

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

"GUIA PARA LA CONSTRUCCION Y TECNICAS DE INSPECCION EN
DUCTOS PARA TRANSPORTE DE PRODUCTOS LIMPIOS DE PETROLEO"

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:
JAIME BARRERA VEGA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.987

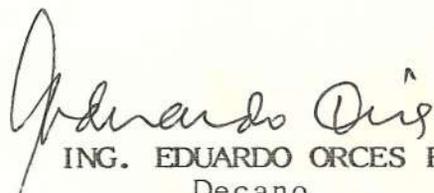
DEDICATORIA

A mis PADRES Y HERMANOS
por su apoyo constante
durante mis años de es-
tudio.

AGRADECIMIENTO

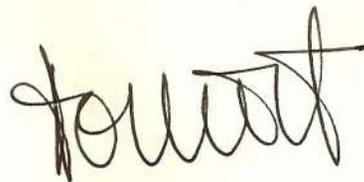
Al Ing. HOMERO ORTIZ ARIZAGA,
Director de esta Tesis, por
su constante colaboración en
el desarrollo de este trabajo.

A la Compañía de Ensayos no Des-
tructivos (BECOR), Ing. Omar
Serrano, Ing. Carlos Ordoñez,
Cuerpo Técnico y personas que
directa e indirectamente han
colaborado en la elaboración
de esta tesis.

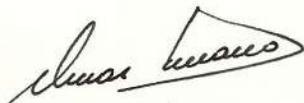


ING. EDUARDO ORCES P.
Decano

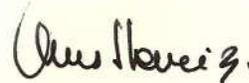
Facultad de Ingeniería Mecánica



ING. HOMERO ORTIZ A.
Director de Tesis



ING. OMAR SERRANO V.
Miembro del Tribunal

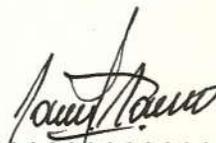


ING. ALBERTO TORRES V.
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



.....
JAIME BARRERA VEGA

R E S U M E N

El crecimiento industrial y el aumento de la demanda de combustibles en las varias plazas de consumo, torna insuficiente y antieconómico la forma de transporte tradicional con tanqueros, que ha sido generalmente empleada en nuestro país.

La forma óptima de transporte desde zonas de producción de energéticos derivados del petróleo hacia los lugares de consumo, es sin duda por medio de poliductos; es así como en la actualidad se están realizando estudios para evaluar necesidades y prioridades a fin de lograr una mayor eficiencia en lo que a servicio y costo de transporte se refiere.

El presente trabajo está basado en experiencias logradas durante la construcción del poliducto Tres Bocas-Pascuales, y consiste en la elaboración de una guía en la que se encuentran recomendaciones que se deben tomar en consideración para la ejecución e inspección de las soldaduras en este tipo de obras, tomándose como puntos de análisis lo concerniente al proceso de unión de las tuberías por soldadu

ra y la inspección de las mismas, por medio de ensayos no destructivos.

El análisis de los resultados con respecto a la inspección permite visualizar la importancia de este tipo de inspección y la incondicional necesidad de realizar previo a la ejecución de este tipo de obras, una calificación tanto del personal técnico involucrado como de procedimientos de construcción y trabajo.

Además analizando la procedencia del personal, podemos constatar el nivel técnico nacional y nuestras necesidades.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XV
INDICE DE ABREVIATURAS	XVI
INTRODUCCION	18
CAPITULO I.	20
CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO	20
1.1 Productos a srr transportados	20
1.2 Disposición y funcionamiento	22
1.3 Factores para determinación de capacidad re- querida de transporte.	27
1.4 Consideraciones para selección de ruta	27
1.5 Normas y documentos técnicos utilizados ...	28
CAPITULO II.	29
DISEÑO Y CALCULOS	29
2.1 Selección de materiales y equipos	29
2.2 Selección del diámetro apropiado de tubería.	39
2.3 Determinación del espesor de pared necesario en la tubería.	45
2.4 Juntas, biseles y consumo de soldadura	46

	Pág.
CAPITULO III	54
CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EJECUCION DE OBRA .	54
3.1 Elaboración de procedimiento radiográfico pa ra la inspección de las uniones soldadas. .	54
3.2 Elaboración y calificación de procedimientos de soldadura.	57
3.3 Calificación de soldadores	59
CAPITULO IV	62
EJECUCION DE LA OBRA	62
4.1 Tendido, preparación y soldeo de la tubería.	62
4.2 Inspección de la soldadura	69
4.2.1 Inspección visual	69
4.2.2 Inspección radiográfica	75
4.2.3 Criterios de aceptación y rechazo en la inspección radiográfica.	85
4.3 Protección superficial y catódica	88
4.4 Prueba hidrostática	93
CAPITULO V.	96
ANALISIS DE RESULTADOS	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
ANEXOS	109
BIBLIOGRAFIA	168

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pág.
1	Rangos de viscosidad y viscosímetros recomendados.	23
2	Disposición del sistema Tres Bocas-Pascuales	26
3	Pasos seguidos para fabricación de tubería al horno con traslape.	33
4	Pasos seguidos para fabricación de tubería al horno a tope.	35
5	Proceso de fabricación de tubería sin costura.	36
6	Proceso de fabricación de tubería por soldadura eléctrica.	37
7	Obtención gráfica del diámetro más económico de una tubería.	44
8	Bisel recomendado para espesores de 3.17 mm a 8 mm.	49
9	Bisel recomendado para espesores mayores a 8 mm hasta 22 mm.	49
10	Bisel recomendado para espesores mayores a 22 mm.	49
11	Combinación de biseles para espesores hasta 8 mm.	50
12	Combinación de biseles para espesores de hasta 22 mm.	50

Nº		Pág.
13	Combinación de biseles para espesores mayores a 22 mm.	50
14	Distribución de la tubería a lo largo de la ruta debidamente preparada.	63
15	Limpieza del bisel en la tubería	65
16	Limpieza interna y comprobación de la redondez del tubo.	65
17	Ejecución y control del doblado en la tubería	66
18	Colocación de mordaza exterior y comprobación de separación necesaria entre tubos.	68
19	Ejecución del pase de raíz en cordón de soldadura para unión de tubería.	70
20	Culminación de pase de raíz	70
21	Limpieza entre pasadas ejecutadas con equipos mecánicos abrasivos.	71
22	Realización de pases posteriores	71
23	Vista de un cordón de soldadura luego de ejecutados el pase de raíz y los pases calientes.	72
24	Inspección visual ejecutada en un 100% a todas las uniones soldadas.	73
25	Vista parcial del poliducto una vez ejecutadas las uniones de soldadura y la inspección visual.	76
26	Técnica radiográfica: Doble pared. Interpretación sobre: Imagen de una sola pared 1. Imagen de doble pared 2, 3.	78

Nº		Pág.
27	Técnica radiográfica: Una sola pared. Interpretación sobre: Imagen de una sola pared...	79
28	Modelos de equipos de gammagrafía, tipo direccional.	80
29	Equipo de gammagrafía, tipo proyección	<u>82</u>
30	Muestra de pantallas de plomo y estuches flexibles, empleados para proteger la película..	84
31	Preparación de película, datos y marcas previo a la exposición.	86
32	Colocación de películas, marcas y fuente en zona a radiografiarse.	86
33	Evacuación y ejecución de la toma radiográfica.	87
34	Remoción de equipos, película y auxiliares .	87
35	Limpieza y pintado de la tubería previo a recubrimiento con cintas adhesivas.	89
36	Colocación de cintas adhesivas para protección contra corrosión y golpes.	89
37	Detalle de sistema especial de protección y anclaje utilizado en zona fluvial.	91
38	Comprobación del total recubrimiento con la cinta adhesiva plástica.	92
39	Colocación de la tubería en la zanja antes de ser enterradas totalmente.	94
40	Cuantificación porcentual de las uniones en las que se detectaron las diferentes discontinuidades.	98

Nº		Pág.
B.1	Preparación de bisel para junta a tope y secuencias de pasada.	121
C.10	Penetración inadecuada en la raíz de solda dura.	125
C.11	Condición de desalineamiento	125
C.12	Penetración inadecuada debida a concavidad interna.	128
C.13	Fusión incompleta en el pase de raíz o en la parte superior.	128
C.14	Fusión incompleta debido a borde frío ...	128
C.15	Espesor de pared menor o igual a 1/2" (12.7 mm) máxima distribución de bolsas de gas. Para dimensiones referirse al Parágrafo 6.6.	134
C.16	Espesor pared mayor a 1/2" (12.7 mm) máxima distribución de bolsas de gas (sin escala para el tamaño de bolsas de gas. Para di- mensiones al Parágrafo 6.6).	135
D.1	Forma, ubicación e imagen radiográfica de desalineamiento.	139
D.2	Forma, ubicación e imagen radiográfica de desalineamiento con falta de penetración..	140
D.3	Forma, ubicación e imagen radiográfica de llenado insuficiente.	141
D.4	Forma, ubicación e imagen radiográfica de penetración excesiva.	142
D.5	Forma, ubicación e imagen radiográfica de mordedura exterior.	143

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
D.6	Forma, ubicación e imagen radiográfica de mordedura interior. !.....	144
D.7	Forma, ubicación e imagen radiográfica de concavidad interior.	145
D.8	Forma, ubicación e imagen radiográfica de Quemón.	146
D.9	Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de penetración.	147
D.10	Forma, ubicación e imagen radiográfica de inclusiones de escoria (forma variada). .	148
D.11	Forma, ubicación e imagen radiográfica de inclusiones alargadas.	149
D.12	Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de fusión (con metal Base).	150
D.13	Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de fusión (entre pasadas).	151
D.14	Forma, ubicación e imagen radiográfica de porosidades (dispersas).	152
D.15	Forma, ubicación e imagen radiográfica de porosidades (agrupadas).	153
D.16	Forma, ubicación e imagen radiográfica de porosidades alineadas y alargadas.	154
D.17	Forma, ubicación e imagen radiográfica de fisuras transversales.	155
D.18	Forma, ubicación e imagen radiográfica de fisuras longitudinales.	156

INDICE DE TABLAS

Nº		Pág.
1	Relación entre grados API y gravedad específica.	21
2	Características de productos hidrocarbúricos a ser transportados por el Poliducto "Tres Bocas-Pascuales".	24
3	Requerimientos químicos del material de las tuberías según especificaciones 5LX.	31
4	Requerimientos mecánicos del material de las tuberías según especificación 5LX.	32
5	Propiedades mecánicas del metal depositado a temperatura ambiente (ELECTRODO E6010). .	40
6	Espesor de pared de tubería y número de pases recomendados para soldadura vertical descendente.	52
7	Consumo de electrodos en soldadura de tubería técnica vertical descendente.	53

ABREVIATURAS

Aa	=	Porosidades dispersas
Ab	=	Porosidades vermiculares
ANSI	=	Instituto Nacional Americano
API	=	Instituto Americano del Petróleo
ASTM	=	Sociedad Americana para Ensayos y Materiales
AWS	=	Sociedad Americana de la Soldadura
Ba	=	Inclusiones de Forma y orientación variada
Bb	=	Inclusiones alineadas
Bc	=	Inclusiones alternadas
Bd	=	Defecto de cincelado
Be	=	Defecto al cambiarse electrodo
Bf	=	Defecto en cruce de soldadura
C	=	Carbono
C ₁	=	Costo de Instalación
C ₂	=	Costo de operación
Cf	=	Falta de fusión
C _t	=	Costo total
C _p	=	Coefficiente adimensional de pérdidas de carga
Cst	=	Centistoke
D	=	Falta de penetración
De	=	Diámetro exterior
Dn	=	Diámetro de la tubería

dm	=	Decímetro
E	=	Eficiencia de la junta soldada
e	=	Espesor
ERW	=	Soldadura por resistencia eléctrica
F	=	Mordedura
h	=	Hora
Hc	=	Pérdidas de carga en la tubería
h/L	=	Desalineamiento
IW	=	Soldadura por inducción
K	=	Factor de seguridad
Kg	=	Kilógramos
L	=	Longitud del ducto
m	=	Metro
min	=	Mínimo
mm	=	Milímetro
Mn	=	Manganeso
Plg	=	Pulgadas
Psi	=	Libras por pulgada cuadrada
Q	=	Caudal
Qm	=	Quemón
S	=	Resistencia a la tracción del material
SAW	=	Soldadura por arco sumergido
Si	=	Silicio
%	=	Porcentaje
α	=	Constante de aproximación
β	=	Constante de aproximación
λ	=	Coefficiente adimensional de pérdidas de carga
"	=	Pulgada

I N T R O D U C C I O N

La necesidad de mejorar el sistema de transporte de combustibles derivados del petróleo, ha hecho que en nuestro país se comience a planificar y realizar obras que satisfagan estas necesidades. Una red interconectada de ductos que cumpla dicha función sería la meta de esta gran carrera. Eliminar riesgos de transporte, realizarlo de una forma más rápida, económica y suplir de combustible a puntos donde en la actualidad llegan con mucha irregularidad, serían algunas de las muchas razones por las que estas obras deben ser apoyadas y realizadas.

El objetivo de este trabajo es el de poner a disposición de ingenieros y personal que labore en este tipo de actividad un documento, que podría servir como guía, ya que sus consideraciones están basadas en experiencias logradas durante la construcción e inspección del poliducto Tres Bocas-Pascuales, además de investigación del tipo teórico.

El desarrollo de este documento tendrá una secuencia apropiada para el seguimiento de los trabajos que deban rea-

lizarse durante la ejecución de este tipo de obras.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO

1.1 PRODUCTOS A SER TRANSPORTADOS.-

Uno de los puntos a ser tomados en consideración para la elaboración del diseño y cálculos de un ducto, es el análisis del fluido o los fluidos a ser transportados, ya que de sus propiedades físicas como gravedad específica y viscosidad cinemática dependen mucho los cálculos de presión en las bombas y la fluidez de los productos en la tubería.

En la Tabla I se puede encontrar la relación entre gravedad API de un petróleo o de un derivado y su correspondiente valor de gravedad específica, siendo su relación matemática la siguiente: (1)

$$\text{Grado API} = \frac{141.5}{\text{gravedad específica } 60/60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

(1)

Se entiende por: Grado API a la relación de

TABLA I
Relación entre grados API y gravedad específica

Gravedad API	Gravedad Específica
10	1.0000
15	0.9659
20	0.9340
25	0.9042
26	0.8984
27	0.8927
28	0.8871
29	0.8816
30	0.8762
31	0.8708
32	0.8654
33	0.8602
34	0.8550
35	0.8498
36	0.8448
37	0.8398
38	0.8348
39	0.8299
40	0.8251
41	0.8203
42	0.8155
43	0.8109
44	0.8063
45	0.8017
46	0.7972
47	0.7927
48	0.7883
49	0.7839
50	0.7796
51	0.7753
52	0.7711
53	0.7669
54	0.7628
55	0.7587
56	0.7547
57	0.7507
58	0.7467
59	0.7428
60	0.7389
61	0.7351
62	0.7313
63	0.7275
64	0.7238
65	0.7201

peso de un determinado volumen de una sustancia a una temperatura igual a 60°F (15.56°C) y el peso de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

La viscosidad cinemática de un petróleo o de un derivado, se mide en un instrumento llamado viscosímetro, del cual existe una gran variedad. En la Figura 1, se puede observar una representación de rangos de viscosidad en los productos de petróleo y el viscosímetro apropiado para su medición.

En el caso de la obra del poliducto Tres Bocas Pascuales, los productos a ser transportados y sus propiedades físicas se identifican en la Tabla II.

1.2 DISPOSICION Y FUNCIONAMIENTO.-

En una instalación para transporte de derivados limpios del petróleo se puede señalar cuatro áreas bien definidas: Area de suministro, área de bombeo, área de poliducto y área de almacenamiento, las cuales a su vez pueden dividirse en otras áreas dependiendo de cada obra en particular.

FIGURA 1.- Rangos de viscosidad y viscosímetros recomendados (1)

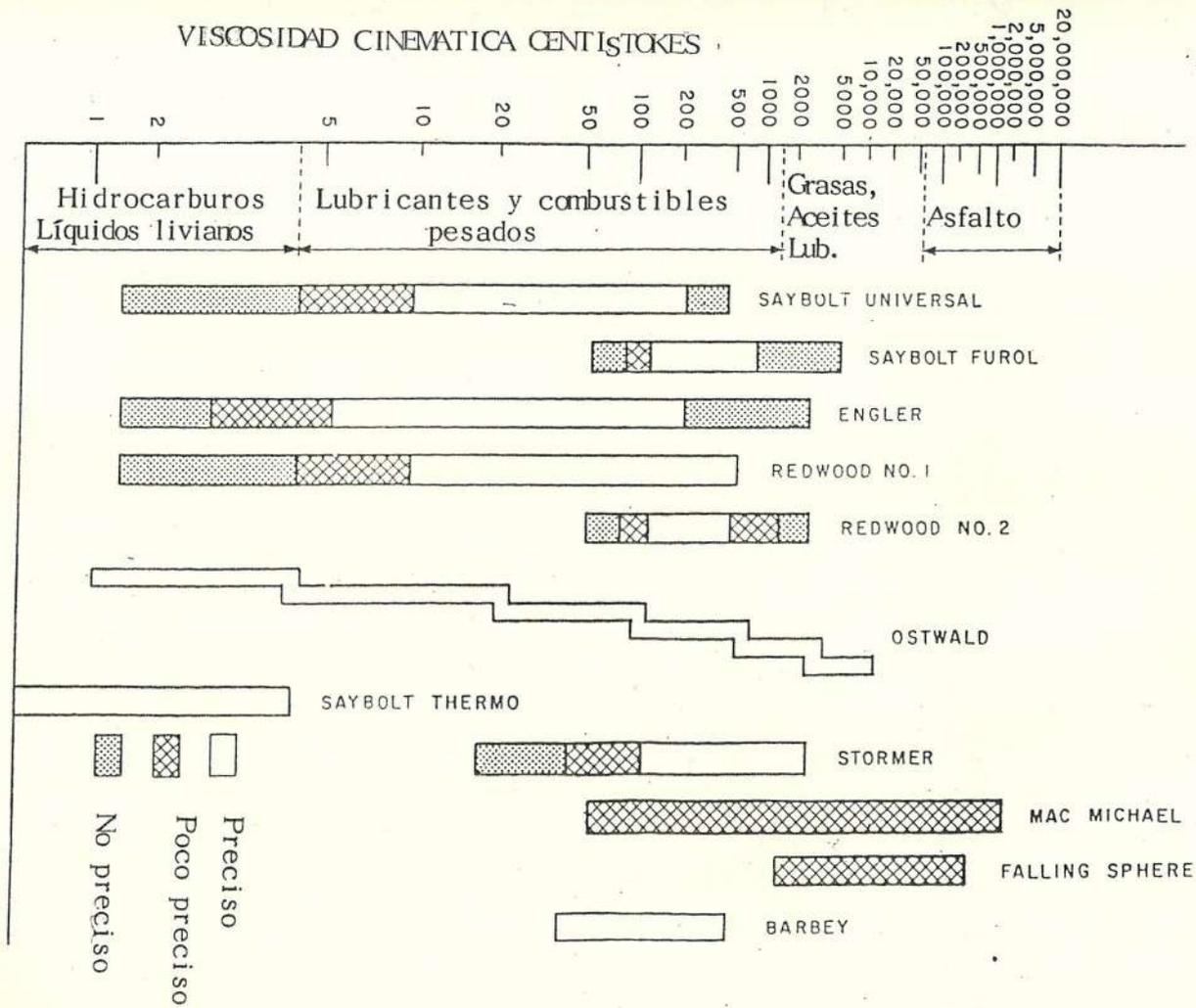


TABLA II

CARACTERISTICAS DE PRODUCTOS HIDROCARBURIFEROS A SER TRANS
PORTADOS POR EL POLIDUCTO "TRES BOCAS - PASCUALES" (2)

PRODUCTO	Kg/dm ³		CST	
	Grav.	espec.	Visc.	Cinem.
Gasolina 92		0,720		1.615
Gasolina 80		0,740		1.615
Kerosene		0,800		4.700
Diesel Oil		0,865		10.300

En el poliducto Tres Bocas Pascuales, estas áreas son identificadas como se muestra en la Figura 2.

Como se puede observar, el área de suministro (A), es una implantación marina, ya que los productos vendrán desde la refinería en barco. La capacidad de dicha implantación es para buques de hasta 30.000 toneladas.

En el área de bombeo (B) se encuentran: Un trineo de medición, el que contiene dos líneas en paralelo, pudiendo cada una de ellas medir un caudal igual al máximo del proyecto que es de $715 \text{ m}^3/\text{h}$. Un grupo de tres bombas que se encuentran también en paralelo, cada una con una capacidad de bombeo equivalente al 50% del caudal máximo de diseño indicado anteriormente. Y finalmente, una trampa de lanzamiento de rascadores.

Luego se tiene el área de poliducto (C) que consiste de tramos de tubería de acero al ^ccarbono API 5LX-42 de diámetro nominal 12" (304.8 mm) y espesor de pared de 1/4" (6,35 mm), los cuales serán unidos mediante soldadura al arco eléctrico y electrodo revestido e intercalados oportunamente con válvulas que serán apoyadas a nivel del suelo.

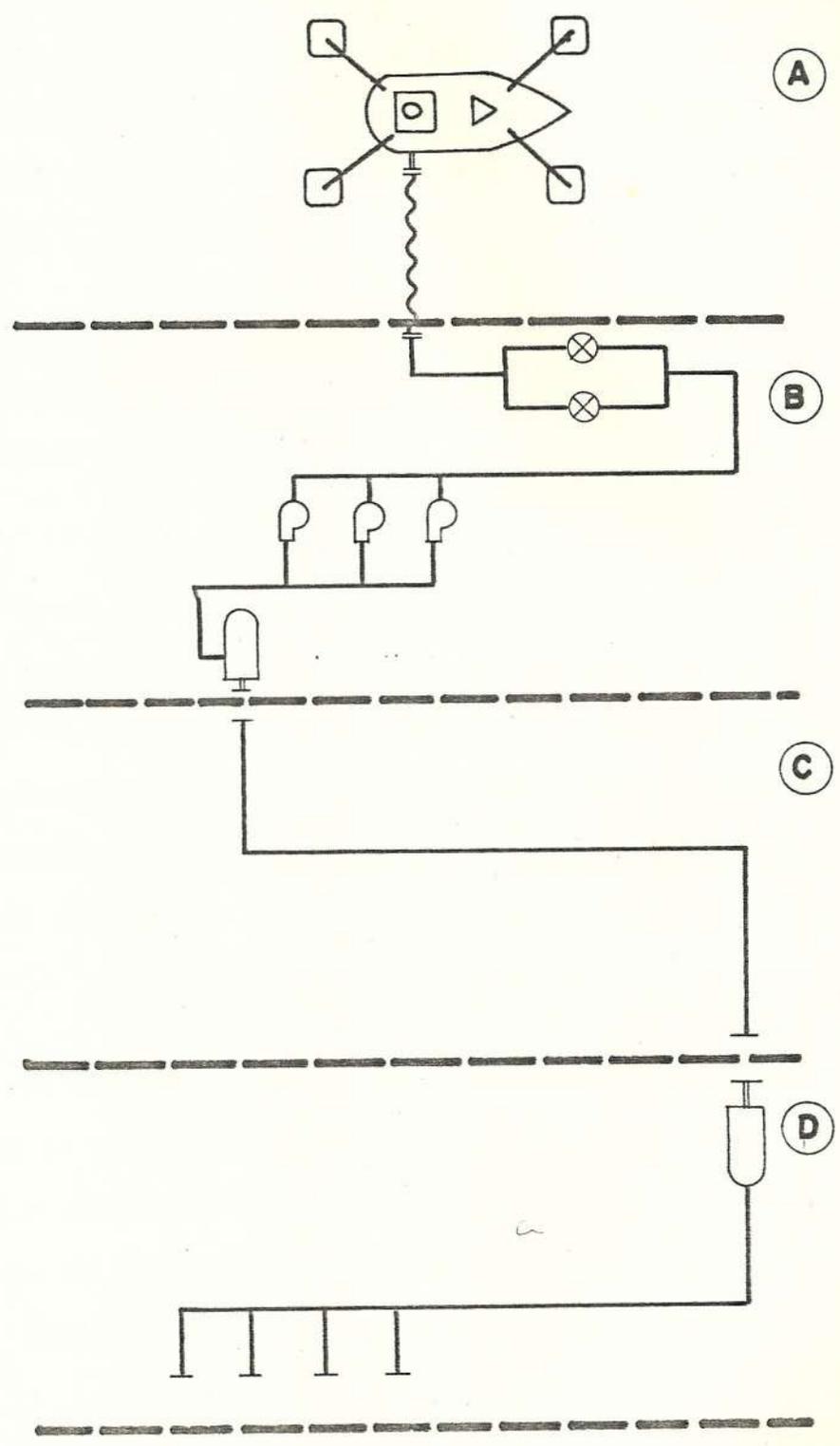


FIGURA 2.- Disposición del sistema Tres Bocas-Pascuales (2)

Por último, el área de almacenamiento (D) consta de: Un receptor de rascadores y el múltiple de descarga, el cual debe estar conectado a los diferentes tanques de almacenamiento y estos a la zona de distribución.

1.3 FACTORES PARA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD REQUERIDA DE TRANSPORTE.-

Como resultado de un estudio de necesidades actuales, futuras interconexiones e incremento en la demanda de combustibles, deberá ser calculado el caudal máximo de diseño; y así evitar que la obra quede insuficiente a corto plazo. Estos datos sirven además para hacer la selección del diámetro de la tubería y la capacidad de las bombas.

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, el caudal máximo de diseño es, como se citó anteriormente, de $715 \text{ m}^3/\text{h}$, siendo éste el considerado para los cálculos hidráulicos del sistema.

1.4 CONSIDERACIONES PARA SELECCION DE RUTA.-

Una vez determinados los puntos de suministro y de almacenamiento, se requiere seleccionar la ruta que seguirá el ducto. Se puede decir que este tópico, si no el más importante, es uno de los principales en la planificación de este tipo de trabajos, ya que el factor costo, está relacionado íntimamente con la ruta a seguir . El camino más corto entre dos puntos es la línea recta, pero en estos casos muchos factores como el geográfico, seguridad, ecológico, etc., imposibilitan seguir la ruta ideal, debiéndose entonces analizar todas las alternativas y seleccionar la óptima. Para poder realizar esta selección es práctico valerse de la topografía y la aerofotometría.

1.5 NORMAS Y DOCUMENTOS TECNICOS UTILIZADOS.-

Los documentos técnicos a tomar en consideración para la ejecución de este trabajo son:

Código API 1104, el cual está relacionado con las características a utilizarse en la construcción e inspección.

El Código ANSI B31.4 utilizado para el cálculo del espesor de pared requerido; y las de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) para el diseño de juntas y biseles.

CAPITULO II

DISEÑO Y CALCULOS

2.1 SELECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS.-

La selección de materiales y equipos a ser utilizados en obras de gran importancia y de gran costo como es la construcción de un poliducto, involucra una gran experiencia y cuidado.

Para la selección de la tubería se debe hacer coincidir el diámetro, resistencia y espesor de pared con los requerimientos hidráulicos; además, el material de la tubería debe reunir características de ductilidad, elasticidad y soldabilidad suficientes para cumplir con los requerimientos mecánicos de la construcción.

El Instituto Americano del Petróleo (API) tras años de labor en esta rama, ha realizado una clasificación de los varios tipos de tubería de línea disponibles, cuyas características se encuentran detalladas en cada una de las especificaciones correspon-

dientes. En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, la tubería empleada es de acero al carbono según especificación API 5LX grado X42, cuyo significado es.

5L tubería de línea

X tubería de alta clasificación

Grado X42 que indica el límite de fluencia mínimo en miles de libras por pulgada cuadrada. La composición química y propiedades mecánicas están detalladas en las Tablas III y IV, respectivamente.

En lo que respecta a fabricación de tubería, varios han sido los procesos de manufactura empleados con el paso de los años:

Tubería con soldadura al horno con traslape, la cual era utilizada a principios del siglo veinte, no pudiendo ser usada para altas presiones, ya que su factor de junta reduce en un 80% la presión permisible por el material. Las Figuras 3a y 3b, bosquejan este proceso de fabricación.

TABLA III

REQUERIMIENTOS QUIMICOS DEL MATERIAL DE LAS
TUBNERIAS SEGUN ESPECIFICACIONES 5 LX (3).

Proceso de fabricación	2	3	4	5	6	7	8	9
	GRADO	Carbono Máx.	Manganeso Máx.	Fósforo Máx.	Azufre Máx/	Colurbio min.	Vana dio min,	Titanio min.
SIN COSTURA								
No expandido	X42	0.29	1.25	0.04	0.05	....	....	....
No expandido	X46, X52	0.31	1.35	0.04	0.05	....	....	....
Expandido en frío	X42, X46, X52	0.29	1.25	0.04	0.05	....	....	....
No expandido o expandido en frío	X56, X60	0.26	1.35	0.04	0.05	0.005	0.02	0.03
No expandido o expandido en frío	X65, X70							
SOLDADA								
No expandido	X42	0.28	1.25	0.04	0.05	....	....	....
No expandido	X46, X52	0.30	1.35	0.04	0.05	....	....	....
Expandido en frío	X42, X46, X52	0.28	1.25	0.04	0.05	....	....	....
No expandido o exp. en frío	X56, X60	0.26	1.35	0.04	0.05	0.005	0.02	0.03
No expandido o expandido en frío	X65	0.26	1.40	0.04	0.05	0.005	0.02	....
No expandido o expandido en frío.	X70	0.23	1.60	0.04	0.05	....	....	....

TABLA IV

REQUERIMIENTOS MECANICOS DEL MATERIAL DE LAS TUBERIAS SEGUN
ESPECIFICACIONES 5LX (3)

1	2	3	4	
Grado	Resistencia a la fluencia min		Resistencia a la tracción min.	Elongación min. en 2plg. (50.8 mm) Porcentual.
	lb/plg ²	MPa		
X42	42,000	(289)	60,000 (413)	
X46	46,000	(317)	63,000 (434)	
X52	52,000	(358)	66,000 ¹ (455 ¹)	
			72,000 ² (496 ²)	
X56	56,000	(386)	71,000 ¹ (489 ¹)	
			75,000 ² (517 ²)	
X60*	60,000	(413)	75,000 ¹ (517 ¹)	
			78,000 ² (537 ²)	
X65	65,000	(448)	77,000 ¹ (531 ¹)	
			80,000 ² (551 ²)	
X70	70,000	(482)	82,000 (565)	

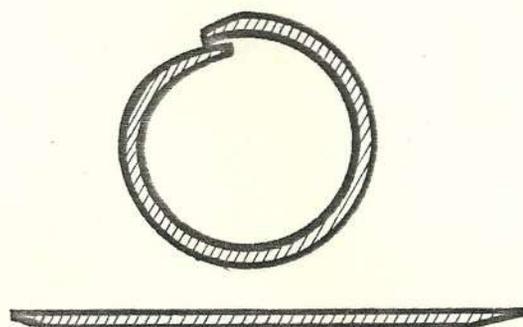
* La resistencia a la tracción para tubería soldada por resistencia eléctrica con grados x 60 en todos diámetros y espesores debería ser 75.000 psi (517 MPa).

- 1) Para tubería de diámetro exterior menor a 20 plg. con cualquier espesor de pared, y para tubería con diámetro exterior de 20 plg ó mayor con espesor de pared mayor a 0.375 plg. (9.5 mm).
- 2) Para tubería de diámetro exterior de 20 plg. o mayor con espesor de pared 0,375 plg (9.5 mm) o menor.
- 3) La elongación mínima en 2 plg (50.80 mm)

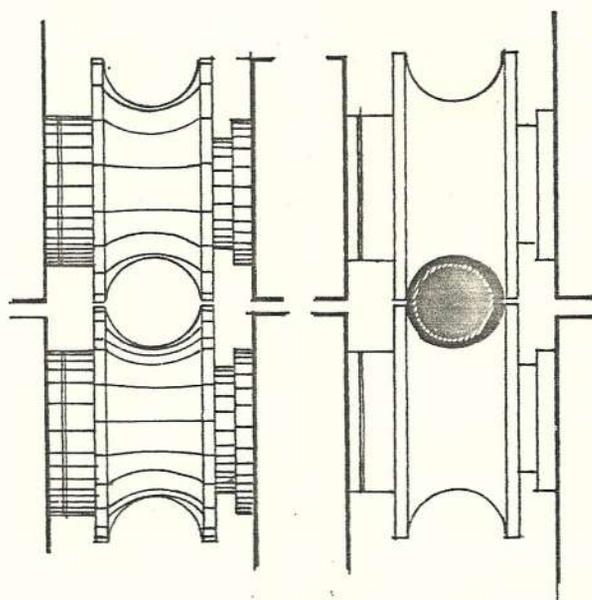
$$c = 1942.57 \frac{A^{0.2}}{V^{0.9}} \quad (\text{Fórmula Sistema métrico})$$

Donde:

- c = Elongación mínima en 2 plg (50.8 mm) en porcentaje
- A = Área de la sección transversal de la probeta para ensayo de tracción
- V = Resistencia a la tracción especificada



a) Confección de planchas y rolado de la misma



b) Soldadura de la tubería realizada por la presión entre rodillos y mandril inferior.

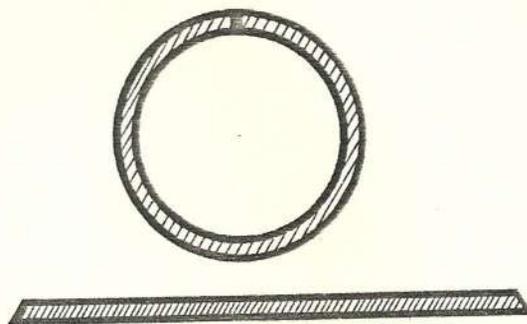
FIGURA 3.- Pasos seguidos para fabricación de tubería al horno con traslape.

Tubería con soldadura al horno a tope, muy parecida a la anterior difiriendo en la preparación de la zona a soldarse, con esto el factor de junta reduce en un 60% de la presión permisible por el material. Las Figuras 4a y 4b, bosquejan este proceso de fabricación.

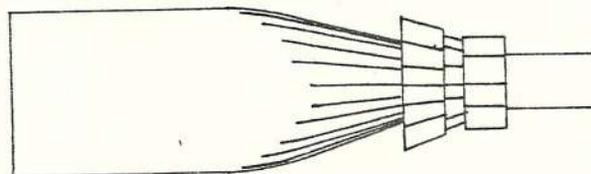
Tubería sin costura es fabricada con acero proveniente de hornos de hogar abierto, de oxígeno básico o eléctricos, lográndose en la tubería un 100% de utilización de la resistencia del material. Debido a su alto costo de fabricación, esta tubería es utilizada en casos en los que verdaderamente se requiere. La Figura 5, detalla los pasos seguidos en este proceso de fabricación.

Finalmente, tenemos tubería con costura, la cual puede ser fabricada: Por inducción (IW), por resistencia eléctrica (ERW) ó arco sumergido (SAW), siendo este último utilizado para fabricar tuberías de grandes diámetros y espesores de más de 25,4 mm. La Figura 6, detalla los pasos seguidos en este proceso de fabricación.

La tubería utilizada en el poliducto Tres Bocas-Pascuales fue fabricada con el proceso de soldadu-



a) Confección de plancha y rolado de la misma



b) Soldadura a tope por presión, realizado al pasar al tubo a través del dado de soldadura.

FIGURA 4.- Pasos seguidos para fabricación de tubería al horno a tope.

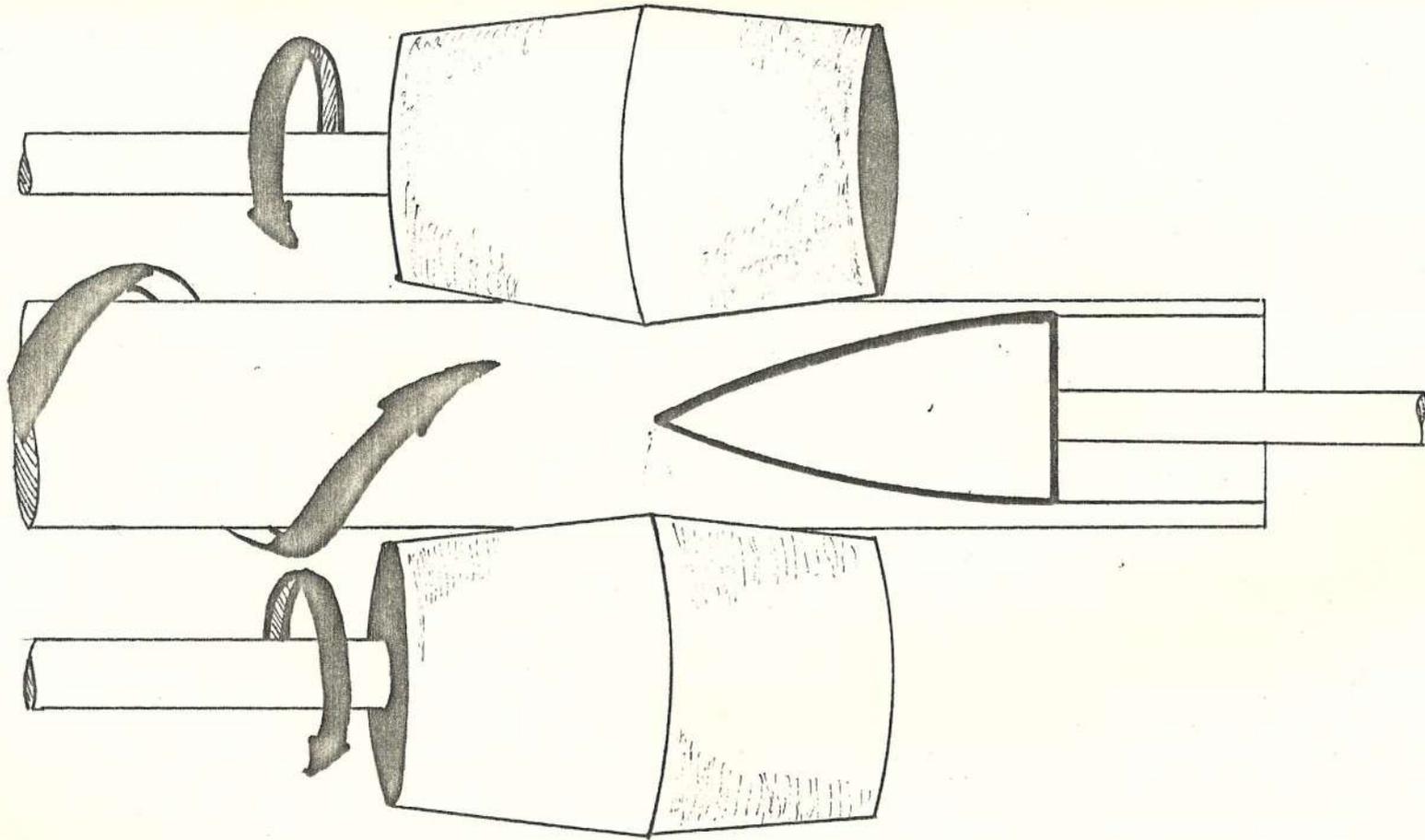
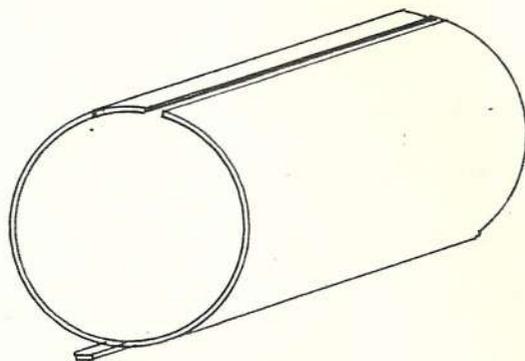
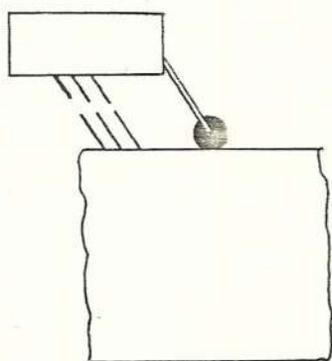


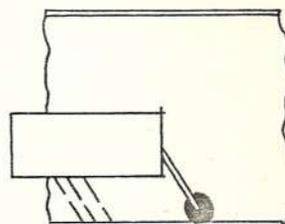
FIGURA 5.- Proceso de fabricación de tubería sin costura



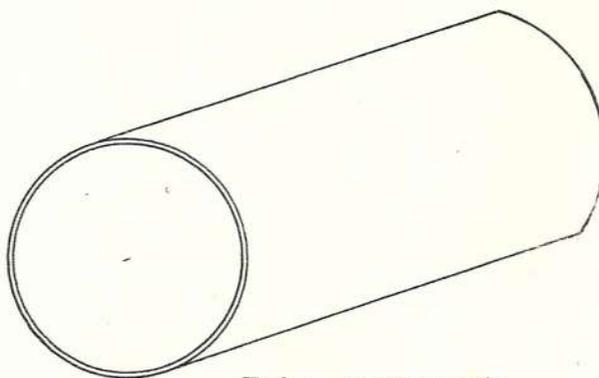
Preparación de plancha



Soldadura exterior



Soldadura interior



Tubo terminado

FIGURA 6.- Proceso de fabricación de tubería por soldadura eléctrica.

ra por resistencia eléctrica (ERW).

En lo concerniente a la soldadura a utilizarse para ejecutar las uniones circunferenciales de los diferentes tramos, ésta debe seleccionarse dependiendo del material y del espesor de pared de la tubería.

Para tubería de línea de material con especificaciones API hasta 5LX - 65 y/o espesor máximo de pared 12,52mm, el electrodo a utilizarse es el correspondiente a la clasificación AWS EXX10, especial para tubería, el cual presenta las siguientes características:

- Arco estable y concentrado, el cual forma un cordón continuo en el interior de la tubería al realizar el primer pase.

- Produce una escoria delgada, provocando un buen chorreado en los lados de del entalle sin correr dentro del crater ni interferir con el arco.

- Tendencia mínima a formar sopladuras

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, las especificaciones de la soldadura fueron como se indica a continuación: (4)

- Electrodo : Celulósico
- Denominación : FOX CEL
- Tipo : AWS - ASTM : 6010
- Composición química del material depositado. : C = 0,12%
- Si = 0,14%
- Mn = 0,50%

Las características mecánicas del metal depositado a temperatura ambiente se indican en la Tabla V.

En lo que respecta a equipos de soldadura, estos pueden ser automáticos, semiautomáticos ó manuales, debiendo tener características tales que cumplan y mantengan durante todo el proceso los parámetros establecidos por el procedimiento de soldadura debidamente calificado (el cual se tratará más adelante). En caso de presentarse algún tipo de fallas en el equipo, éste tendrá que ser reparado o cambiado.

2.2 SELECCION DEL DIAMETRO APROPIADO DE TUBERIA.-

TABLA V
PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO A TEMPERATURA AMBIENTE
(ELECTRODO E 6010) (4)

ESTADO	LIMITE DE FLUENCIA min psi	RESISTENCIA A LA TRACCION min psi	ELONGACION min
Sin recocer	57.000	62.000-78.000	22%

Una vez seleccionada la ruta y caudal requerido, habría entonces que encontrar el diámetro de tubería que cumpla los requerimientos técnicos y que sea la más económica. Cabe anotar que al aumentar el diámetro de una tubería, las pérdidas de carga disminuyen, pero el costo de instalación aumenta, debiéndose entonces encontrar un diámetro con el que disminuya el gasto total, es decir, el de instalación más el de funcionamiento.

El peso de una tubería está relacionado proporcionalmente con el cuadrado del diámetro, por lo que se puede escribir la siguiente relación: (5)

$$C_1 = \alpha D^2 \quad (2)$$

Donde:

α = Constante de proporcionalidad

D = Diámetro de la tubería

C_1 = Costo de instalación

Siendo α dependiente de la longitud de la línea, costo unitario, tipo de construcción, etc.

Por otro lado se tiene las pérdidas de carga:

$$H_c = \frac{C_p \times L \times Q^2}{D^5} \quad (3)$$

Donde:

$C_p = \lambda$ = Coeficiente adimensional de pérdidas de carga.

L = Longitud de ducto

Q = Caudal

D = Diámetro de la tubería

Siendo el costo de operación proporcional a las pérdidas de carga, se puede escribir la siguiente relación:

$$C_2 = \frac{\beta}{D^5} \quad (4)$$

Donde:

C_2 = Costo de operación

Si se toman en consideración los dos costos, se puede encontrar un costo total igual a:

$$C_t = C_1 + C_2 = \alpha D^2 + \frac{\beta}{D^5} \quad (5)$$

Donde:

α y β son constantes de primera aproximación.

Si se grafica estas ecuaciones, se obtendría algo similar al gráfico de la Figura 7, que permite encontrar el costo mínimo derivando la expresión de C_t con respecto al diámetro

D, quedando:

$$D_{\text{Óptimo}} = \left(\frac{5 \beta}{2 \alpha} \right)^{1/7} \quad (17)$$

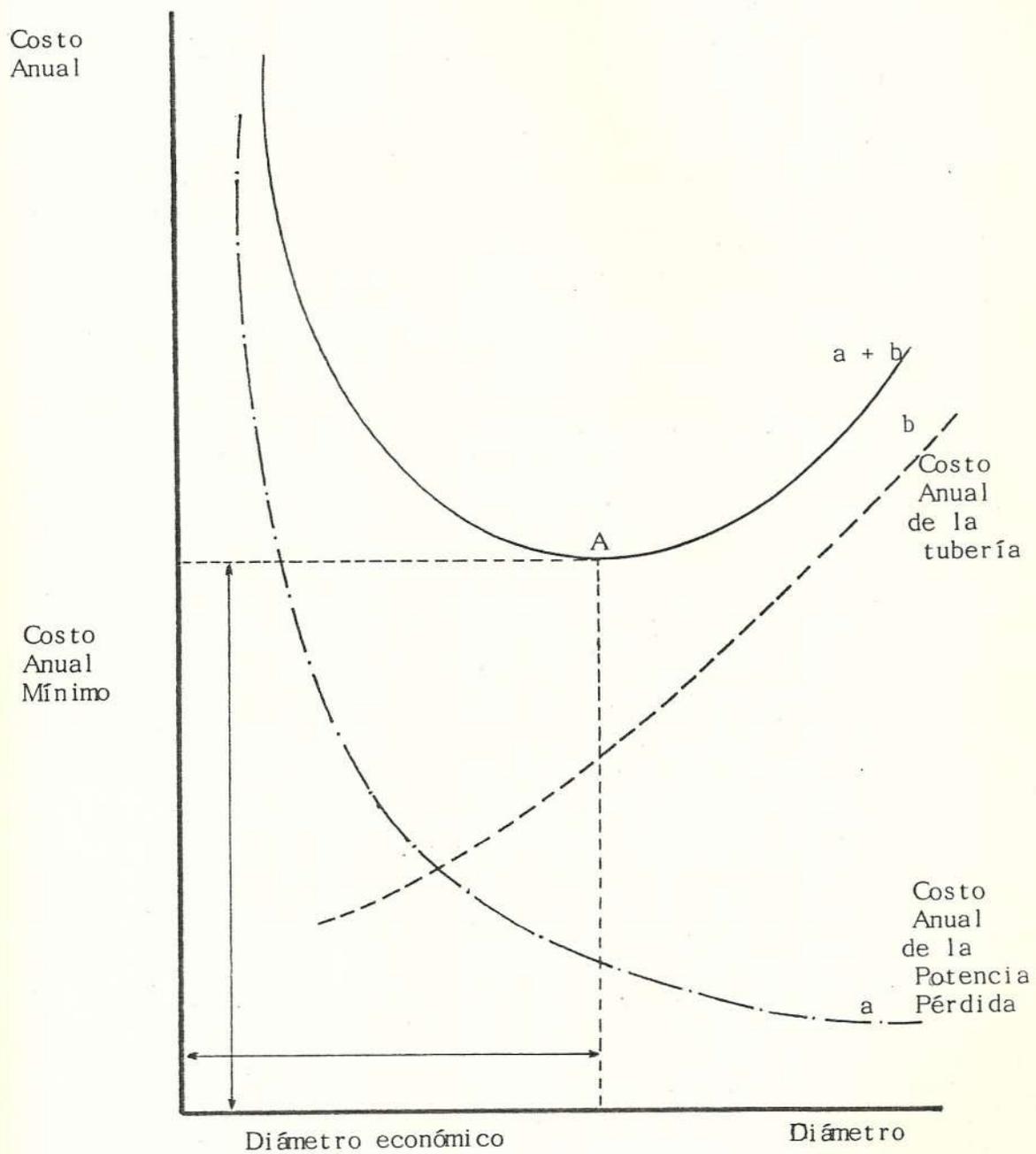


FIGURA 7. Obtención gráfica del diámetro más económico de una tubería.

Donde $D_{\text{óptimo}}$ sería el diámetro de tubería necesario para las condiciones de trabajo especificadas.

2.3 DETERMINACION DEL ESPESOR DE PARED NECESARIO EN LA TUBERIA.- (6)

Para efectuar la determinación del espesor de la pared de la tubería, se debe tomar en cuenta la máxima presión de operación determinada mediante el estudio hidráulico del sistema, y que es empleada en la fórmula suministrada por el Código ANSI B31.4 cuya expresión es la siguiente:

$$e = \frac{P \times D_e}{200 \times \sigma \times E} \quad (7)$$

Donde:

P = Presión máxima de operación (Kg/cm^2)

D_e = Diámetro exterior de la tubería (mm)

σ = Máxima tensión admisible (Kg/cm^2)

E = Eficiencia de la junta soldada

y a su vez:

$$\sigma = \frac{S}{K} \quad (8)$$

Donde:

S = Resistencia al tracción del material (Kg/cm²)

K = Factor de seguridad = 1,39

Para el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación, se obtiene como resultado un espesor de 5.36 mm.

La tubería seleccionada para el poliducto fue de diámetro nominal 304,8 mm (12") y 6,35 mm (1/4") de espesor, dimensiones que cumplen con los requerimientos establecidos. En el caso de zonas de mayor presión como en la salida de las bombas, el espesor fue calculado con la presión de descarga de las mismas; para este caso, el espesor adecuado fue de 11,1 mm (7/16").

2.4 JUNTAS, BISELES Y CONSUMO DE SOLDADURA.-

La preparación de juntas, biseles y la separación de los bordes de los tramos de tubería a ser soldadas, deben estar de acuerdo con las especificaciones utilizadas en el procedimiento de soldadura,

cuidando que las superficies a soldar estén lisas, uniformes y libres de cualquier deterioro o agente que pueda afectar adversamente a la calidad del cor
dón de soldadura.

La técnica utilizada generalmente para soldadura de tubería de línea a campo traviesa, es la verti
cal descendente, que se recomienda para espesores hasta de 12,7mm (1/2"), y la técnica vertical ascen
dente para espesores mayores o trabajos en taller.

La preparación de los biseles y separación entre ellos se encuentran normalizados dependiendo del espesor de la pared del ducto . . . como se indica a continuación:(1)

- Para espesores hasta de 3,17 mm no es necesario ninguna preparación de bordes.
- Para espesores de más de 3,17 mm hasta 8 mm, el bisel y su separación recomendada es como se indica en la Figura 8.
- Para tubería y acoples de mayor espesor, hasta de 22 mm el bisel y su separación recomendada es como se indica en la Figura 9.

En el caso del poliducto "Tres Bocas-Pascuales", las características de los biseles y separación de los mismos se ilustra en la Figura 8, mayores detalles sobre parámetros de soldadura se darán en la parte correspondiente a la calificación del procedimiento de soldadura.

Finalmente, para espesores mayores a 22 mm, el bisel y separación se recomienda según se indica en la Figura 10.

Puede darse el caso de encontrar combinación de biseles, tal como se ilustra en las Figuras 11, 12 y 13.

En lo concerniente a consumo de soldadura, este depende del espesor de pared a ser soldado, pues son varios los cordones de soldadura depositados para realizar una unión, los cuales pueden ser identificados como:

- Cordón de raíz: Es el primer cordón, realizado en el fondo del bisel.

- Cordón caliente: Es aquel que se realiza sobre

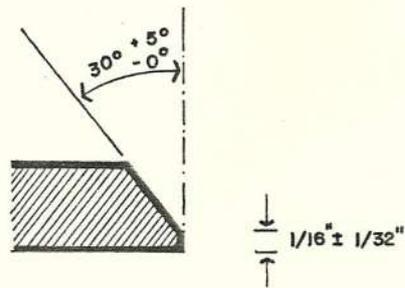


FIGURA 8.- Bisel recomendado para espesores de 3.17 mm. a 8 mm.

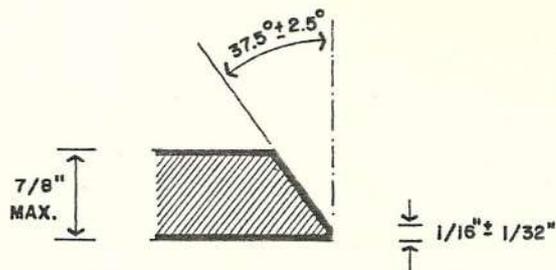


FIGURA 9.- Bisel recomendado para espesores mayores a 8 mm. hasta 22 mm.

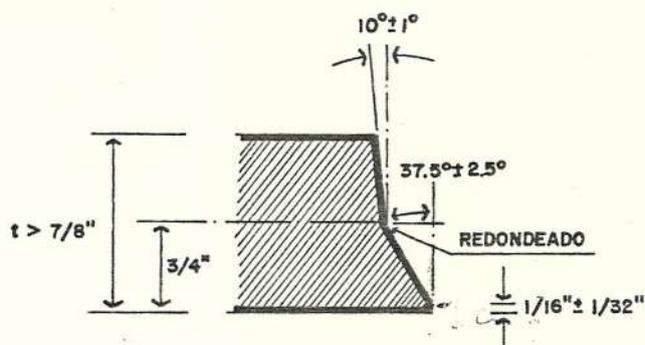


FIGURA 10.- Bisel recomendado para espesores mayores a 22 mm.

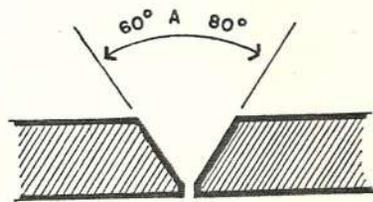


FIGURA 11.- Combinación de biseles para espesores hasta 8 mm.

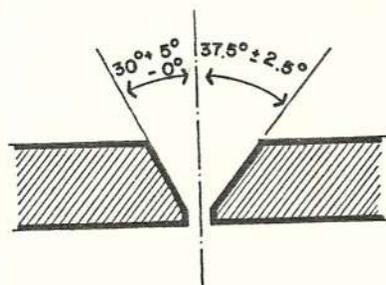


FIGURA 12.- Combinación de biseles para espesores hasta 22 mm.

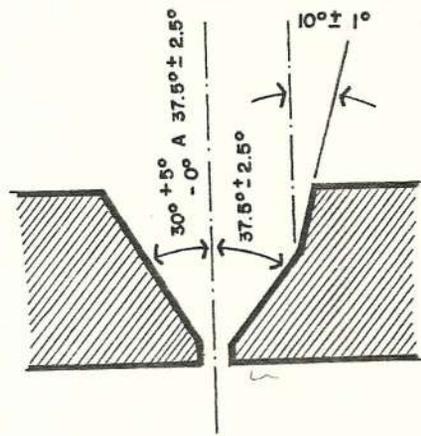


FIGURA 13.- Combinación de biseles para espesores mayores de 22 mm.

el cordón de raíz, y su nombre viene dado debido a que en éste se debe utilizar una corriente suficiente como para fundir cualquier escoria que haya quedado atrapada en el cordón de raíz.

- Cordones de relleno: Son aquellos que sirven para rellenar el espacio entre los biseles, los cuales deben fundir tanto el cordón caliente, como los bordes del bisel.

- Cordón de acabado: Es aquel que se realiza sobre los pases de relleno y con él se deben cumplir los requerimientos geométricos de acabado en la unión, los cuales serán indicados oportunamente.

El número de cordones recomendados según el espesor de la pared de la tubería es variable, según se indica en la Tabla VI.

En la Tabla VII, se indica el consumo aproximado de electrodos por unión de soldadura, en tuberías de diferentes diámetros y con espesores de pared hasta de 12,7mm (1/2").

TABLA VI

ESPEJOR DE PARED DE TUBERIA Y NUMERO DE PASES RECOMENDADOS PARA SOLDADURA VERTICAL DESCENDENTE

ESPEJOR DE PARED EN TUBERIA	NUMERO DE PASES
1/4" (6.35 mm)	3
5/16" (7.90 mm)	4
3/8" (9.50 mm)	5
1/2" (12.70 mm)	7

TABLA VII

CONSUMO DE ELECTRODOS EN SOLDADURA DE TUBERIA TECNICA VERTICAL DESCENDENTE (7)

DIAMETRO de TUBERIA pulg.	ESPESOR DE PARED DE TUBERIA p _g (mm)											
	1/4 (6.35)			5/16 (7.9)			3/8 (9.5)			1/2 (12.7)		
	* REQUERIMIENTO DE SOLDADURA (lb/Union)											
	5/32	3/16	Total	5/32	3/16	Total	5/32	3/16	Total	5/32	5/16	Total
6	0.47	0.24	0.71	0.47	0.47	0.94	0.47	0.75	1.2	.....	.....	.....
8	0.63	0.32	0.95	0.63	0.63	1.3	0.63	1.0	1.6	0.63	2.0	2.6
10	0.79	0.40	1.2	0.78	0.78	1.6	0.78	1.1	1.9	0.79	2.4	3.2
12	0.95	0.47	1.4	0.95	0.95	1.9	0.95	1.5	2.5	0.95	3.0	4.0
14	1.1	0.55	1.7	1.1	1.1	2.2	1.1	1.8	2.9	1.1	3.5	4.6
16	1.2	0.63	1.8	1.2	1.3	2.5	1.3	2.0	3.3	1.2	4.0	5.2
18	1.4	0.70	2.1	1.4	1.4	2.8	1.4	2.3	3.7	1.4	4.5	5.9
20	1.5	0.76	2.3	1.5	1.6	3.1	1.6	2.4	4.0	1.5	4.8	6.3
22	1.7	0.90	2.6	1.7	1.8	3.5	1.7	2.9	4.6	1.7	5.5	7.2
24	1.9	0.94	2.8	1.9	1.9	3.8	1.9	3.0	4.9	1.9	6.0	7.9
26	2.0	1.1	3.1	2.0	2.1	4.1	2.0	3.3	5.3	2.0	6.5	8.5
28	2.2	1.1	3.3	2.2	2.2	4.4	2.2	3.5	5.7	2.2	7.0	9.2
30	2.3	1.2	3.5	2.3	2.4	4.7	2.3	3.8	6.1	2.4	7.5	9.9
32	2.5	1.3	3.8	2.5	2.5	5.0	2.5	4.1	6.6	2.5	8.0	10.5
34	2.7	1.3	4.0	2.7	2.7	5.4	2.7	4.3	7.0	2.7	8.5	11.2
36	2.8	1.4	4.2	2.8	2.8	5.6	2.8	4.5	7.3	2.8	9.0	11.8

* Ya están incluidos los 100 mm sobrantes

CAPITULO III

CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EJECUCION DE LA OBRA

3.1 ELABORACION DE PROCEDIMIENTO RADIOGRAFICO PARA LA INSPECCION DE LAS UNIONES SOLDADAS.-(8)

Las uniones de soldadura en una obra como la de un poliducto deben ser inspeccionadas para asegurar su aceptación. Una de las formas más prácticas de llevar esto a cabo es radiografía industrial. El Código API 1104, sección 8.1, indica dos alternativas de fuente de radiación, rayos X y rayos Gamma, los cuales pueden ser utilizados para la ejecución de esta inspección.

Previo al inicio de tomas radiográficas, el Código API 1104 establece la necesidad de la elaboración de un procedimiento radiográfico, que garantice la obtención de una buena calidad de radiografía, de manera que cualquier defecto puede ser detectado claramente. Para evaluar una radiografía, se debe considerar lo siguiente:

- a) Calidad de película aceptable
- b) Nivel de sensibilidad requerido
- c) Sistema de identificación
- d) Técnica aceptable
- e) Compatibilidad con las normas de aceptación

Un procedimiento radiográfico debe contener varios puntos que, en el caso de un poliducto, deben ser desarrollados basándose como mínimo en los requerimientos del Código API 1104, como se indica a continuación:

- Objeto, alcance
- Normas de referencia
- Material a radiografiarse

- a) Tipo
- b) Estado de la superficie
- c) Rango de espesores
- Fuente de radiación
 - a) Tipo
 - b) Tamaño
- Películas
 - a) Tipo
 - b) Tamaño
- Pantallas
- Control de radiación dispersa
- Densidad
- Indicadores de calidad de imagen
- Identificación de películas y piezas
- Penumbra permisible
- Técnica de exposición
- Procesado de películas
- Interpretación radiográfica
- Criterios de:
 - a) Aceptación
 - b) Reparación
 - c) Rechazo
- Elaboración de informe
- Conservación de radiografías
 - a) Forma
 - b) Tiempo

- Calificación y certificación de personal

En estos puntos estarían detallados todos los factores que influirían de una u otra forma en la calidad de las radiografías, ya que su contenido abarca desde la indicación de qué es lo que se va a radiografiar hasta la forma de almacenar las películas ya radiografiadas. El procedimiento radiográfico empleado en la inspección del poliducto Tres Bocas Pascuales, se encuentra en el Apéndice A.

3.2 ELABORACION Y CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDURA.- (8)

Para la ejecución de las uniones soldadas en obras de gran importancia y costo como es la construcción de un poliducto, es necesario la elaboración previa de un procedimiento de soldadura, el cual tiene que ser probado y demostrar que las soldaduras queden sanas y con características mecánicas apropiadas. El Código API 1104 estableció esta necesidad y en él se puede encontrar los detalles a tomarse en consideración:

- Proceso

- Material
- Dimensiones
- Diseño de la unión
- Metal de aporte y número de pasadas
- Características eléctricas
- Posición
- Dirección de soldadura
- Tiempo entre cada pasada
- Tipo de mordaza de alineamiento
- Retiro de mordaza de alineamiento
- Limpieza
- Pre calentamiento y/o Postcalentamiento
- Gas protector y flujo
- Fundente
- Velocidad de soldeo

El procedimiento de soldadura utilizado en la obra objeto de este estudio, se encuentra en el Apéndice B. Así mismo, el Código API 1104 indica que ciertos cambios en el proceso de soldadura involucrarían la necesidad de una recalificación del procedimiento, utilizando las nuevas condiciones.

Una vez establecido el procedimiento a seguirse se confeccionan los neoplos, los cuales se sueldan siguiendo los datos del procedimiento. Durante el

proceso de soldeo se debe realizar una inspección visual y, una vez culminada la unión (siguiendo el procedimiento radiográfico), se realiza una inspección para probar que la soldadura esté sana; si lo está, se procede a la preparación de probetas siguiendo el Código API 1104 2.6, según el cual se indica el lugar de dónde se debe extraer las probetas y el ensayo a las que van a ser sometidas; el número de probetas y el ensayo depende del diámetro exterior de la tubería y sus requerimientos están establecidos en los puntos 2.623, 2.633, 2.643 y 2.653.

3.3 CALIFICACION DE SOLDADORES (8).-

Una vez establecido el procedimiento de soldadura a ser utilizado, se procede a la selección de los soldadores, quienes deben tener la habilidad de ejecutar uniones utilizando los parámetros señalados en el procedimiento de soldadura.

Las especificaciones sobre calificación de soldados se encuentran detalladas en el Código API 1104 3.0 a 3.7.

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, los

soldadores eran seleccionados de la siguiente forma:

- Una inspección visual durante la ejecución de la soldadura que aseguraba la utilización de los parámetros establecidos, que la soldadura esté libre de falta de penetración, fisuras, quemones y mordeduras con dimensiones superiores a las indi cadas como límites en el Código, esto es 0.75mm (1/32") de profundidad o 12,5% del espesor de la pared de la tubería y que su longitud no exceda de 50,8mm (2") en 304,8mm (12") de cordón de sol dadura.

- Una inspección radiográfica que verificaba si el cordón se encontraba libre de defectos, con un criterio de aceptación o rechazo igual al aplicable en la construcción de la línea, que será ci tado en el Capítulo IV.

En el caso de no pasar las pruebas mencionadas, los soldadores eran reprobados; sin embargo, según el Código API 1104 3.6 se considera una recalificación, siempre y cuando lo acepten el contratante y la compañía ejecutora del trabajo.

Se debe llevar una ficha de todo soldador que soli
cite su calificación, a fin de mantener un regis-
tro de su desempeño.

CAPITULO IV

EJECUCION DE LA OBRA

4.1 TENDIDO, PREPARACION Y SOLDEO DE LA TUBERIA.-

La tubería es distribuida a lo largo de la ruta, la cual debe presentar características tales que permita la movilización de las diferentes maquinarias requeridas en el montaje. La distribución de la tubería se debe hacer con cuidado para así evitar que en cualquiera de las etapas se produzca algún tipo de daño en la misma. Cada tubo es colocado sobre pines para evitar que esté en contacto directo con el suelo, el cual puede causar deterioros en el material y, para que exista accesibilidad en lo que a limpieza y manipulación se refiere. (Ver Figura 14).

Como se indicó anteriormente, los biseles deben ser limpiados antes de la ejecución de la soldadura para evitar que cualquier agente extraño pueda causar defectos en el cordón de soldadura. Esta limpieza se realiza con un cepillo eléctrico de cerdas metá



FIGURA 14.- Distribución de la tubería a lo largo de la ruta debidamente preparada.

licas de variados diseños; además, se realiza una limpieza interna que garantizará un interior libre de materia extraña y por la forma del cepillo, comprobar que no haya alguna obstrucción ó deformación en el tubo. Ver Figuras 15 y 16 respectivamente.

Es muy común encontrar en la ruta lugares en los que la tubería debe tener cierta curvatura que va a depender de los datos topográficos del terreno. Se la efectúa utilizando un tractor con pescante lateral (sideboom tractor) y un mandril de doblado, el cual mantiene la redondez del tubo y evita la formación de pliegues, ver Figura 17.

En el caso de tubería de poco diámetro puede usarse una zapata de sujeción la cual se encuentra pegada al pescante del tractor.

La curvatura en la tubería debe ser controlada de tal manera que esta se asiente perfectamente en el fondo de la zanja. Cabe anotar que una tubería doblada no puede volver a ser enderezada ya que formaría ondulaciones o deformaciones que alteran la sección circular de la tubería. Se recomienda ángulos de doblado de 14° como máximo utilizando mandril, y 6° o 7° sin mandril, estas curvaturas deben



FIGURA 15.- Limpieza del bisel en la tubería



FIGURA 16.- Limpieza interna y comprobación de la redondez del tubo.

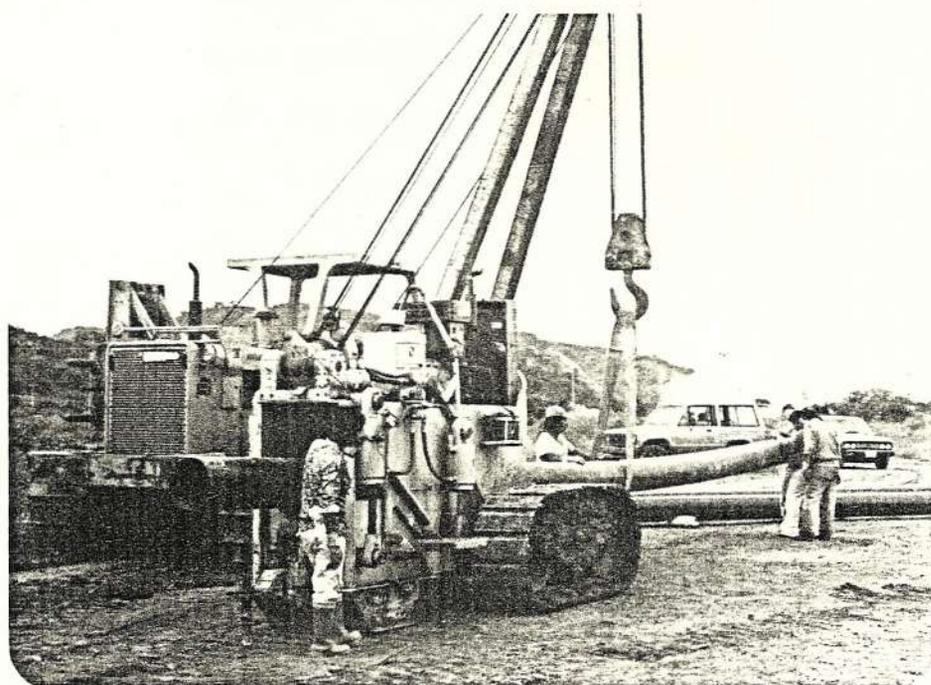


FIGURA 17.- Ejecución y control del doblado en la tubería.

iniciarse como mínimo a 1.52 mts (5 pies) desde el extremo del tubo. En caso de encontrarse con curvaturas muy severas, estos tramos pueden solicitarse al fabricante. (1)

En lo que respecta a la zanja, ésta debe tener un ancho de hasta dos veces el diámetro de la tubería, no pudiendo ser menor de 304.8 mm (12"). En cuanto a su profundidad, debe tenerse en cuenta que la tubería debe quedar cubierta con una capa de tierra de 304.8 mm (12") mínimo y en algunos casos, dependiendo del tipo de trabajo que se realice en la superficie de la zona, dicha capa puede ser de mayor espesor. (9)

Una vez preparadas las zanjas y tendida la tubería a un costado de las mismas, se procede a la construcción de los diferentes tramos soldando los tubos según el procedimiento de soldadura indicado anteriormente. Los tubos son alineados con ayuda de los tractores con pescante lateral y luego son presentados a tope con mordazas de alineamiento, que se colocan interiormente para tuberías de diámetros mayores a 304.8 mm (12"), y en el exterior para tuberías de diámetro menor al indicado anteriormente, dejando la separación necesaria entre tramos, ver Figura 18.

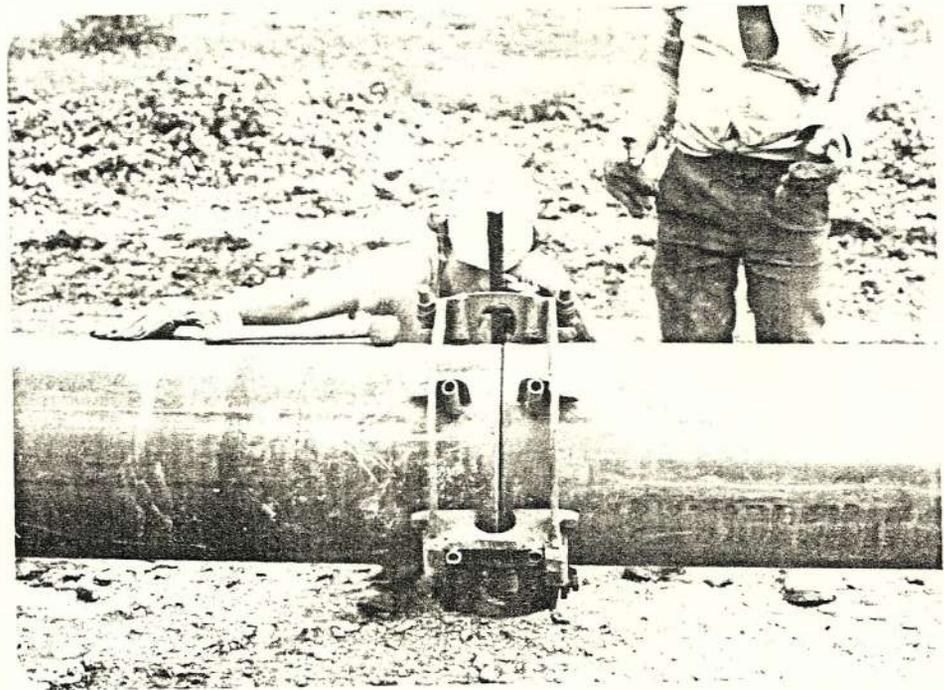


FIGURA 18.- Colocación de mordaza exterior y comprobación de separación necesaria entre tubos.

Luego, siempre siguiendo el procedimiento de soldadura, se procede a realizar la unión como se observa en secuencia en las Figuras 19, 20, 21, 22 y 23.

Esta secuencia es repetida en cada una de las juntas a realizar.

4.2 INSPECCION DE LAS SOLDADURAS.-

4.2.1 Inspección visual.-

Una vez realizada la soldadura, el tramo de tubería queda asentado sobre los pines de madera y se procede a realizar una inspección visual de las uniones para controlar que éstas cumplan con las normas de aceptación en lo que a discontinuidades visibles se refiere, pudiendo rechazarse cualquier soldadura simplemente con esta inspección.

El inspector además señala las soldaduras que según apariencia, ubicación o razones de seguridad deben ser radiografiadas, ver Figura 24.



Figura 19.- Ejecución del pase de raíz en cordón de soldadura para unión de tubería.

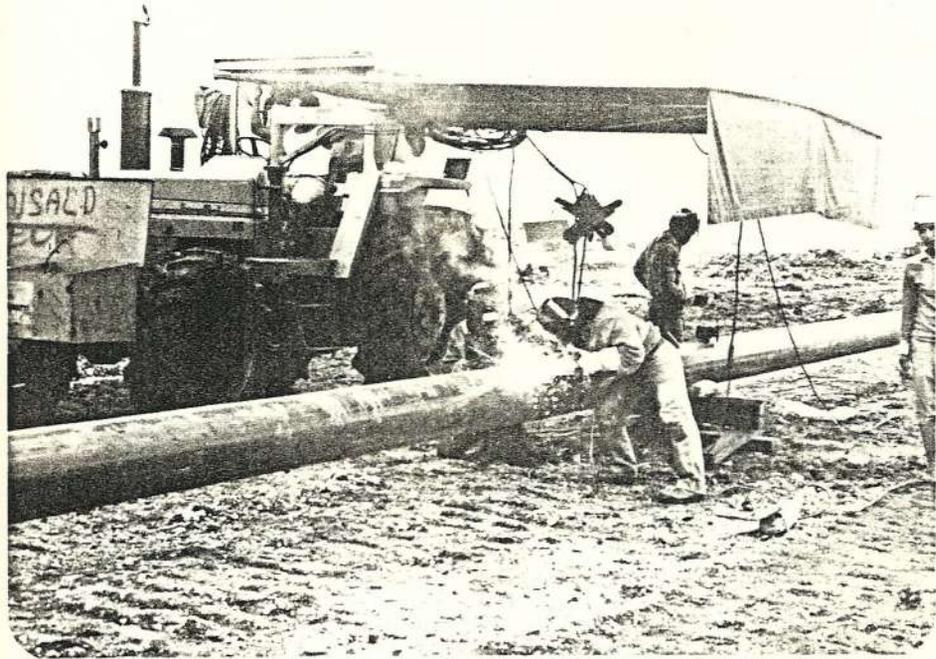


FIGURA 20.- Culminación de pase de raíz

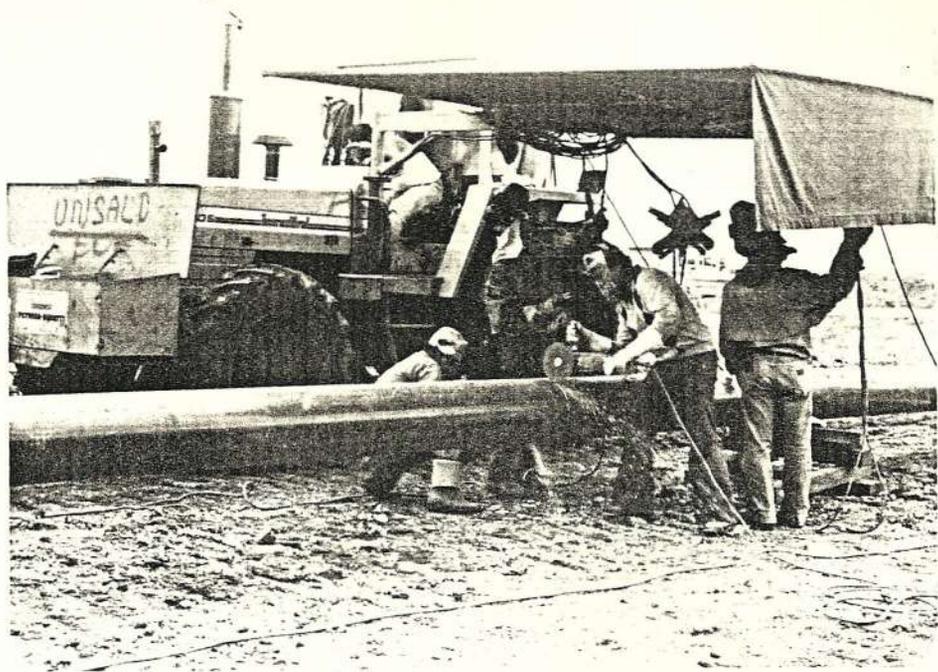


FIGURA 21.- Limpieza entre pasadas ejecutada con equipos mecánicos abrasivos.

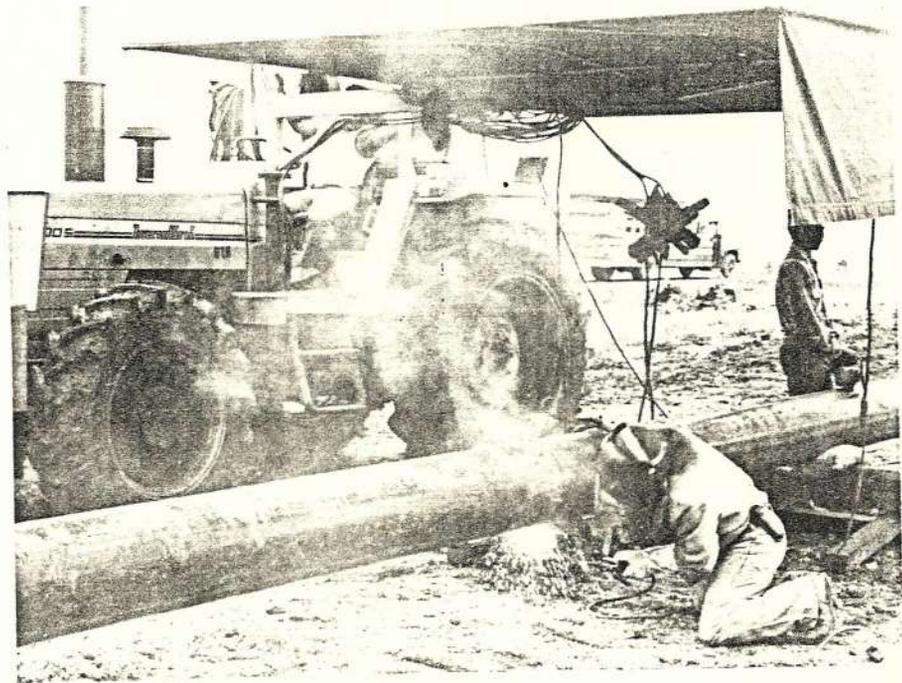


FIGURA 22.- Realización de pases posteriores

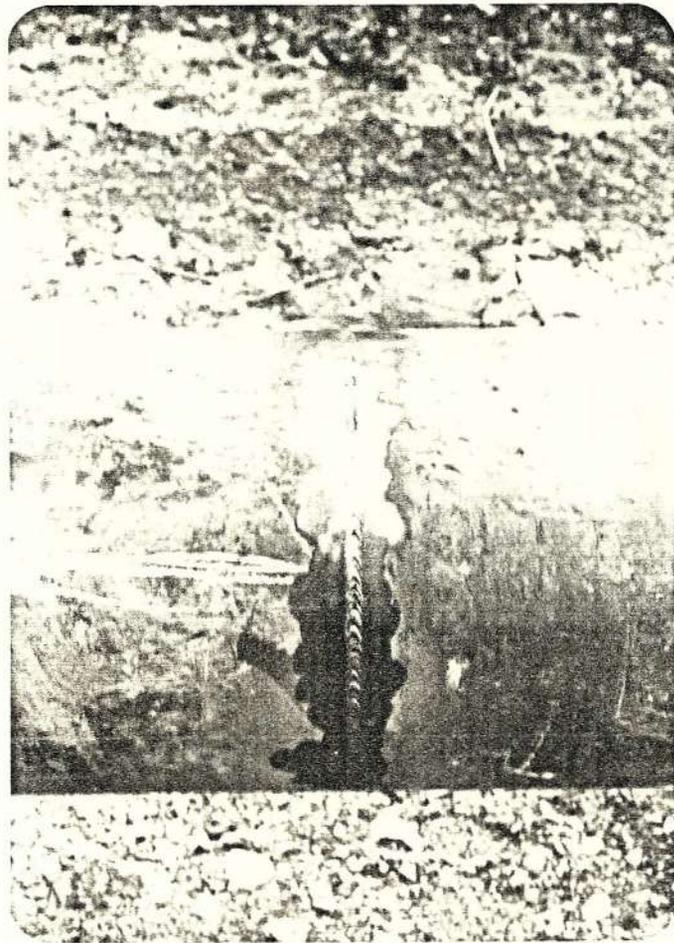


FIGURA 23.- Vista de un cordón de soldadura luego de ejecutados el pase de raíz y los pases calientes.



FIGURA 24.- Inspección visual ejecutada en un 100% a todas las uniones soldadas.

Por inspección visual se puede en ciertos casos rechazar una soldadura observando las siguientes consideraciones: (6)

- En ningún punto la soldadura debe tener un nivel inferior que el dado por la superficie exterior del tubo ni una altura mayor de 1.59 mm (1/16") sobre dicha superficie.
- El ancho del cordón de soldadura debe ser aproximadamente 3.16 mm (1/8") más ancho que la distancia original entre los filos del bisel.
- Existencia de fisuras
- Mordeduras con más de 0.79 mm (1/32") de profundidad o 12,5% del espesor de la pared del tubo, si es que este valor es menor a 0,79 mm (1/32").
- Mordeduras de 0.4 mm (1/64") hasta 0,79mm (1/32") de profundidad o entre 6% y 12.5% del espesor de la tubería si este valor es menor y una longitud de 50.8 mm (2") en

304.8mm (12") de soldadura ó 1/6 de la longitud del cordón de soldadura si éste es menor a 3048mm (12").

La Figura 25, muestra una vista parcial del poliducto una vez ya ejecutada la soldadura.

4.2.2 Inspección radiográfica.-

La cantidad de soldadura a radiografiarse debe ser especificada por la compañía contratante, pero se puede tomar como punto referencial mínimo 10% de las soldaduras hechas por día ó el 10% de las soldaduras confeccionadas por cada soldador, teniendo que radiografiarse un 100% de las uniones en cruces de camino, cruces de rieles de tren, zonas públicas, fluviales y cualquier otro lugar que se considere crítico. (1)

Cada toma debe ser realizada siguiendo el procedimiento radiográfico ya establecido. Dependiendo de las condiciones, una toma puede hacerse en forma panorámica, colocando la fuente en el interior de la tubería e irradiando en los 360°, ó por secciones desde el

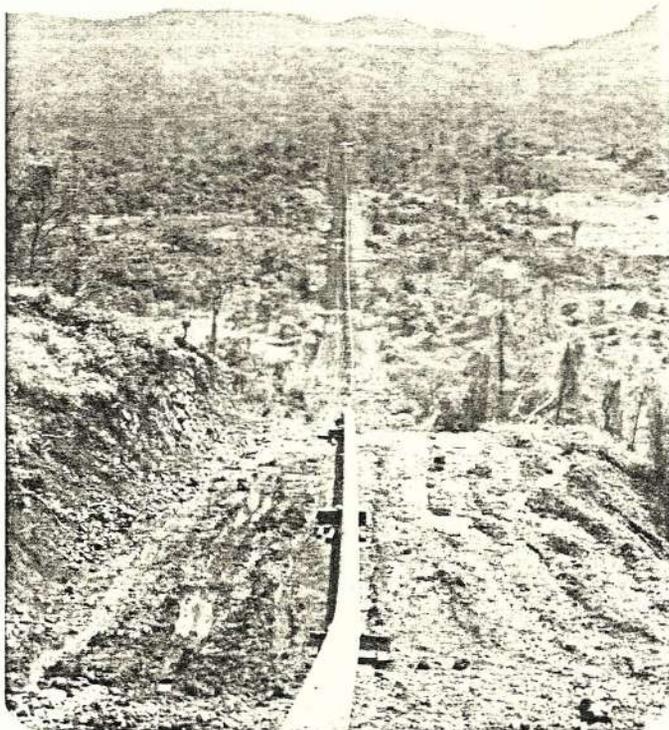


FIGURA 25.- Vista parcial del poliducto una vez ejecutadas las uniones de soldadura y la inspección visual.

exterior de la misma, (ver Figuras 26 y 27).

Debido a las condiciones del terreno en el tendido de tubería a campo traviesa, la fuente de rayos gamma es la más fácil de manipular. Entre estas, la más práctica es la de tipo direccional, cuya forma y detalles se indican en la Figura 28. Con este tipo de fuente sólo se puede realizar tomas como la indicada en la Figura 27.

Como se puede observar en la Figura 28, con este equipo no hay necesidad de cable de mando ni manguera guía de fuente y por ende, es menor la cantidad de equipo a transportarse. Además, los riesgos de accidentes disminuyen ya que la mayoría de ellos ocurren por atascamiento de la fuente en la manguera guía. El inconveniente de este equipo es que está limitado únicamente a este tipo de tomas.

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, parte de la inspección radiográfica se realizó con este tipo de equipo y la otra, con un equipo de tipo proyección cuya forma

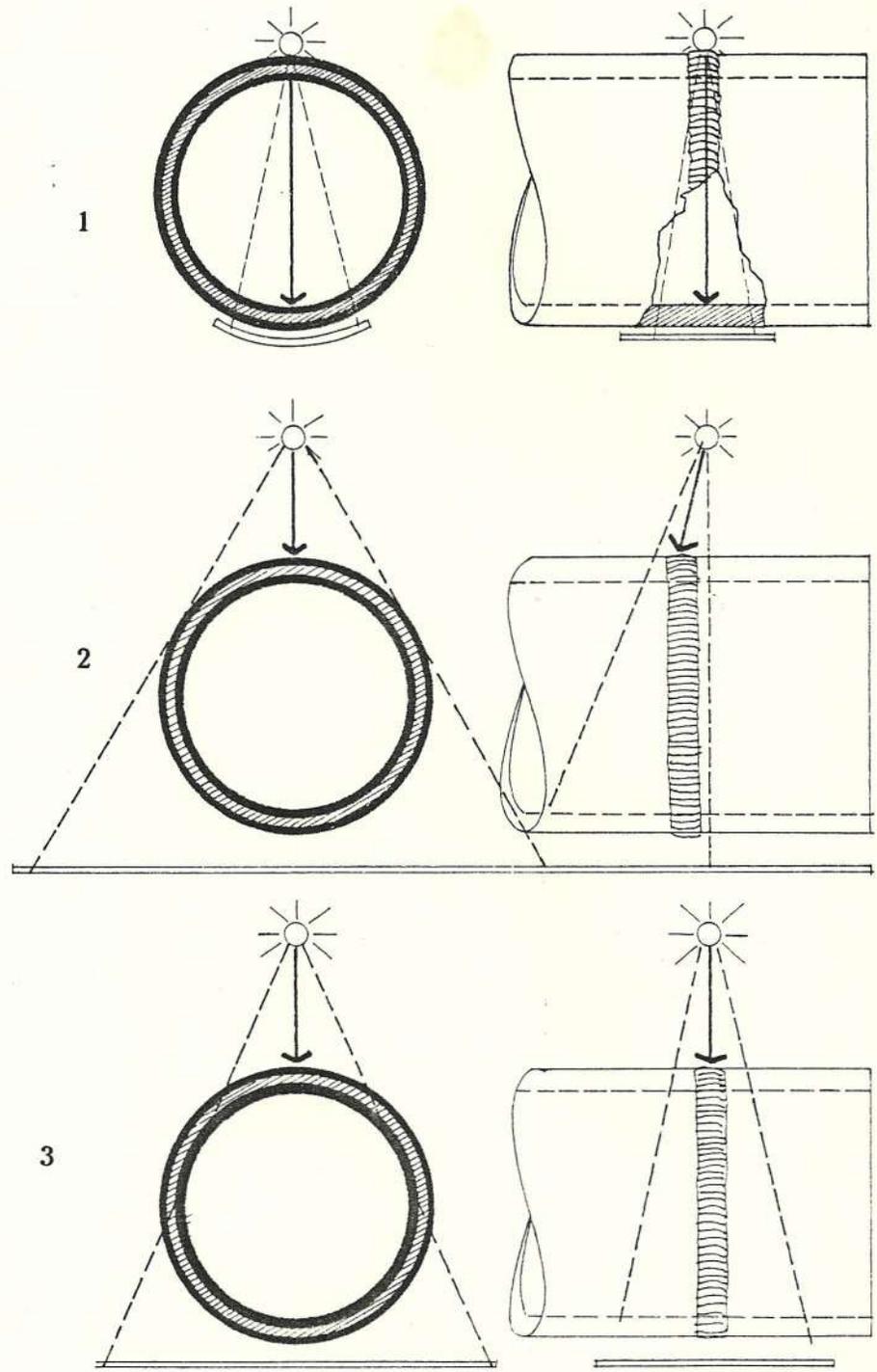


FIGURA 26.- Técnica radiográfica: Doble pared. Interpretación sobre: Imagen de una sola pared 1 . Imagen de doble pared 2, 3. (10)

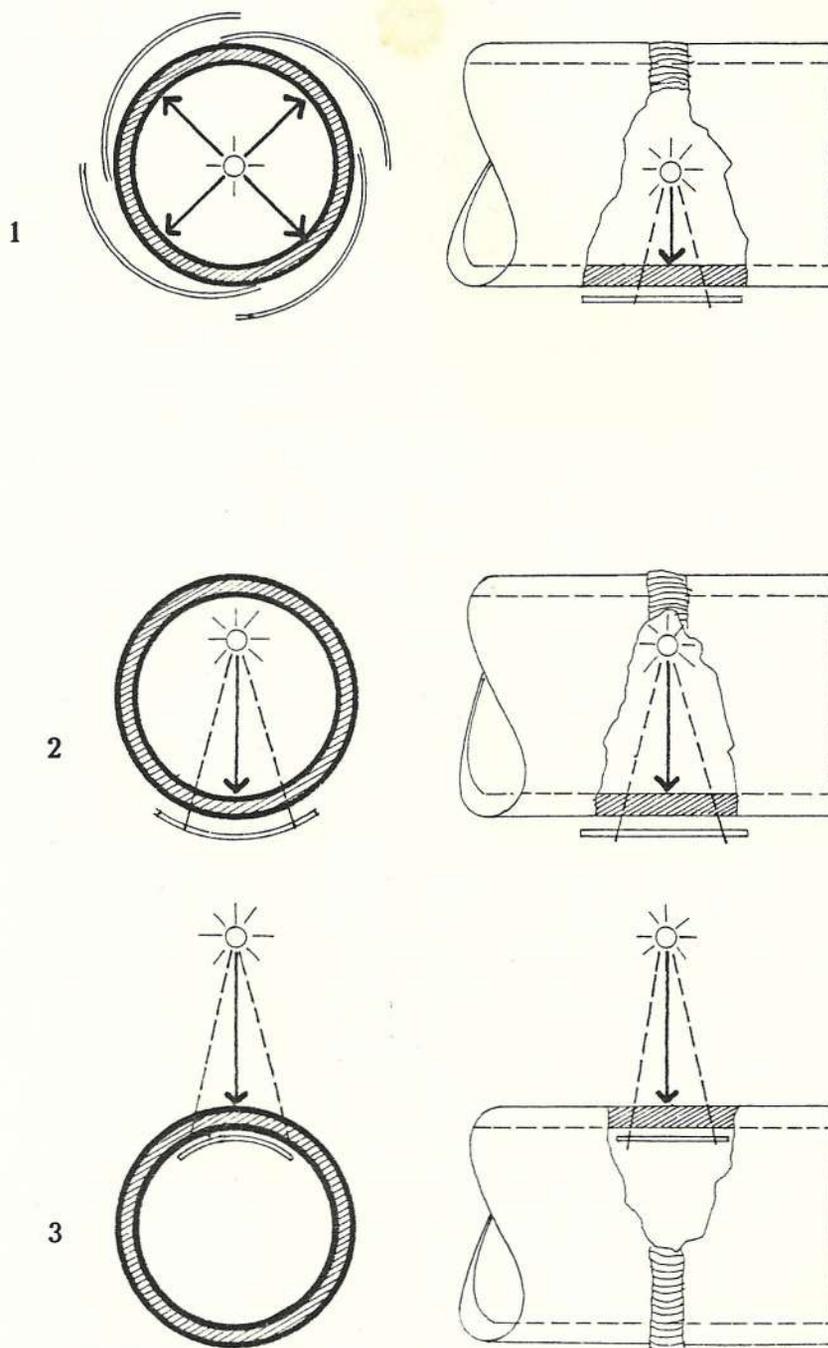


FIGURA 27.- Técnica radiográfica: Una sola pared. Interpretación sobre: Imagen de una sola pared. (10)

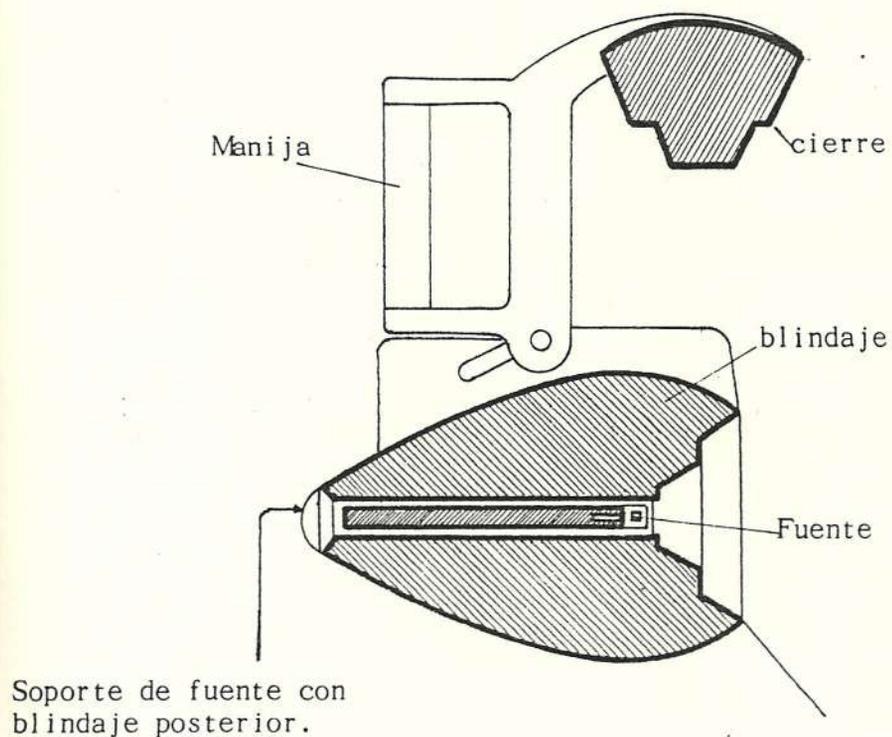
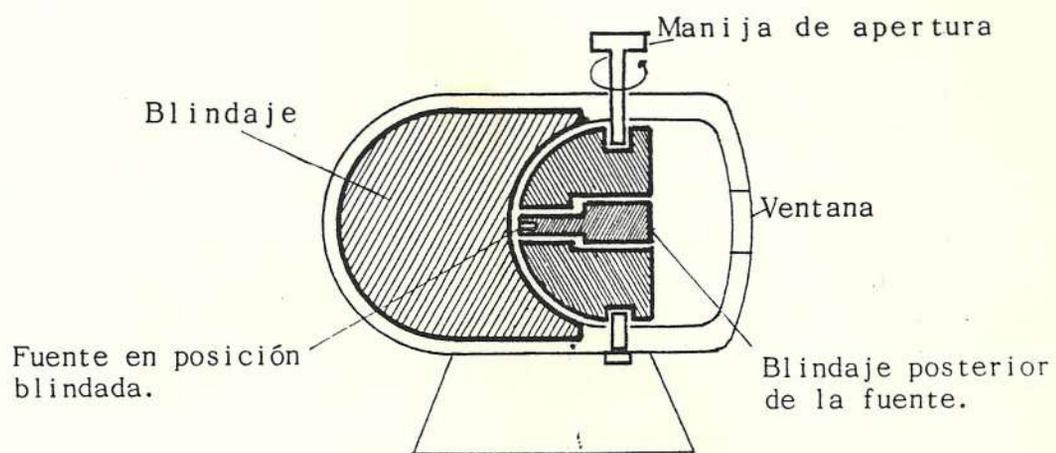


FIGURA 28.- Modelos de equipos de **G**ammagrafía, tipo direccional. (11)

y detalles se muestran en la Figura 29.

Este último equipo puede ser utilizado para cualquier tipo de toma, ya que su manguera guía flexible permite ubicar la fuente prácticamente en cualquier posición, lo que fue muy útil pues aparte de la tubería de línea, también se radiografió la interconexión entre la manguera de succión y las bombas, la cual era prefabricada y dada las condiciones, se podía realizar exposiciones del tipo panorámico (Figura 27), ahorrando tiempo de trabajo, ya que con una sola exposición se radiografiaba la totalidad del cordón.

En lo que respecta a material radiográfico, las películas deben ser almacenadas en un lugar seco, libre de sustancias químicas y radiación que puedan contaminar ó alterar sus condiciones. Las cajas en las que se encuentran deben ser almacenadas de tal manera que queden asentadas sobre sus bordes, con el fin de evitar posibles adherencias.

Las películas radiográficas deben ser manipuladas en un cuarto oscuro y con mucho cui

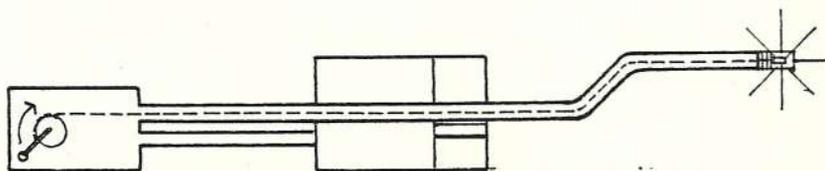
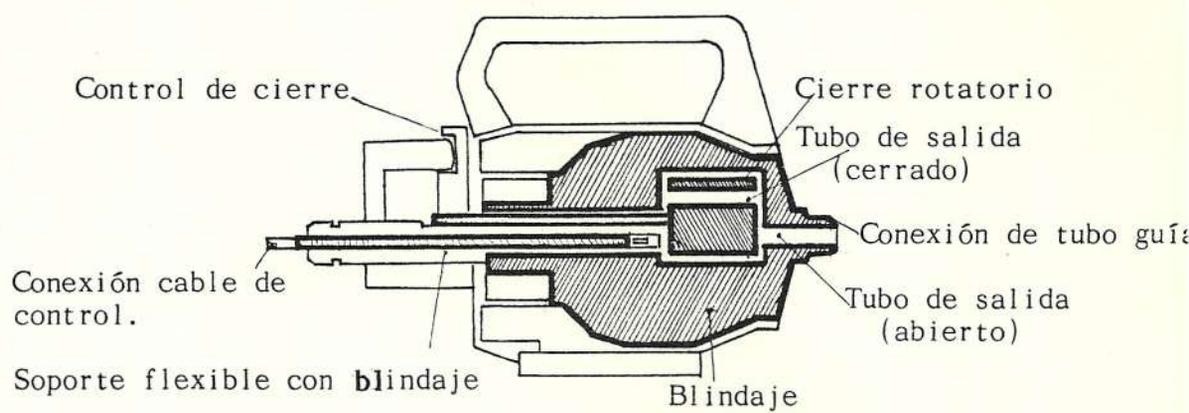


FIGURA 29.- Equipo de gammagrafía, tipo proyección (11)

dado, tomándolas siempre por los bordes, con las manos limpias y secas, evitando flexión o fricción, lo cual puede causar marcas en las mismas. Estas son colocadas entre dos pantallas de plomo, las cuales deben estar limpias y libres de rayaduras, y el conjunto es introducido en un estuche flexible el cual es sellado para evitar la entrada de luz, ver figura 30.

Una jornada de inspección puede consistir de los siguientes pasos:

- Preparación de películas
- Preparación de datos y marcas
- Cálculo de tiempo de exposición
- Colocación de película y marcas en la zona a radiografiarse.
- Colocación de la fuente
- Revisión y evacuación del área para control radiográfico.
- Ejecución de la toma
- Remoción de equipo película y auxiliares
- Revelado de la película
- Interpretación radiográfica, y
- Elaboración de informe

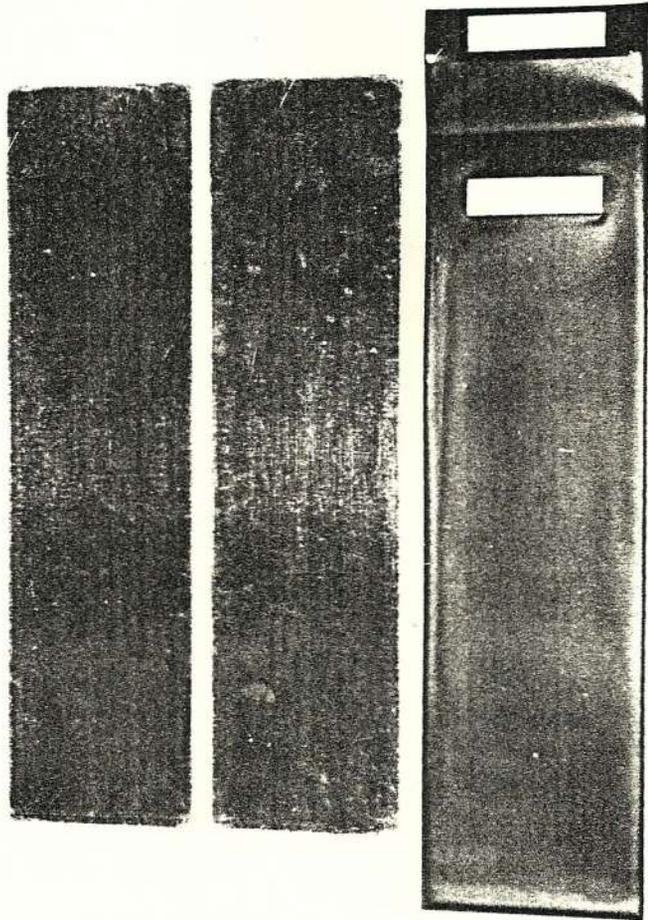


FIGURA 30.- Muestras de pantallas de plomo y estuche flexible empleado para proteger la película.

Cabe anotar que los químicos empleados en el proceso de revelado radiográfico deben estar en buenas condiciones, lo cual influirá en la calidad final de la imagen radiográfica.

En las Figuras 31, 32, 33 y 34 se puede observar una exposición detallando algunos de los pasos mencionados anteriormente.

4.2.3 Criterios de aceptación o rechazo en la inspección radiográfica.-

La interpretación radiográfica debe ser realizada por personal calificado, tal como se indica en el procedimiento radiográfico.

En cuanto a criterios de aceptación o rechazo, el Código API 1104 establece algunos criterios que pueden ser considerados para la toma de este tipo de decisiones. Sin embargo, a criterio de la compañía contratante, se podría rechazar alguna soldadura con una discontinuidad que esté dentro de los límites de aceptación, cuando se estime que dicha discontinuidad podría ser perjudicial para la unión soldada.



FIGURA 31.- Preparación de película, datos y marcas previo a la exposición.

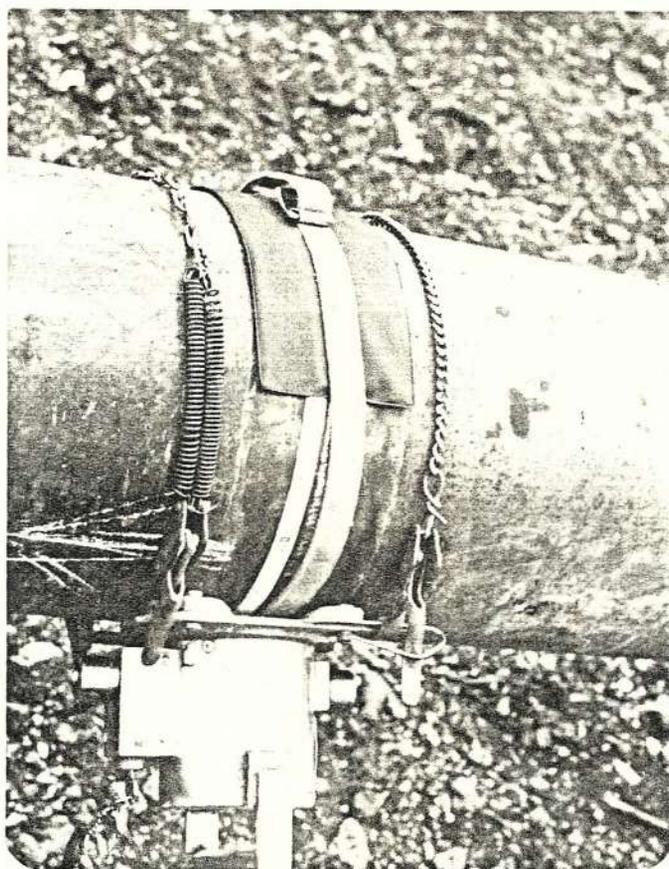


FIGURA 32.- Colocación de películas, marcas y fuente en zona a radiografiarse.

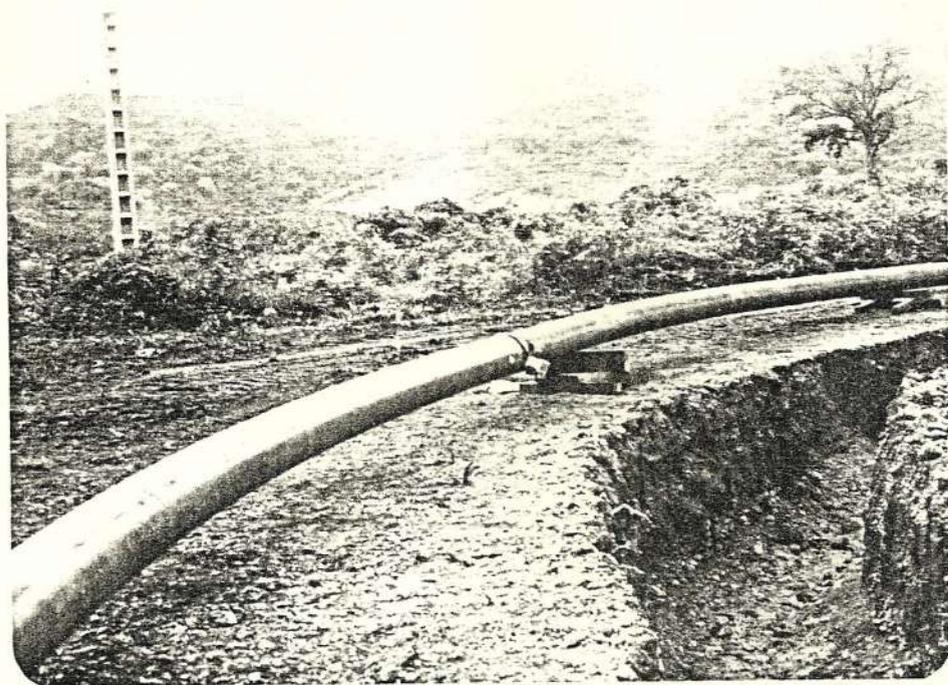


FIGURA 33.- Evacuación y ejecución de la toma radiográfica.



FIGURA 34.- Remoción de equipos, película y auxiliares.

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, los criterios de aceptación ó rechazo fueron los establecidos por el Código API 1104, pudiendo ser reparada una costura solamente una vez. En caso de aparecer nuevamente un defecto luego de la reparación, se procede al corte de una sección de la tubería hacia cada lado del cordón en cuestión, debiéndose soldar un nuevo tramo con una longitud no menor a tres veces y media el diámetro exterior de la tubería. Los criterios de aceptación y rechazo establecido por el Código API 1104 se indicarán en el Apéndice C.

4.3 PROTECCION SUPERFICIAL Y CATODICA.-

La tubería una vez soldada, antes de ser enterrada en su zanja, se debe limpiar externamente con métodos mecánicos abrasivos y pintar con una capa de pintura tipo "primer", siendo luego recubierta con una cinta adhesiva para protección contra la corrosión y sobre ésta, otra cinta de espesor y en número de capas necesarias para la protección contra golpes y protección de las anteriores (Figuras 35 y 36).

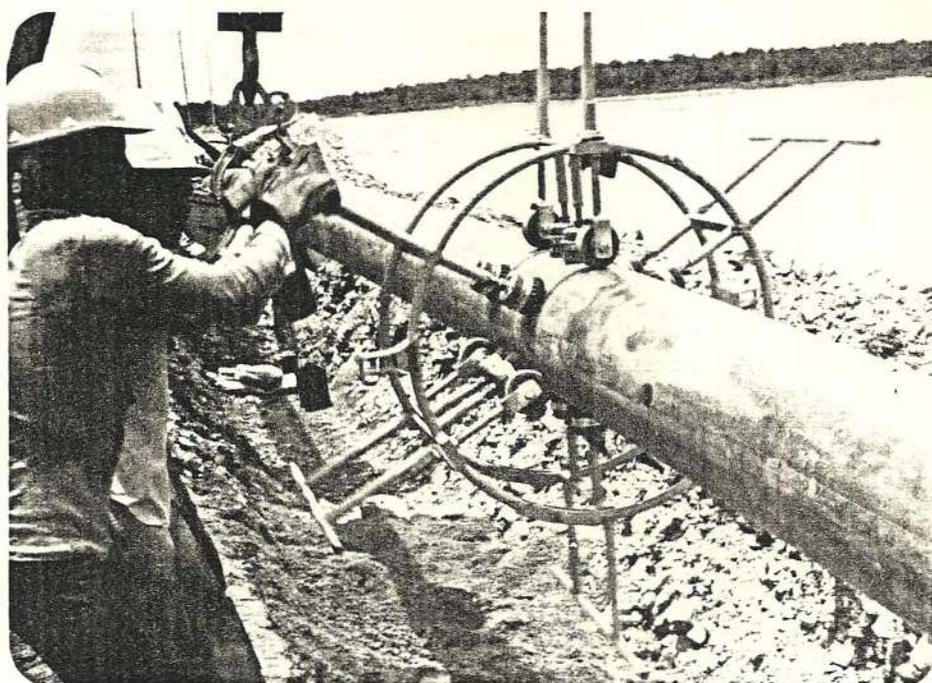


FIGURA 35.- Limpieza y pintado de la tubería previo a recubrimiento con cintas adhesivas.



FIGURA 36.- Colocación de cintas adhesivas para protección contra corrosión y golpes.

En el caso de zonas especiales tales como cruces de ríos, esteros o zonas que se consideren como especiales, se debe emplear algún sistema de protección particular, por ejemplo: En zonas rocosas o de terrenos con excesiva dureza, se debe colocar recubrimientos especiales, mientras que en zonas donde existen movimientos de agua, aparte del recubrimiento especial, se debe emplear algún tipo de anclaje.

En el tendido del poliducto Tres Bocas-Pascuales, se tomaron medidas adecuadas en este aspecto: en las zonas rocosas se emplearon sacos de arena alrededor de la tubería, evitando el contacto directo con el terreno. Al paso por un canal, se utilizó un sistema de protección especial que sirvió al mismo tiempo como anclaje (Figura 37).

Luego de recubierta la tubería con este tipo de protección, esta era inspeccionada con la finalidad de comprobar un aislamiento total con la parte metálica, lo cual se realizó con un equipo "Holiday detector" (Figura 38).

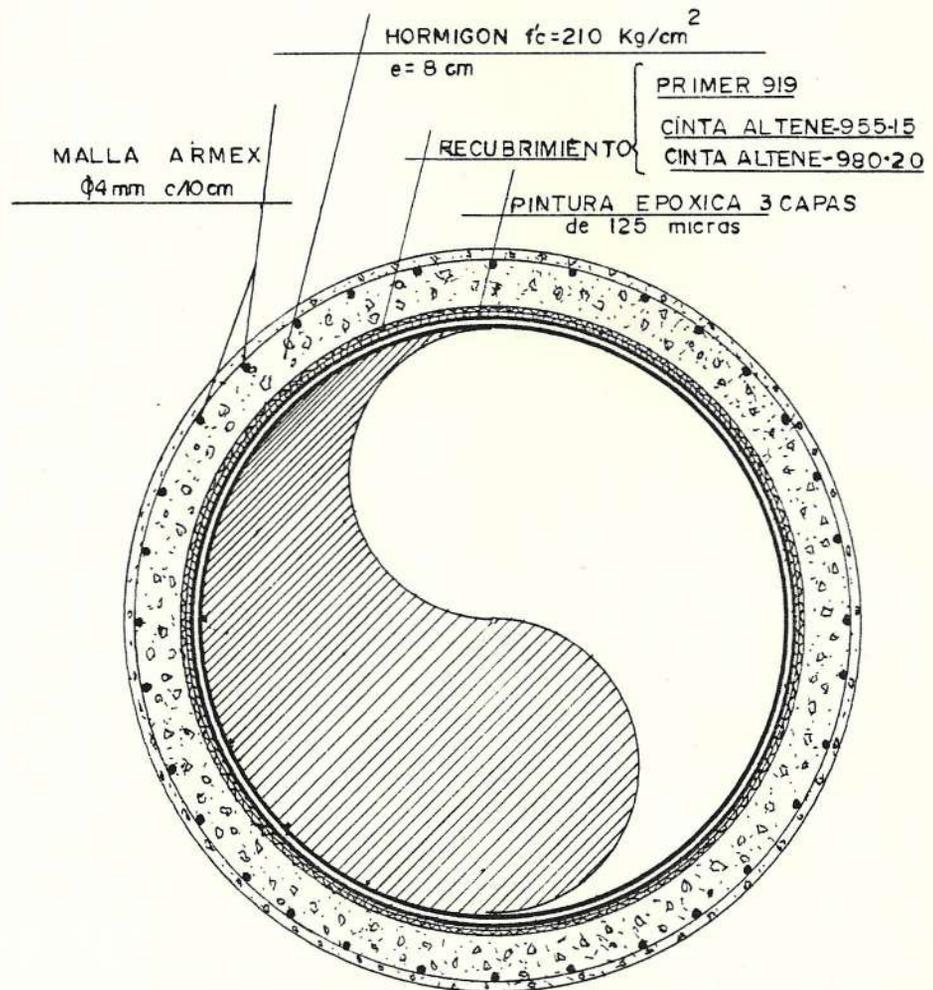


FIGURA 37.- Detalle de sistema especial de protección y anclaje utilizado en zona fluvial.



FIGURA 38.- Comprobación del total recubrimiento con la cinta adhesiva plástica.

Comprobado el aislamiento de la tubería, esta era introducida en su zanja y luego enterrada (Figura 39).

En lo que respecta a la protección catódica, se debe realizar un estudio del terreno con el fin de determinar la agresividad del mismo y según esto diseñar y seleccionar las características del sistema de protección.

En el caso del poliducto Tres Bocas-Pascuales, se encontró que la zona de más cuidado debía ser la ubicada en las cercanías del estero, debido a la alta salinidad del terreno, por lo que la protección catódica tendría que ser mayor en estos tramos.

4.4 PRUEBA HIDROSTATICA.-

Finalmente, previo al funcionamiento del sistema, se debe realizar una última prueba que consiste en garantizar que el ducto está en capacidad de resistir sin problemas la presión que se genera durante el trabajo.

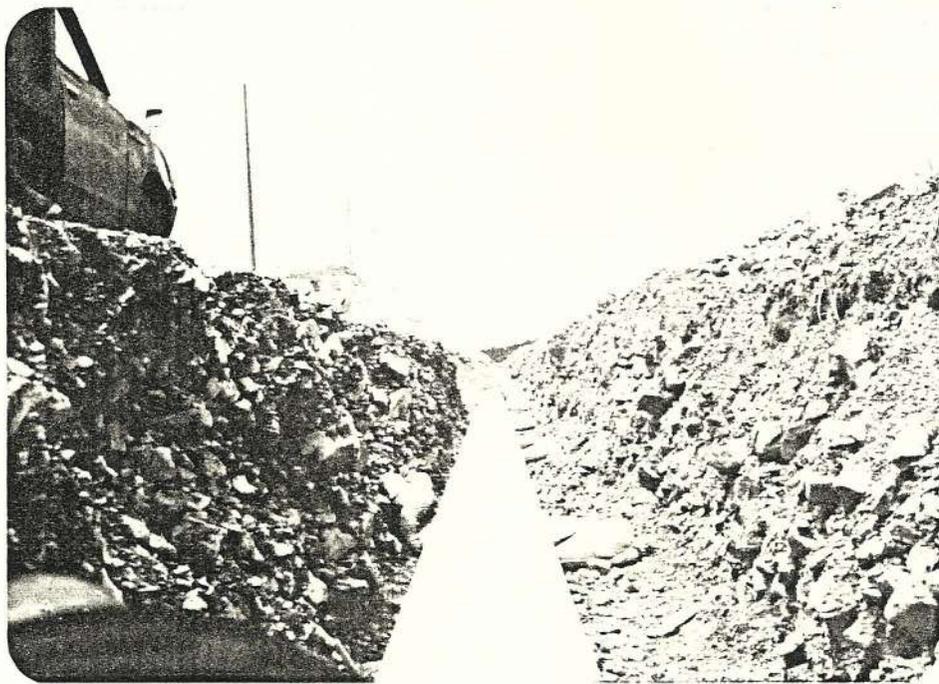


FIGURA 39.- Colocación de la tubería en la zanja antes de ser enterrada totalmente.

Esta se conoce como prueba hidrostática y consiste en someter al ducto a presiones de prueba mayores que la establecida como de operación, chequeando que en él no se produzca ninguna falla ni fuga.

Para realizar esta prueba, se introduce agua dentro del ducto, lo cual garantiza en principio la ausencia de algún tipo de obstrucción a lo largo del ducto; luego es presurizada hasta una presión que sea capaz de tensionar el material de la tubería a un nivel equivalente a un rango entre 85% y 100% de su resistencia a la fluencia. El tiempo que debe ser mantenida la tubería a dicha presión puede ser 24 horas, no debiéndose detectar ninguna pérdida de presión que pueda indicar fuga de líquido.

En el caso de detectarse alguna pérdida de presión que indique la presencia de una fuga, ésta debe ser localizada, reparada y el ducto probado nuevamente.

El Código API RP 1110 (Procedimiento recomendado para la prueba de presión en ductos para petróleo), puede utilizarse como guía para la ejecución de este tipo de pruebas.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

En lo concerniente a la construcción del poliducto de Tres Bocas-Pascuales, se emplearon normas internacionales cuyo control de ejecución fue realizado por personal fiscalizador de la compañía contratante, culminando los trabajos de una manera satisfactoria, aunque con algo de retraso, causado especialmente por condiciones de carácter climático presentadas, las mismas que disminuyeron el rendimiento inicial tanto del personal como del equipo, principalmente en zonas montañosas y selváticas.

Los métodos empleados para realizar el trabajo de inspección garantizaron una mayor confiabilidad de la obra, velando de esta manera por la seguridad en su funcionamiento y los intereses del país. La inspección radiográfica fue ejecutada siguiendo el procedimiento establecido por escrito, no habiendo encontrado problemas durante su realización, lo cual se debió a la coordinación existente con el equipo encargado de la ejecución de la soldadura.

De los resultados de la inspección se pudo notar que, al inicio de los trabajos de soldadura, algunas de las uniones tuvieron que ser reparadas (23%), lo cual es sin duda un alto porcentaje. La causa fue posiblemente la falta de experiencia y de familiarización con este tipo de trabajo por parte de algunos de los soldadores. Esto se comprobó con la disminución de reparaciones en las uniones siguientes, notándose un ligero incremento cuando se laboraba bajo condiciones tanto geográficas como climáticas adversas.

De este trabajo se obtuvieron datos que podrían servir para ser tomados en cuenta como referencia, tanto por parte de los soldadores como por los técnicos en la rama, a fin de lograr que en futuras obras se obtenga mejor calidad de soldaduras, disminuyendo el número de reparaciones y por ende el costo de la obra, dando por su puesto mucha más confiabilidad al sistema (Figura 40).

Más detalles sobre simbología, ubicación y forma característica de este tipo de discontinuidades se indican en el Apéndice D.

Para mejorar la calidad de la soldadura, se debe analizar las posibles causas que generan las discontinuidades encontradas. Así tenemos:

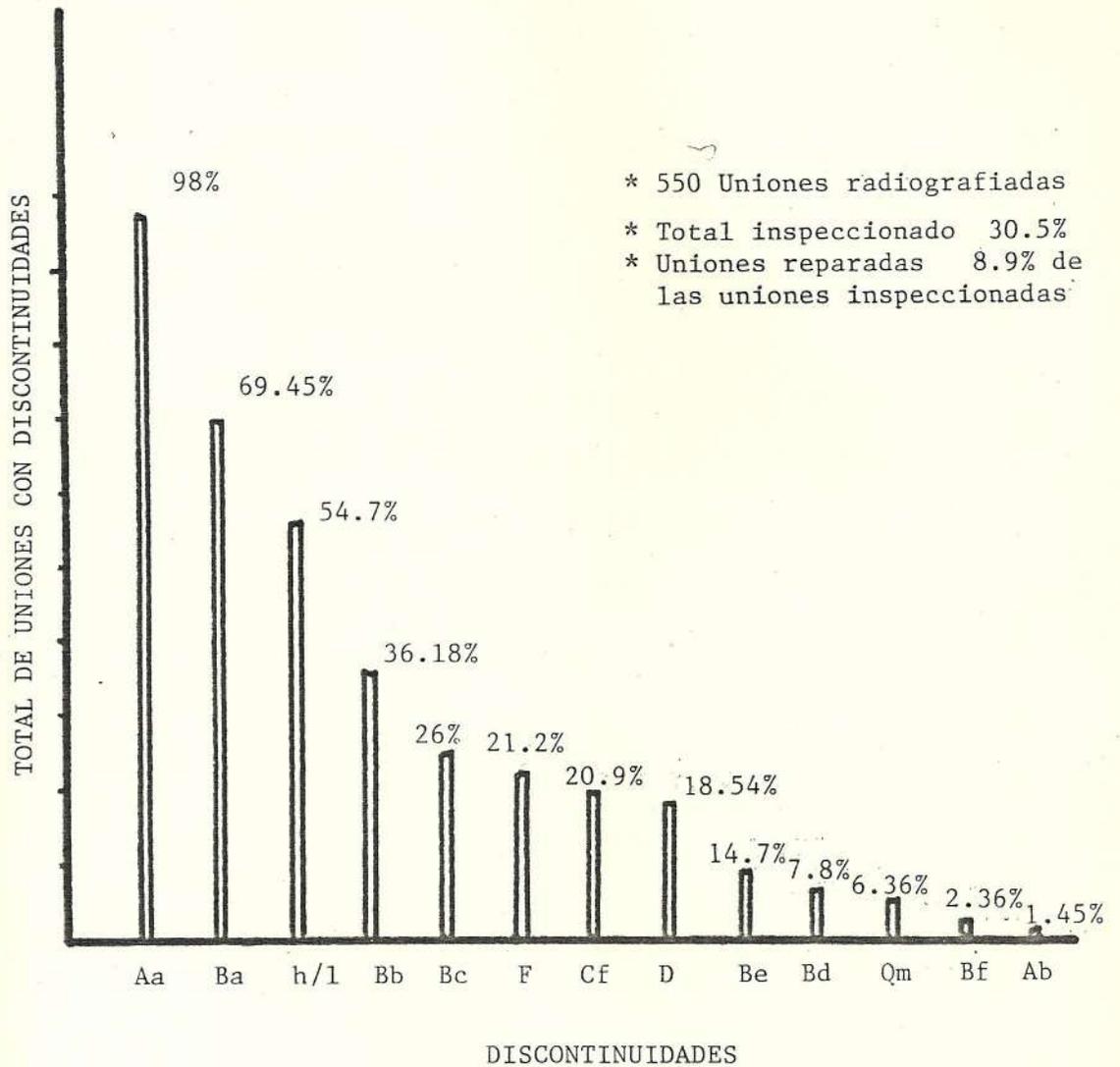


Figura 40.- Cuantificación porcentual de las uniones en las que se detectaron las diferentes discontinuidades.

- Porosidades

El 98% de las uniones radiografiadas presentaron este tipo de discontinuidad. Las causas para su formación pueden ser:

- Contaminación de los bordes del bisel
- Humedad excesiva en el revestimiento del electrodo
- Arco eléctrico demasiado largo

Analizando estas causas y las condiciones de trabajo se podría indicar que:

La contaminación en los bordes del bisel podría ser descartada, ya que este aspecto estuvo bien controlado.

La causa que produjo más porosidades en este caso fue la humedad en el revestimiento de los electrodos, no por mal almacenamiento en las bodegas, sino por la humedad adquirida en la obra causada por un manipuleo deficiente de los electrodos y el ambiente húmedo del lugar. Es recomendable en estos casos la utilización de un secador con el fin de eliminar esta humedad antes de empezar a soldar.

Con respecto al arco demasiado largo, este factor no podría ser descartado ya que es un problema que se presenta al inicio del cordón de soldadura y al final del mismo cuando se retira el electrodo.

Las porosidades vermiculares, cuya presencia fue detectada en un 14,5% de las uniones radiografiadas, son cau

sadas por las mismas razones, sino que su forma se debe a que las porosidades alineadas formadas en un pase, tratan de escapar hacia la superficie al depositar el pase superior, siendo esta la causa de su forma característica tubular.

- Inclusiones de escoria:

Las uniones radiografiadas presentaron inclusiones de forma y orientación variada, alineadas y alternadas en porcentajes del 69%, 36%, 26% respectivamente.

Las causas para su formación pueden ser:

- Mala conducción del electrodo
- Mala conexión de corriente
- Clase de corriente empleada
- Parámetros de soldadura mal seleccionados
- Falta de limpieza entre pasadas

De las causas citadas, las más probables en este caso pueden haber sido la falta de limpieza entre pasadas y mala conducción del electrodo ya que las otras fueron controladas por el procedimiento de soldadura establecido antes de la ejecución de la obra.

- Desalineamiento

El 55% de las uniones radiografiadas presentaron esta discontinuidad, la cual es producida durante la presentación a tope de las tuberías causadas por fallas de alineación de las mismas. Otra causa para el desalineamiento ("hilo") en las uniones de tuberías puede ser la calidad de los tubos, la misma que es reflejada en la redondez de su sección.

En este caso la calidad de la tubería estaba garantizada, quedando como único causante de este problema la falta de alineación en la presentación de las uniones a tope.

- Mordeduras o socavaduras

El 21% de las uniones radiografiadas presentaron este tipo de discontinuidad, producida por demasiado aporte de calor en la unión; se logra controlar esto siguiendo los parámetros, tanto de corriente como de velocidad de soldeo empleada, datos que vienen ya establecidos en el procedimiento de soldadura.

- Falta de fusión

Este tipo de discontinuidad se presentó en un 21% de las uniones radiografiadas. Las causas posibles para su formación pueden ser:

- Bisel muy angosto
- Electrodo de diámetro muy grande
- Impurezas en el bisel
- Conducción inadecuada del electrodo

De estas posibilidades, las más probables en este caso podrían ser las dos últimas, ya que las anteriores se eliminan automáticamente con el procedimiento de soldadura el cual sí fue mantenido.

- Falta de penetración

El 19% de las uniones radiografiadas presentaron este tipo de discontinuidad, siendo la causa de la mayoría de los rechazos. Este tipo de discontinuidad puede ser generada por las siguientes causas:

- Demasiada velocidad de soldeo
- Corriente demasiado baja
- Mala preparación del bisel

La causa que produjo en este caso este tipo de discontinuidad fue la excesiva velocidad de soldeo, ya que se ubicaba por lo general en la zona correspondiente a la hemisección inferior de la tubería, zona que debido a las condiciones de posición de soldeo eran de mayor dificultad.

- Quemones

Presentes en un 6.3% de las soldaduras radiografiadas. Este tipo de discontinuidad es formado en el cordón de raíz y producido por movimientos inadecuados del electrodo que generan sopladuras hacia el interior del tubo.

Finalmente, hay un grupo de discontinuidades como la de defecto de cincelado, defecto por cambio de electrodo y defecto en cruce de soldadura, que estuvieron presentes en menores porcentajes sin causar reparación alguna. Claro está que esto no justifica este tipo de discontinuidades, haciéndose necesario su control a fin de evitar riesgo de reparación o rechazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la ejecución de los trabajos de construcción del poliducto Tres Bocas-Pascuales, cuyo inicio fue a comienzos de 1.984 y culminación a mediados de 1.985, se comprobó la importancia de la selección tanto de materiales que cumplan con las especificaciones y calidad requeridas, así como los procedimientos y personal debidamente calificados, con el fin de incrementar la confiabilidad del funcionamiento de las instalaciones pertenecientes a la obra.

De los resultados obtenidos de la inspección radiográfica se pudo observar que el porcentaje de reparaciones fue algo alto, lo cual debe tomarse en consideración con el fin de recomendar a las escuelas e instituciones que se dedican a la preparación de estos técnicos, a que se los instruya de una manera correcta y se les brinde mayor apoyo para que obras futuras puedan realizarse con un 100% de mano de obra nacional.

Con el fin de minimizar el riesgo de rechazos, el constructor o fiscalizador de la obra debería ejercer un

control más rigurosos de las condiciones de trabajo, disminuyendo los altos porcentajes de discontinuidades encontrados.

Sería de mucha importancia el recalcar a los soldadores el prestar especial cuidado en la parte inferior del cordón de soldadura (cordón de raíz) donde se presentan con más facilidad las faltas de penetración, debido a las condiciones de ubicación desfavorable en las que se ejecuta el soldeo.

Cuando se realiza la inspección radiográfica, no solamente se deben controlar los parámetros de la ejecución de la toma, sino que también hay que poner mucho cuidado en lo concerniente a seguridad radiológica, especialmente en zonas pobladas donde en muchas ocasiones se debe evacuar al personal no autorizado con el fin de evitar cualquier riesgo de irradiaciones que pueden causar algún tipo de daño biológico.

En cuanto a la realización de las tomas, sería conveniente recomendar como algo, adicional al punto 2.2 del procedimiento radiográfico, que la tubería sea inspeccionada radiográficamente antes de que se coloque la cinta protectora contra la corrosión, ya que su presencia altera la calidad de la imagen; además, chequear que el

ducto esté libre de sustancias en su interior que puede darse el caso de que en épocas lluviosas, por uno de los extremos del tramo de ducto se introduzca agua y lodo, lo cual imposibilitará la toma radiográfica. Para evitar esta molestia es prudente colocar tapones en cada extremo los cuales deberán quedar asegurados.

Con respecto al proceso de revelado de las radiografías es muy importante chequear que los reactivos químicos empleados estén en buenas condiciones, ya que de estos depende mucho la posible presencia de defectos de revelado y durabilidad en lo que a almacenamiento de la película se refiere. En el Apéndice E, se indican defectos comunes y sus posibles causas.

Esta claro que durante la ejecución de esta obra varios fueron los problemas que se presentaron, los cuales fueron eliminados evitándose de esta manera su repercusión en el requerimiento final del sistema.

La detección de fisuras en varias soldaduras realizadas en unos tramos de tubería de 219.1 mm (8") de diámetro utilizada para la construcción del múltiple de descarga en Pascuales, fue uno de los problemas más críticos. Se determinó como causa la composición química del acero de la tubería, la cual correspondía a las caracterís-

ticas de un acero de mayores requerimientos, quedando de esta manera el procedimiento de soldadura automáticamente descalificado. Como solución se reemplazó la tubería problema con material correspondiente a las especificaciones establecidas en el contrato, descartándose la posibilidad de la elaboración y calificación de un nuevo procedimiento de soldadura. Este caso recalca la importancia de establecer los parámetros a utilizarse en el proceso de soldadura previo a la ejecución de la obra.

Finalmente, sería conveniente indicar que la mayoría de los trabajadores fueron nacionales y en su totalidad, la supervisión estuvo a cargo de ingenieros ecuatorianos, lo que sirve como indicador sobre la formación técnica que poco a poco en nuestro país se ha ido implementando esperando en algún momento poder realizar obras de esta ó mayor magnitud con aporte humano totalmente nacional.

A P E N D I C E S

APENDICE A

PROCEDIMIENTO RADIOGRAFICO (12)

OBJETO.-

Presentar las condiciones para la ejecución del examen radiográfico en soldaduras de la línea de tuberías del Proyecto Tres Bocas-Pascuales en Guayaquil, para el CONSORCIO PETROSA-BONATTI.

1. REFERENCIAS.-

Este procedimiento se ajusta a los requerimientos de:
STANDARD FOR WELDING PIPELINES AND RELATED FACILITIES
API 1104.

- Sección 8.0 - RADIOGRAPHIC PROCEDURE
- Sección 6.0 - STANDARDS OF ACCEPTABILITY NONDESTRUCTIVE TESTING.

2. MATERIAL A RADIOGRAFIAR.-

2.1 Materiales.-

Se examinarán soldaduras en tuberías de acero API 5LX, de 12-3/4 plg. (325 mm.) de diámetro exterior.

2.2 Estado superficial.-

Las soldaduras y el material base adyacente a examinar deben de estar limpias y libres de cascarilla, escoria y discontinuidades visibles de modo que las irregularidades no puedan ser confundidas con defectos.

2.3 Rango de espesores.

Básicamente el espesor (T) a radiografiar será de 1/4 plg. (6.35 mm). Para otros casos se indicará el espesor y el diámetro correspondiente junto a las condiciones de exposición en las hojas de informe respectivas.

3. FUENTE DE RADIACION.-

Se utilizarán Rayos Gamma, con una fuente de Iridio-

192 de 50 CURIES de actividad. El tamaño efectivo del foco (s) será de 2.5 mm.

4. PELICULAS.-

Se utilizarán rollos de películas tipo II (ASTM E-94) de 60 mm. de ancho, marca AGFA D7 u otras de tipo similar a la mencionada que se disponga en el mercado.

5. PANTALLAS INTENSIFICADORAS.-

Se utilizarán pantallas intensificadoras de plomo en contacto directo con la película (Lead pack).

7. DENSIDAD.-

La densidad de la película a través del área de interés (metal de soldadura) no será menor a 1.8 se controlará la densidad de las películas con una plantilla de comparación de densidades.

8. INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN.-

8.1 Elección del ICI (Penetrómetro).-

Los penetrámetros a utilizarse serán del tipo ASTM E-142 y su elección se hará de acuerdo a la Tabla 4 del API STANDAR 1104.

8.2 Ubicación y cantidad de penetrámetros.-

Para el caso de las soldaduras en tuberías de 12 3/4 plg, utilizando el procedimiento de exposición múltiple se usarán dos penetrámetros del lado de la película, uno dentro de 1 plg. (25mm) del extremo de la longitud de película a ser interpretada y el otro diámetro opuesto a la fuente.

9. IDENTIFICACION.-

9.1 Radiografías.-

Todas las radiografías serán identificadas con las siglas del sistema, línea y número de junta a la que pertenece. Se utilizarán símbolos de plomo para este efecto los que irán adheridos a la tubería sin interferir con la zona a radiografiar. Se indicará también la fecha de ejecución de las radiografías. La demarcación

de las placas radiográficas se harán con una cinta métrica con números de plomo espaciados cada 5 cm.

La lectura se realizará en el sentido de las manecillas del reloj en la dirección de circulación del fluido.

Se identificará también las radiografías correspondientes a reparaciones.

9.2 Indicaciones sobre la tubería.-

Se marcará con un lápiz especial todas las marcas que son efectuadas sobre el film para identificación posterior.

10. PENUMBRA GEOMETRICA.-

La penumbra (K) no será mayor que 0.51 mm. para las radiografías de soldaduras de 6.25 mm. de espesor. En cualquier caso la distancia fuente película (D) se calculará por la fórmula $D = \frac{S \cdot t}{K}$; reemplazando $t = d$ (d = diámetro de la tubería) a fin de permitir que K no sea mayor de 0.51 mm.

11. TIPO DE EXPOSICION.-

Las radiografías se harán en lo posible ubicando la fuente de radiación a una distancia menor a 1/2 plg. respecto a la tubería.

Para el diámetro de 12 3/4 plg. se utilizará la técnica de doble pared simple imagen, debiéndose efectuar tres exposiciones a 120 grados una de otra.

12. REVELADO.-

El revelado de las películas se hará manualmente siguiendo las recomendaciones que suministra el proveedor de las películas y reactivos de revelado.

13. INTERPRETACION RADIOGRAFICA.-

La interpretación radiográfica, si es solicitada, la realizará el personal de nivel II y III, utilizando un negatoscopio adecuado.

14. CRITERIOS DE ACEPTACION.-

Si se solicita se indicará si la soldadura cumple

con los requerimientos de la sección 6.0 del API Standard 1104.

15. INFORMES.-

Se elaborarán informes por grupos de placas radiográficas correspondiente a una misma soldadura. Las placas radiográficas se entregarán envueltas en sobres correctamente identificados.

16. PROTECCION CONTRA LA RADIACION.-

Se utilizarán las medidas y se ejercerá el control adecuado para cumplir con los requerimientos especificados por la Comisión Ecuatoriana Atómica.

17. PERSONAL.-

El personal que ejercerá el examen radiográfico será certificado de acuerdo a la norma IRAM-CNEA-Y-500-1-003 de Argentina.

APENDICE B

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (13)

A. PROCEDIMIENTOS:

Suelda eléctrica de arco

B. MATERIAL BASE:

API 5LX 42

C. DIAMETRO TUBERIA: 12 3/4 plg (323.85 mm)

D. FORMA DE LA JUNTA:

Ver Anexo A

E. METAL DE RELLENO:

- Pasada de raíz (1° pasada) electrodos \emptyset 4 mm E6010
- 2° Pasada electrodos \emptyset 4 mm AWS E6010
- Pasadas de relleno y finales (3° y 4° pasadas) electrodos \emptyset 5 mm AWS E6010.

F. CARACTERISTICAS ELECTRICAS:

- Pasada de raíz (1° pasada) 28-30V 120 - 150A
- 2° pasada 30-34V 150-180A
- Pasadas de relleno y finales (3° y 4° pasadas)
30 - 34V 160 - 180A
- C.C. + 0-

G. POSICION:

Soldadura fija

H. DIRECCION DE SOLDADURA:

Descendente

I. NUMEROS DE SOLDADORES:

Pasada de raíz (1° pasada) N° 2
2° pasada N° 2
Pasadas de relleno y final N° 2

J. TIEMPO ENTRE PASADAS:

El tiempo necesario para las operaciones de limpieza máximo 5 (cinco) minutos entre 1° y 2° pasada.

K. TIPO DE ACOPLADOR:

Se usará acoplador externo ajustable

L. RETIRO DEL ACOPLADOR:

A completar el 50% de la 1° pasada

M. LIMPIEZA:

Con esmeril eléctrico de disco y cepillos manuales

N. PRECALENTADO:

Para temperaturas ambiente inferiores a +5°C se precalentará a 50°C.

O. GAS DE PROTECCION:

P. FLUJO:

Q. VELOCIDAD DE SOLDADURA:

1° pasada 13 - 18 cm/minuto

2° pasada 20 - 30 cm/minuto

3° y 4° pasada 15 - 25 cm/minuto

R. PLANOS Y ANEXOS:

Anexo

DIAMETRO ELECTRODO Y NUMEROS DE PASADAS (NUMERO DE PASADAS)

<u>Espesor del Tubo</u>	4 mm	5 mm	<u>Números totales de pasadas</u>
6.35 mm	2	2	4

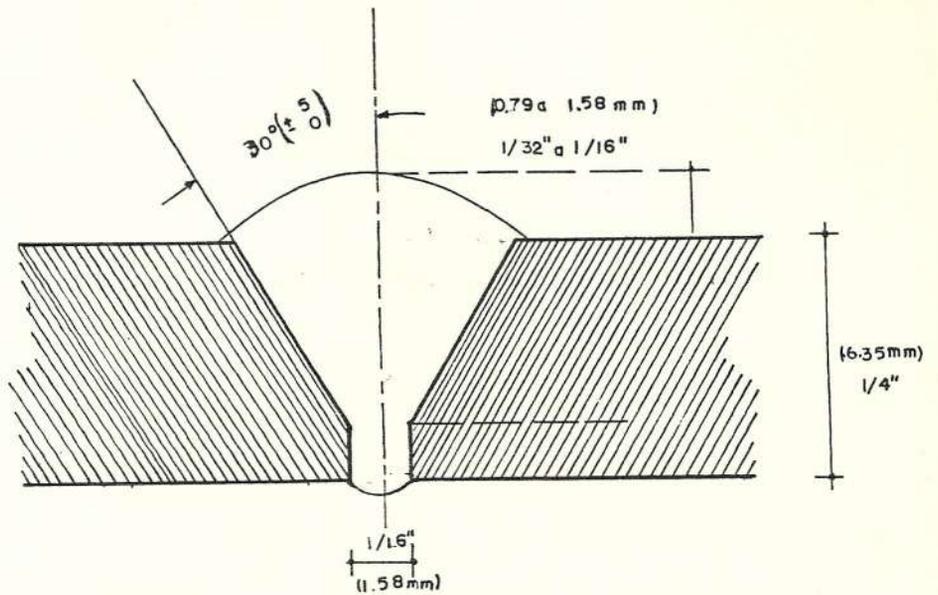
NOTA:

La primera pasada \emptyset 4 mm 28-30 v y 120-150 AMP

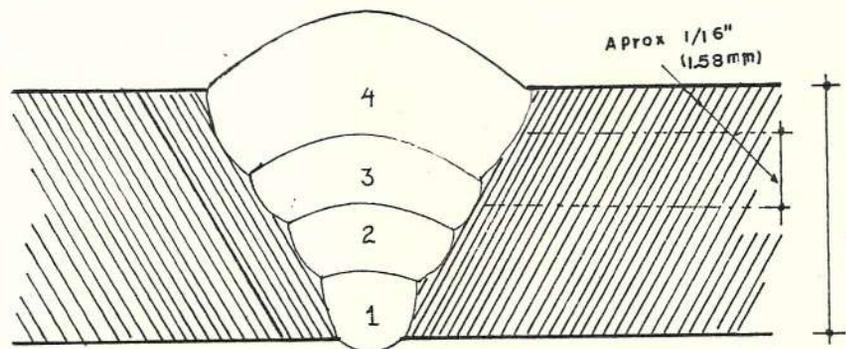
PASADAS 2, 3 y 4

VOLTAJE Y AMPERAGE

<u>Diámetro</u>	<u>Amperage</u>	<u>Voltaje</u>
4 mm	120 - 150 A	30 - 34 V
5 mm	160 - 180 A	30 - 34 V



Preparación de bisel para junta a tope



SECUENCIAS DE PASADAS

FIGURA B.1.- Preparación de bisel para junta a tope y secuencias de pasada.

APENDICE C

NORMAS DE ACEPTABILIDAD - PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (8)

6.1 INTRODUCCION.-

Estas normas de aceptabilidad se aplican para determinar el tamaño y tipo de defectos encontrados por la radiografía y por otros métodos de pruebas no destructivas. También pueden aplicarse en la inspección visual. No deben usarse para determinar la calidad de las soldaduras que son sometidas a pruebas destructivas.

6.2 DERECHOS DE RECHAZO.-

Puesto que los métodos de pruebas no destructivas dan indicaciones limitadas, la Compañía puede rechazar cualquier soldadura la cual cumple con estas normas de aceptabilidad si, en su opinión, la profundidad de una discontinuidad puede estar en detrimento de la soldadura.

6.3 PENETRACION INADECUADA Y FUSION INCOMPLETA.-

Esencialmente, la penetración inadecuada está definida como el llenado incompleto de la raíz de la soldura con metal de aporte. La fusión incompleta está definida como la falta de unión entre pases o entre el metal de aporte y el metal base. La penetración inadecuada y la fusión incompleta son condiciones separadas y distintas las cuales ocurren en diferentes formas y los límites de aceptabilidad de estas formas están expuestas por los párrafos que siguen.

6.31 PENETRACION INADECUADA EN LA RAIZ DE LA SOLDADURA.-

La penetración inadecuada sin estar presente el desalineamiento (high-low) está definida como el llanado incompleto de la raíz de la soldadura. Una representación esquemática de esta condición está dado en la Figura C10. Cualquier condición individual debido a este tipo de penetración inadecuada no debe exceder 1" (25.4 mm). La longitud total de tal condición en cualquier longitud continua de 12" de soldadura (304.8 mm) no debe exceder 1" (25.4 mm). Si la soldadura es menor de 12" (304.8 mm) en longitud, entonces la longitud total de tal condición no debe exceder del 8% de la longitud de la soldadura.

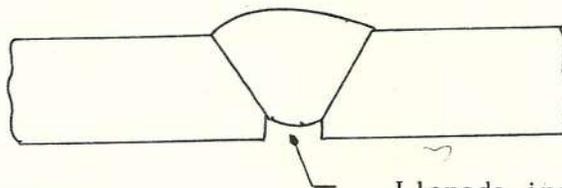
6.32 PENETRACION INADECUADA DEBIDA A DESALINEAMIENTO
(high-low).-

El desalineamiento está definido como una condición en donde las superficies de la tubería, acople ó ambos están desalineadas. Esta situación está representada esquemáticamente por la Figura C11. El desalineamiento no es objeccionable siempre que las paredes de la raíz de tuberías adyacentes y/o juntas de acople estén completamente unidas por el metal de aporte. Cuando un borde de la raíz está libre (o no está unido), la longitud de esta condición no debe exceder 2" (50.8 mm) en posiciones individuales o 3" (76.2 mm) en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura.

6.33 CONCAVIDAD INTERNA.-

La concavidad interna se presenta cuando un cordón se funde apropiadamente y penetra el espesor de la pared de la tubería a lo largo de ambos lados del bisel, pero el centro del cordón (pase de raíz) está un poco por debajo de la superficie interna de la pared de la tubería. La magnitud de la concavidad interna debe definirse como la distancia perpendicular entre una extensión axial de la pared

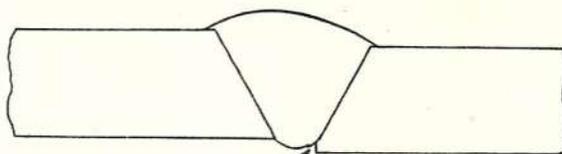
Uno o ambos Biseles pueden estar inadecuadamente rellenos en superficie interna.



Sin desalineamiento en la raíz.

Llenado incompleto en la raíz

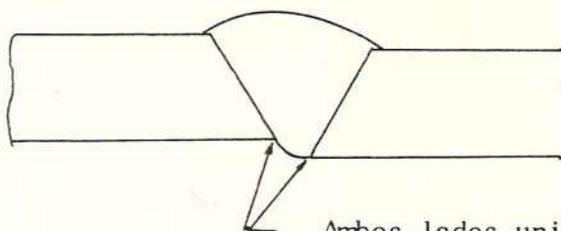
FIGURA C10- Penetración inadecuada en la raíz de la soldadura



Con desalineamiento en la raíz.

Llenado incompleto en la raíz en un lado solamente.

Aceptable solamente dentro de los límites del párrafo 6.32



Ambos lados unidos completamente por el metal de aporte

Puede ser aceptable, ver párrafo 6.32

FIGURA C11- Condición de desalineamiento

de la tubería y el punto más bajo de la superficie del cordón de soldadura (paragrafo 1.233).

Esta condición se muestra esquemáticamente en la Figura C12. La concavidad interna está asociada con un cordón de soldadura depositado continuamente y se diferencia de las áreas con quemones las cuales están asociados con metal de aporte depositado intermitentemente. Cualquier longitud de concavidad interna es aceptada siempre que la densidad de su imagen radiográfica no exceda a la del metal base adyacente. Si la densidad excede a la del metal base adyacente para quemones (paragrafo 6.41 y 6.42).

6.34 FUSION INCOMPLETA.-

La fusión incompleta, en la raíz ó en la parte superior de la junta, entre el metal de aporte y el metal base (ver Figura C13) no debe exceder 1" (25.4 mm) en longitud. La longitud total de tales condiciones en cualquier longitud de 12" (304.8 mm) de soldadura no debe exceder 1" (25.4 mm). Si la soldadura es menor a 12" (304.8 mm) de longitud, entonces la longitud total de tales condiciones no debe exceder al 8% de la longitud de la soldadura.

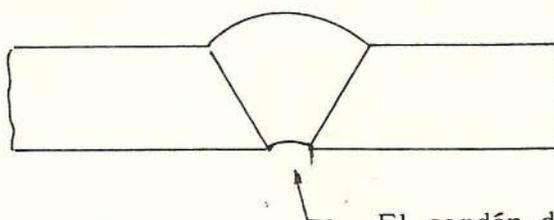
6.35 FUSION INCOMPLETA DEBIDA A UN BORDE FRIO (Cold Lap)

La fusión incompleta debido a un borde frio es una discontinuidad entre dos cordones de soldadura (pases) adyacentes o entre un cordón de soldadura y el metal base. Para propósitos de esta norma, la fusión incompleta debida a un borde frio es una discontinuidad subsuperficial (interna) y se diferencia así de la fusión incompleta referida en el paragrafo 6.34. La fusión incompleta debida a un borde frio está representada esquemáticamente en la Figura C14. Fusiones incompletas individuales debidas a un borde frio no deben exceder 2" (50.8 mm) en longitud. La longitud total de fusión incompleta debida a un borde frio en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura no debe exceder 2" (50.8 mm).

6.4 QUEMON.-

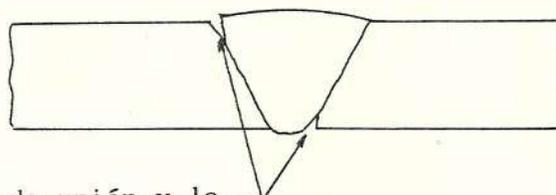
Un quemón es esa porción del cordón de raíz en donde la excesiva penetración causa la explosión del cordón hacia adentro de la tubería.

6.41 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR IGUAL O MAYOR a 23/8" (60.3 mm).-



El cordón de raíz ha fusionado en ambos lados de la superficie, pero el centro del cordón de raíz está ligeramente por debajo de la superficie interna de la tubería.

FIGURA C12.- Penetración inadecuada debida a concavidad interna.



Ausencia de unión y la discontinuidad está presente en la superficie.

FIGURA C13.- Fusión incompleta en el pase de raíz o en la parte superior.



Borde frío entre pases adyacentes.

Borde frío entre metal de aporte y metal base.

FIGURA C14.- Fusión incompleta debido a borde frío.

Cualquier quemón no reparado no debe exceder $1/4$ " (6.35 mm) o el espesor de la pared del tubo, escogiendo el menor valor, en cualquier dimensión de soldadura. La suma de las dimensiones máximas de quemones no reparados y separados en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura no debe exceder $1/2$ " (12.7 mm). Las radiografías de quemones reparados deben mostrar que estos han sido reparados apropiadamente. El quemón debe considerarse que ha sido reparado aceptablemente si la densidad de su imagen radiográfica no exceda a la del metal base adyacente.

6.42 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR MENOR A $2-3/8$ " (60.3 mm).-

No se acepta más de un quemón no reparado y no debe exceder $1/4$ " (6.35 mm) ó el espesor de la pared de la tubería, escogiendo el menor valor, en cualquier dimensión de soldadura. Las radiografías de quemones reparados deben mostrar que han sido reparados apropiadamente. El quemón debe considerarse que ha sido reparado aceptablemente si la densidad de su imagen radiográfica no excede a la del metal base adyacente.

6.5 INCLUSIONES DE ESCORIA.-

Una inclusión de escoria es un sólido no metálico atrapado en el metal de aporte o entre el metal de aporte y el metal base. Inclusiones de escoria alargadas (líneas continuas o interrumpidas, carrileras) se encuentran comúnmente en la zona de fusión. Inclusiones de escoria aisladas son de forma irregular y pueden localizarse en cualquier parte de la soldadura.

6.51 INCLUSIONES DE ESCORIA ALARGADAS (Carrileras)

6.511 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR MAYOR O IGUAL A 2-3/8" (60.3 mm).-

Cualquier inclusión de escoria alargada no debe exceder de 2" (50.8 mm) en longitud o 1/16" (1.59 mm) de ancho. La longitud total de inclusiones de escoria alargadas, en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura, no debe exceder de 2" (50.8 mm). Líneas de escoria paralelas deben considerarse como condiciones separadas si el ancho de cualquiera de ellas excede 1/32" (0.79 mm).

6.512 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR MENOR A 2-3/8"
(60.3 mm).-

Inclusiones individuales de escoria alargada no deben exceder de 1/16" (1.59 mm) de ancho, ó tres veces el espesor nominal de la pared, en longitud. Líneas de escoria paralelas deben considerarse como condiciones separadas si el ancho de cualquiera de ellas excede 1/32" (0.79 mm).

6.52 INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADAS.-

6.521 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR MAYOR O IGUAL A
2-3/8" (60.3 mm).-

El máximo ancho de cualquier inclusión de escoria aislada no debe exceder de 1/8" (3.77 mm). La longitud total de inclusiones de escoria aisladas, en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura, no debe exceder de 1/2" (12.7 mm); ni debe haber más de cuatro inclusiones de escoria aisladas de un ancho máximo de 1/8" (3.17 mm), en esta longitud.

6.522 PARA TUBERIA CON DIAMETRO EXTERIOR MENOR A 2-3/8"
(60.3 mm).-

POROSIDAD O BOLSAS DE GAS.-

La porosidad o bolsas de gas son vacíos que se presentan en el metal de aporte.

POROSIDAD ESFERICA.-

La dimensión máxima de cualquier poro-esférico individual no debe exceder de 1/8" (3.17 mm) ó el 25% de el espesor de la pared de la tubería, escogiendo el menor valor. La distribución máxima de porosidad esférica no debe exceder a las mostradas por las Figuras C15 ó C16.

POROSIDAD AGRUPADA.-

La porosidad agrupada la cual se presenta en el pase final no debe exceder un área de 1/2" (12.7 mm) en diámetro y las dimensiones máximas de cualquier porosidad individual, dentro del grupo no exceda de 1/16" (1.59 mm). La longitud total de porosidad agrupada, en cualquier longitud continua de 12" (204.8 mm) de soldadura, no debe exceder de 1/2" (12.7mm) La porosidad agrupada que se presenta en todos los otros pases debe cumplir con lo es

pecificado en el paragrafo 6.61.

POROSIDAD TUBULAR (Picadura).-

La porosidad tubular (picadura) es una discontinuidad alargada que resulta cuando los gases salen a través del metal de aporte, cuando éste está solidificado. La dimensión máxima de su imagen radiográfica no debe exceder de 1/8" (3.17 mm) o 25% del espesor de pared de la tubería, excogiendo el menor valor. La orientación de esta discontinuidad afectará sustancialmente la densidad de la imagen radiográfica, y cuando se apliquen estos límites, deben hacerse consideraciones como las dadas en el parágrafo 6.2. La distribución máxima de porosidad tubular no debe exceder a las mostradas por las Figuras C15 y C16.

CORDON HUECO (porosidad tunel).-

El cordón hueco es una porosidad lineal alargada que se presenta en el pase de raíz. La longitud máxima de la discontinuidad no debe exceder 1/2" (12.7 mm). La longitud total de cordón hueco, en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) de

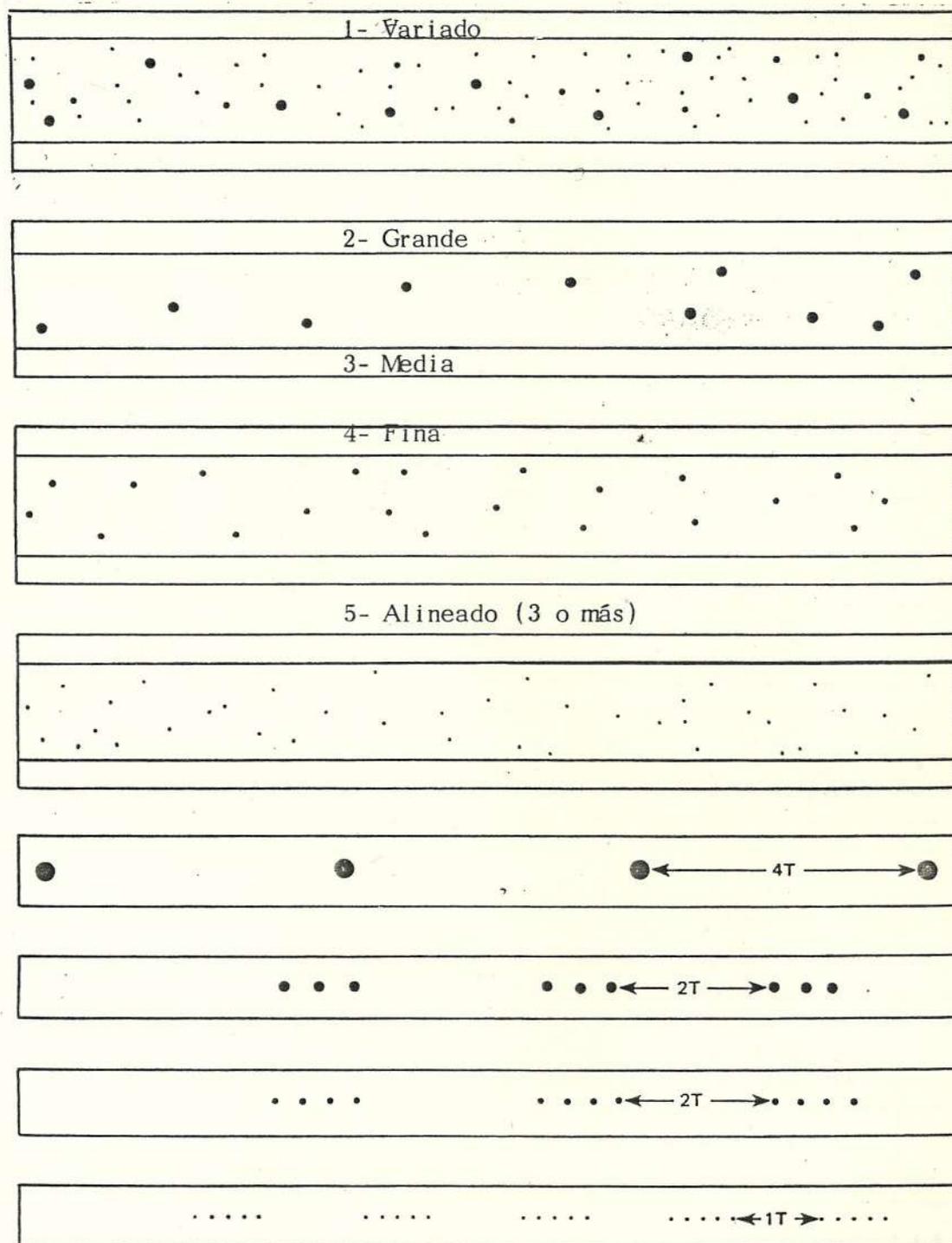


FIGURA C15.- Espesor de pared menor o igual a 1/2" (12.7mm) máxima distribución de bolsas de gas. Para dimensiones referirse al paragrafo 6.6).

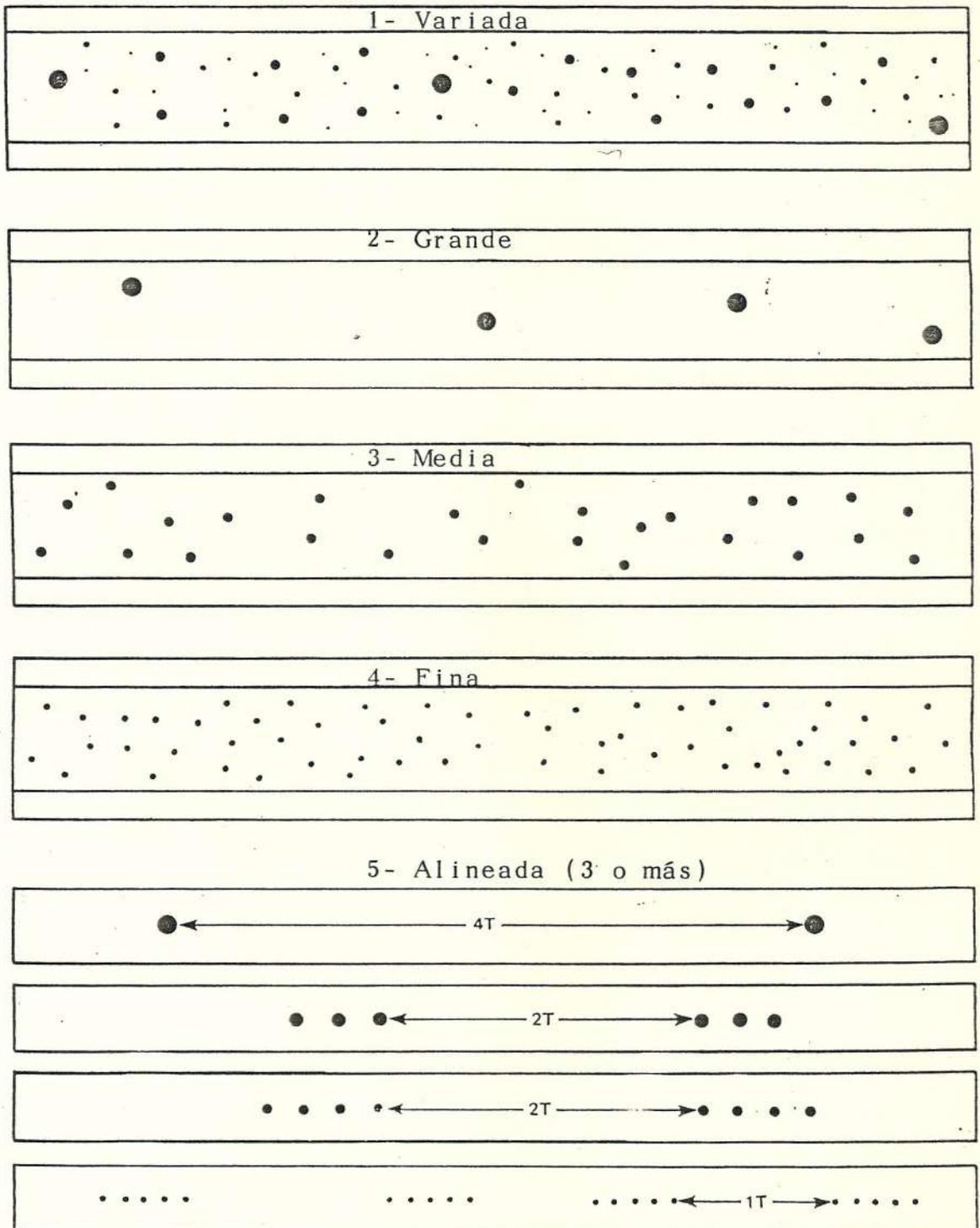


FIGURA C16.- Espesor pared mayor a $1/2''$ (12.7mm) máxima distribución de bolsas de gas (sin escala para el tamaño de bolsas de gas. Para dimensiones referirse al paragrafo 6.6).

soldadura, no debe exceder 2" (50.8 mm) Discontinuidades individuales debidas a cordón hueco, que exceden 1/4" (6.35 mm) en longitud, deben estar separadas por lo menos 2" (50.8 mm).

6.7 GRIETAS.-

Grietas dentro de un cráter o grietas en forma de estrella las cuales se presentan en los puntos de parada de cada uno de los pases de la soldadura y son el resultado de la contracción del metal de aporte, durante la solidificación, no son considerados defectos perjudiciales a no ser que su longitud exceda 5/32" (3.96 mm). Con la excepción de estas grietas, no deben aceptarse soldaduras que contengan otro tipo de grietas sin tener en cuenta su tamaño o localización.

6.8 ACUMULACION DE DISCONTINUIDADES.-

Excluyendo el desalineamiento (high-low) y el socavado, cualquier acumulación de discontinuidades que tengan una longitud total de más de 2" (50.8mm) en una longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura, o más del 8% de la longitud total de soldadura; es inaceptable.

6.9 SOCAVADO.-

El socavado es un canal fundido en el metal base adyacente a la presentación ó a la raíz de una soldadura y que no es rellenado por el metal de aporte. La profundidad del socavado puede determinarse por métodos visuales y pruebas mecánicas. Cuando son usados métodos visuales y mecánicos, el socavado adyacente al pase de presentación ó de raíz no debe exceder lo siguiente:

ProfundidadLongitud

Mayor de 1/32" (0.79 mm) o mayor del 12-1/2% del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea el menor.

No aceptable

Entre 1/64" y 1/32" (0.4 mm) (0.79 mm) o entre 6 y 12-1/2% del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea el menor.

2" (50.8 mm) en un longitud continua de 12" de soldadura (304.8 mm) ó 1/6 de la longitud de la soldadura, cualquiera que sea el menor.

ProfundidadLongitud

1/64" (0.4 mm) ó 6% del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea el menor.

Aceptable sin tener en cuenta la longitud.

Cuando se use radiografía, el socavado adyacente al cordón de vista y de raíz no debe exceder de 2 plg. (50.8 mm) en una longitud continua de 12 plg. (304.8 mm) 6 1/6 de la longitud de la soldadura, cualquiera que sea menor.

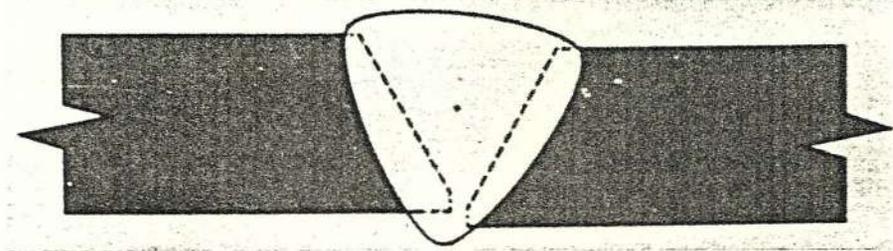
Cuando estén disonibles ambas mediciones mecánicas y radiográfica, la medición mecánica regirá.

- 6.10 Los defectos en el tubo o accesorios tales como laminaciones, extremos resquebrajados, quemaduras de arco, y otros, deben ser reparados o eliminados como lo indique la Compañía.

APENDICE D

REFERENCIAS RADIOGRAFICAS DE SOLDADURAS

- DESALINEAMIENTO ("HI-LO")



Forma y ubicación

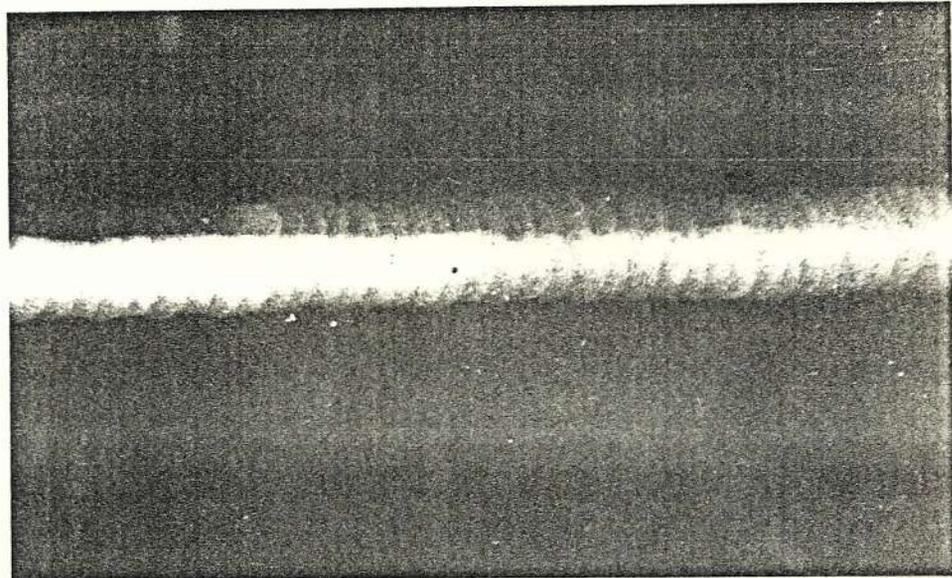
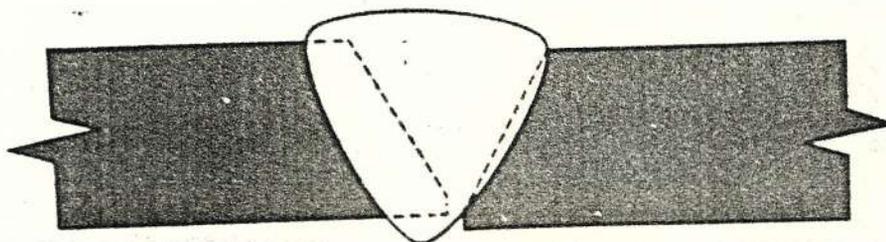


Imagen radiográfica

FIGURA D.1.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de Desalineamiento.

- DESALINEAMIENTO CON FALTA DE PENETRACION



Forma y ubicación

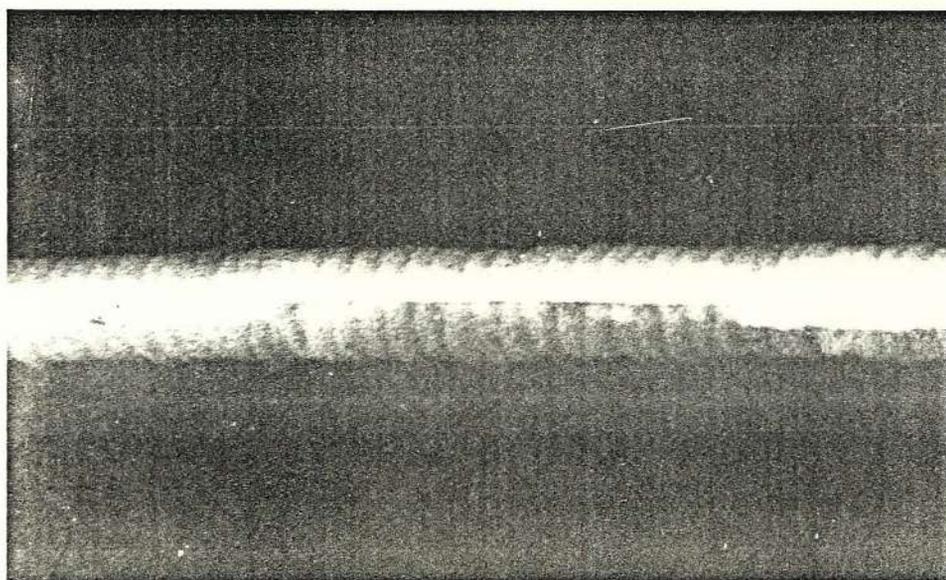
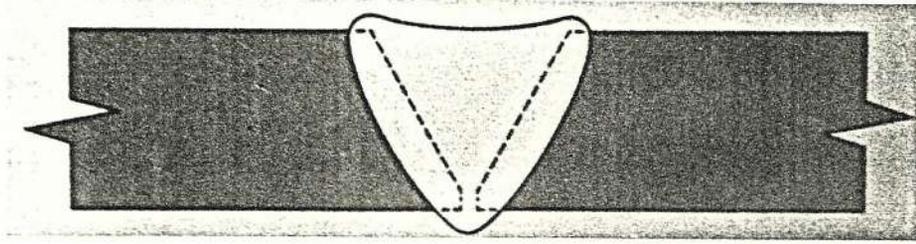


Imagen radiográfica

FIGURA D.2.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de desalineamiento con falta de penetración.

- CONCAVIDAD EXTERNA O LLENADO INSUFICIENTE



Forma y ubicación

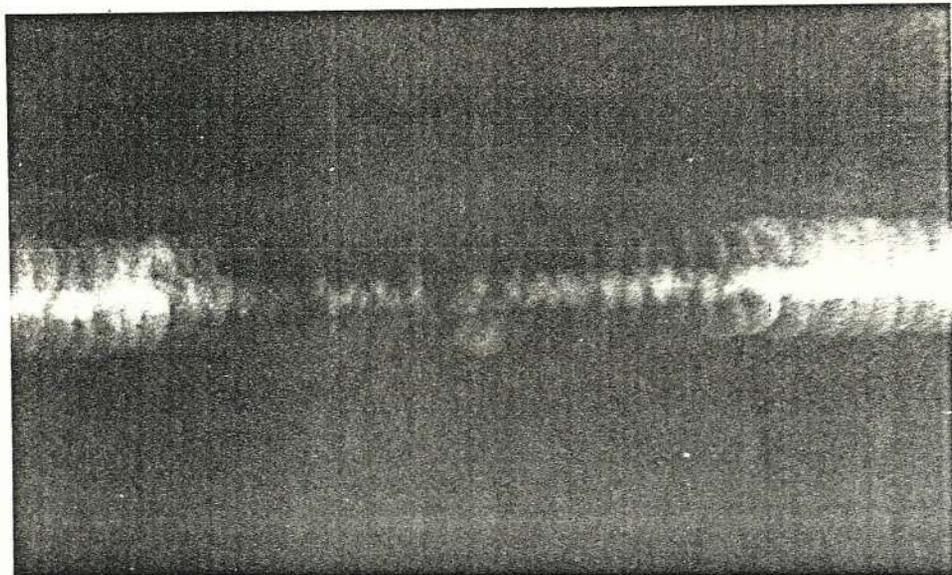
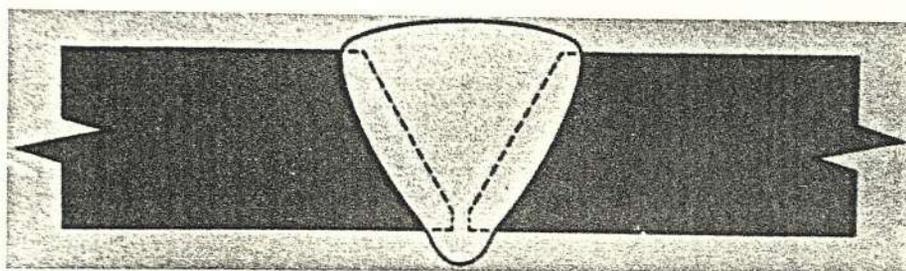


Imagen radiográfica

FIGURA D.3.- Forma, ubicación e imagen radiográfica del llenado insuficiente.

- PENETRACION EXCESIVA



Forma y ubicación

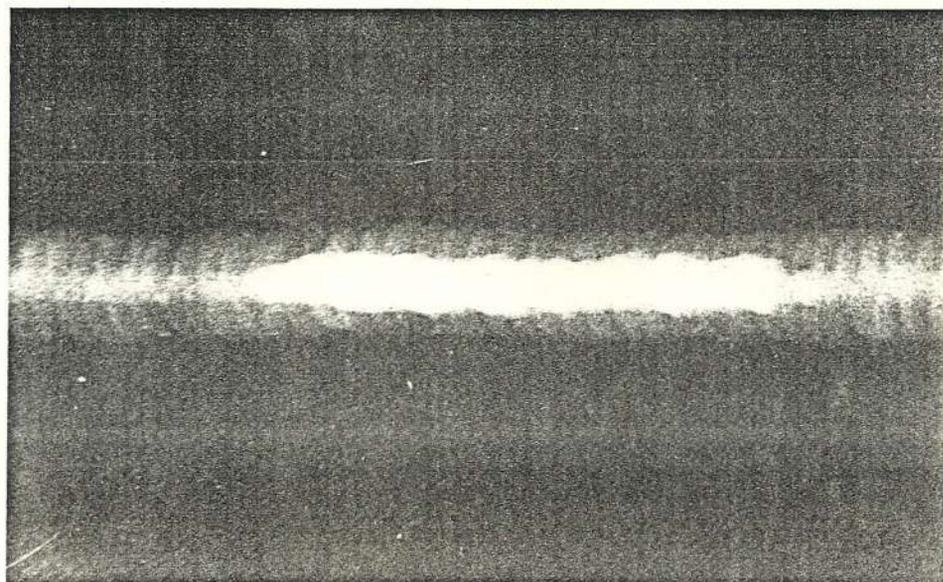
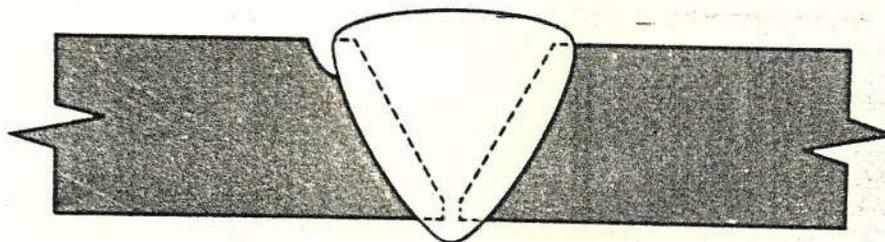


Imagen radiográfica

FIGURA D.4.- Forma,ubicción e imagen radiográfica de penetración excesiva.

- MORDEDURA EXTERIOR



Forma y ubicación

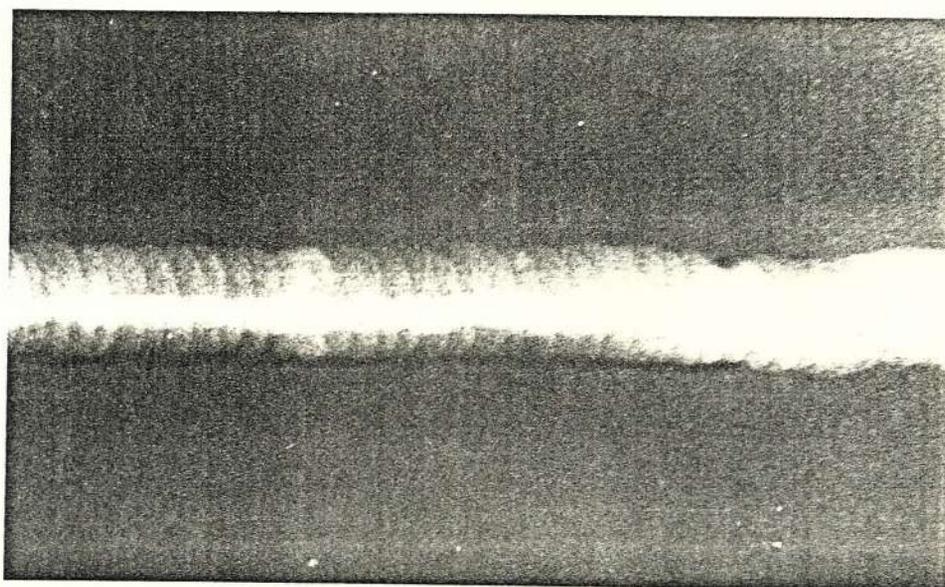
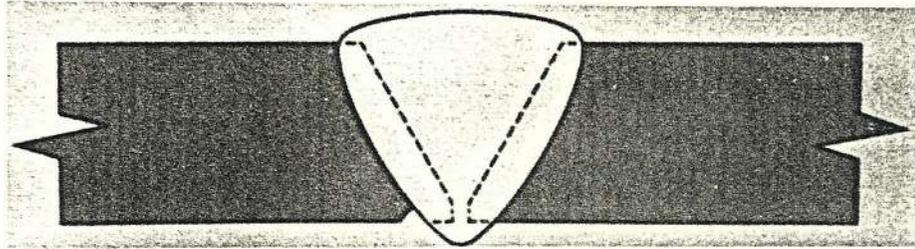


Imagen radiográfica

FIGURA D.5.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de mordedura exterior.

- MORDEDURA INTERIOR



Forma y ubicación

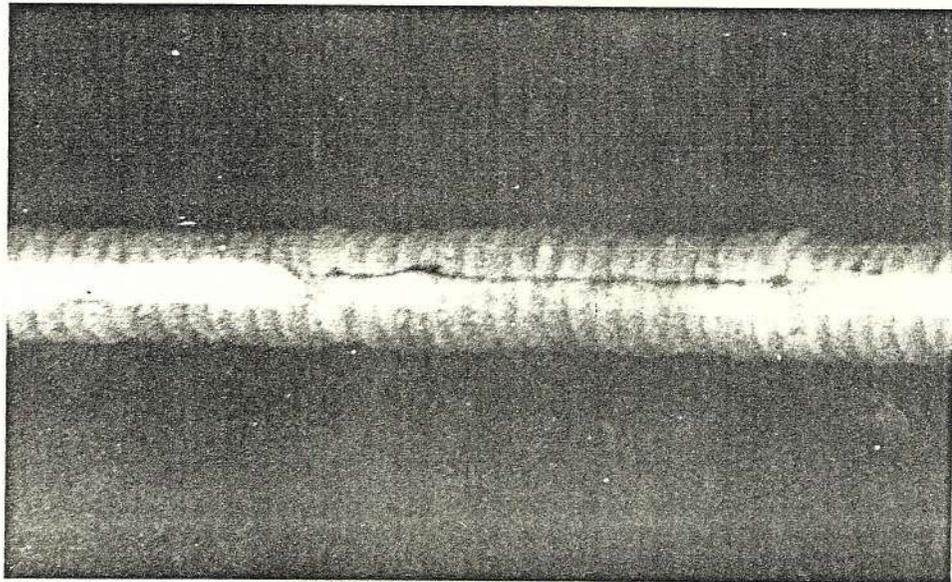
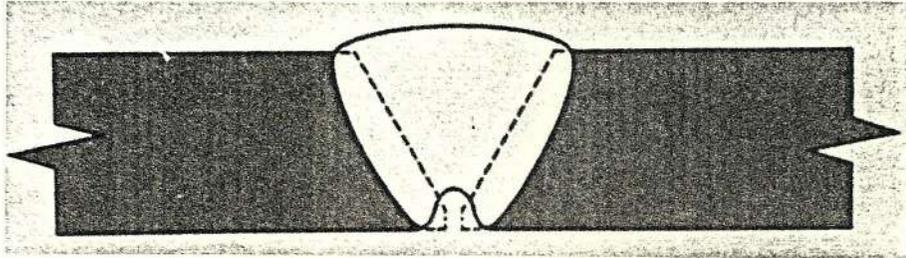


Imagen radiográfica

FIGURA D.6.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de mordedura interior.

- CONCAVIDAD INTERIOR



Forma y ubicación

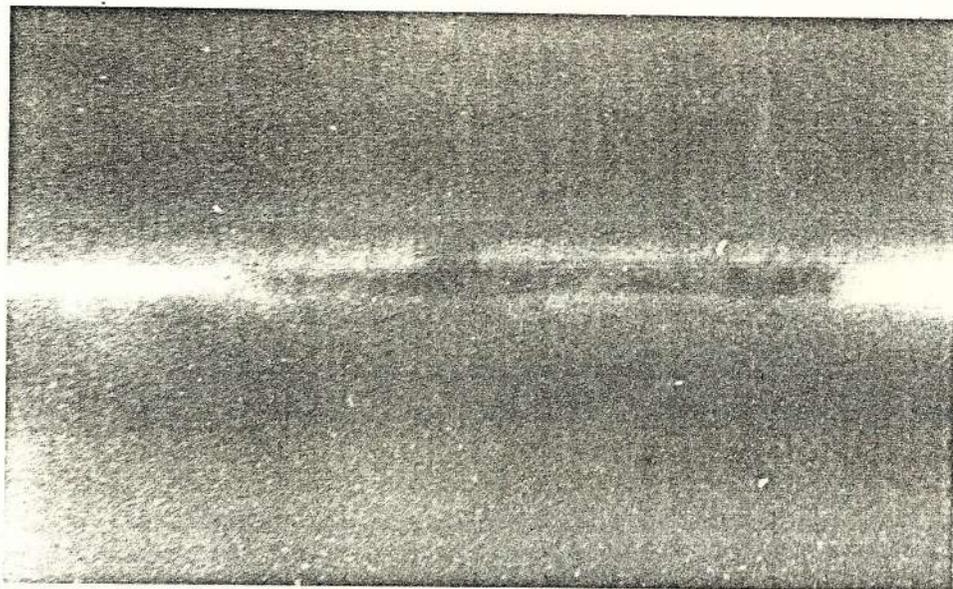
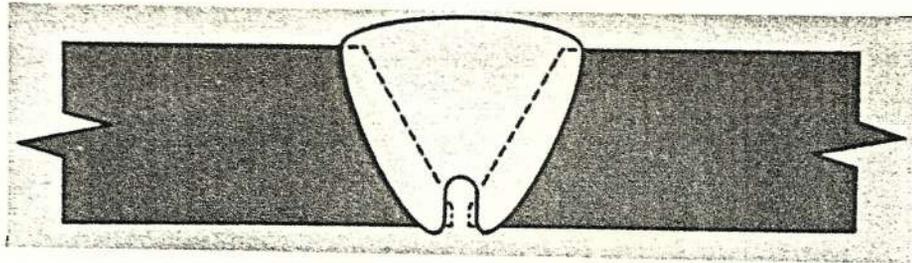


Imagen radiográfica

FIGURA D.7.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de concauidad interior.

- QUEMON



Forma y ubicación

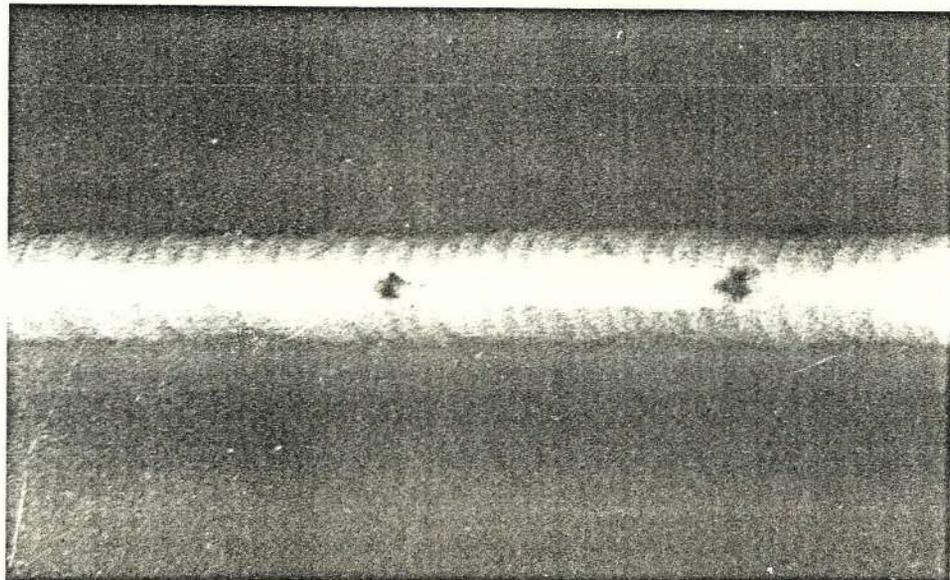
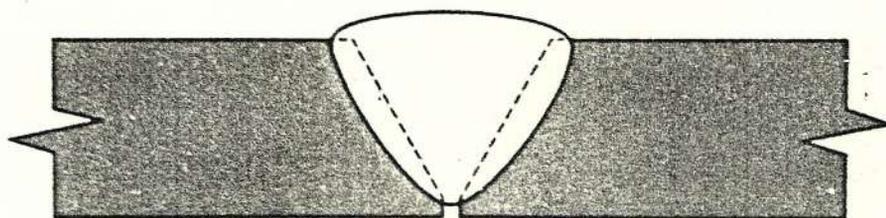


Imagen radiográfica

FIGURA D.8.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de Quemón

- FALTA DE PENETRACION



Forma y ubicación

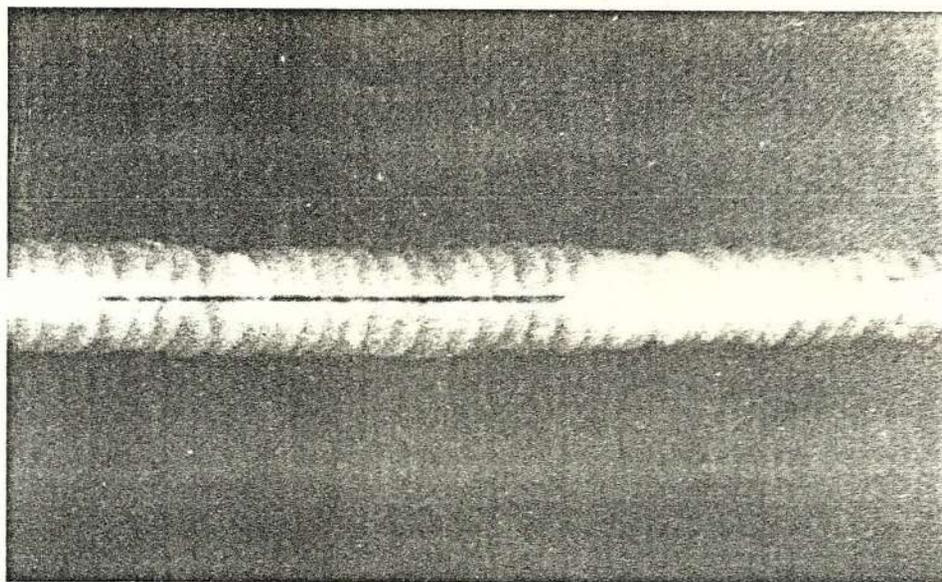
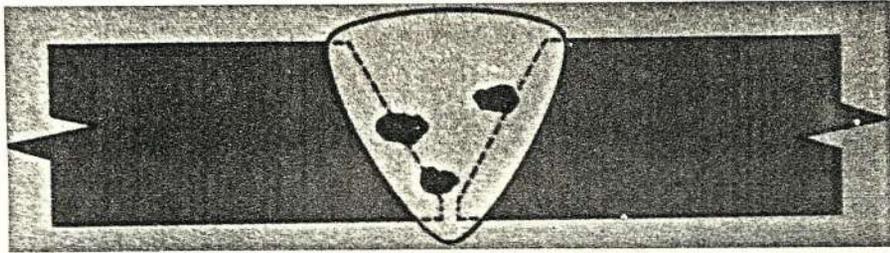


Imagen radiográfica

FIGURA D.9.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de penetración.

- INCLUSIONES DE ESCORIA (FORMA VARIADA)



Forma y ubicación

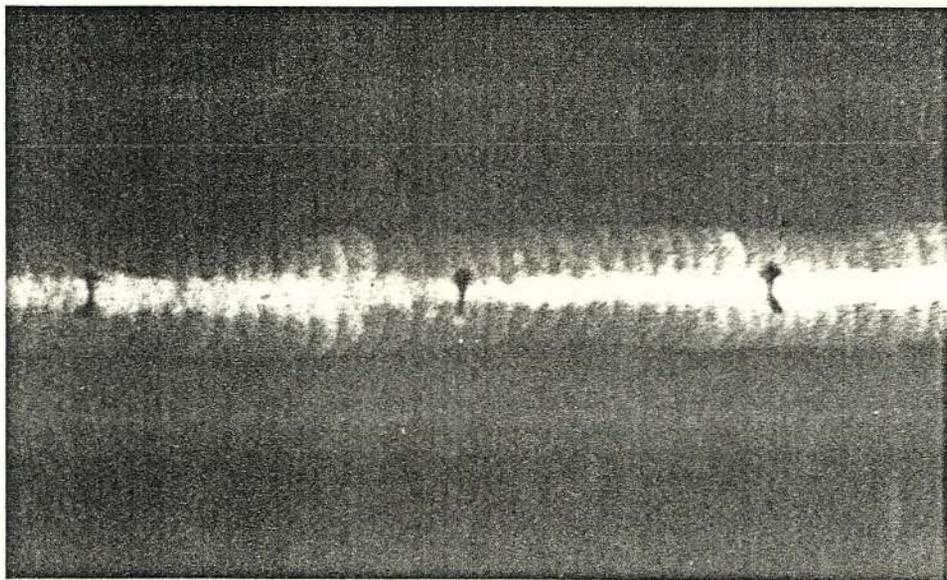
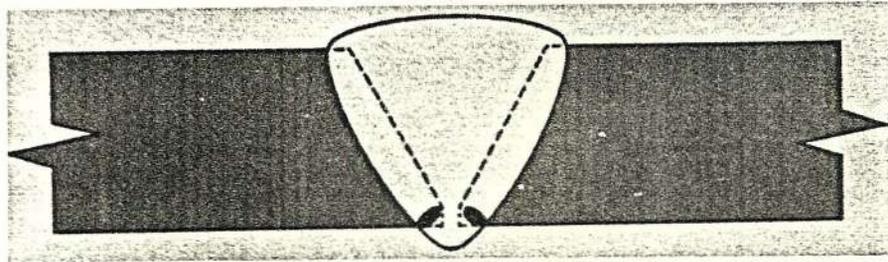


Imagen radiográfica

FIGURA D.10.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de inclusiones de escoria (forma variada).

- INCLUSIONES ALARGADAS



Forma y ubicación

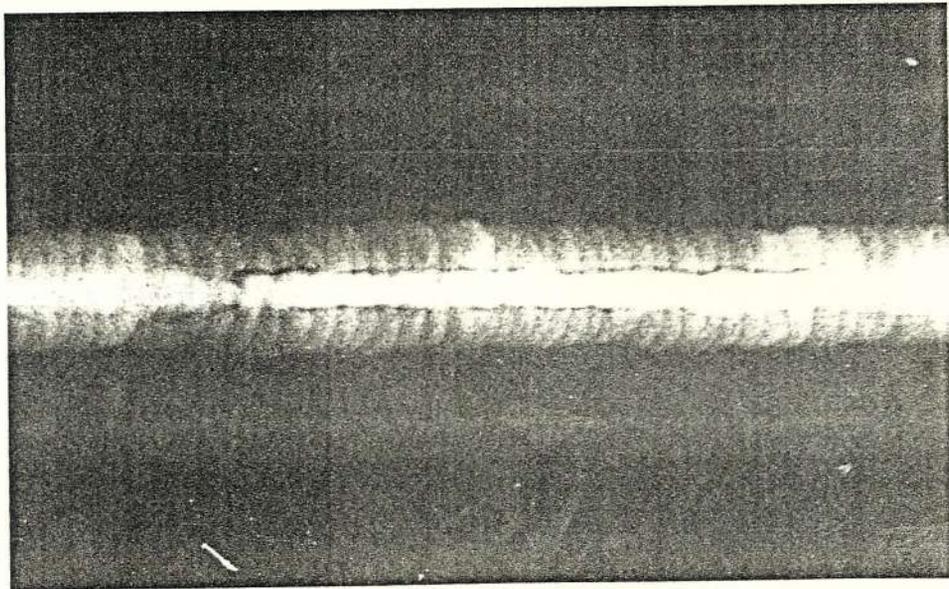
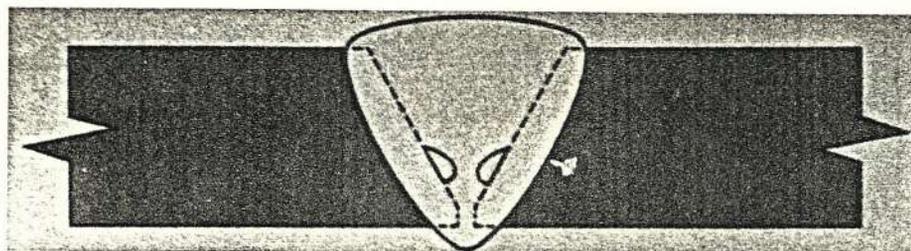


Imagen radiográfica

FIGUA D.11.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de inclusiones alargadas.

- FALTA DE FUSION (CON METAL BASE)



Forma y ubicación

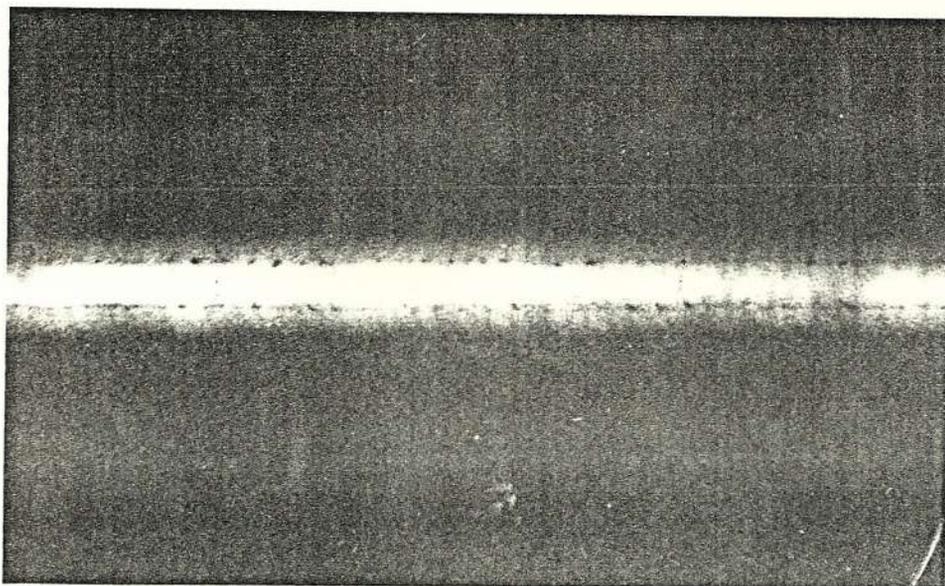
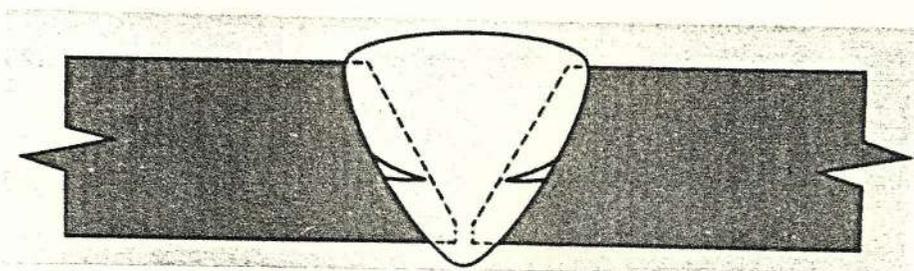


Imagen radiográfica

FIGURA D.12.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de fusión (con metal Base).

- FALTA DE FUSION (ENTRE PASADAS).



Forma y ubicación

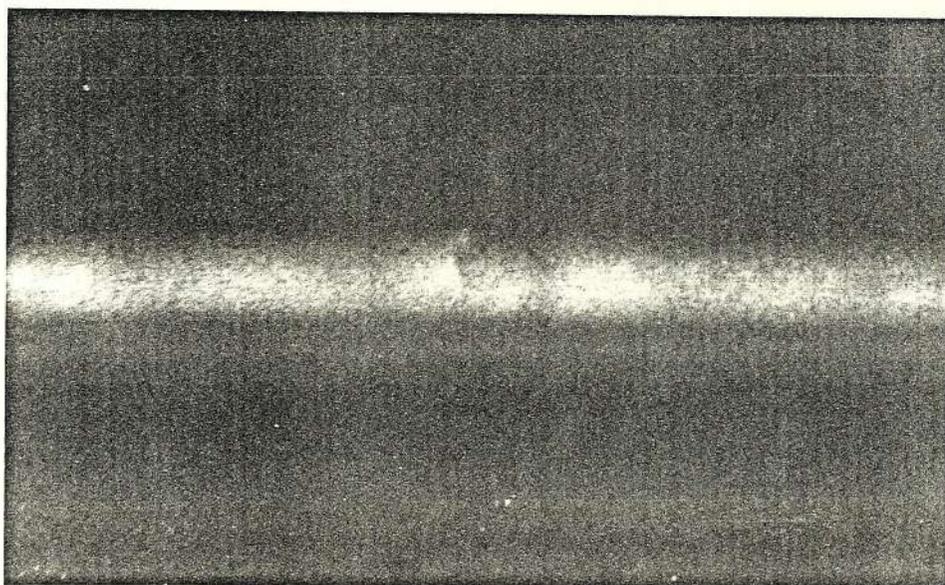
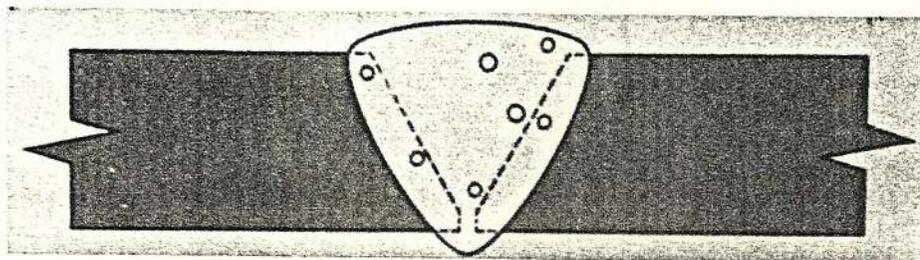


Imagen radiográfica

FIGURA D.13.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de falta de fusión (con metal Base).

- POROSIDADES (DISPERSAS)



Forma y ubicación

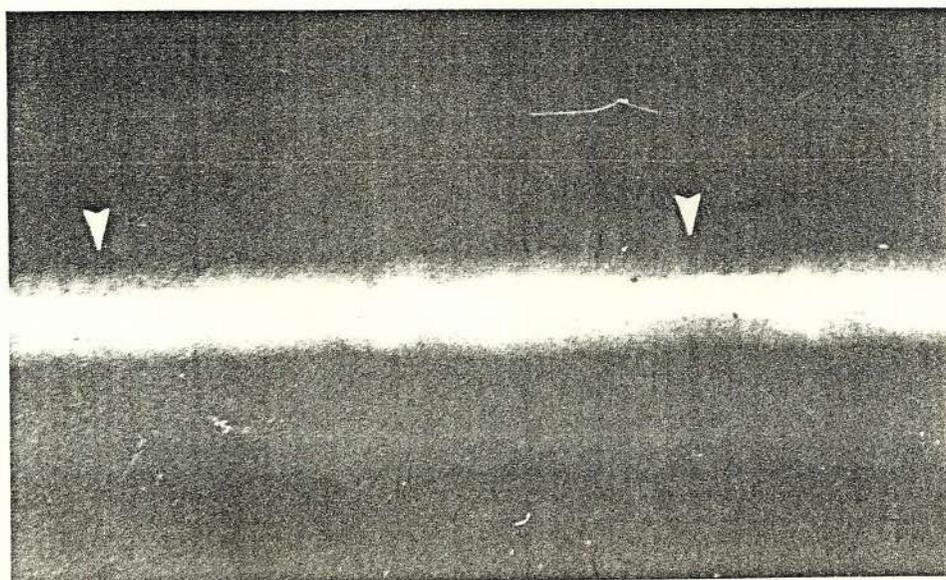
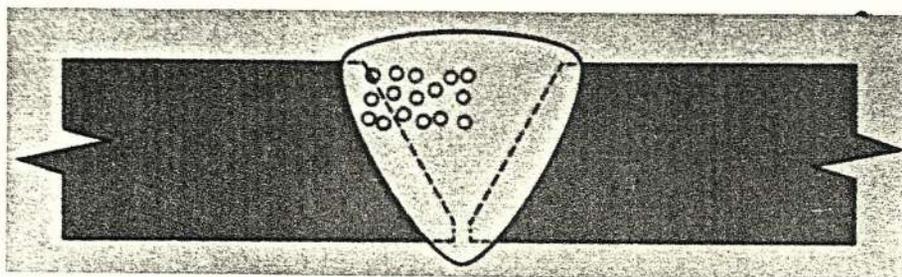


Imagen radiográfica

FIGURA D.14.- Forma, ubicación e imagen de porosidades (dispersas).

- POROSIDADES (AGRUPADAS)



Forma y ubicación

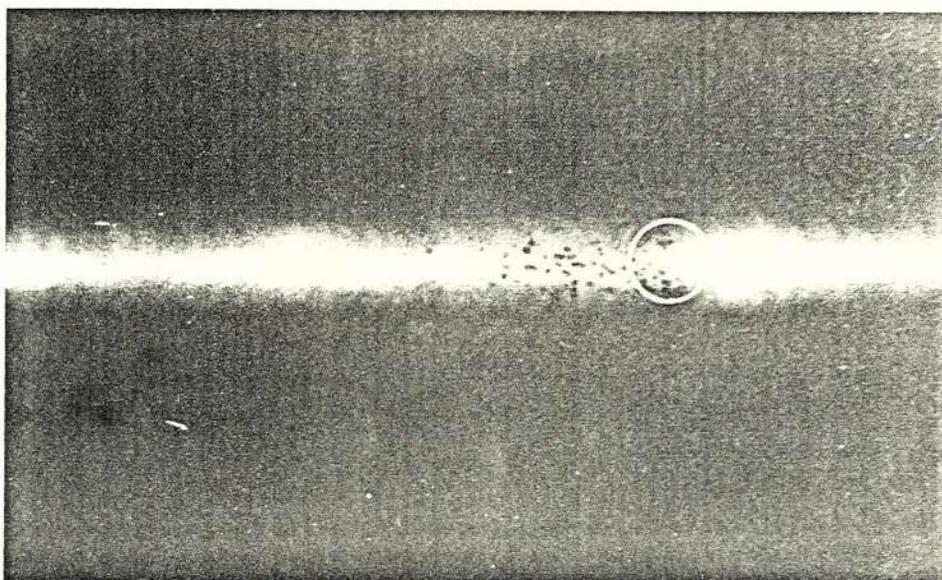
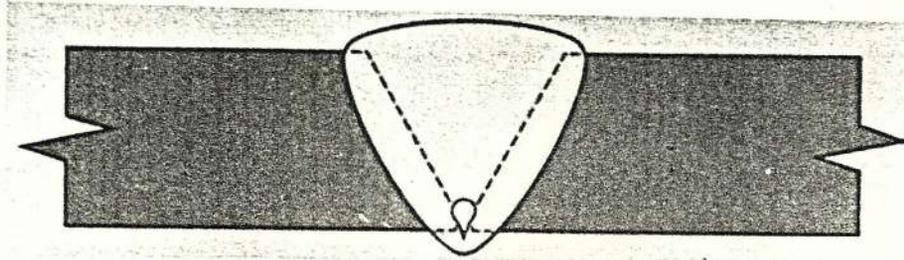


Imagen radiográfica

FIGURA D.15.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de porosidades (agrupadas).

- POROSIDAD ALINEADA Y ALARGADAS



Forma y ubicación

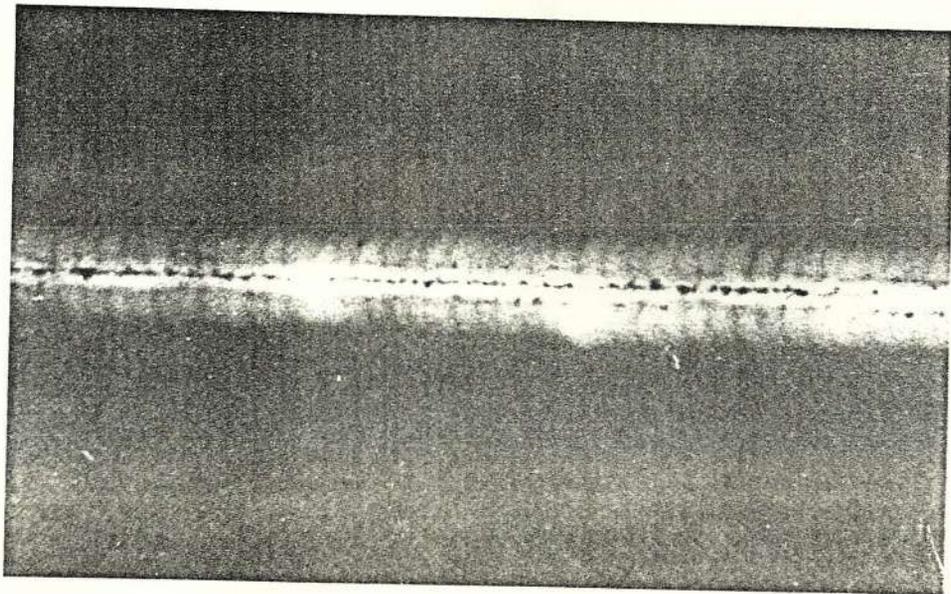
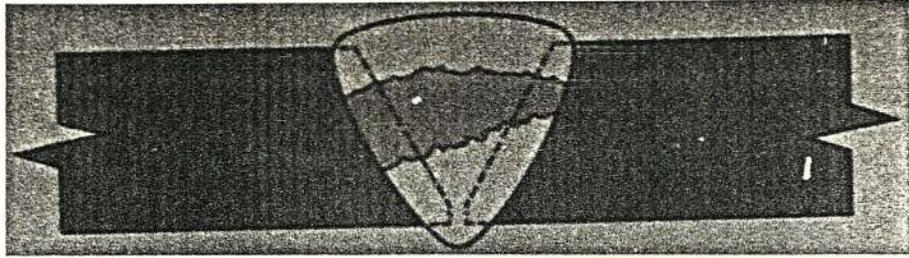


Imagen radiográfica

FIGURA D.16.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de porosidades alineadas y alargadas.

- FISURAS TRANSVERSALES



Forma y ubicación

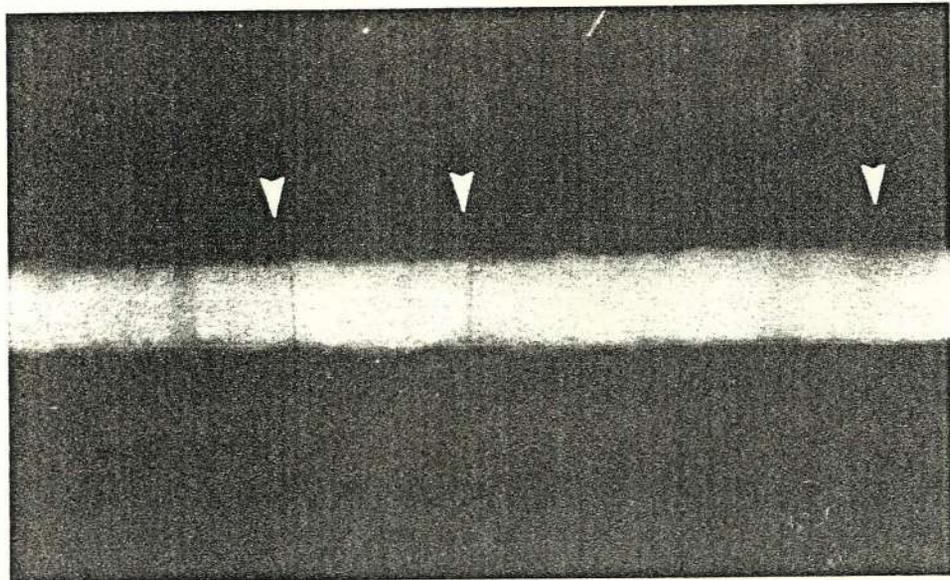
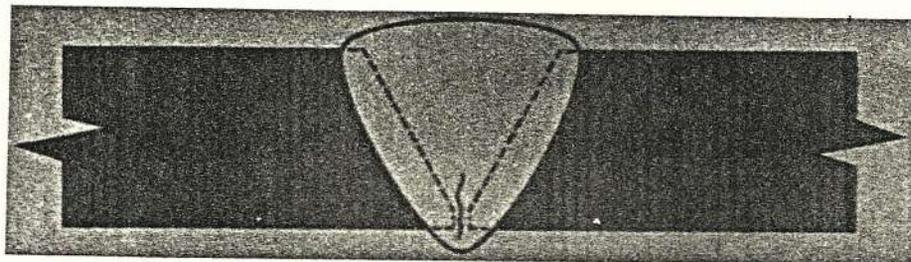


Imagen radiográfica

FIGURA D.17.- Forma, ubicación e imagen radiográfica de fisuras transversales.

- FISURAS LONGITUDINALES



Forma y ubicación

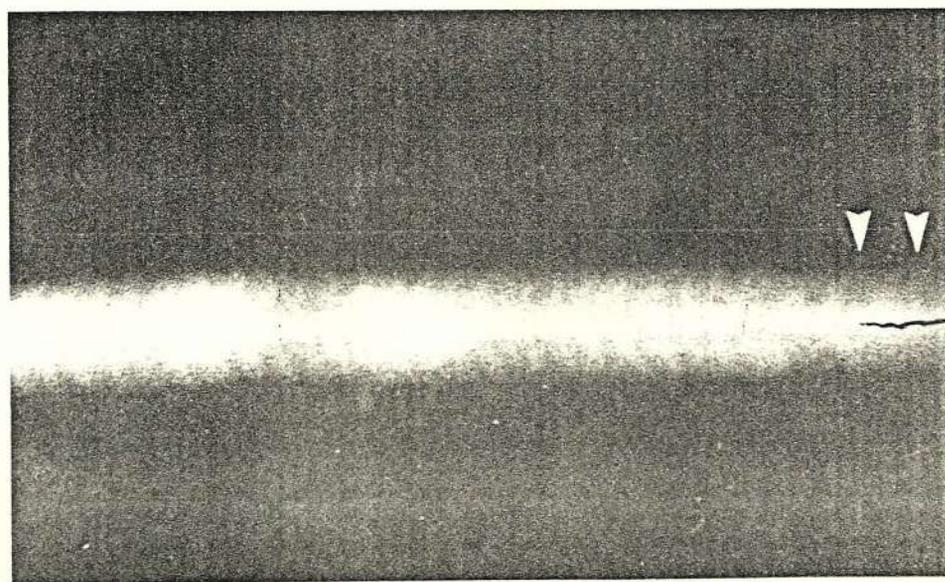


Imagen radiográfica

FIGURA D.18.- Forma, ubicación e imagen radiográfica fisuras longitudinales.

APENDICE E

TOMAS RADIOGRAFICAS (15)

RESULTADOS DEFECTUOSOS Y SUS POSIBLES CAUSAS

CONTRASTE INSUFICIENTE.-

a) El ennegrecimiento es normal

1. Radiación demasiado dura
2. Sobre-exposición compensada por un revelado más corto.
3. Revelador no apropiado o mal preparado
4. Revelado demasiado largo en un revelador demasiado frío.

b) El ennegrecimiento es insuficiente

1. Revelado demasiado corto
2. Revelador agotado
3. Revelador no apropiado o mal preparado

CONTRASTE EXAGERADO (AUSENCIA DE MEDIOS TONOS).-

1. Radiación poco penetrante
2. Sub-exposición compensada con un revelado demasiado largo.
3. Revelador mal preparado o no apropiado

ENNEGRECIMIENTO GENERAL INSUFICIENTE.-

1. Exposición insuficiente
2. Revelado demasiado corto
3. Revelador agotado
4. Revelador mal preparado o no apropiado

ENNEGRECIMIENTO GENERAL EXCESIVO.-

1. Exposición excesiva
2. Revelado demasiado largo o realizado a temperatura de de masiado alta.
3. Revelador mal preparado o no apropiado

NITIDEZ INSUFICIENTE

1. Distancia foco-película demasiado crota
2. La fuente de radiación o el objeto han estado desplazados durante la exposición.

3. Distancia película-objeto demasiado grande
4. Foco demasiado grande
5. Mal contacto película-pantalla
6. Pantalla de definición insuficiente
7. Película expuesta a un exceso de radiación difusa

VELO GRIS (LOCAL O GENERAL).-

1. Alumbrado del laboratorio no apropiado
2. Película demasiado expuesta a la luz de la linterna de cámara oscura (por demasiado tiempo o demasiado cerca),
3. Película expuesta involuntariamente a la radiación γ o a la luz blanca.
4. Fuerte radiación difusa
5. Película demasiado vieja o conservada en malas condiciones.
6. Fuerte sub-exposición compensada con un revelado exageradamente largo.
7. Revelador agotado o mal preparado

8. El revelador contiene sales metálicas nocivas procedentes, por ejemplo, de una soldadura inapropiada de los tanques.
9. El chasis conteniendo la película ha sido expuesta a un fuerte calor (rayos solares, radiadores de calefacción, etc.)
10. Cierre defectuoso del porta-películas (velo marginal)

VELO AMARILLO.-

1. Revelado muy largo en un revelador muy oxidado
2. Baño fijador demasiado agotado
3. La película no ha sido enjuagada suficientemente entre el revelado y el fijado.
4. Se puede producir un velo amarillo al cabo de un cierto tiempo (semanas o meses) si la película no ha sido suficientemente fijada.

VELO DICROICO (AMARILLO-VERDOSO POR REFLEXION, ROSA POR TRANSPARENCIA.-

1. Revelador contaminado por fijador
2. La película no ha sido enjuagada suficientemente después del revelado y el baño de fijado está agotado.
3. Al principio del fijado la película se ha pegado a otra (en este caso el revelado prosigue en el baño fijador).
4. Revelado muy largo en un revelador agotado
5. La película ha sido fijada parcialmente en un baño fijador agotado y luego expuesta a la luz blanca, tras lo cual se ha continuado el fijado.

CUARTEADO.-

Un velo grisáceo cuarteado es generalmente índice de una película demasiado vieja o mal conservada (humedad).

DEPOSITO BLANQUECINO.-

1. El agua empleada para preparar el revelador o el fijador es demasiado dura.

2. La película ha sido lavada en un agua demasiado dura
3. La película no ha sido enjuagada suficientemente después del revelado al emplear un baño fijador curtiente.
4. Revelador mal preparado: revelador no disuelto

MANCHAS CLARAS.-

1. Manchas redondas muy pequeñas de contorno delimitado muy netamente: no se ha tenido la película en movimiento durante los 30 primeros segundos del revelado, de manera que se han adherido burbujas de aire a la emulsión que han impedido que el revelador actuara en estos lugares.
2. Manchas muy pequeñas de contornos poco nítidos: la película no ha sido enjuagada suficientemente después del revelado, de manera que se ha producido un desprendimiento de anhídrido carbónico en la emulsión procedente de la reacción de los productos alcalinos del revelador con los productos ácidos del baño fijador.
3. Gotas de baño fijador (o de baño de parada) han caído sobre la película antes del revelado.

4. Manchas resultantes de acciones mecánicas (tales como presiones deslizantes o estáticas) sobre la película antes de la exposición (caída de un objeto pesado sobre la película sobre el embalaje o sobre el chasis).
5. Manchas resultantes de un secado rápido e irregular de la película. Este es el caso por ejemplo cuando hay gotas de agua adheridas a la película cuando se pone ésta a secar.
6. Se producen manchas claras cuando una película se adhierre a otra o al tanque durante el revelado.
7. Grasa que ha retardado o impedido la penetración del revelador.
8. La pantalla está deteriorada
9. Impurezas (por ejemplo partículas metálicas) que se encuentran entre la película y el chasis o entre la película y la pantalla en el momento de la exposición.
10. Pequeñas manchas claras en hueco, la mayoría de veces con bordes oscuros (la emulsión ha sido roída local-

mente por bacterias). Este defecto está provocado generalmente por un secado lento en un clima caliente y húmedo, sobre todo si el agua de lavado no es muy pura.

LINEAS O RAYAS CLARAS.-

1. El sobre que contiene la película ha sido objeto de rayas por medio de un objeto puntiagudo. Las líneas se presentan más claras que los contornos cuando se ha ejercido la presión sobre la película antes de la exposición.
2. La película no ha sido suficientemente agitada durante el revelado.
3. El secado no ha sido uniforme (la película ha sido secada con negligencia después del lavado).
4. Gotas de baño fijador o de baño de parada han atacado la emulsión antes del revelado.

FIGURAS CLARAS.-

1. Medias lunas claras que se forman cuando se ha toma-

do la película con más de dos dedos de la misma mano antes de la exposición.

2. Huellas digitales: se forman cuando se ha tocado la película con los dedos sucios de grasa; fijador, baño de parada o de ácido, antes de la exposición.

MANCHAS OSCURAS:

1. Gotas de revelador que han caído sobre la película antes del revelado.
2. Gotas de agua caídas sobre la película antes del revelado.
3. Manchas de descargas eléctricas: sobre todo a causa de la baja humedad relativa del aire. Las películas se cargan de electricidad estática con el mínimo rozamiento. Si la carga es suficientemente fuerte, pueden producirse descargas.
4. Manchas resultantes de una fuerte acción mecánica (presión deslizante o estática) ejercida sobre la película después de la exposición (caída de un objeto pesado sobre la película, sobre el embalaje o sobre el chasis).

5. Manchas de secado: consecuencia de un secado lento e irregular de la película. Es por ejemplo el caso de gotas de agua que se hallaban sobre la película en el momento de poner ésta a secar.
6. Partículas metálicas que se han pegado en la emulsión durante el revelado.

LINEAS O RAYAS OSCURAS.-

1. Arañazos: la emulsión ha sido arañada después de la exposición.
2. El sobre conteniendo la película ha sido rayado o es crito por medio de un objeto puntiagudo después de la exposición.
3. La película no ha sido suficientemente agitada duran te el revelado.
4. El secado no ha sido uniforme
5. Regueros provodados por partículas metálicas: si no se ha agitado la película durante el revelado, puede ocurrir que sales metálicas nocivas bajen por la su-

perficie de la película y provocan de este modo un reguero oscuro a su paso.

6. Una gota de agua que se ha desplazado a lo largo de la emulsión antes del revelado.
7. Pueden provocarse pequeñas rayas oscuras por el rozamiento de la película con las pantallas de plomo. Debe pues evitarse este deterioro de la película que es de tener sobre todo con ciertos formatos. Para ello se recomienda dar al chasis (de caucho) la curvatura necesaria, antes de accionar la bomba de vacío.

FIGURAS OSCURAS.-

1. Medias lunas oscuras (véase rúbrica "figuras claras") las medias lunas están más oscuras que las partes circundantes si el pliegue se ha producido después de la exposición.
2. Huellas digitales: la película ha sido tocada con los dedos sucios de revelador.
3. Descargas eléctricas: (véase rúbrica "manchas oscuras").

B I B L I O G R A F I A

1. American Petroleum Institute, Oil Pipeline Construction and Maintenance (2da. edición; Austin: The University of Texas, 1973).
2. CONSORCIO Petrosa-Bonatti, Libro de Datos Operativos, Poliducto Tres Bocas-Pascuales, 1984.
3. American Petroleum Institute, API SPECIFICATION FOR HIGH-TEST LINE PIPE, 1980.
4. CONSORCIO Petrosa-Bonatti, Especificaciones de Soldadura, Poliducto Tres Bocas-Pascuales, 1984.
5. C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas (México: Harla, 1972), pp. 212-213.
6. American National Standards Institute, Código ANSI B31.4: Liquid Petroleum Transportation Piping Systems.
7. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY, The Procedure Handbook

- OF Arc Welding, (12da. edición; Cleveland: The Lincoln Electric, 1973).
8. American Petroleum Institute, Código API 1104: Standard for Welding Pipelines and Related Facilities, 1980.
 9. The University of Texas, A Primer of Pipe Line Construction (2da. edición; Dallas: Pipeline Contractor Association, 1966).
 10. American Society of Mechanical Engineers, Código ASME Sección V, Artículo 2, 1977.
 11. J. Baez, Seguridad Radiológica en Radiografía Industrial, (Comisión Nacional de Energía Atómica; Argentina, 1981).
 12. BECOR, Procedimiento Radiográfico, Poliducto Tres Bocas-Pascuales, 1984.
 13. Consorcio Petrosa Bonatti, Calificación de Procedimiento de Soldadura, 1984.
 14. DUPONT, Radiographer's Weld Interpretation Reference, (Delaware Dupont, 1984).

15. AGFA-GEVAERT, Radiografía Industrial, Bélgica