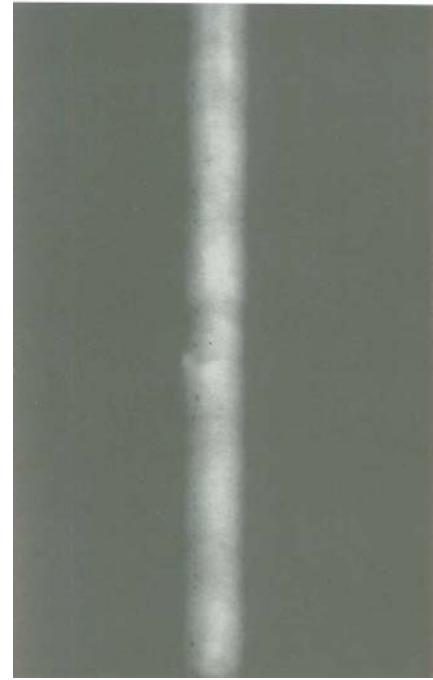
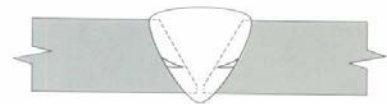


Figura 5.2.2.5.5

Falta de Fusión entre Pases



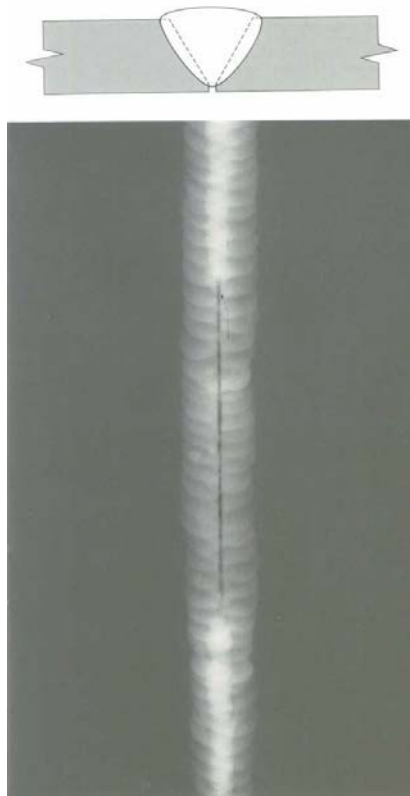
Penetración Incompleta: Las causas y soluciones para evitar la discontinuidad son:

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño inapropiado de la unión 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el talón de la raíz • Aumentar la separación de la raíz en la unión • Reducir la desalineación entre las piezas. • Incrementar el ángulo del chaflán.

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Parámetro de soldar inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la intensidad de corriente. • Disminuir la velocidad de desplazamiento del electrodo. • Reducir la longitud del arco. • Diámetro del electrodo adecuado que permita el acercamiento del electrodo ó alambre a la raíz de la unión.

Véase el Gráfico 5.2.2.5.6.

Figura 5.2.2.5.6
Penetración Incompleta



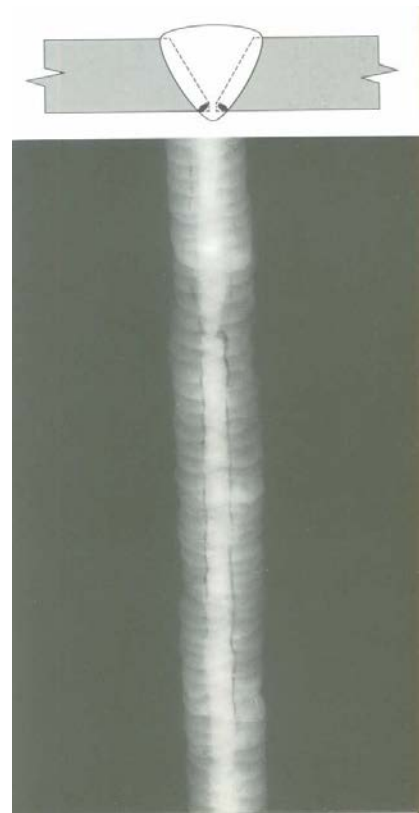
Inclusiones de Escoria: Las posibles causas que generan esta discontinuidad y su solución son:

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de corriente muy baja 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado se solidifique.
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de desplazamiento elevada que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la velocidad de desplazamiento
<ul style="list-style-type: none"> • No retirar la escoria del cordón anterior antes de colocar el siguiente cordón cuando se suelda uniones con multipasadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremar la limpieza, siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón

Véase el Gráfico 5.2.2.5.7 y 5.2.2.5.8

Figura 5.2.2.5.7
Inclusiones de Escoria
entre los Cordones

Figura 5.2.2.5.8
Escoria Alargada



Porosidad: Las posibles causas que generan esta discontinuidad y su solución son:

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodos húmedos 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservar adecuadamente los electrodos y alambres evitando su contacto con cualquier fuente de humedad, utilizar estufa de mantenimiento y secar en hornos antes de soldar
<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente cantidad de fundente en el alambre 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el alambre
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión elevada 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la tensión hasta obtener una longitud de arco adecuada
<ul style="list-style-type: none"> • Excesivas corrientes de viento 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteger la zona de soldar del viento
<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad en el metal base (oxido, grasa, recubrimiento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar cualquier resto de grasa o suciedad antes de soldar
<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de gas bajo, que produce una protección defectuosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el caudal de gas de protección

Véase el Gráfico 5.2.2.5.9, 5.2.2.5.9.1 y 5.2.2.9.2

Figura 5.2.2.5.9
Porosidad Dispersa

Figura 5.2.2.5.9.1
Porosidad Agrupada

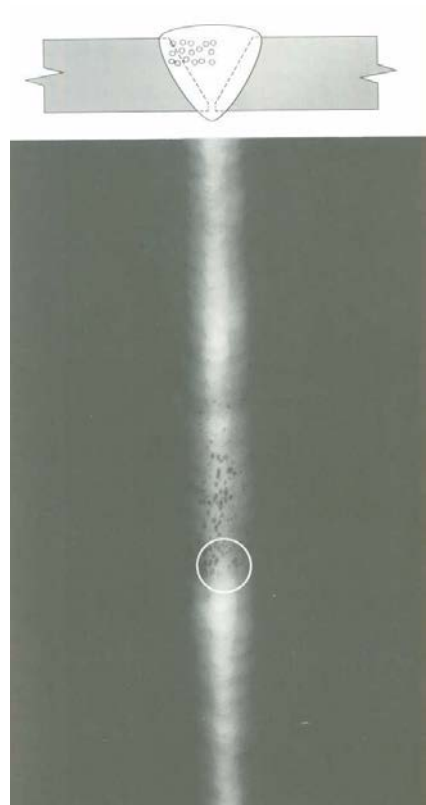
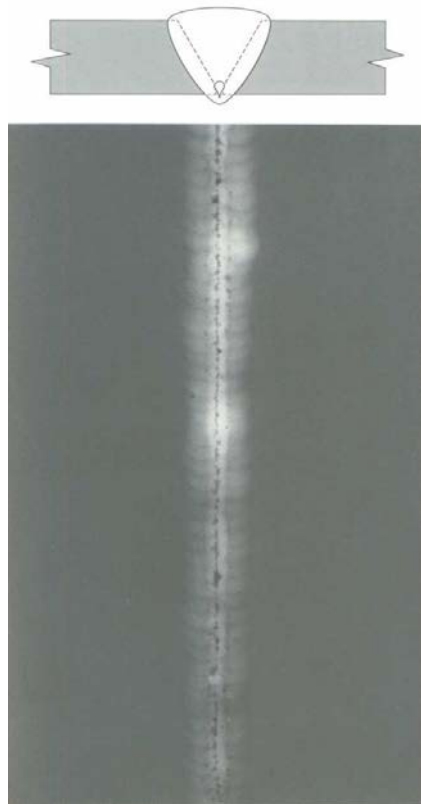


Figura 5.2.2.5.9.2
Porosidad Alineada en el Cordón de Raíz



Socavado: Las posibles causas de que generan esta discontinuidad y su solución son:

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento lateral muy rápido 	<ul style="list-style-type: none"> • Dar un movimiento lateral más lento y detener un poco a los lados del cordón
<ul style="list-style-type: none"> • Pistola inclinada lateralmente 	<ul style="list-style-type: none"> • Situar la pistola en un plano perpendicular al centro de la unión
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión excesiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la tensión para que el calentamiento de la pieza sea menor
<ul style="list-style-type: none"> • Arco largo 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar una longitud de arco igual a la mitad del diámetro del electrodo

Véase el Gráfico 5.2.2.5.9.3 y 5.2.2.5.9.4.

Figura 5.2.2.5.9.3
Socavado Externo

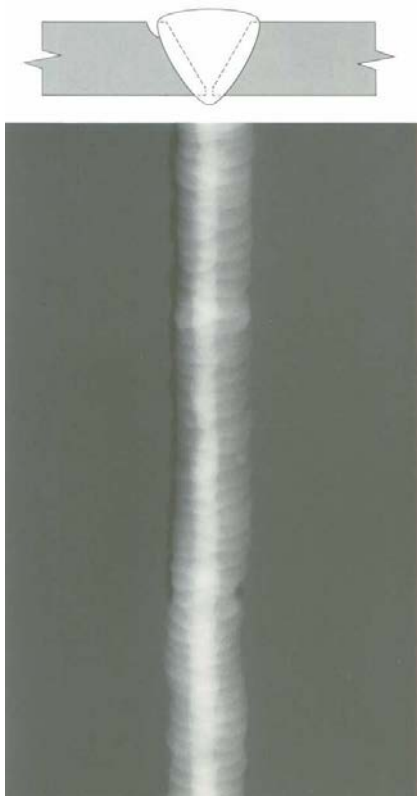
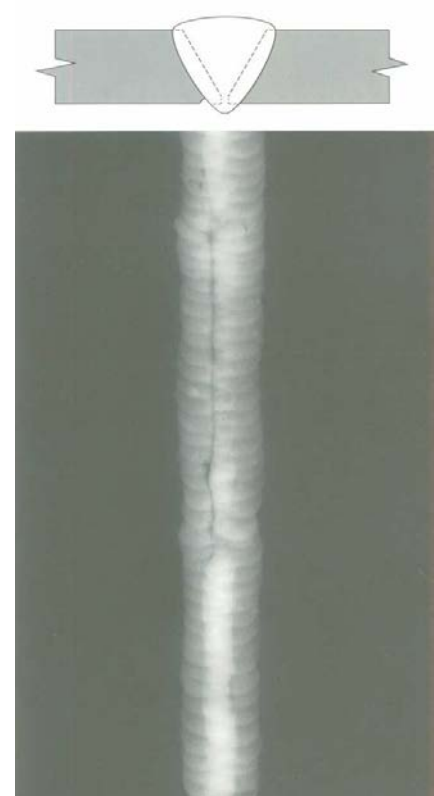


Figura 5.2.2.5.9.4
Socavado Interno



Quemón (Burn-Through): Las posibles causas que generan esta discontinuidad y su solución son:

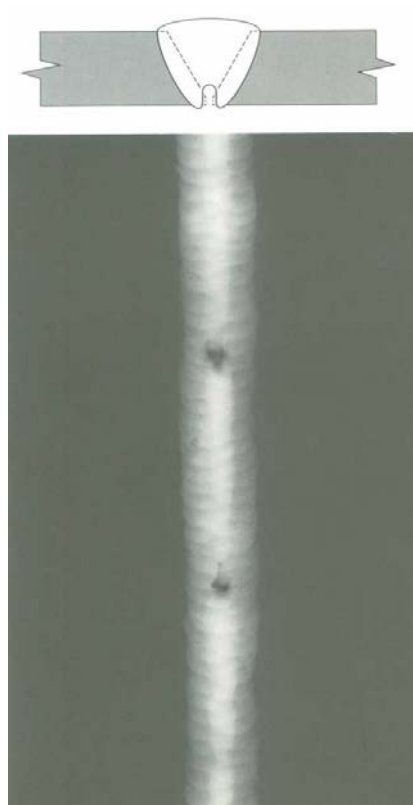
CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de corriente excesiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la intensidad de corriente para evitar las perforaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de arco muy baja 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la tensión para disminuir la penetración excesiva

CAUSA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Metal base muy caliente 	<ul style="list-style-type: none"> • Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón

Véase el Gráfico 5.2.2.5.9.5

Figura 5.2.2.5.9.5

Quemón



NORMAS DE ACEPTACIÓN PARA DISCONTINUIDADES LOCALIZADAS POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Las normas de aceptación se aplican a imperfecciones localizadas por métodos de radiografía, partículas magnéticas, líquidos penetrantes y métodos de ultrasonidos. También pueden aplicarse a inspección visual.

La discontinuidad o imperfección será defecto si cumple lo siguiente:

Discontinuidades	CONDICIÓN PARA EL RECHAZO DE LA SOLDADURA
<ul style="list-style-type: none"> • Grieta 	<ul style="list-style-type: none"> • Grieta de cualquier tamaño y localizada en la soldadura, a no ser que sea grieta de cráter o estrella, y que exceda en longitud a 5/32 pulg.

Discontinuidades	CONDICIÓN PARA EL RECHAZO DE LA SOLDADURA
<ul style="list-style-type: none"> Falta de fusión 	<ul style="list-style-type: none"> Que la longitud individual de la indicación excede 1 pulg. Que la longitud total de las indicaciones en cualquier longitud continua de soldadura de 12 pulg. de longitud excede 1 pulg. Que la longitud total de las indicaciones excede el 8% de la longitud soldada en cualquier soldadura menor de 12 pulg. de longitud
<ul style="list-style-type: none"> Falta de penetración en la raíz 	<ul style="list-style-type: none"> Que la longitud individual de la indicación excede 1 pulg. Que la longitud total de las indicaciones en cualquier longitud continua de soldadura de 12 pulg. de longitud excede 1 pulg. Que la longitud total de las indicaciones excede el 8% de la longitud soldada en cualquier soldadura menor a 12 pulg. de longitud.
<ul style="list-style-type: none"> Falta de penetración debido a desalineamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Que la longitud individual de la indicación excede 2 pulg. Que la longitud total de las indicaciones en cualquier longitud continua de soldadura de 12 pulg. de longitud excede 3 pulg.
<ul style="list-style-type: none"> Inclusiones de escoria para tuberías de diámetro exterior mayor o igual a 2³/₈ 	<ul style="list-style-type: none"> Que la longitud de la inclusión de escoria elongada excede 2 pulg. Que la longitud total de las indicaciones de inclusión de escoria elongada en cualquier longitud continua de 12 pulg. de soldadura excede 2 pulg. El ancho de una inclusión de escoria elongada excede 1/16 pulg. Que la longitud total de las indicaciones de inclusión de escoria aislada en cualquier longitud continua de 12 pulg. de soldadura excede 1/2 pulg. Que el ancho de una indicación de inclusión de escoria aislada excede 1/8 pulg. Si mas de 4 indicaciones de inclusión de escoria aislada con un ancho máximo de 1/8 pulg. estén presentes en cualquier longitud continua de 1/8 pulg. estén presentes en cualquier longitud continua de 12 pulg. de soldadura Que la longitud total de las indicaciones de las inclusiones de escoria elongadas y aisladas exceden el 8% de la longitud soldada
<ul style="list-style-type: none"> Porosidad individual 	<ul style="list-style-type: none"> Que el tamaño individual de un poro exceda 1/8 pulg. Que el tamaño de un poro individual exceda el 25% del mas delgado de los espesores nominales de la junta
<ul style="list-style-type: none"> Porosidad agrupada 	<ul style="list-style-type: none"> Que el diámetro de la porosidad agrupada exceda 1/2 pulg. Que la longitud total de las indicaciones en cualquier longitud continua de 12 pulg. de soldadura exceda 1/2 pulg. Que el tamaño de un poro individual en la porosidad agrupada exceda 1/16 pulg.
<ul style="list-style-type: none"> Porosidad túnel o Porosidad alargada 	<ul style="list-style-type: none"> Que la longitud individual de una indicación de porosidad alargada (túnel) exceda 1/2 pulg. Que la longitud total de las indicaciones en cualquier longitud de soldadura continua de 12 pulg. exceda 2 pulg. Que las indicaciones aisladas de poro túnel excedan 1/4 pulg. (6 mm) de largo y estén separados entre si en menos de 2 pulg. Que la longitud total de indicaciones de poro túnel exceda el 8% de largo de la soldadura

Discontinuidades	CONDICIÓN PARA EL RECHAZO DE LA SOLDADURA
<ul style="list-style-type: none"> • Socavado 	<ul style="list-style-type: none"> • Que la longitud total de las indicaciones en la raíz y presentación en cualquier combinación, en una longitud continua de 12 pulg. (300 mm) de soldadura exceda 2 pulg. (50 mm) • Que la longitud total de indicaciones en el pase de presentación o de raíz en cualquier combinación exceda 1/6" del largo de la soldadura
<ul style="list-style-type: none"> • Quemón 	<ul style="list-style-type: none"> • Que la dimensión de la indicación exceda ¼ pulg. (6 mm) y la densidad y la imagen de la indicación exceda la densidad de imagen del metal base adyacente más delgado • Que la dimensión máxima de la indicación exceda el espesor y la densidad de la pared nominal más delgada • Para tubería de diámetro mayor o igual de 2³/₈, la suma de las dimensiones máximas de los quemones excede ½ pulg. y a la vez que la densidad de la imagen del quemón exceda la densidad del metal base más delgado

5.2.2.6 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL OPERADOR

Objetivo

Es conocido que en toda actividad productiva es cada vez más exigente la normatividad en materia de seguridad, salud y protección ambiental, más aún si los trabajos de inspección se hacen con material radioactivo.

Se puede afirmar que el objetivo de la protección radiológica consiste en proporcionar un adecuado nivel de protección a las personas mediante la administración responsable de las operaciones, sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a las exposiciones de radiaciones.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

Los principios básicos son:

- **JUSTIFICACIÓN**

Considera que ninguna práctica con radiaciones ionizantes debe ser autorizada si no existe evidencia de que la misma producirá para los individuos o la sociedad beneficios que compensen el posible detrimento que pueden generar en el operador.

- **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO**

Es el proceso en el que se analiza factores económicos, sociales y se decide la magnitud de los recursos que se considera razonable destinar a la protección radiológica con el fin de reducir el detrimento colectivo asociado a una determinada práctica, mediante la reducción de la dosis de radiación.

- **LÍMITE DE DOSIS**

Los valores de los límites de dosis se adoptan con el criterio de impedir la ocurrencia de efectos determinísticos y limitar la probabilidad de los efectos estocásticos.

De acuerdo al reglamento de seguridad radiológica del IPEN las dosis de los trabajadores ocupacionalmente expuestos deben limitarse de modo que no excedan:

- a. 20 mSv de dosis efectiva en un año como promedio en un periodo de 5 años consecutivos.
- b. 50 mSv de dosis efectiva en un año, siempre que no sobrepase 100 mSv en 5 años.
- c. 150 mSv de dosis equivalente en un año, para el cristalino.
- d. 500 mSv de dosis equivalente en un año para la piel y extremidades.

SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA LA RADIACION EXTERNA DURANTE LA OPERACIÓN RADIOGRÁFICA

La experiencia en este tipo de trabajo ha desarrollado una serie de técnicas de protección a la radiación externa con el objetivo de reducir las dosis recibidas por las personas expuestas ocupacionalmente.

El uso adecuado de ciertos parámetros permitirá la reducción de la tasa de dosis de radiación absorbida por el personal expuesto, estos son:

El Tiempo

Es importante porque cuanto menor tiempo se está expuesto a la radiación menor será la dosis que recibe el operador.

La experiencia nos permite lograr la habilidad en el manejo del equipo y como consecuencia de esto, reducir el tiempo empleado en extraer y retraer la fuente durante una exposición.

La Distancia

Otro hecho importante es que la dosis de radiación recibida se reduce conforme aumente la distancia entre la fuente emisora de radiación y el personal. Este resultado hace que la distancia se convierta en una herramienta poderosa en protección radiológica.

Normalmente durante la exposición para radiografiar; el operador se ubica mientras dura la exposición a una distancia

de 36 m (3 tubos) de la fuente, donde el medidor de radiación (Geiger) indica 0.4 mrem/h, es claro que este valor de radiación dependerá de la actividad de la fuente y del uso del colimador.

Una forma de determinar la tasa de dosis es utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de dosis} = \frac{\text{Factor Gamma} \times \text{actividad de la fuente}}{\text{Distancia}^2}$$

donde:

Factor Gamma (Γ) esta dado en: (mSv x m²)/(H x GBq)

Actividad de la fuente se expresa en; gigabequerelios (GBq)

Distancia en metros

Véase la Tabla IX

Tabla IX

Constante del factor Gamma (Γ) de radionucleidos

Radionucleidos emisores Gamma	Factor Gamma (Γ)
Iterbio 169	0.034
Tecnecio 99	0.022
Tulio 170	0.0007
Cesio 137	0.081
Iridio 192	0.13
Cobalto 60	0.351

BLINDAJE

Es todo aquello capaz de atenuar un campo de radiación por interposición entre el personal operador y la fuente emisora de radiación.

En general para este tipo de radiación (Gamma) los cuerpos más pesados y de gran espesor son los más recomendados para atenuar eficientemente como blindaje.

Durante las exposiciones de la fuente para generar la radiografía en instalaciones abiertas como lo que sucedió en la construcción del gasoducto, el blindaje utilizado para protección del operador es la misma tubería.

5.2.2.7 EQUIPO DE CONTINGENCIA

Después de la exposición de la fuente radioactiva para generar la radiografía, puede ocurrir que la fuente no regrese al contenedor blindado.

Generalmente este incidente se produce por errores humanos o por falla del equipo.

Cuando los trabajadores no cuentan con el entrenamiento, procedimiento y el equipamiento necesario para el rescate de la fuente, este incidente se puede convertir en un accidente radiológico porque los operadores pueden llegar a recibir dosis de radiación superiores al límite anual, el cual puede producirles serios daños a la salud, inclusive puede provocar la muerte.

En estas situaciones de emergencias los operadores deben actuar con serenidad, lo primero que se debe hacer es delimitar el área; luego se planifica como se procedería el rescate, teniendo siempre presente que se debe recibir la menor cantidad posible de radiación; esto se logra tratando de compartir la dosis entre el personal y utilizando el equipo de contingencia necesario para estas situaciones.

La mayoría de las recuperaciones de fuentes por los operadores se han traducido en menos de 10 mSv de dosis absorbida en todo el cuerpo.

El equipo de contingencia utilizado es:

- Un contenedor para rescate
- Una pinza de rescate con longitud mínima de 1.5 m
- Una caja de rescate conteniendo herramientas diversas y cizallas
- Un dosímetro de lapicero
- Planchas de plomo con dimensión de 30 x 30 cm y ¼" de espesor
- 2 bolsas con granallas de plomo
- Un detector de radiación tipo Geiger-Muller
- Un cronómetro

5.2.2.8 COSTO DE UNA INSPECCIÓN POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL CORDÓN DE SOLDADURA

En el siguiente cuadro se indica los costos de cada uno de los ensayos no destructivos utilizados en este proyecto.

Equipo	Ensayo No Destructivo	Diámetro de la Tubería en Pulg.	Costo del Ensayo en Dólares
Techops	Radiografía	14	20
		24	30
		32	40
Crawler	Radiografía	14	30
		24	40
		32	50
Rotoscam	Ultrasonido	14	12
		24	18
		32	24
Juegos de tinta en spray	Tintas penetrantes		1 m de cordón de soldadura cuesta: 26 dólares.

Los precios de los ensayos no destructivos que aquí se indican es cuando el contrato está hecho de tal forma que solamente se cobra por el ensayo tomado, es decir por producción.

Los precios del ensayo disminuirán cuando en el contrato se establece que además de cobrar por el ensayo se cobra por disponibilidad de equipo y personal.

A continuación se muestra el costo de algunos equipos utilizados para realizar ensayos.

1. Equipo de radiografía convencional (Techops)
 - Costo del contenedor y cable comando \$8,000
 - Costo de la fuente de Ir-192 con una actividad de 100 ci (vida media 74.5 días) \$2,000
2. Equipo de ultrasonido
 - Costo del equipo completo \$60,000
3. Equipo de tintas penetrantes
 - Juego de tres líquidos en spray marca Magneflux \$50

6. CAPITULO IV

ACTIVIDADES Y OBRAS ESPECIALES ANTES Y DESPUÉS DEL BAJADO DE LA TUBERÍA

6.1 LIMPIEZA Y REVESTIMIENTO DE LA JUNTA SOLDADA

Liberada la junta soldada por el departamento de control de calidad (radiografía), se procede a la limpieza de ésta de acuerdo a las especificaciones de las normas americanas: Concejo para el Pintado de Estructuras de Acero (*Steel Structure Painting Council*).

En el campo existen dos formas de conseguir la limpieza de la junta:

- Utilizando una amoladora. Se consigue lijar luego se realiza el cepillado hasta lograr un grado de limpieza requerido, el cual corresponde a obtener el brillo metálico del tubo, seguidamente se mide la rugosidad donde debe tener un valor óptimo que permita una buena adherencia del esmalte que se aplica posteriormente.
- Utilizando el sandblasting. Este método es conocido también como arenado y consta de un equipo apropiado con el que se bombea arena abrasiva a alta presión sobre la junta hasta conseguir la rugosidad adecuada, para posteriormente aplicar el esmalte.

El sandblasting normalmente fue usado en los frentes donde se disponía de depósitos de arenas abrasivas, en aquellos lugares donde no se encontraba estas arenas se realiza la limpieza mediante el lijado y cepillado. Así lo permitían las especificaciones de construcción.

Para el revestimiento se utilizan mantas que exhiben una membrana de polietileno y un adhesivo bituminoso de goma modificada con elastómeros sintéticos. Estas mantas para ser aplicadas requieren que la tubería sea calentada, la temperatura hace que se desarrollen las propiedades

adhesivas de éste y queden fijas en el tubo lo que servirá de protección a la superficie metálica cuando sea enterrada. (Véase Gráfico 6.1.1 y 6.1.2).

Figura 6.1.1
Equipo de Arenado



Figura 6.1.2
Parcheo



6.2 APERTURA DE ZANJA

La excavación se realizará con una máquina zanjadora, retroexcavadora u otro método necesario para preparar la zanja donde será alojada la tubería. El alineamiento de la zanja depende del doblado de la tubería.

Muchas veces los mayores imprevistos en una obra de construcción de gasoductos se presentan en el zanjado por la variedad de terrenos que se encuentran, los terrenos rocosos, pantanosos son los que generalmente retrasan el avance.

Cuando existe evidencia de la existencia de otro ducto, la excavación se realizará de forma tal que la distancia mínima entre la tubería a ser instalada y la existente sea de 24" (0.6m).

La zanja tendrá un ancho mínimo de 12" (304 mm) más el diámetro exterior de la tubería, con el fin de evitar cualquier daño en el revestimiento de la tubería durante la bajada.

El fondo de la zanja debe tener un suelo suave y uniforme a fin de evitar pendientes abruptas de manera tal de proveer un soporte continuo a lo largo de la tubería y minimizar la necesidad del doblado de tubos.

Los materiales extraídos de la zanja no serán eliminados; porque todo el material se usará posteriormente para la tapada y estará libre de raíces, troncos y cualquier material extraño que pueda dañar el revestimiento.

Según las especificaciones de construcción, la profundidad de excavación recomendada para los ductos se indica en la Tabla X y XI.

Tabla X: Para la línea de Gas Natural

Lugar por Donde Atraviesa el Ducto	Excavación en Terreno Normal (\geq)	Excavación en Roca (\geq)
Cruces de ríos y arroyos	2.00 m	1.20
Rutas principales	2.00 m	1.20
Rutas secundarias	2.00 m	1.20
Cualquier otra área	0.90 m	0.60

Tabla XI: Profundidad para la línea de líquido de gas natural

Lugar por Donde Atraviesa el Ducto	Excavación en Terreno Normal (\geq)	Excavación en Roca (\geq)
Áreas residenciales, comerciales e industriales	1.20 m	1.20 m
Cruces de ríos y arroyos	2.00 m	1.20 m
Canales de desagüe	1.50 m	1.20 m
Rutas principales	2.00 m	1.20 m
Rutas secundarias	2.00 m	1.20 m
Cualquier otra área	0.90 m	0.60 m

(Véase Gráfico 6.2.1 donde se muestra el zanjado).

Figura 6.2.1

Operaciones de Zanjado





6.3 BAJADA DE TUBERÍA

Esta actividad consiste en depositar la tubería dentro de la zanja, previa inspección de la soldadura y recubrimiento o revestimiento de las juntas y tuberías para asegurar que no estén dañados y se presenten problemas posteriores.

El cumplimiento de las especificaciones correspondientes a esta actividad asegura realizar un trabajo de calidad.

Las recomendaciones básicas son:

- El fondo de la zanja será preparado para depositar la tubería y deberá extraerse todo material duro que se encuentre en el fondo que pueda dañar el revestimiento. En aquellos casos en los que el fondo de la zanja sea rocoso, la tubería se colocará sobre una cama de material fino seleccionado de 15 cm de espesor o se colocaran cada 3 metros sacos rellenos con material fino seleccionado de 15 cm de espesor para apoyar la tubería.
- El equipo para levantar la conjunto de tubos soldados (lingada) deberá ser el adecuado y suficiente como para permitir una operación de bajada segura.
- La tubería será atada, levantada por medio de tiendetubos (seibor). Los tiendetubos tendrán un sistema de bajada con

fajas ó cunas de rodillos específicamente diseñados para evitar dañar el recubrimiento de la tubería.

- La tubería se ubicará lo más cerca posible del centro de la zanja, las curvas cóncavas se instalarán de forma tal que la zona inferior de la curva deje un espacio libre con respecto a la superficie inferior de la zanja. Las curvas invertidas se colocarán sobre el fondo de la zanja. Las curvas horizontales serán colocadas hacia la pared externa de la zanja pero sin apoyarse en ella.
- Los equipos serán de suficiente capacidad y cantidad para realizar la operación de bajada y deberán estar colocados en intervalos que impidan la caída, deslizamiento, volcamiento o pandeo de la sección de tubería que está siendo manipulada.
- Previamente a la bajada, el 100% del revestimiento de la tubería será chequeado con un detector denominado Holiday, el cual será conectado a 20 Kv con un electrodo para contacto circunferencial total.
- Las áreas defectuosas se parcharán de acuerdo a las especificaciones de revestimientos.
- En los lugares con pendientes donde puede correr agua por el derecho de vía, se colocarán barreras (tapones) de poliuretano en la zanja, para evitar que el agua destape la tubería. (Véase Gráfico 6.3.1, 6.3.2 donde se aprecian las operaciones de bajado de tuberías y equipo de chequeo del revestimiento).

Figura 6.3.1

Operaciones de Bajado



Figura 6.3.2

Equipo de Chequeo de Revestimiento (Holiday)



6.4 TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA

Finalizado el bajado del ducto dentro de la zanja se procede a realizar el tendido de la fibra óptica dentro de la misma zanja donde ambos quedaron enterrados.

El tendido de la fibra se hizo a lo largo de todo el tramo de los ductos, con ello se podrá vigilar y controlar a distancia el funcionamiento de la línea y las operaciones de las estaciones en tiempo real.

El control es hecho en base al sistema Scada instalado en el centro de supervisión (*City Gate*).

6.5 INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Al estar enterrados los ductos, existirá siempre la posibilidad de estar en contacto con aguas subterráneas y zonas húmedas por lo cual están potencialmente expuestos a sufrir daños por corrosión, para proteger a los ductos se instaló en toda la línea un sistema avanzado de protección catódica para combatir la corrosión.

6.6 TAPADO DE LA TUBERÍA

Antes de iniciar el tapado, se chequearán los siguientes puntos y se corregirán en caso sea necesario:

- En la zanja no deberán encontrarse rocas, piedras, terrones grandes, basura, escombros, etc. de manera que no dañe el revestimiento de la tubería.
- Deberá haber espacio suficiente entre la tubería y la pared de la zanja, al menos 6 pulg. (0.15 m.) a cada lado de la tubería para permitir la tapada sin dejar huecos.

- En áreas rocosas, la tubería deberá ser protegida inmediatamente después de la bajada contra la caída de rocas. Podrán utilizarse *Rock Shields* y/o vigas de madera si el material seleccionado no puede obtenerse del suelo excavado, se transportará de otros lugares o se utilizará una máquina para seleccionar el suelo.
- La tapada deberá ser realizada lo más pronto posible después de la bajada para impedir movimientos de la tubería dentro de la zanja debido a los cambios de temperatura, la tapada se realizará en todas las curvas y hasta 50 pies (15 m) a cada lado de las mismas.
- Se tendrá cuidado de no dañar el recubrimiento durante la tapada. En áreas rocosas, alrededor de la tubería se colocará material seleccionado en espesor de 6 pulgadas (0.15 m), compuesto por tierra, arena o grava fina de las márgenes de los ríos o una combinación de estos materiales en la siguiente proporción:

Tamaño del tamiz: mm (pulg)	Porcentaje que pasa (%)
25.4 (1)	95
12.7 (½)	25
6.3 (¼)	10

95% del material pasa a través del tamiz de 1"
 25% del material pasa a través del tamiz de ½"
 10% del material pasa a través del tamiz de ¼"

No se permitirán rocas, piedras, cascotes u otros objetos duros dentro del material seleccionado.

- Se completará la tapada del resto de la zanja en áreas rocosas, se deberá tener cuidado durante la operación de tapada con el fin de minimizar los huecos de la misma. No se colocarán piedras con dimensiones que superen las 12" (0.30m).
- La tapada será luego nivelada para formar una cresta pulcramente redondeada de aproximadamente 8" (0.20m.) en el centro de la zanja.
- Durante el desarrollo de la tapada se deja tramos de la zanja abiertos para realizar obras especiales, que consiste en realizar los empalmes de los tubos.

6.7 EMPALMES ESPECIALES DE JUNTAS ABIERTAS

Conforme se realiza el avance de la soldadura en línea regular, más o menos a cada kilómetro (82 tubos) se dejará una junta abierta para facilitar el manejo de la tubería durante la bajada.

Asimismo se dejará tramos abiertos en aquellos lugares donde se realiza un cambio de hombro; este cambio se hace en razón de que el suelo al inicio de los acantilados no ofrece la estabilidad requerida por ser fácilmente erosionado.

Igualmente la tubería quedará abierta en todos los sitios de obras especiales, para esto se forma un equipo encargado de realizar todos los empalmes, estará conformado por los trabajadores de mayor experiencia y dotados de todos los recursos necesarios.

Formarán parte de este frente de especiales el equipo de gammagrafía el cual contará con una caseta de revelado que se movilizará según el avance, se hace esto porque es necesario tener lo más pronto posible los resultados de la radiografía de las soldadura ya que este mismo frente será el encargado de hacer el tapado de la tubería y así poder continuar con la soldadura de los demás empalmes. (Véase Gráfico 6.7.1).

Figura 6.7.1

Empalmes de Tuberías



6.8 CRUCES ESPECIALES

Durante la construcción de los ductos la empresa contratista se enfrentó a muchos retos, entre ellos tenemos.

- Cruce de Ríos
- Cruce de Carreteras
- Cruce de zonas pantanosas

Para realizar esta actividad de manera segura y con calidad se crearon procedimientos donde se define los métodos a seguir para la ejecución de los diferentes cruces encontrados dentro de la ruta. Este tipo de obras fueron realizadas por un equipo denominado frente de cruces especiales formado exclusivamente para realizar este tipo de trabajo.

CRUCE DE RIOS

En esta obra se realizaron cruce de agua menores denominado así porque el ancho del río no supera los 50 m y cruces de aguas mayores donde el ancho del río supera los 50 m. Según esta definición durante la construcción se realizó un solo cruce de agua mayores y fue para cruzar el río Urubamba de aproximadamente 150 metros de ancho. En todos los demás casos los cruces de agua fueron menores.

En total se realizó la construcción de 30 cruces de río o quebradas a lo largo de la ruta.

Existen dos formas de realizar el cruce de ríos:

a) Perforando

Este método es utilizado para ríos con anchos mayores a 50 metros.

Para el cruce del Río Urubamba se perforó horizontalmente por debajo del lecho del río.

Se colocó una tubería de mayor diámetro que servirá de camisa protectora de los ductos que transportaran los fluidos.

A orillas del río la tubería fue ensamblada en secciones e inspeccionadas por radiografía, luego la tubería se colocará sobre una plataforma con rodillos o patines para ser arrastrada con ayuda de los tiendetubos dentro del hueco.

b) A cielo abierto

Este método es utilizado para ríos con anchos menores a 50 metros y cuando las pendientes sean demasiadas pronunciadas.

El cruce se realiza en dos etapas. El río se dividirá alternadamente en dos vías para la instalación de cada división de tuberías; una vez instalada la tubería se realiza el empalme.

La tubería quedará enterrada 2 metros bajo el lecho del río, en estos casos se debe usar tubería lastrada (revestida de concreto), esto para evitar la flotabilidad y proteger el revestimiento del tubo.

CRUCE DE CARRETERAS

Existen dos formas de realizar el cruce:

a) Perforando

Es utilizado solamente para cruce de carreteras principales y que están asfaltadas.

El hueco horizontal perforado estará a 2 metros debajo de la superficie.

Se colocará una tubería de mayor diámetro que se usará como camisa protectora, luego la tubería se desplaza con ayuda de los tiendetubos, posteriormente se realiza los empalmes.

b) A cielo abierto

Este método se realiza cuando nos encontramos frente a una vía secundaria y que no está asfaltada.

Con ayuda de retroexcavadoras se realiza la zanja que tendrá una profundidad de 2 metros, luego se realiza el bajado y tapado de la tubería según procedimientos.

CRUCE DE ZONAS PANTANOSAS

En este caso se realiza la construcción de obras de drenaje en el área, la cual nos facilitará el trabajo en este tipo de terrenos. La tubería que se colocará en zonas pantanosas deberá estar lastrada. (Véase Gráfico 6.8.1, 6.8.2 y 6.8.3).

Figura 6.8.1
Tubería Lastrada



Figura 6.8.2
Cruce de Río



Figura 6.8.3
Cruce de Carretera



6.9 INSTALACIÓN DE VÁLVULAS – CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE TRAMPAS

Las válvulas son instrumentos diseñados para el control de flujo de fluidos, por consiguiente su instalación en todas las plantas construidas es para actuar como un medio de control para las distintas situaciones que se pudieran presentar durante las operaciones.

La línea para gas natural contará con 27 estaciones intermedias de válvulas de bloqueo colocadas cada 35 km aproximadamente, el ducto para líquidos de gas natural contará con 18 estaciones intermedias de válvulas de bloqueo colocadas cada 30 km aproximadamente.

En la construcción y montaje de las trampas en determinados tramos de la línea se usan tuberías diseñadas de tal manera que permitan lanzar y recibir los chanchos que son utilizados para realizar el mantenimiento permanente de la tubería mediante la limpieza interna del ducto. (Véase Gráfico 6.9.1).

Figura 6.9.1
Instalación de Válvulas



6.9.1 PRUEBA HIDROSTÁTICA

Una forma de comprobar si los ductos o tuberías están en condiciones de soportar las presiones que actúan sobre éstas durante las operaciones de bombeo del fluido, es realizando una prueba hidrostática, este ensayo se realiza por secciones o tramos de línea.

Se coloca cabezales de pruebas en ambos extremos del tramo de línea, luego se bombea agua dentro de ésta, para posteriormente ir aplicando presión hasta llegar a una presión de prueba de 1.25 veces la presión máxima de diseño, este valor se mantendrá como mínimo durante una hora. Si la presión de ensayo registrada en el manómetro se mantiene constante, la prueba ha sido un éxito y se da por concluida, así se hace con los demás tramos de los ductos.

6.9.2 LIMPIEZA DEL GASODUCTO

Al terminar la construcción del gasoducto y después de terminada la prueba hidrostática, siempre queda dentro de la tubería gran cantidad de residuos indeseados tales como: trozos de electrodos, escoria de soldadura, partículas de

laminación, arena, agua y otros materiales sólidos, que deben ser eliminados mediante una limpieza interior.

Se hace necesario extraer esos residuos para evitar que se obturen los filtros, dañen los equipos (tuberías, válvulas de control, piezas de compresoras, etc) y reduzcan la eficiencia de las operaciones.

La limpieza adecuada del interior de la tubería minimiza la corrosión, evitando así la formación del llamado “polvo negro” que se agrava con el correr de los años.

En este proyecto se usaron un sistema de limpieza y secado utilizando los famosos chanchos (tacos raspa tubos) empujados por aire comprimido súper seco; la presión (20-30 Kg/cm²) necesaria fue proporcionada por compresoras de corriente de aire.

Para remover el agua después de la prueba hidrostática se usaron chanchos flexibles bidireccionales de poliuretano, equipados con discos, los cuales se desplazaron con aire comprimido.

El uso de chanchos bidireccionales fue necesario para permitir la inversión del flujo en caso de que ocurriera bloqueos de la línea a causa de residuos.

El siguiente paso fue el lanzamiento de chanchos de poliuretano de alta densidad equipados con escobas (cerdas de acero templado) con el fin de remover y desprender los depósitos de óxidos que pudiera haber en la pared interior de la tubería.

Una vez terminada la operación con los chanchos de escobas, se utilizan los chanchos de espuma de poliuretano para remover los residuos de polvo y bolsones de agua remanente dentro de la línea.

Finalmente se usaron los chanchos magnéticos. El criterio adoptado para concluir esta tanda de chanchos fue suspenderlas tan pronto como en las trampas de rescate la acumulación de las partículas de metal en los imanes de los chanchos fuera de 20 gramos o menos por kilómetro recorrido.

La formación de óxidos en la tubería es producida por la presencia de oxígeno, esto hace que se tenga que inyectar nitrógeno para desplazar todo el oxígeno. (Véase Gráfico 6.9.2.1, 6.9.2.2).

Figura 6.9.2.1

Operaciones de Limpieza de Tuberías



Figura 6.9.2.2

Equipo de Limpieza de Tuberías (Chanchos)

6.9.3 LIMPIEZA FINAL, OBRAS DE PROTECCIÓN AL DERECHO DE VÍA Y RECOMPOSICIÓN

Concluido el tapado de toda la línea y terminada la prueba hidrostática se realiza la limpieza final con la finalidad de recoger todo los desperdicios y residuos que se dejaron durante el desarrollo de las actividades de construcción de los ductos.

También se realizan obras de geotecnia para protección al derecho de vía tales como, corta corrientes, zanjas, cunetas, etc.

Finalmente, según se establece en el estudio del impacto ambiental del proyecto, debe realizarse la recomposición que consiste en restaurar el terreno a la forma que se encontraba inicialmente, esto implica restituir la flora y fauna que existía en el área. (Véase Gráfico 6.9.3.1, 6.9.3.2).

Figura 6.9.3.1

Actividades de Geotecnia



Figura 6.9.3.2

Recomposición y Reforestación



7. CONCLUSIONES

1. Siempre se considera por costumbre que la inspección es una actividad posterior al proceso de soldar, pero esto no da la garantía de producir uniones soldadas de calidad, de hecho algunos factores que influyen en la calidad se pueden presentar durante todo el proceso productivo, por esto para asegurar soldaduras de calidad se debe hacer la inspección durante todo el proceso productivo, así tendremos la garantía.
2. Según normas de los estándares, todo defecto en soldadura es discontinuidad y solo algunas discontinuidades de soldadura son defectos.
3. En lugares donde la tubería cruza cauces aluvionales, éstas se encuentran potencialmente a sufrir riesgos por arremetidas aluvionales los que provocarán la erosión del material que cubre la tubería dejándolo al descubierto y expuesto a que el revestimiento del tubo sea dañado. La solución a los efectos, que pueden ser desastrosos productos de los eventos naturales, es: colocar en estos lugares tubería lastrada (recubierta con concreto) y enterrada a una profundidad adecuada. También se deben realizar obras de protección aguas abajo del cruce con la construcción de gaviones, lo cual impida la erosión generalizada aguas arriba, de este modo la tubería se conservará en todo momento enterrada.
4. Durante la tapada de la tubería se debe proceder cuidadosamente siguiendo el procedimiento para rellenar la zanja, especialmente en terrenos pedregosos, donde se deben colocar las diferentes capas de materiales, tratando que el material rocoso no quede en contacto con la tubería porque la subsiguiente compactación del material de relleno y la migración hacia debajo de las piedras puede llegar a comprimirlas fuertemente contra los tubos y dañar el revestimiento, la cual sumado a la protección catódica es la principal línea de defensa contra la corrosión.
5. En muchos de los gasoductos construidos en otros países, la práctica normal consistía en dejar en la tubería el agua de la prueba hidrostática para luego desplazarla con gas y seguidamente lanzar unos pocos chanchos para limpiarla. Eso conducía frecuentemente a estancamiento de las válvulas, obstrucción de los filtros y daños serios tanto en los instrumentos como de los turbo medidores, incluso muchos años después del estreno de las líneas.

El proceso descrito para limpiar gasoductos antes de su estreno, según experiencia en otros países, ha demostrado su

eficiencia para eliminar los problemas que antes causaban los residuos y la humedad.

6. Quizá el mayor impacto del proyecto que se manifestará posteriormente sobre la biodiversidad y la forma de vida de los habitantes indígenas de la región del bajo Urubamba será la llegada de colonizadores de tierras y el establecimiento de madereros ilegales motivados por la apertura del derecho de vía del gasoducto.

8. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, cuando tenga que realizar una exposición de la fuente radiactiva para la inspección, que los operadores tengan siempre presente los parámetros de protección, tiempo, distancia, blindaje, los cuales si son utilizados adecuadamente, reducen al mínimo la dosis de radiación absorbida por el operador.
2. Se debe tener un enfoque especial en la gestión de la seguridad radiológica para así poder lograr una buena protección del operador y el personal ocupacionalmente expuesto, contra los riesgos derivados por el uso de las fuentes de radiaciones ionizantes.