

T. 671.52  
ASPt

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL  
LITORAL

" TECNICAS DE INSPECCION EN MATERIALES  
Y PROCESOS PARA LA CONSTRUCCION DE RECIPIENTES  
DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS  
LIMPIOS DEL PETROLEO "

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

POR

BENJAMIN LASPIAZU

GUAYAGUIL-ECUADOR JUNIO, 1982

## AGRADECIMIENTO

Al ING. OMAR SERRANO V., Director de esta tesis, por su decidida y constante colaboración en el desarrollo de este trabajo.




BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

Para todas aquellas personas que directa e indirectamente han colaborado en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A MI MADRE



.....  
ING. OMAR SERRANO V.  
Director de Tesis



## R E S U M E N

La industrialización del Ecuador en el último decenio se ha realizado a pasos agigantados. Esta industrialización trajo como consecuencia grandes requerimientos energéticos para poner en marcha sus numerosas instalaciones. El gobierno central a través de sus instituciones autónomas, la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE, y el Instituto de Electrificación INECEL, han realizado obras de infraestructura para satisfacer esta creciente demanda.

El Estado a través de CEPE realiza la búsqueda, explotación, industrialización y distribución de hidrocarburos en todo el país. Por medio de INECEL, realiza la electrificación del territorio nacional, con el tendido de redes y la construcción de centrales de generación de fluido eléctrico.

La Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, institución a la cual el autor del presente trabajo pertenece desde hace dos años, ha realizado en la estructuración de la distribución de hidrocarburos, la construcción de varios centros de Almacenamiento de Productos Limpios del Petróleo en las principales ciudades del País. Igualmente ha construído líneas de flujos que unen estos lugares con las zonas productivas de hidrocarburos.

Por ser la ciudad de Guayaquil, el principal centro industrial del Ecuador, el 23 de Julio de 1979, la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE, y la Compañía Harbert Construction Corporation HCC, firmaron un contrato para el suministro de materiales, equipos y construcción del Terminal de Pascuales. La finalidad de este Terminal es la de almacenar y distribuir Productos Limpios derivados del Petróleo para la ciudad de Guayaquil y su zona de influencia. La localización del mismo es la Parroquia Pascuales. Cuenta con una capacidad total de Almacenamiento de 85'730.000 LTS.

Es en la construcción de este Patio de Tanques donde participé en forma directa como parte del equipo de fiscalizadores. Las experiencias adquiridas transmito en este trabajo. Se recalca la necesidad de documentar estas experiencias, dado que CEPE está desarrollando nuevos campos de explotación hidrocarburífera, por lo cual debe aumentar su capacidad de almacenamiento con nuevos patios de tanques en todo el país, inclusive en el Archipiélago Galápagos.

Es de anotar que si bien las técnicas utilizadas para la inspección de Materiales y Procesos en la Construcción del Terminal de Pascuales no son nuevas, su difusión en el País no ha estado a la altura de los requerimientos actuales, más aún

si no se cuenta con una normalización al respecto. Por esta razón todos los trabajos se rigieron según las normas Americanas API del Instituto del Petróleo, AWS de la Sociedad de Soldadura, ASME de la Sociedad de Ingenieros Mecánicos, ASTM de la Sociedad de Pruebas de Materiales, etc. Todas estas normas regulan la selección del personal, de equipos, de materiales, de procesos, y de la aceptación o rechazo del trabajo final.

Conocedor del futuro desarrollo de la Corporación Estatal Petrolera, e igualmente conocedor de la falta de regulaciones nacionales por haber estado involucrado en la construcción del Terminal de Pascuales, es que he creído necesario divulgar mis experiencias, esperando que ellas sean de utilidad para los profesionales en esta rama de Ingeniería.



## I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE TABLAS.....	16
LISTA DE FORMATOS.....	18
I. INTRODUCCION.....	19
1.1 Objetivos y Justificación.....	19
1.2 Productos Limpios e Instalaciones.....	20
1.3 Documentos Técnicos Referenciales.....	22
II. CONSIDERACIONES GENERALES.....	23
2.1 Materiales.....	23
2.2 Calificación del Procedimiento de Soldadura.....	42
2.3 Calificación de Soldadores.....	57
2.4 Inspección y Pruebas.....	62
2.4.1 Ensayos no Destructivos.....	63
2.4.2 Ensayos Destructivos.....	101
2.5 Reparaciones.....	115
2.5.1 Criterios de Decisión.....	116
2.5.2 Técnicas Operativas.....	120

	Pág.
III. DISEÑOS Y CALCULOS.....	123
3.1 Selección de Materiales.....	123
3.2 Selección de Espesores de Planchas.....	126
3.3 Diseño de Juntas, Biseles y Rolado.....	138
3.4 Diseño de Accesorios y Miscelaneas.....	141
IV. INSPECCION TECNICA EN MATERIALES Y PROCESOS...✓...	154
4.1 Ensayos no Destructivos.....	154
4.1.1 Método Visual.....	154
4.1.2 Método Radiográfico.....	164
4.1.3 Método de Tintas Penetrantes.....	167
4.1.4 Método de Caja de Vacío.....	170
4.2 Prueba Hidrostática.....	173
4.3 Ensayos Destructivos.....	174
4.3.1 Prueba de Tension.....	174
4.3.2 Prueba de Doblado.....	175
4.3.3 Prueba de Dureza.....	176
V. EVALUACION DE RESULTADOS.....	178
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	182



Pág.

APENDICE:

a.- GLOSARIO DE TERMINOS.....	186
b.- TABLAS Y PLANOS.....	189
c.- BIBLIOGRAFIA.....	216



BIBLIOTECA DPTO. DE INGENIERIA MECANICA

## LISTA DE FIGURAS



FIGURA N°

pág.

1	Identificación de Electrodo (Ref. 3).....	29
2	Procesos de Soldadura por arco (Ref. 6).....	43
3	Circuito de Soldadura (Ref. 7).....	46
4	Soldadura por arco eléctrico (Ref. 7).....	46
5	Procesos de Arco Sumergido (Ref. 7).....	46
6a	Desalineamiento (Ref. 9).....	50
6b	Falta de Fusión (Ref. 9).....	50
6c	Falta de Penetración (Ref. 9).....	50
6d	Solape (Ref. 7).....	50
6e	Porosidad (Ref. 7).....	50
6f	Mordedura (Ref. 7).....	50
7	Corte de Probetas (Ref. 11).....	59
8a	Aplicación del Penetrante (Ref. 14).....	71
8b	Remoción del exceso de penetrante (Ref. 14)..	71
8c	Aplicación del Revelador (Ref. 14).....	71
9	Campo magnético en derredor de un magneto (Ref. 14).....	75
10	Magneto Cortado y Unido (Ref. 14).....	75
11	Campo de fuga (Ref. 14).....	75
12	Formas de magnetizar un material (Ref. 14)...	78
13	Procesos Radiográfico (Ref. 14).. ..	82

	Pág.
14 Penetrametro estándar para 1 pulg. de espesor (Ref. 14).....	82
15 Uso del Penetrametro (Ref. 14).....	82
16 Ondas Longitudinales, Transversales y Superfi- ciales (Ref. 13).....	91
17 Reflexión y lectura en Osciloscopio de Ondas (Ref. 14).....	91
18 Ensayo de inmersión, dispersión de la señal (Ref. 14).....	91
19 Corrientes de Eddy (Parasitas) (Ref. 14).....	96
20 Cámara de vacío (Ref. 5).....	99
21 Diagrama Tensiones - Alargamientos de un ace- ro Ductil (Ref. 16).....	105
22 Probeta reducida para tensión (Ref. 11).....	108
23 Dobladora de Probetas (Ref. 12).....	111
24 Criterios de Decisión (Ref. 9).....	119
25 Diagrama de cuerpo libre de recipientes con diferentes apoyos (Ref. 17).....	129
26a Paso de Hombre de Cuerpo (Ref. 5).....	145
26b Paso de Hombre de Techo (Ref. 5).....	146
27 Puerta de limpieza de un tanque de almacena- miento (Ref. 5).....	150
28 Forma correcta de almacenar planchas.....	158
29 Método de manipular las planchas para armar	

	Pág.
el cuerpo	160
30 Métodos típicos para ajustar huelgos para planchas del fondo y del techo.....	161
31 Métodos de posicionamiento y alineamiento de planchas del cuerpo.....	163
32 Requerimientos de rayos X para el cuerpo del tanque (Ref. 5).....	169
B.1.- Número y dimensión de poros para soldaduras de 3mm. (Ref. 11).....	190
B.2.- Número y dimensión de poros para soldadura de 3mm a 6mm. (Ref. 11) .....	190
B.3.- Número y dimensión de poros para soldaduras de 6mm. a 13mm. (Ref. 11).....	190
B.4- Número y dimensión de poros en suelda de 12.7mm (Ref. 11).....	191
B.5.- Número y dimensión de poros en suelda de 19mm (Ref. 11).....	192
B.6.- Número y dimensión de poros en suelda de 25.4mm (Ref. 11).....	193
B.7.- Número y dimensión de poros en suelda de 51mm. (Ref. 11).....	194
B.8.- Número y dimensión de poros en suelda de 76mm.	

	Pág.
(Ref. 11).....	195
B.9.- Preparación de Biseles (Ref. 18).....	196
B.10.- Preparación de Biseles (Ref. 18).....	197
B.11.- Fórmulas de esfuerzo para el cálculo de Juntas (Ref. 20).....	198
B.12.- Fórmulas de esfuerzo para el cálculo de Juntas (Ref. 20).....	199



## LISTA DE TABLAS

TABLA N°		Pág.
I	Características mecánicas del acero ASTM A283 (Ref. 1).....	24
II	Requerimientos químicos del acero ASTM A283 grado C (Ref, 1).....	24
III	Defectos posibles en planchas metálicas (Ref. 3)	27
IV	Características de algunos electrodos de soldadura AWS 5.1 (Ref. 3).....	32
V	Rangos de corriente (amperios recomendados (Ref. 3).....	33
VI	Temperaturas recomendadas para almacenar y precalentar electrodos de soldadura (Ref. 3).	35
VII	Características químicas de tubería de línea (Ref. 4).....	38
VIII	Características mecánicas de tubería de línea (Ref. 4).....	38
IX	Medidas estandares de penetrámetros para diferentes espesores (Ref. 4).....	86
X	Espesores de planchas para tamaños tipos en anillos de 96.....	134
XI	Paso de Hombre de Cuerpo de 24 pulg. (Ref. 5)	147



TABLA N<sup>o</sup>

Pág.

XII	Dimensiones de un Paso de Hombre de Techo (Ref. 5).....	148
XIII	Dimensiones de la Puerta de Limpieza (Ref. 5)	148
XIV	Espesor de los Tanques y Flanges de la Puerta de Limpieza (Ref. 5).....	151
XV	Dimensiones de las escaleras (Ref. 5).....	151

## LISTA DE FORMATOS

FORMATO N°		Pág.
I	Prueba de calificación de Soldadores.....	61
II	Registro de Prueba Hidrostática de los Tanques	102
III	Reporte de Inspección Radiográfica.....	168



## I. INTRODUCCION

### 1.1 OBJETIVO Y JUSTIFICACION.

El objetivo de este trabajo es llevar a conocimiento de los ingenieros involucrados en la construcción de recipientes para almacenamiento de productos limpios del petróleo, los lineamientos generales que regulan dichas obras basadas en la experiencia obtenida durante la construcción del Terminal de Pascuales, el más grande del país, de propiedad de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE).

Este trabajo en cuénta su justificación si se toma en consideración que hasta la fecha en el país no existe una reglamentación que sirva de guía a las antes nombradas labores. Sin embargo se anota que no se trata de una reglamentación a ser utilizada obligatoriamente, sino una guía o agenda que sirva de consulta.

Aquí se tomarán en cuenta los pasos fundamentales a ser llevados a cabo antes, durante y después de terminada la obra de construcción de recipientes de almacenamiento de productos limpios de petróleo, lo cual será de gran bene

ficio para el desarrollo tecnológico nacional en el campo petrolero.

## 1.2 PRODUCTOS LIMPIOS E INSTALACIONES.

Denomínase productos limpios a aquellos obtenidos luego del proceso de la destilación a la que se somete el petróleo crudo en las refinarias; instalaciones en las cuales se obtienen los distintos derivados y cuyas características están definidas siempre tomando como referencia las Normas y Especificaciones del Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute, API). Los productos que interesan al desarrollo del presente trabajo son aquellos utilizados como combustibles, tales como: Gasolina, Kerex, Fuel Oil, Kerosene, Jet Fuel, Diesel. En nuestro país su almacenamiento y distribución está a cargo de CEPE, la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, la misma que se ha preocupado de construir la infraestructura necesaria para cumplir con dicha finalidad.

Para el almacenamiento de los mencionados productos limpios se utilizan recipientes metálicos de forma cilíndrica vertical, que se agrupan en los denominados patios de tanques. Dichos patios de tanques cuentan con todos

los accesorios necesarios para el manejo de productos, ya sea en la recepción o en el despacho; por medio de tuberías, válvulas, contadores, bombas, etc., además de las debidas protecciones impuestas por normas internacionales de seguridad, tales como el sistema contra incendios a base de espuma, diques de seguridad, piscinas de decantación, etc.

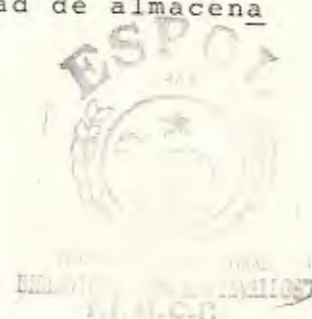
El Terminal Pascuales cuya construcción se terminó en Marzo de 1981, esta localizado en la Parroquia Pascuales del Cantón Guayaquil en el kilometro 14 1/2 de la carretera a Daule. Este terminal cuenta con un área aproximada de 82 hectáreas, en las que estan comprendidas las siguientes instalaciones:

- Tanques de Almacenamiento y Distribución;
- Sistema de Manipuleo de Productos;
- Estación de Bombeo y Plataforma de carga de camiones;
- Sistema contra incendios;
- Equipos de Energía Auxiliar; y
- Edificios de Administración

El Terminal de Pascuales tiene una capacidad de almacenamiento de:

Diesel 40710 m<sup>3</sup>

Kerex 9880 m<sup>3</sup>



Gasolina 80 octanos 28530 m<sup>3</sup>

Gasolina 92 octanos 6610 m<sup>3</sup>.

y se puede atender 14 camiones cisternas a la vez. Esto trae como beneficio el pronto despacho y distribución de productos.

### 1.3 DOCUMENTOS TECNICOS REFERENCIALES.

Para la elaboración del presente trabajo se tomaron como documentos referenciales, las normas API, del Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute) por ser la de más amplia utilización en el medio. De las normas API se seleccionaron los estándares 620 y 650 por estar directamente relacionadas con el diseño y montaje de las estructuras objeto de este trabajo.

Para el control de las soldaduras se utilizarán las normas de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society, AWS), por ser las específicas.

Para el control de los ensayos no destructivos y destructivos se utilizará como referencia el código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers, ASME), ASME sección V; por ser también el específico.



## II CONSIDERACIONES GENERALES

### 3.1 MATERIALES.

En todo proyecto, el correcto escogimiento de los materiales a ser utilizados, es una parte muy importante, ya que de ello dependerá la vida útil de la obra. Por lo tanto es necesario conocer los materiales y sus cualidades para poder realizar una selección, tomándose en consideración la compatibilidad de los mismos entre sí y con el medio en donde se llevará a efecto el proyecto. En esta sección se entrará a describir y analizar en forma general todos y cada uno de los materiales involucrados en la construcción de recipientes de almacenamiento de productos limpios del petróleo.

#### A.- PLANCHAS METALICAS.

Estas deberán cumplir los requerimientos de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales ASTM, en la designación de A 283 grado C de acuerdo con la recomendación de los estándares API 620 y 650 para planchas de acero al carbono de calidad estructural para bajo esfuerzo tensil, cuyas características se describen en la Tabla I.

TABLA I

CARACTERISTICAS MECANICAS DEL ACERO ASTM A 283 (Ref. 1)

	GRADO			
	A	B	C	D
Resistencia a la tensión (Ksi)	45a55	50a50	55a65	60a72
Punto de fluencia min. (Ksi)	24	27	30	33
Elongación en 8"min. percent (%)	27	25	23	21
Elongación en 2"min. percent (%)	30	28	27	24

TABLA II

REQUERIMIENTOS QUIMICOS DEL ACERO ASTM A 283, GRADO C. (Ref.1)

	ANALISIS DE CUCHARA	ANALISIS FINAL
Fósforo (% max.)		
Rev. básico	0.06	0.075
Rev. ácido	0.04	0.05
Azufre (% max.)	0.05	0.063



Para aquellos casos en que no fuere posible obtener el material A283 Grado C, se podrá utilizar A285 Grado C, de características bastantes similares. El tipo de planchas A283 grado C, se puede obtener por uno o varios de los métodos de fabricación conocidos como "Corazón Abierto", "Oxígeno Básico", o "Horno Eléctrico".

Los requerimientos químicos para este material en lo que se refiere a los contenidos máximos de Fósforo y Azufre se encuentran descritas en la Tabla II. El contenido de carbono es del orden de 0.20%.

Las planchas deben ser inspeccionadas durante su conformación y el fabricante deberá emitir el correspondiente certificado de calidad por cada colada y por cada espesor de plancha a utilizarse en la construcción de un tanque de almacenamiento. Sin embargo, cada plancha al llegar a los talleres de pre-fabricación debe ser examinada en sus bordes y en su superficie, de ser posible luego de realizarles una limpieza con chorreo abrasivo; se hace esta recomendación dado que si se encuentran defectos en las planchas durante la fabricación de un tanque de almacenamiento los costos involucrados por correcciones son sumamente elevadas.

En general, los defectos posibles de encontrar en las planchas se pueden dividir en dos tipos: Superficiales e internos. Los defectos superficiales se pueden subdividir en defectos metalúrgicos y mecánicos.

Los defectos mecánicos encierran discontinuidades o separaciones reales en el material. Mientras que los defectos metalúrgicos corresponden a diferencias en las propiedades que son de una magnitud suficiente para llegar a convertirse en causas de rotura. La Tabla III describe los diferentes tipos de defectos que pueden encontrarse en las planchas.



Las acerías usualmente envían las planchas bastantes rec tangulares, sin embargo se recomienda una revisión de su paralelismo antes de iniciar la preparación de sus bordes y conformado. Dos técnicas son utilizadas para el conformado de las planchas; una es el rolado "offset" de ma nera unidireccional y la otra es el doblado por prensa y matríz. Estas operaciones normalmente se realizan en frío, pero también es común realizar el conformado con prensa en caliente para planchas gruesas de 12 pulgadas de espesor en adelante.

Para evitar un sobre esfuerzo de las fibras exteriores

TABLA III

DEPECTOS POSIBLES EN PLANCHAS METALICAS (Ref. 2)

## INTERNOS

## SUPERFICIALES

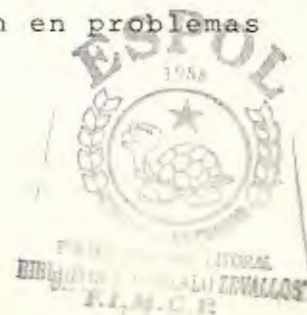
	SUPERFICIALES	
	METALURGICOS	MECANICOS
Segregaciones	Sopladuras	Rasgaduras
Porosidad	Rajaduras	Marcas de Fabricación
Descamación	Escamas	Quemaduras
Mo-metálicos	Doble piel	Esquinas recortadas
Inclusiones extrañas		Residuos de lingote
Laminaciones		Rugosidades
		Traslape

durante el conformado en frío, es a veces necesario realizar un tratamiento térmico de alivio de tensiones en la mitad del proceso. Es por ello que muchos talleres prefieren realizar el conformado en caliente, dado que además sirve para afinar el tamaño de grano, siempre y cuando la temperatura no sea excesiva. Sin embargo, durante el conformado en caliente se incurren en problemas de manipuleo.

#### B.- ELECTRODOS DE SOLDADURA.

Los electrodos como material de aportación en la soldadura están clasificados de acuerdo con su composición química y sus propiedades mecánicas por la AWS (American Welding Society) en 21 grupos. Para este caso particular, la construcción de recipientes de almacenamiento de productos limpios del petróleo, se utilizarán aquellos cuyas características caen dentro del primer grupo denominado "Electrodos revestidos de acero dulce y baja aleación para soldadura al Arco", reconocido como AWS 5.1 (Ref. 3).

Las especificaciones de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) requieren que todos los electrodos revestidos sean identificados con la impresión de las siglas AWS y



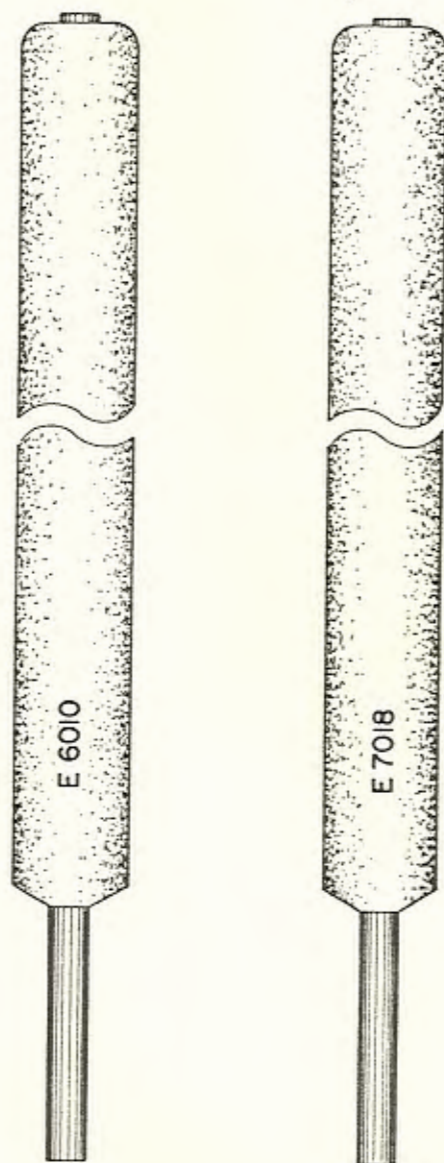


Fig. 1 ELECTRODOS

el número de clasificación como se puede apreciar en la figura 1.

#### B.1 Métodos de Clasificación.

- La letra E indica que se trata de un electrodo
  
- Los primeros dos o tres dígitos indican el mínimo esfuerzo tensil en miles de libras por pulgada cuadrada del metal de aportación, más no de la junta.
  
- El tercer o cuarto dígito indica la posición de soldadura en que el electrodo dará buenas uniones. Así, el "1", significa que el electrodo puede ser utilizado en todas las posiciones (horizontal, vertical, sobrecabeza y plana). El "2" significa que el electrodo tendrá mejor aplicación en una junta plana, o en filete horizontal.
  
- El último dígito de la clasificación, indica la corriente a ser utilizada con dicho electrodo, y el tipo de recubrimiento que posee.

La Tabla IV, describe los electrodos de soldadura AWS 5.1 comúnmente utilizados en la construcción de recipientes de almacenamiento.

En la Tabla V, se representan los rangos de corrientes recomendados por los electrodos descritos en la Tabla IV, de acuerdo a su diámetro.

Para este caso particular los electrodos más utilizados en la construcción de los tanques de almacenamiento son los de la clasificación E6010, E6013 y E7018; cuyas características se detallan a continuación:

E6010.- Este electrodo está diseñado para producir las mejores propiedades mecánicas en las uniones, se caracteriza por una gran penetración, una escoria fina y fácil de remover, utilizado en todas las posiciones. Se lo aplica en el primer pase de la junta.

E6013.- Se caracteriza por una mejor remoción de la escoria, manteniendose el arco con facilidad, particularmente en los diámetros menores (1/16; 5/64 y 3/32"). Estos electrodos son de penetración media, con poco chisporroteo en el arco.

E7018.- Su recubrimiento es de bajo contenido de hi

TABLA IV

CARACTERISTICAS DE ALGUNOS ELECTRODOS DE SOLDADURA AWS 5.1 (Ref. 3)

CLASIFICACION AWS	ESFUERZO TENSIL	TIPO DE RECUBRIMIENTO	POSICIONES DE SOLDAR	TIPO DE CORRIENTE
E6010	60 Ksi	ALTO CONTENIDO DE CE- LULOSA Y SODIO	F,V,OH,H	dc, Polaridad invertida
E6013	60 Ksi	TITANIO Y POTASIO	F,V,OH,H	ac o dc, cual quier polari- dad
E7018	70 Ksi	POLVO DE HIERRO,	F,V,OH,H	ac o dc, pola ridad inverti da
E7028	70 Ksi	POLVO DE HIERRO, BAJO HIDROGENO	H,Filetes,F	ac o dc, pola ridad, inverti da

F: Plana      V: Vertical      OH: Sobrecabeza      H: Horizontal

Polaridad invertida: electrodo positivo

Polaridad directa : electrodo negativo





TABLA V

RANGOS DE CORRIENTE (AMPERIOS) RECOMENDADOS (Ref. 3)

Diámetro del Electrodo (plg.)	E6010	E6013	E7018	E7028
1/16	-----	20 a 40	-----	-----
5/64	-----	25 a 60	-----	-----
3/32	40 a 80	45 a 90	70 a 100	100 a 145
1/8	75 a 125	80 a 130	115 a 165	140 a 190
5/32	110 a 170	105 a 180	180 a 220	180 a 250
3/16	140 a 215	150 a 230	200 a 275	230 a 305
7/32	170 a 250	210 a 300	260 a 340	275 a 365
1/4	210 a 320	250 a 350	315 a 400	335 a 430
5/16	275 a 425	320 a 430	375 a 470	400 a 525

drógeno, brinda un arco silencioso, poco chisporroteo y poca penetración. Se puede soldar a velocidades relativamente altas, dando una buena presentación por la cual se lo utiliza en el cordón de acabado.

## B.2 Condiciones de los Electrodo.

Dado los efectos adversos que produce el hidrógeno en la soldadura y, considerando que una fuente potencial de hidrógeno es la humedad en el recubrimiento del electrodo, un almacenamiento apropiado es requerido para obtener óptimos resultados.

Normalmente los electrodos pueden soportar un 50% máximo de humedad relativa por varios meses; sin embargo, si los electrodos están expuestos a una mayor humedad relativa, el recubrimiento puede absorber humedad, por lo que se hace necesario un precalentamiento a las temperaturas indicadas en la Tabla VI.

Los electrodos de mayor cuidado son los de bajo contenido de hidrógeno como el E7018. Los electrodos

TABLA VI

TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA ALMACENAR Y PRECALENTAR ELECTRODOS  
DE SOLDADURA (Ref. 3)

CLASIFICACION AWS	TEMPERATURA AMBIENTE/ HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA DE ALMACENAR	TEMPERATURA DE PRECALENTAR
E6010	80°F+ 20°F/ 20 a 60%	No requiere	No requiere
E6013	80°F+ 20°F/ 50 % Máx.	20 a 40°F sobre la tem- peratura am- biente.	275+ 25°F por 1 hora
E7018, E7028	80°F+ 20°F/ 50 % Máx.	50 a 250°F sobre la tem- peratura am- biente	650+ 50°F por 1 hora



que han absorbido humedad tienen tendencia a produ  
cir poros en los depósitos de soldadura y en algunos  
casos pueden causar grietas y fisuras. Por ello es  
muy importante colocar en un horno por espacio de 2  
horas entre 500 y 700°F a los electrodos de bajo con  
tenido de hidrógeno antes de utilizarlos.

### C.- TUBERIA.

En la construcción de recipientes de almacenamiento de  
productos limpios del petróleo, la tubería se utiliza co  
mo medio de interconexión entre los recipientes para el  
llenado y vaciado de los mismos.

Antes de entrar a discutir sobre las características par  
ticulares de la tubería a utilizarse, se mencionará que  
estas se fabrican a partir de materiales (acero al carbón  
aleado) que se obtiene de procesos metalúrgicos conoci-  
dos como "corazón abierto", "horno eléctrico" u "oxígeno  
básico", y que son luego sometidos a uno de los siguien-  
tes métodos de fabricación.

#### - Sin costura

Se define como tubería sin costura aquella que se

obtiene por trabajado en caliente sin cordón (costura) de soldadura.

- Soldadura Eléctrica

Es aquella tubería que presenta un cordón de soldadura eléctrica longitudinal.

- Arco sumergido

Es aquella tubería que presenta el cordón longitudinal de soldadura producido por un arco sumergido automático.

- Soldadura a tope

Este tipo sólo es aplicable a aquella tubería obtenida por un proceso de suelda a presión luego de un precalentamiento.

La tubería utilizada en el proyecto en mención, Terminal de Pascuales de CEPE, fue del tipo de sin costura (seamless), especificada en el standard API 5L del Instituto Americano del Petróleo, en los grados A y B cuyas características químicas se detallan en la Tabla VII.

Es norma común solicitar al fabricante el análisis de cuchara que garantice la calidad de la tubería a adquirirse por cada colada. En dicho certificado deben constar las propiedades físicas de la misma tubería cuyas carac-



TABLA VII

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE TUBERIA DE LINEA (Ref. 4)

GRADO	CARBONO %	MAGNESIO % Max.	FOSFORO % Max.	SULFURO % Max.
A	0.22	0.90	0.04	0.05
B	0.27	1.15	0.04	0.05

TABLA VIII

CARACTERISTICAS MECANICAS DE TUBERIA DE LINEA (Ref. 4)

GRADO	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO DE TENSION	ELONGACION MIN. % EN 2 PULGADAS
A	30000 Psi (21.1Kg/mm <sup>2</sup> )	48000 Psi (33.7Kg/mm <sup>2</sup> )	*
B	35000 Psi (24.6Kg/mm <sup>2</sup> )	60000 Psi (42.2Kg/mm <sup>2</sup> )	*

\* La elongación mínima en dos pulgadas (50.80 mm) se determina por la fórmula: Ecuación N° 1.

terísticas mínimas se detallan en la Tabla VIII.

$$e = 625.000 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}} \quad (\text{Ec. N}^\circ 1)$$

e = Elongación mínima

A = Sección transversal del espécimen sometido a tensión  
en pulgadas cuadradas.

U = Esfuerzo tensil especificado, PSI

Es obligación del fabricante realizar pruebas hidrostáticas a la tubería e igualmente la certificación de dicha prueba debe ir incluida en la garantía.



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

Las presiones a las que se deben realizar estas pruebas hidrostáticas del fabricante están determinadas por la siguiente fórmula: (Ref. 4).

$$P \text{ (Psi)} = \frac{2 ST}{D} \quad \text{ó} \quad P \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{200 ST}{D} \quad (\text{Ec. N}^\circ 2)$$

donde:

P = Presión hidrostática en Psi (Kg/cm<sup>2</sup>)

S = Esfuerzo de fibra:

Tubería grado A: 18500 psi. (12.7 Kg/mm<sup>2</sup>)

Tubería grado B: 21000 psi. (14.8 Kg/mm<sup>2</sup>)

(El esfuerzo de fibra equivale a aproximadamente el 60% del esfuerzo de fluencia del material).

t = espesor de pared en pulgadas (mm)

D = diámetro exterior en pulgadas (mm)

Adicionalmente la norma API 5L, determina el peso, longitud y diámetro de la tubería para cada caso en particular. La tubería que definitivamente se utilizará será aquella que cumpla con todas las especificaciones químicas, físicas, hidrostáticas y que además esté libre de defectos internos y superficiales como el caso de las planchas.

Cabe anotar que cada tubo debe venir marcado con el nombre del fabricante, peso por pulgada de longitud, grado del material, tipo de acero, tratamiento térmico y la presión de prueba cuando estos sean requeridos.

#### 4.- PERFILES ESTRUCTURALES.

Los perfiles estructurales en la construcción de recipientes de almacenamiento de productos limpios del petróleo se utilizan como estructuras sujeción o soporte de los techos del tipo fijo, ya sea cónico o convexo. También se los utiliza para conformar el anillo de viento



(wind girder) que sirve para mantener la redondez del depósito, en su parte más alta.

Los perfiles estructurales cumplirán los requisitos de las normas de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), en su clasificación A6 y A36 (Ref. 1 ). Se debe tener en consideración además del control de calidad de la colada, de los ensayos mecánicos, y de la composición química; el alabeo de las almas. El alabeo de las almas de las vigas se deberá determinar por medio de una regla de canto recta cuya longitud no sea menor que la longitud entre atiesadores o patines. El canto recto de la regla deberá ser colocado en la posición de máxima desviación del alma por el lado donde se observa la concavidad de la misma.

La viga cuya alma tenga un peralte  $D$ , un espesor  $t$ , en los recuadros limitados por atiesadores o patines cuya longitud menor es  $d$ , el combeo máximo permisible deberá ser el siguiente (Ref. 1).

Para  $D/t < 150$ ; combeo máximo :  $d/115$

Para  $D/t \geq 150$ ; combeo máximo :  $d/92$



## 2.2 CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

### A.- DETALLES DE LA SOLDADURA.

Llámase soldadura a todos los métodos que permiten el íntimo enlace de los cristales de dos superficies sólidas metálicas. De entre estos métodos el de más amplio uso es el método de fusión, cuya característica principal es la de utilizar la energía térmica para fundir localmente las piezas que se desean unir, permitiendo así el íntimo contacto de las mismas.

En la figura 2, se detallan todos los métodos conocidos de soldadura por fusión. Dentro de este gran grupo se destaca el de soldadura por arco.

### B.- SOLDADURA POR ARCO.

Llámase soldadura por arco a aquella que utiliza como fuente térmica para realizar la fusión un arco voltaico; el mismo que se produce entre la pieza a soldar y un electrodo de características adecuadas. Para el caso particular, de la construcción de reci

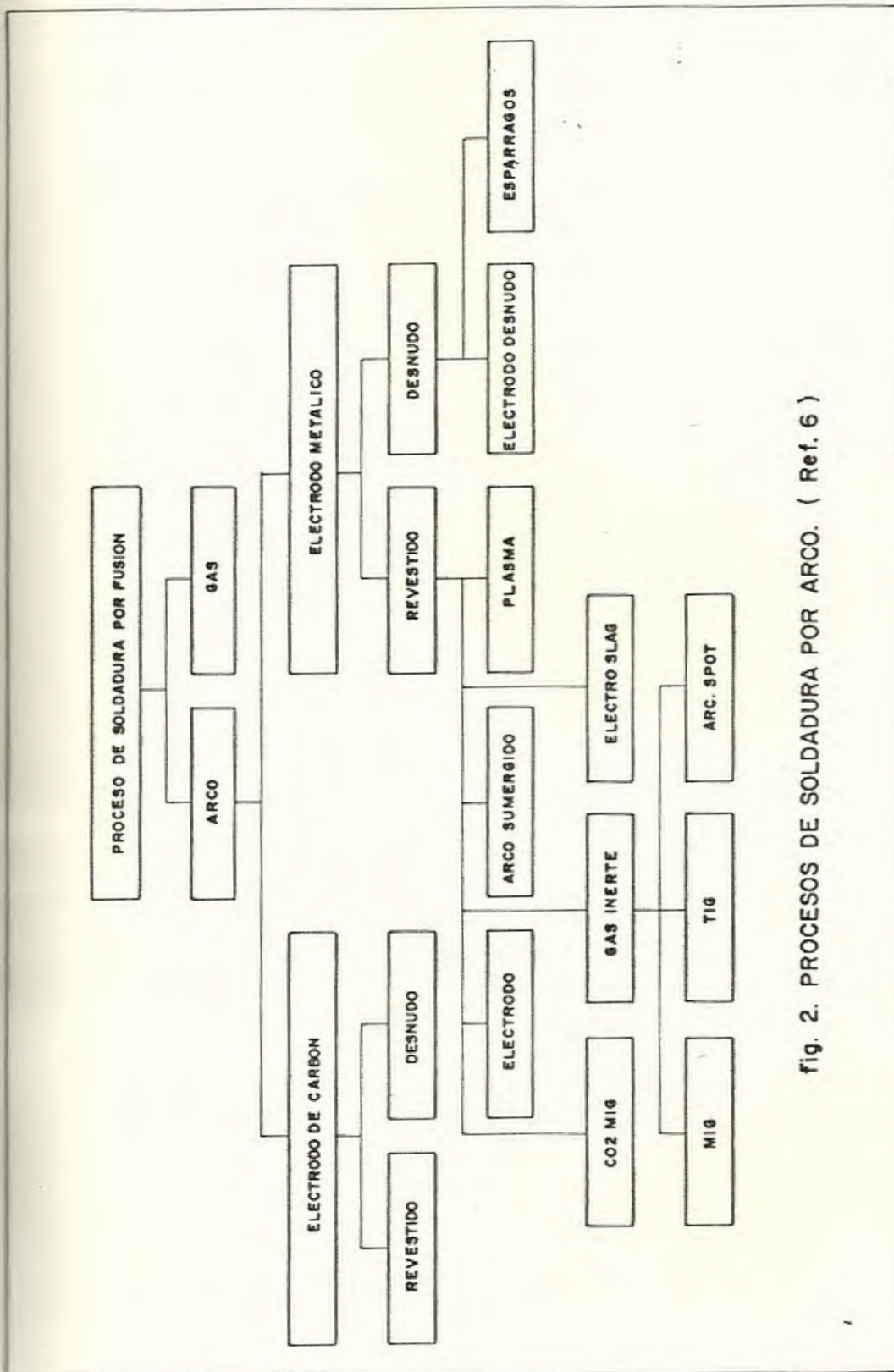


fig. 2. PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO. ( Ref. 6 )

pientes para almacenamiento de productos limpios del petróleo, los procesos de soldadura utilizados son el electrodo revestido y el arco de sumergido

#### B.1 Proceso de Electrodo Revestido (SMAW)

En este proceso el electrodo que tiene un núcleo de alambre, se encuentra revestido de una capa de material químico. El núcleo es el metal de aportación para la junta que se suelda, y el revestimiento químico actúa de escudo protector del cordón a medida que se deposita. El revestimiento además de actuar como fundente, sirve para facilitar al arranque y mantenimiento del arco.

Los revestimientos son en general de base mineral con óxido y silicatos metálicos, junto con elementos de gran afinidad por el oxígeno de modo de eliminar éste del metal fundido. Los revestimientos se los denomina "ácidos" cuando llevan en su composición óxido de hierro u otros desoxidantes como silicio y magnesio. Son "básicos" aquellos que llevan en su composición car-

bonato de calcio y fluoruro de calcio. "Celulósicos" son aquellos que presentan un 15% a 30% de celulosa en su composición.

El electrodo y las piezas a soldar son parte de un circuito eléctrico, conocido como circuito de soldadura tal como se aprecia en la figura 3. El circuito se inicia en el borne donde se fija el cable del electrodo a la máquina de soldar y termina en el borne en que se fija el cable de toma de tierra al aparato.

La corriente fluye por el cable del electrodo al porta-electrodo, y por éste al electrodo produciéndose el arco que genera calor con temperaturas por encima de los 5.000°C (9.000°F). Esta temperatura es más que suficiente para fundir el metal. El arco funde al material base y al electrodo. El metal derretido y el aporte forman olas que tienden a fluir alejándose del arco. A medida que se alejan del arco se enfrían y solidifican formándose sobre su superficie una escoria que protege a la soldadura de la atmósfera mientras se enfría; tal como se aprecia en la figura 4.

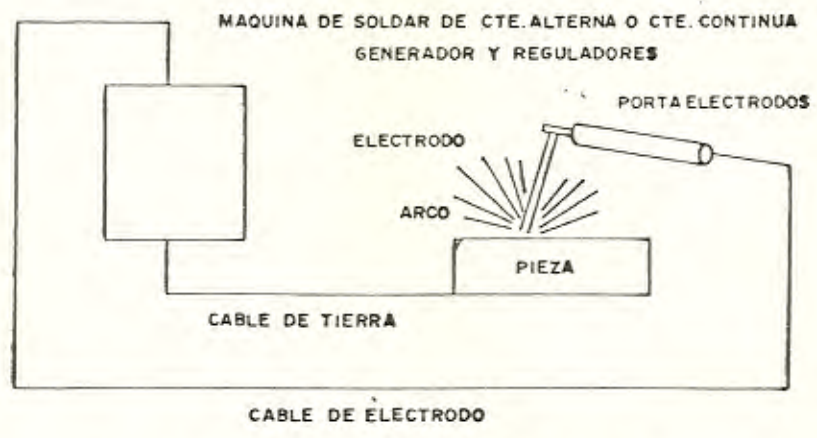


FIG. 3 CIRCUITO DE SOLDADURA ( REF. AWS. WELDING - HANDBOOK ) ( Ref. 7 )

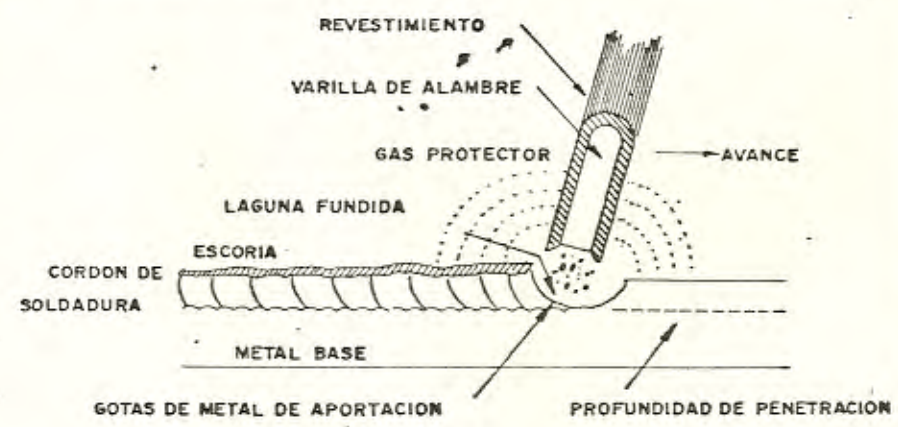


FIG. 4 SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO ( REF. AWSWELDING-HANDBOOK ) ( Ref. 7 )

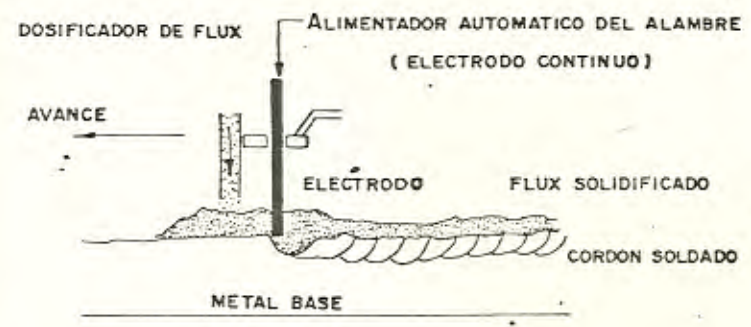


FIG. 5 PROCESO DE ARCO SUMERGIDO ( REF. AWS WELDING HANDBOOK . ) Ref. 7 ).



## B.2 Proceso de Arco Sumergido (SAW)

Se caracteriza por cuanto el arco que se forma entre el electrodo y el metal base se encuentra completamente sumergido bajo una gruesa capa granular o de fundente, tal como se aprecia en la figura 5. Su circuito eléctrico es similar al proceso de electrodo revestido, con la particularidad de que en este caso el electrodo está completamente desnudo y es alimentado mecánicamente. Este proceso es ampliamente utilizado por los buenos resultados que se obtienen, en lo que respecta a las propiedades mecánicas de la unión soldada, así como también en la uniformidad y densidad del cordón soldado.

El proceso de arco sumergido se realiza con equipos semi-automáticos o completamente automáticos, con la única condición de que la soldadura se la realice de tal manera que el fundente no se desprenda del cordón soldado antes de que se enfríe. Las fuentes de poder utilizadas pueden ser: Un rectificador de corriente directa, o un transformador constante de corriente alterna. Estas fuentes de poder deben generar altos amperajes, al

100% del ciclo de trabajo, dado que el cordón es continuo por la alimentación continua del electrodo. El rango de amperaje utilizado está entre 150 Amps. a 18 volts. y 4.000 Amps. a 55 volts.

Como se aprecia tanto en el caso del electrodo - revestido como en el del arco sumergido, inciden muchas variables para la obtención de un buen cordón de soldadura; tales como amperajes, voltaje, calidad del metal de aportación, clase de revestimiento, y sobretodo la habilidad del operador o soldador. Es por lo tanto lógico esperarse que se produzcan defectos en la soldadura lo cual será brevemente comentado a continuación.

### B.3 Defectos de Soldadura.

Los defectos en la soldadura por arco pueden ser de tipo mecánico o metalúrgico (Ref. 8). Tanto los cordones de soldadura como los materiales base no son perfectos. Esto es reconocido por los principales códigos de soldadura que permiten algunos defectos en las uniones y ponen limitaciones a muchas condiciones defectuosas. Algunos



defectos o faltas de homogeneidad en la soldadura no producen una rotura en servicio, más otros pueden ser críticos bajo ciertas condiciones que contribuyen a la rotura. A continuación se hará un breve recuento de los principales defectos a ser encontrados en la soldadura.

- **DESALINEAMIENTO.**- Es una falta de acoplamiento en los topes de la soldadura o desaliniación de extremos de la plancha en la soldadura de raíz. Su causa se explica por problemas de acoplamiento y por preparaciones inadecuadas de bordes, como se puede observar en la figura 6a.
- **FALTA DE FUSION.**- Se trata de una fusión incompleta de algunas partes metálicas de la junta soldada. Puede presentarse entre cordones o entre soldadura y metal base, como se observa en la figura 6b. Usualmente se produce porque la corriente utilizada es la inadecuada.
- **FALTA DE PENETRACION.**- Es una penetración incompleta de la soldadura, en una parte del espesor de la unión. Generalmente afecta a la primera

## PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

NOMBRE DE LA COMPAÑIA Harbert Construction Corporation  
 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA E-6010 FECHA 6/VI/81  
 METODO DE SUELDA : SMAW  
 JUNTAS : (QW-402)  


---

 DISEÑO ACANALADO : Simple y doble VEE  
 REFUERZO : Ninguno  
 METAL BASE : (QW-403)  


---

 TIPO : A 283 Grado C Nº P 1  
 ESPESORES : 3/16" a 5/8"  
 MATERIAL DE APORTE (QW-404)  


---

 WFF : 4  
 WPA : A-1  
 ESPECIFICACION : AWS 5.1  
 DIAMETRO DEL ELECTRODO : 5/32" a 3/16"  
 MEDIDA DEL CORDON : Hasta 1/2"  
 COMPOSICION DEL FLUX : Ninguno  
 TAMAÑO DE PARTICULAS : Ninguno  
 COMPOSICION DEL ELECTRODO : Celulósico  
 POSICION : (QW-405)  


---

 POSICION DEL ACANALAMIENTO 16, 26, 36, 46  
 DIRECCION DE SUELDA Descendente  
 PRECALENTAMIENTO (QW-406)  


---

 TEMP DE PRECALENTAMIENTO No requiere  
 TEMP DE INTERPASE : 500° F  
 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR (QW-407)  


---

 TEMPERATURA Ninguno  
 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)  


---

 CORRIENTE : DC POLAROID : Invertido  
 AMPS : 120 - 240 VOLTS : 22 - 30  
 OTROS : ELECTRODO POSITIVO  
 TECNICAS : (QW-410)  


---

 TIPO DE CAMA : oleada  
 LIMPIEZA INICIAL Y DE INTERPASE : Cepillo y esmeril  
 DISTANCIA DE TRABAJO : 1/2" a 1 1/2"  
 BASES SIMPLES O MULTIPLES : Multiple  
 ELECTRODO SIMPLE O MULTIPLE : Simple  
 VELOCIDAD DE AVANCE : 10 a 35 pulg / min.

en la obra. La primera aplicación será para seleccionar aquellos soldadores que irán a prestar servicio dentro de la obra. Dicha selección se realiza mediante lo que se conoce como "Calificación de Soldadores". Cabe anotar que es responsabilidad del Contratista mantener un archivo del Procedimiento de Suelda aplicado en el sitio de trabajo. Este archivo deberá ser accesible al inspector autorizado del contratante.

### 2.3 CALIFICACION DE SOLDADORES

Se recomienda que antes de realizar la Calificación de los soldadores, asegurarse que los participantes estén familiarizados con los parámetros de la prueba, y que el representante de la compañía contratista que realice la prueba, tenga amplios conocimientos técnicos del trabajo a realizarse.

A cada participante de la prueba se le asignará un número o una letra de identificación, lo que será utilizado en la obra para la marcación de los cordones - realizados por el soldador, si éste es aceptado. Nótese que una variable tal como el cambio del proceso

de suelda (ejemplo: de arco sumergido a electrodo reves  
tido) requiere una recalificación del soldador.

La prueba se realiza en una probeta con dimensiones pre  
determinadas de 12 plg. x 10 plg., del mismo material con  
el que se trabajará posteriormente de pasar la prueba;  
y en las posiciones requeridas en el procedimiento de  
sueda. Terminado el cordón de prueba se dejará en-  
friar, se examinará visual y radiograficamente, y se cor  
tará de acuerdo con la figura 7, para ensayos mecánicos  
de tensión y doblado.

Las pruebas a realizarse con las porciones cortadas se-  
rán:

Tensión	1 prueba
Doblado de Raíz	2 pruebas
Doblado de cara	2 pruebas



El soldador calificará la prueba si su cordón está li-  
bre de: (Ref: ASME, Sec. IX).

- a.- Fusión incompleta entre el metal base y el cordón
- b.- Rajaduras
- c.- Fusión incompleta entre un pase y otro
- c.- Penetración inadecuada

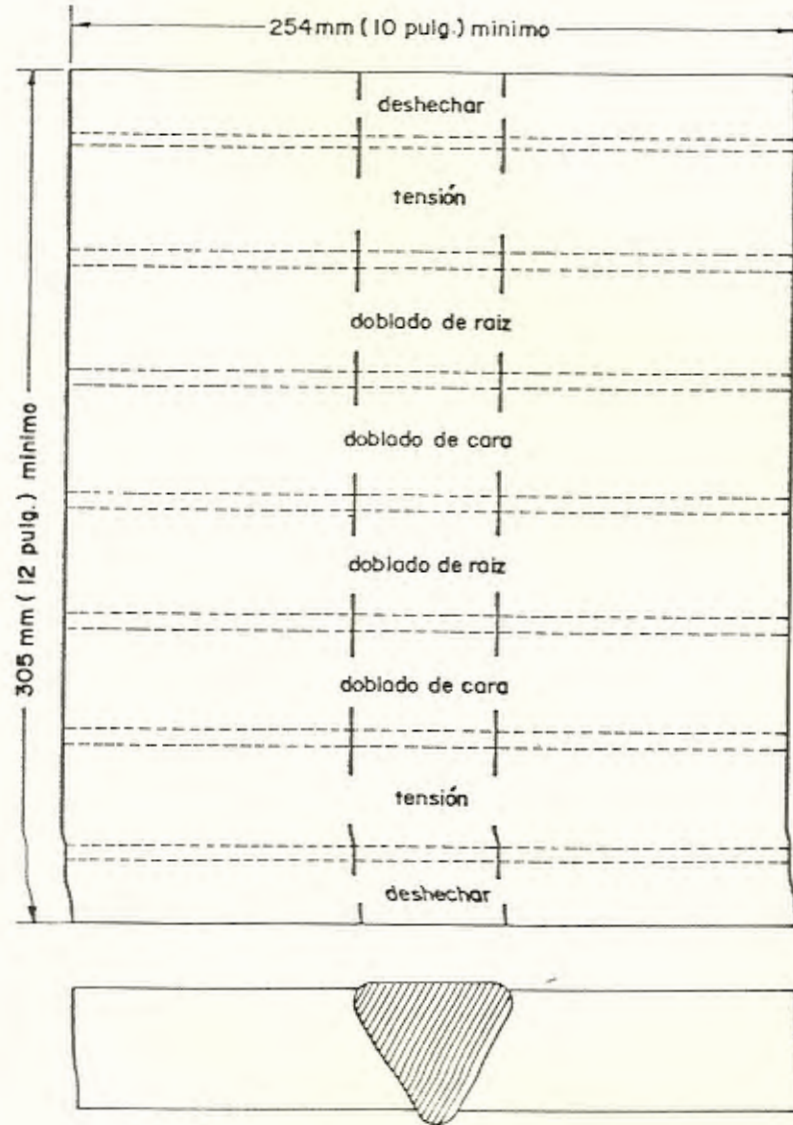


Fig. 7. CORTE DE PROBETAS

- e.- Porosidad de acuerdo con las Fig. B1, B2, B3, B4, B5 y B6, del apéndice B.
- f.- Inclusiones de escoria

En el caso de que el soldador no pase la prueba, sólo podría ser recalificado bajo las siguientes condiciones:

- 1.- Se volverá a calificar inmediatamente realizando dos cordones de cada tipo que no aprobare.
- 2.- Se volverá a calificar siempre y cuando quede la posibilidad de que con entrenamiento el soldador pueda pasar la prueba.

Es responsabilidad del contratista llevar record de todas las pruebas realizadas, y esta información debe ser accesible a la persona autorizada por el contratante (Inspector). El período de tiempo en que se acepta el certificado del soldador dependerá de si se continúa con el mismo proceso de suelda, o de que se dude de la habilidad del soldador; en este caso será vuelto a probar, quedando la decisión a criterio del inspector de la obra. El formato siguiente muestra la forma de registrar la información de la prueba.



menor que el punto próximo, y en consecuencia se tendrá un ángulo mayor. La lupa crea una imagen virtual del objeto y ella es la que mira el ojo.

- MICROSCOPIO.- Cuando es necesario tener una imagen de un objeto o defecto muy pequeño se recurre al microscopio. Consiste fundamentalmente de dos lentes; un lente "objetivo" cuya distancia focal es pequeña y de una imagen real del objeto; y otro lente "ocular" de gran distancia focal que dá para el ojo una imagen "virtual" de la imagen real anterior. Se consiguen así aumentos grandes que fácilmente superan 10X.
  
- PERISCOPIO.- Se denomina así al sistema óptico que permite ver objetos en los cuales es necesario que el camino óptico sea quebrado en ángulos de aproximadamente 90°.
  
- ENDOSCOPIO.- Son instrumentos ópticos que

permiten la visión dentro de lugares ocultos o inaccesibles como las partes internas de equipos, cavidades con una entrada pequeña, superficie interior de tuberías, etc.

#### B.- MÉTODOS DE TINTAS PENETRANTES

El método no destructivo de líquidos penetrantes se basa en el principio físico de capilaridad. Los líquidos penetrantes poseen baja tensión superficial y una alta propiedad capilar (Ref. 14). En el método de líquidos penetrantes, el líquido es aplicado a la superficie del espécimen, se deja suficiente tiempo para penetración dentro de las discontinuidades superficiales. Luego se remueve el exceso de penetrante, se aplica un revelador y de esta manera serán visibles las discontinuidades presentes.

La principal limitación del método reside en que sólo puede detectar discontinuidades abiertas a la superficie y no es aconsejable.



realizarlo en materiales porosos.

La técnica operativa a seguirse en el método de tintas penetrantes es la siguiente:

- Preparación de la superficie.

La efectividad del método reside en la habilidad del penetrante para entrar las discontinuidades superficiales; por lo tanto la pieza a ser inspeccionada debe estar limpia y libre de materiales extraños. Toda la pintura, aceite, barnís, óxido, agua, suciedad, deben ser removidas de la superficie antes de realizar el ensayo. Cualquier producto que deje la superficie de la pieza limpia y seca; que no dañe la pieza, y que no use materiales que sean incompatibles con el penetrante; es aceptable de utilizar. Tales productos pueden ser, solventes, detergentes, vapor o ultrasonido. Esta limpieza no debe realizarse por medio de chorro de arena, papel esmeril, ect. pues

estos procedimientos tienen tendencia a deformar superficialmente el material sellando las discontinuidades.

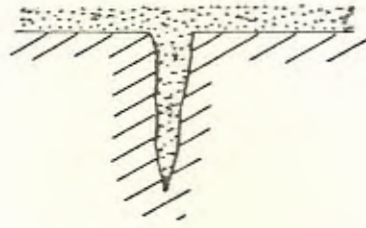
- Aplicación del Penetrante. (Fig. 8a)

El penetrante se aplica mediante spray, con brocha, o por inmersión. El área a probarse se cubrirá con el penetrante, y se dejará por un tiempo prudencial para permitir su acción capilar. Este tiempo está relacionado con el tamaño de las discontinuidades a encontrar y de las recomendaciones del fabricante, además de la temperatura ambiente y la humedad.

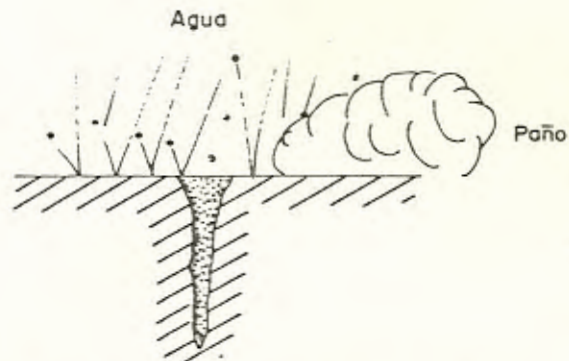
Existen dos tipos de penetrantes: Coloredos, los cuales son examinados con luz natural, y fluorescente, los que son examinados con "luz negra".

- Remoción del exceso de Penetrante (Fig. 8b)

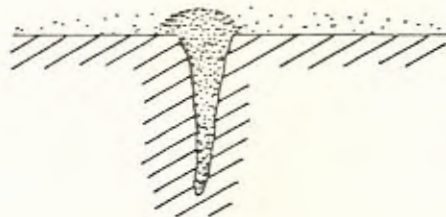
Transcurrido el tiempo en el que se estima el penetrante realizó su función, el



a.- APLICACION DEL PENETRANTE



b.- REMOCION DEL EXCESO DE PENETRANTE



c.- APLICACION DEL REVELADOR

Fig. 8. METODO DE TINTAS PENETRANTES  
( Ref. 14 )

exceso se remueve de la superficie de la pieza examinada, sin perturbar el penetrante que haya entrado en las discontinuidades. Los métodos de remoción pueden ser: Agua, solvente, agua con un post-emulsificador, dependiendo del tipo de penetrante utilizado.

- Aplicación del Revelador (Fig. 8c).

A pesar de que muchos penetrantes pueden dar suficiente indicación de las discontinuidades superficiales sin revelador; sin embargo, es necesario para casos de mayor sensibilidad, utilizar un revelador. La función del revelador es asistir a la detección del penetrante retenido en las discontinuidades al absorberlo y obligarlo a salir.

- Inspección e Interpretación de los resultados.

Luego de haber aplicado el revelador so-

bre la pieza, y dejar transcurrir un tiempo prudencial, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del revelador, se procede con la inspección de la pieza. Se eliminan aquellas falsas indicaciones debido a poros muy grandes superficiales, considerándose únicamente aquellas verdaderas, tales como una línea continua, causada por una rajadura; una línea intermitente, también para el caso de rajaduras, redondeces producidas por poros, etc.

#### C.- PARTICULAS MAGNETICAS

El método de partículas magnéticas se basa en la magnetización de la pieza, a ensayar, la aplicación de partículas magnéticas y la interpretación del patrón formado por las partículas a medida que son atraídas por el campo magnético creado.

Los materiales se denominan "magnetos" cuando tienen la propiedad de atraer el hierro.

Estos magnetos pueden ser permanentes o temporales dependiendo de la aplicación de la fuerza magnética. Cada magneto tendrá por lo menos dos polos opuestos denominados norte y sur. (Fig. 9). Un "campo magnético" existe alrededor de cada magneto, o alrededor de un conductor que lleva corriente eléctrica. Sin embargo, el campo magnético alrededor de un magneto tiene polaridad, no así el que hay alrededor de un conductor eléctrico.

Un campo magnético queda definido por las "líneas de fuerza", las cuales se caracterizan porque nunca se cruzan, buscan el camino de menor resistencia, se encuentran más densamente en los polos del imán y fluyen del polo norte al sur por fuera del magneto. (Ref. 14). Si un magneto es partido en dos, cada una de las partes tendrá su polo norte y su polo sur. Si estas partes son reunidas por los polos opuestos, un pequeño campo magnético se crea en el sitio de la fusión, denominado "campo de Fuga".

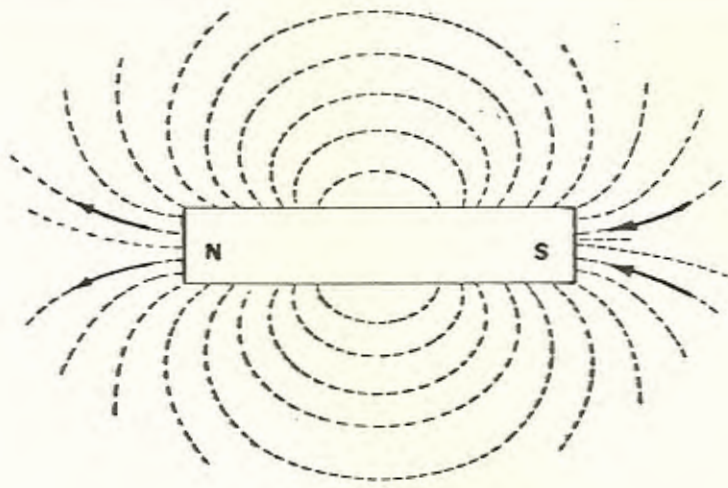


Fig. 9. CAMPO MAGNETICO EN DERREDOR DE UN MAGNETO  
( Ref. 14 )

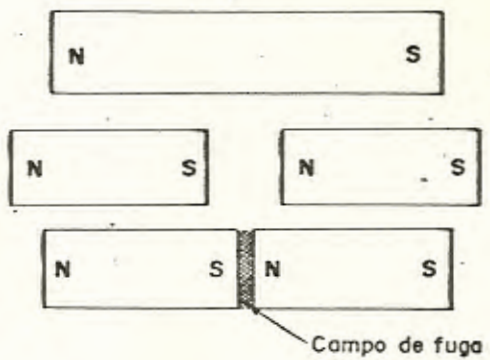


Fig. 10 MAGNETO CORTADO Y UNIDO

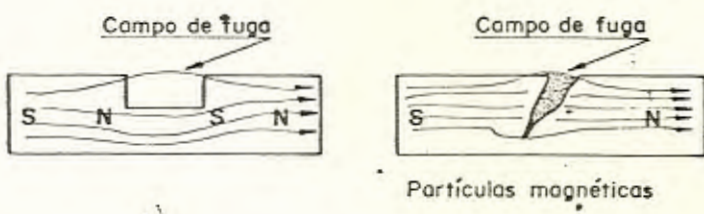


Fig. II. CAMPO DE FUGA

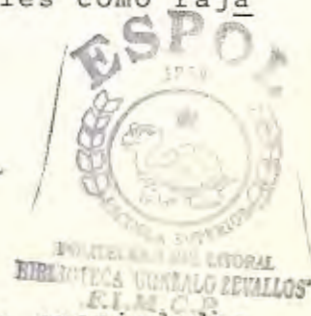
Similarmente, si el magneto es sólo cortado parcialmente, aparecerán los dos polos opuestos, y un campo de fuga o de dispersión en el área del corte.

La Fig. 10 muestra el campo de fuga que se genera al seccionar un magneto. La Fig. 11 muestra estos campos de fugas que pueden estar presentes en una pieza por defectos en la misma.

Es gracias a este fenómeno que podemos realizar el ensayo de partículas, ya que ellas se agrupan en los sitios donde hay campos de fuga, alineándose con las líneas de fuerza, y por tanto determinando los sitios donde hay discontinuidades, tales como rajaduras, falta de fusión, etc.

- Magnetización.

No todos los materiales tienen propiedades magnéticas; sin embargo es posible, magnetizarlos de cualquiera de las tres formas





siguientes:

- 1.- Atravesando una corriente eléctrica - por el material. Fig. 12 (1).
- 2.- Haciendo circular corriente eléctrica por un conductor alrededor del material. Fig. 12 (2).
- 3.- Por medio de magnetos. Fig. 12 (3).

- Partículas Magnéticas.

El polvo magnético se puede utilizar ya sea seco o en suspensión líquida. Para el método seco se utiliza material finamente divididos de partículas ferromagnéticas, las cuales pueden ser coloreadas para un mejor contraste con el espécimen a ensayar. En el método humedo, partículas finamente divididas de óxido de hierro están suspendidas en petróleo ligero destilado o en agua. La suspensión se aplica por medio de spray.

En algunos casos es necesario remover el

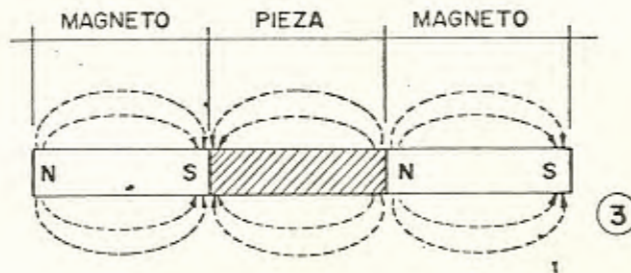
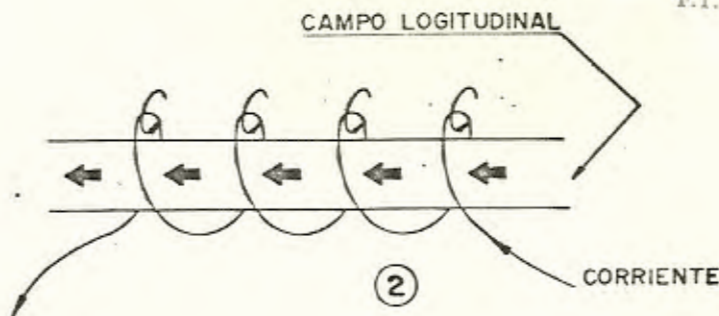
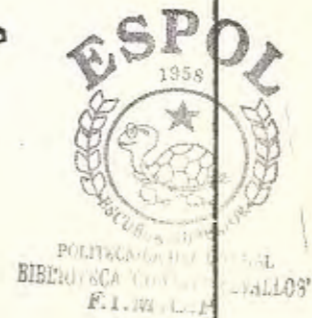
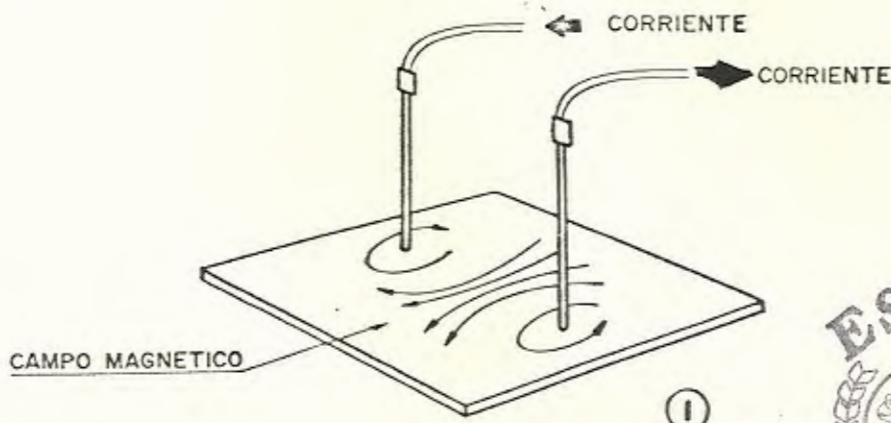


Fig. 12. FORMAS DE MAGNETIZAR UN MATERIAL

efecto residual del magnetismo en la pieza ensayada, esto se consigue aplicando un campo magnético en el cual continuamente está cambiando la polaridad y gradualmente reduciendo la fuerza del campo. Esto es lo que se denomina desmagnetización.

Las ventajas de utilizar el método de partículas magnéticas residen en:

- Proveer resultados rápidos y precisos.
- Localiza defectos superficiales y sub-superficiales.
- Ser una técnica flexible, puede ser llevada fácilmente de un sitio a otro.



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

Entre las limitaciones de este método se destaca el hecho de que sólo es aplicable a materiales magnéticos, y que la forma de la pieza determina si se pueden observar o no los defectos, dado que un borde muy agudo nos puede dar falsas localizaciones. Uno de los principales factores limitantes es la localización del defecto con respecto a las líneas de flujo. Si

estas son paralelos al defecto no se podrá detectar el defecto.

D.- ENSAYO RADIOGRAFICO.

La radiografía uno de los métodos de ensayos no destructivos más antiguos, se comenzó su utilización allá por 1920, y hoy en día es el método de más amplio uso. La radiografía es un método no destructivo que se basa en el principio físico de la radiación penetrante de rayos X y radiación Gamma, para examinar materiales o montajes opacos a la luz. (Ref. 13). Los rayos X y Gamma atraviezan los materiales, y al hacer lo parte de la radiación es absorbida. La cantidad depende del espesor del material a examinar, de la densidad de éste, y del número atómico del material, por lo tanto la intensidad de los rayos emergentes de la materia es variable.

En la radiografía industrial, la manera de detectar estas radiaciones emergentes se

realiza por medio de películas. Los elementos esenciales o básicos en una radiografía son: (Fig. 13).

- 1.- Fuente de radiación
- 2.- Pieza o material a ensayar
- 3.- Película protegida para detectar la radiación.

La radiografía industrial consiste pues en usar las propiedades de penetración de los rayos X y Gamma, las propiedades de absorción de energía radiante del material a inspeccionar, para así determinar las discontinuidades internas del espécimen, que aparezcan en el detector o película como áreas de diferentes tonalidades. Las regiones más oscuras en una radiografía representan las partes del objeto más fáciles de penetrar, mientras que las regiones más claras representan las partes gruesas o más densas del objeto.

En radiografía industrial son importantes - las siguientes definiciones:

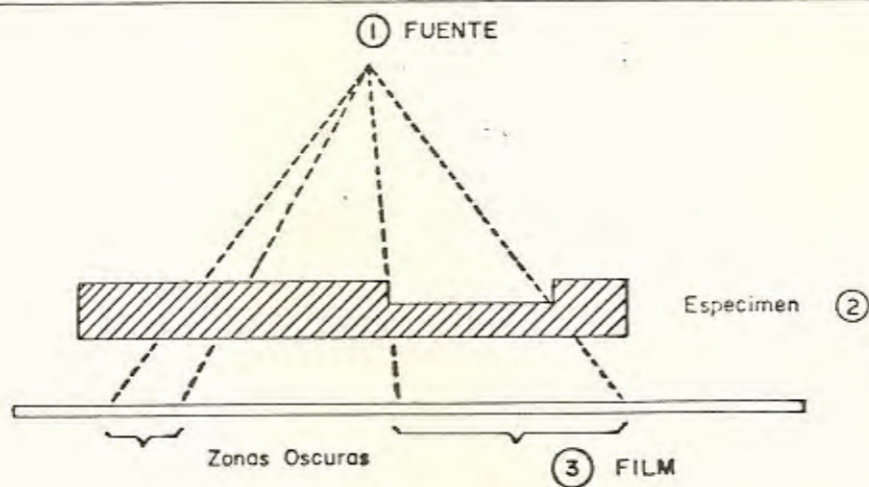


Fig: 13 PROCESO RADIOGRAFICO  
( Ref. NDT, General Dynamics)

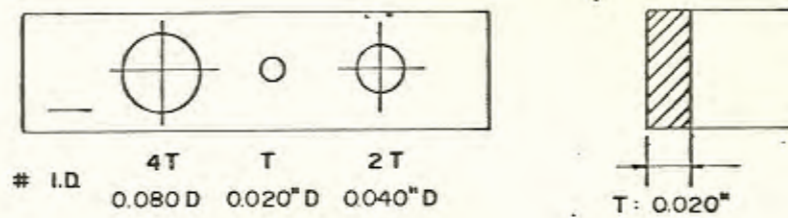


Fig: 14 PENETRAMETRO STANDARD PARA  
1" ( pulg.) DE ESPESOR

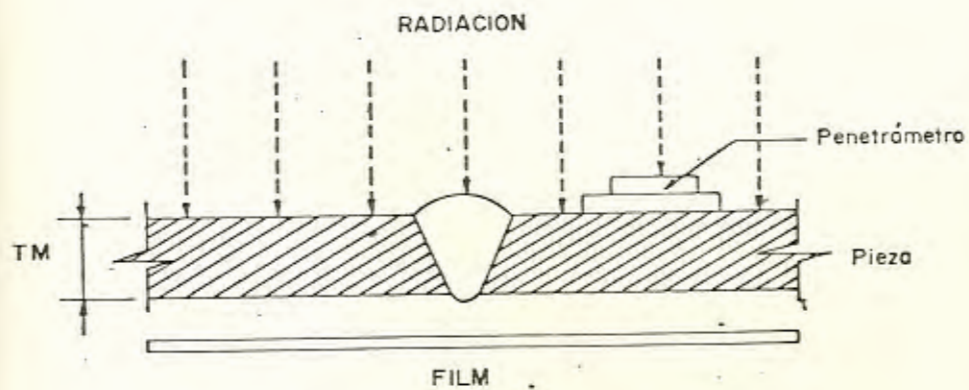


Fig: 15 USO DEL PENETRAMETRO  
( Ref. NDT, General Dynamics.)

- "Densidad radiográfica" es el grado de os curecimiento de la radiografía.
- "Contraste radiográfico" es la diferencia de la densidad de una área u otra en la radiografía. Mientras mayor sea la diferencia de contraste o densidad en una ra diografía, más fácilmente visibles serán los detalles; sin embargo, demasiado con- traste puede causar una pérdida de visibi- lidad de ciertos detalles.



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

"Definición" se denomina a la nitidez del contorno de la imagen en una radiografía.

#### Interpretación Radiográfica.

La interpretación radiográfica correcta re quiere un claro entendimiento de los prin- cipios generales de radiografía, un cono- cimiento de los materiales que se ensayan y alguna experiencia práctica en lecturas de radiografías.

Dado que el método radiográfico usualmen- te se utiliza para determinar la presencia

de mayor utilización en Radiografía Industrial. En la tabla IX, se encuentran la identificación y dimensiones de los distintos penetrámetros ASTM, a ser usados en base al espesor del material a ser radiografiado.

El penetrámetro debe colocarse siempre en la cara de la pieza o material a ensayar, por el que penetran las radiaciones, (cara anterior), tal como se aprecia en la Fig. 15.

La finalidad del penetrámetro como ya digimos antes, es determinar la sensibilidad radiográfica obtenida. La sensibilidad es la relación entre la diferencia de espesores más pequeños visibles en la radiografía y el espesor del material que se examina.

El espesor más pequeño visible queda determinado por el penetrámetro con sus limitaciones, las cuales aparecerán mas o menos visibles en la radiografía.



TABLA IX

MEDIDAS ESTANDARES DE PENETRAMETROS PARA DIFERENTES ESPESORES (REF.14)

Espesor Material Max (Plg.)	Nº I.D.	Espesor "T" (Plg.)	1 T diam. (Plg.)	2 T diam. (Plg.)	4 T diam. (Plg.)
0.25 (1/4)	25	0.005	0.010	0.020	0.040
0.375 (3/8)	37	0.008	0.010	0.020	0.040
0.5 (1/2)	50	0.010	0.010	0.020	0.040
0.625 (5/8)	62	0.013	0.013	0.025	0.050
0.75 (3/4)	75	0.015	0.015	0.030	0.060
0.875 (7/8)	87	0.018	0.018	0.035	0.070
1.0 (1)	1.0	0.020	0.020	0.040	0.080
1.125 (2 1/8)	1.1	0.023	0.023	0.045	0.090
1.25 (1 1/4)	1.2	0.025	0.025	0.050	0.150
1.5 (1 1/2)	1.5	0.080	0.030	0.060	0.120

- Norma de Ejecución Radiográfica.

En toda radiografía industrial deben aparecer en forma visible los siguientes datos.

- 1.- Un indicador de calidad de imagen (penetrámetro)
- 2.- Nombre o sigla del fabricante
- 3.- Identificación de la pieza o zona radiograficada.
- 4.- Identificación; si se trata de cordones de soldadura, se identificará mediante números o letras.

En el informe se debe detallar el tipo de fuente radiactiva usada, el tipo de placa, distancia fuente-placa, y cualquier otra referencia de la técnica utilizada. Además, se recomienda que las radiografías tomadas deban guardarse en lugares aptos durante un lapso prudente, normalmente cinco años. (Ref. 5).

- Patrones de Radiografía.

Como ayuda importante de la interpretación radiográfica se disponen de patrones radiográficos, en los cuales se puede fijar la aceptabilidad del ensayo de acuerdo con la severidad de los defectos existentes. En el anexo B se encuentran patrones de porosidades aplicables a soldaduras por arco convencionales. (Ref. 11).

Las imágenes en las radiografías de coloración negra y de forma circular u ovalada, se interpretarían como "poros".

Los patrones del anexo "B" nos ilustran para cada espesor de cordón soldado la porosidad permitida en secciones de 152 mm. (6 pulg.) de radiografía. La distribución de las porosidades en los gráficos no son necesariamente la forma exacta en que se presentaran en la toma radiográfica, pero su número de poros y el tamaño de los mismos serán típicos para el espesor de material a examinar.

De los gráficos se concluye que el área total de la suma de las áreas de cada uno

de los poros no podrá exceder a 1.52 veces T (en milímetros), donde T es el espesor del cordón soldado, en una longitud de 152 mm (6 pulg.)

E.- METODO DE ULTRASONIDO.

Llámase "ultrasonido" a aquel sonido cuya frecuencia de la onda está por encima del rango audible por el oído humano, es decir todas aquellas por encima de 20.000 cps (ciclos por segundo). (Ref. 13).

El método de ultrasonido permite la detección de defectos en materiales, basándose en el principio "Piezo eléctrico".

Este principio se basa en el fenómeno por el cual un cristal al vibrar genera corriente eléctrica, o viceversa, una corriente eléctrica al ser aplicada al cristal transforma la energía mecánica y la transmite a través de un medio de unión hacia la pieza o material ensayado. Entre los cristales más caracterizados por esta propiedad están el del

cuarzo, tourmaline y sales de Rochele. Las vibraciones así generadas se propagan a través de la pieza ensayada con una velocidad que depende de la densidad y la elasticidad del material de la pieza.

- Tipos de ondas ultrasónicas.

Las ondas ultrasónicas se dividen en longitudinales, transversales y superficiales. La Fig. 16 ilustra los tres tipos de ondas.

Las ondas longitudinales; son aquellas en las cuales las partículas, de quienes depende la transmisión de la energía ultrasónica, se desplazan en el mismo sentido de propagación de la onda.

En el caso de las ondas transversales, las partículas del medio de propagación, en este caso la pieza ensayada, se mueven en sentido transversal a la dirección de propagación de la onda.

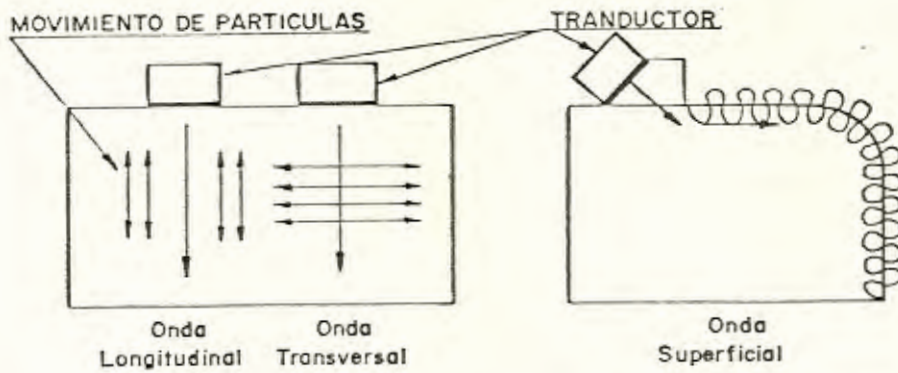


Fig. 16. ONDAS LONGITUDINALES – TRANSVERSALES Y SUPERFICIALES (Ref. 13)

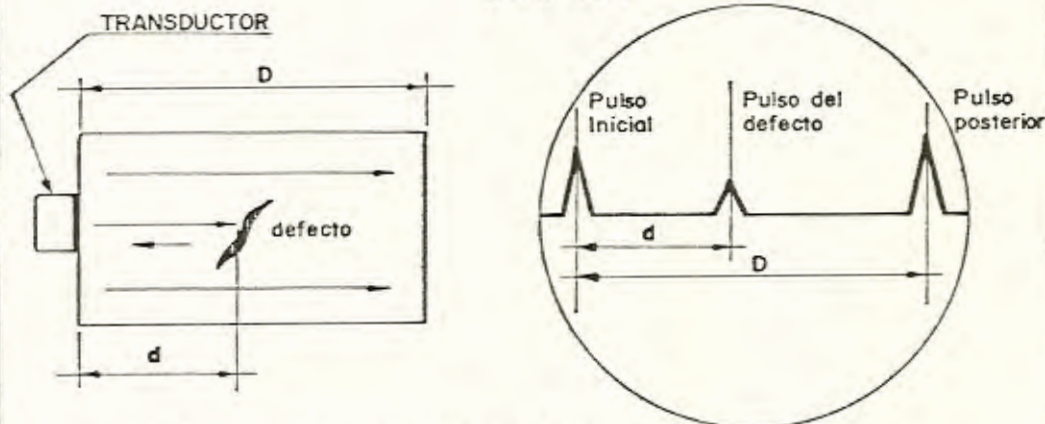


Fig. 17. REFLEXION Y LECTURA EN OSCILOSCOPIO (Ref. 14)

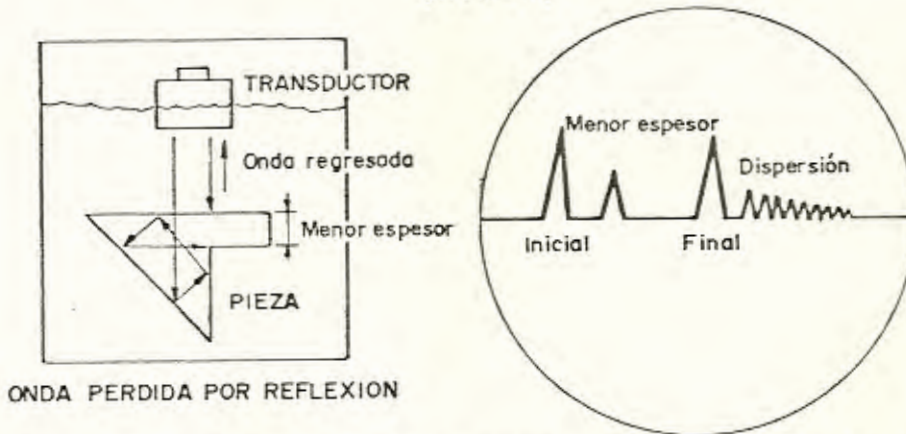


Fig. 18. ENSAYO DE INMERSION, DISPERSION DE LA SEÑAL (Ref. 14)

En el caso de las ondas superficiales, la vibración ocurre tanto en sentido transversal como longitudinal, usualmente en la superficie de la pieza ensayada.

- Reflexión de las ondas.

Las ondas sonoras al encontrarse con un obstáculo en la dirección de su desplazamiento, reflejan la mayor parte de su energía. Es entonces que al volver al cristal emisor de las ondas (transductor), esta onda sonora es transformada otra vez en energía eléctrica, las cuales son amplificadas y posibles de leer en un osciloscopio como deflexión vertical de un trazo horizontal. Obsérvese en la Fig. 17, la reflexión de la onda causada por el defecto y los pulsos producidos en el osciloscopio del instrumento. En este fenómeno el que sirve de base para la localización de defectos superficiales en piezas o materiales inspeccionados.

- Medios de contacto.

Uno de los problemas del método de ultrasonido reside en transmitir la energía ultrasónica generada en el cristal ( transductor) hacia la pieza de ensayo. LLáma-se impedancia acústica a la propiedad que determina la cantidad de reflexión de la energía al pasar la onda de un medio o material a otro. En el ensayo ultrasónico, la energía es transmitida desde un medio hacia otro con una impedancia acústica bastante diferente, por lo que se hace necesario un igualamiento de las imdepencias. Esto se consigue con un medio líquido, que puede ser aceite, glicerina o agua de jabón.

- Técnicas del método.

El método de ultrasonido se caracteriza por tener una alta sensibilidad, permitiendo la detección de pequeños defectos; una gran penetrabilidad en materiales de



gran espesor, exactitud en la localización y apreciación del tamaño del defecto. Es un método seguro, tanto para el personal que realiza el trabajo, como para el material ensayado, ya que no deja efectos residuales.

Los ensayos ultrasónicos se clasifican en:  
(Ref. 14).

- a) de contacto: transmisión, ecopulsátil, resonancia, y
- b) de inmersión

- Limitaciones del método

El ensayo de "ultrasonido" no es aplicable en todos los casos, especialmente si la geometría de la pieza ensayada no es apropiada como en el caso de la Fig. 18, lo cual crea falsas señales. Además, si la estructura interna del material no es la conveniente, como en el caso de tamaños de grano grueso, esto puede influir negativamente en el ensayo.

F.- ENSAYO ELECTROMAGNETICO

Este método se conoce también como de corrientes parásitas o corrientes de Eddy. Son aquellas inducidas en un conductor eléctrico por un campo magnético alternativo, (Ref. 14), tal como se representa en la Fig. 19. Este método es efectivo para la localización de defectos cercanos a la superficie de la pieza ensayada.

El método se basa en que las corrientes de Eddy, inducen a la vez un campo magnético en la pieza ensayada, que se opone al campo magnético original. Esto hace que la impedancia en la bobina generadora se vea afectada por este nuevo campo magnético. Las líneas de flujo de las corrientes de Eddy, se ven afectadas por la presencia de un defecto. A su vez la impedancia aparente de la bobina es afectada por el defecto, y esta es a su vez determinada en los indicadores.

El principal problema del método, es el gran

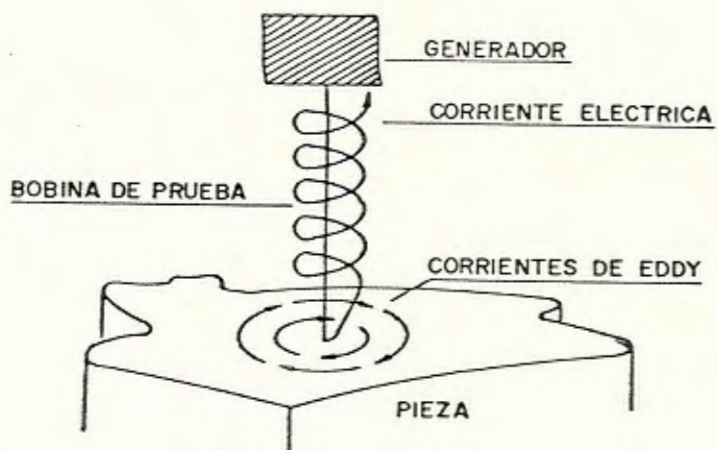


Fig:19. CORRIENTES DE EDDY ( Parásitas )

número de variables presentes durante el en  
sayo.

Entre estas variables tenemos:

- Conductividad eléctrica del material
- Permeabilidad magnética
- Acople magnético
- Geometría del cuerpo a ensayar.

G.- ENSAYO DE PRESION Y PERDIDA.

En el método de presión y pérdida, los defectos son revelados debido al flujo de un gas, aire o líquido en/o a través del defecto mismo. En este caso la presión interior del objeto o pieza a probarse, será mayor que la presión exterior; por lo tanto, si hay una falla, inmediatamente será localizada por la pérdida o fuga del gas o líquido utilizado en la prueba.

- Prueba de vacío (burbuja).

La prueba de vacío se caracteriza por utilizar una caja de 6 pulgadas de ancho x 3

pulgadas de largo, con un cristal en la parte superior, hueca por debajo y con un empaque de caucho esponjoso, el cual sirve de sello contra la superficie a ser examinada. Dicha superficie ha sido cubierta por una solución jabonosa. La fig. 20 muestra esquemáticamente el detalle de una cámara de vacío. En esta caja metálica se produce el vacío mediante succión, y la presencia de rajaduras se manifiesta por medio de burbujas que se forman al entrar aire del exterior a través de la falla. El vacío mínimo necesario para realizar la prueba es el suficiente para que la cámara quede fija a la zona examinada. Las ventajas de trabajar con este método residen en los bajos costos involucrados en su realización, además, de que puede ser llevado a cabo por personal inexperto o con poco entrenamiento.

Cabe mencionar que la temperatura de las planchas a inspeccionar es un parámetro importante; dado que el calor produce



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

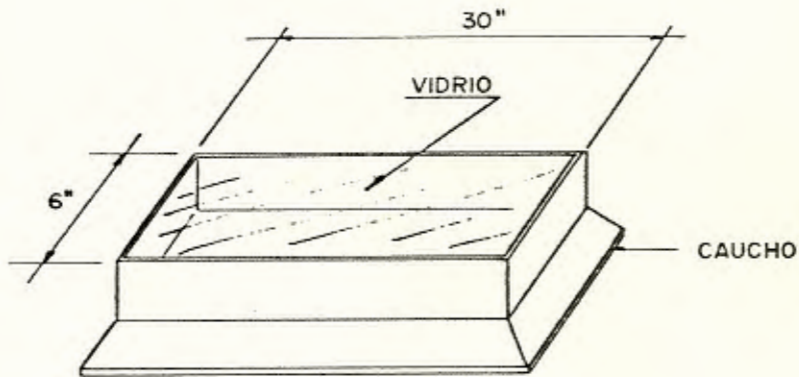


Fig:20. CAMARA DE VACIO

dilataciones en el material, sellando temporalmente los poros, no pudiendo entonces ser detectados en la prueba. Además, el calor evapora la solución jabonosa. Es por esto que se prefiere realizar la prueba muy por la mañana o al caer la tarde.

- Prueba hidrostática.

En la prueba hidrostática la presión de prueba debe ser aplicada gradualmente, y la presión máxima del ensayo será la estipulada en las especificaciones. Es normal realizar esta prueba una vez terminada la construcción de tanques de almacenamiento de productos limpios de petróleo. La prueba hidrostática consiste en llenar paulatinamente el recipiente con agua dulce y observar tanto los asentamientos que pudiera tener la base de concreto, como las posibles rajaduras o agujeros en los cordones de soldadura. Cualquier defecto queda determinado al producirse el paso del agua hacia el exterior. Para efecto

de llevar el control de los posibles asentamientos se sugiere la utilización del Formato II. La utilización del agua dulce se justifica por ser menos corrosiva que el agua salada, además, por tener un peso específico de 1 comparado con los productos limpios que no pasan de 0.9.

#### 2.4.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Bajo el nombre de ensayos destructivos se agrupan una serie de métodos cuya característica principal es la inspección de un material, destruyendo la pieza o probeta de prueba, a diferencia de los ensayos no-destructivos, en donde la pieza o probeta es completamente reusable si la prueba es exitosa.

Entre los ensayos destructivos que permiten determinar las propiedades mecánicas de los materiales de destacan:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de flexión
- Ensayo de dureza





CEPE

PROYECTO PASCUALES  
DIV. SERVICIOS TECNICOS

TANQUE \_\_\_\_\_  
TECHO \_\_\_\_\_  
DIAMETRO \_\_\_\_\_  
ALTURA \_\_\_\_\_

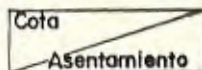
LOCALIZACION DE LAS  
CLAVIJAS DE NIVELACION.  
COTA BM =      A + I =



FORMATO II- REGISTRO DE PRUEBA HIDROSTATICA DE LOS TANQUES

FECHA	HORA	NIVEL	1	2	3	4	5	6	7	8
		0								
		1/4								
		1/2								
		3/4								
		4/4								
		4/4								
		3/4								
		1/2								
		1/4								
		0								

CORPORACION ESTATAL PETROLERA ECUATORIANA  
CERTIFICACION PROCEDIMIENTO



\_\_\_\_\_  
Ing. RESIDENTE

\_\_\_\_\_  
SUPERINTENDENTE

\_\_\_\_\_  
SUPERVISOR DE LA OBRA

A.- ENSAYO DE TRACCION.

Consiste en aplicar, mediante dispositivos mecánicos o hidráulicos, una carga axial de tracción sobre un probeta, de forma y dimensiones determinadas colocadas entre las mordazas de la máquina de tracción.

La fuerza ejercida sobre el material, la probeta en este caso, se divide por la sección sometida al esfuerzo expresada en unidades de superficie, obteniéndose entonces la tensión ( $\sigma$ ) con la que es solicitado el material (Ref. 16).

$$\text{Tensión } (\sigma) : \frac{P}{F_0} \quad \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2}$$

P. : Fuerza de tracción

F<sub>0</sub> : sección inicial (Ec. 3)

En el ensayo de tracción el alargamiento de la muestra se mide por la deformación, es decir la extensión que experimenta la probeta por la acción de la fuerza.

El alargamiento queda determinado por:

$$E : \frac{\Delta L}{L_0} : \frac{L-L_0}{L_0} \quad (\text{Ec. 4})$$

$L_0$  : Longitud inicial de la probeta

$L$  : Longitud de la probeta medida bajo acción de la fuerza  $P$

$\Delta L$  : Alargamiento.

Una vez que se obtienen estos dos valores, se realiza la representación gráfica de estas dos variables. Dicha gráfica para un material dúctil como el caso del material que conforman las planchas para la construcción de tanques, se representa en la Fig. 21 en la cual se observan los siguientes puntos importantes:

- 1.- Límite de proporcionalidad: Denomínase al punto (P), hasta el cual se mantiene la proporcionalidad entre el alargamiento y la tensión aplicada.
- 2.- Límite de Elasticidad: Denomínase al límite hasta el que tiene lugar solamente un alargamiento elástico del material, es decir que antes de este punto el alargamiento vuelve a cero al quedar la pro

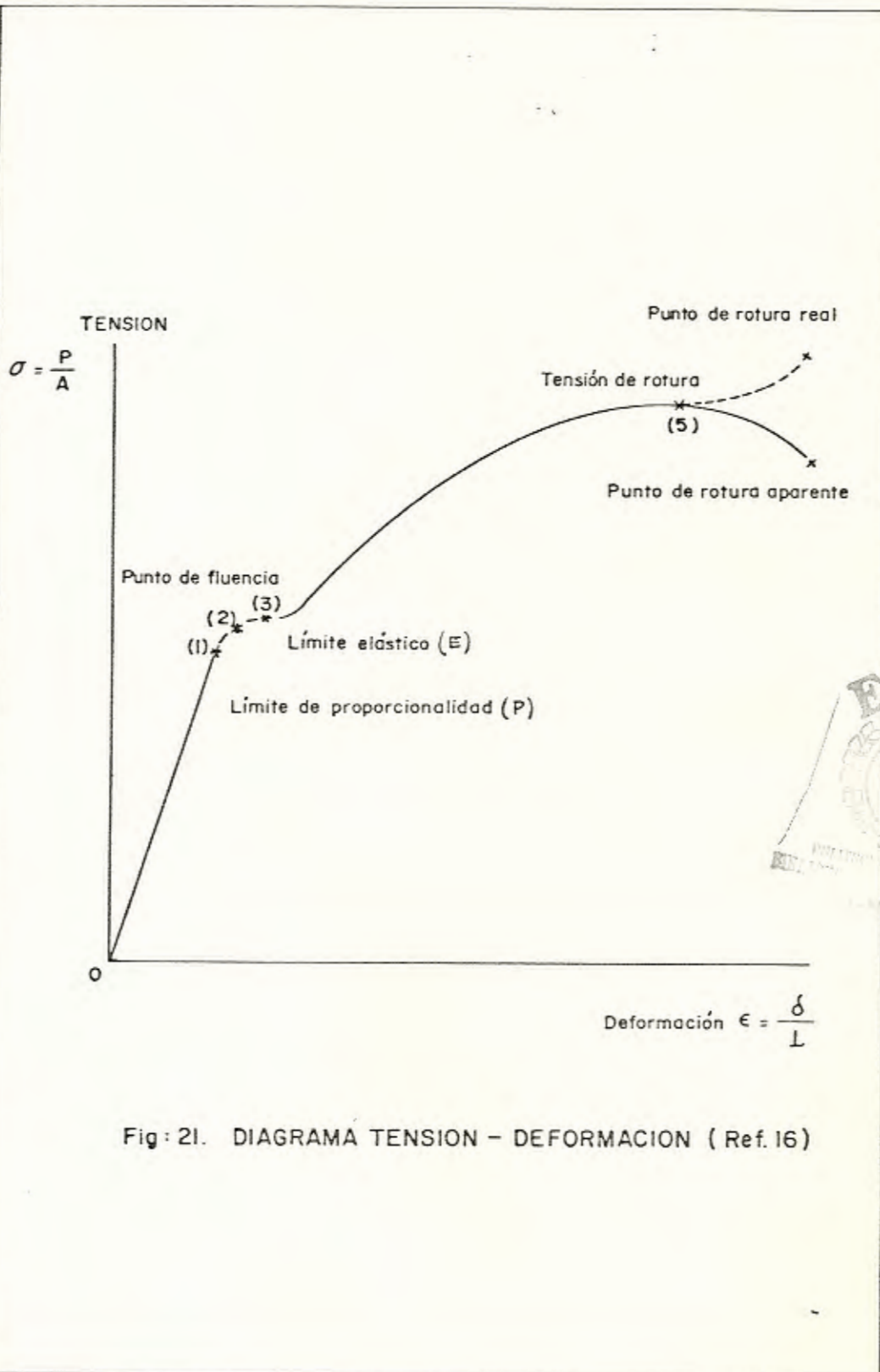


Fig: 21. DIAGRAMA TENSION - DEFORMACION ( Ref.16)

beta libre de carga. A partir de este punto (E) toda deformación será plástica.

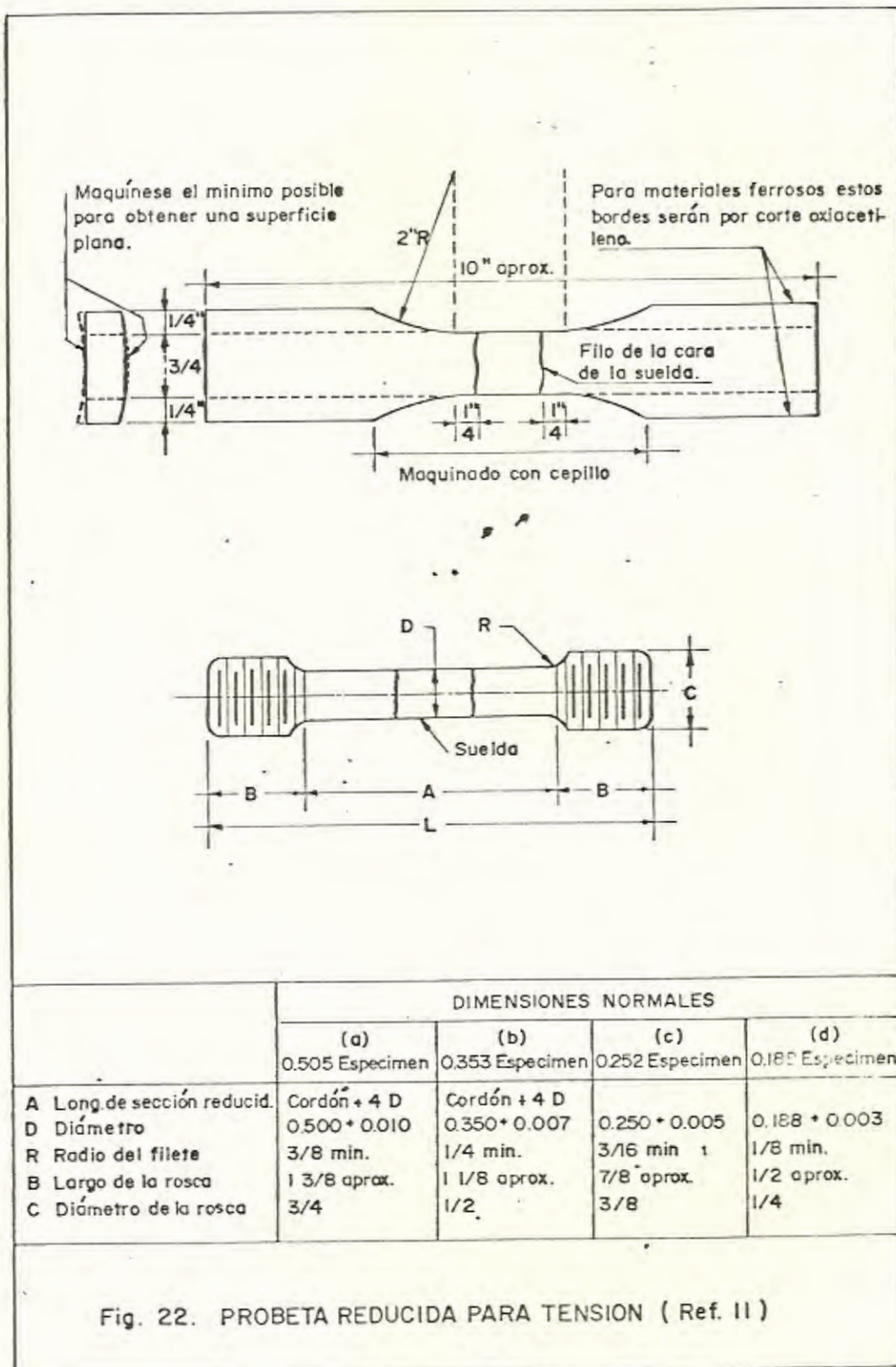
- 3.- Punto de fluencia: Es aquel en el que aparece un considerable alargamiento o fluencia del material sin el correspondiente aumento de carga.

Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, la tensión de trabajo es la tensión real que soporta el material bajo la acción de una carga, y no debe sobrepasar la tensión admisible, que es la máxima a la que puede ser sometido el material con un cierto grado de seguridad en la estructura. En un proyecto real, la tensión admisible  $\sigma_{ad}$  debe ser inferior al límite de proporcionalidad, con el objeto de que pueda aplicarse siempre la relación lineal entre tensiones y deformaciones que establece la ley de Hooke.

Para la determinación de las características mecánicas a partir del ensayo de

tracción, se utilizan probetas cuyas di mensiones están fijadas por las normas correspondientes. Las probetas deben tomarse de la pieza de manera que en el ensayo se obtenga un resultado representativo de las características mecánicas en la sección total de la pieza. Para ensayos de tracción se emplean probetas cilíndricas y rectangulares. Las probetas cilíndricas tienen el inconveniente de que no pueden tomarse de las piezas planas, como es el caso de las planchas. La fig. 22 muestra dos tipos de probetas para ensayos a la tracción: rectangulares y cilíndricas.

- 4.- Resistencia a la tracción ( $\sigma_B$ ): Denomínase a la máxima tensión de tracción soportada por la probeta durante el ensayo. Con respecto al área de la sección transversal inicial de la probeta.
- 5.- Resistencia a la rotura ( $\sigma_2$ ), denomínase a la tensión que soporta el material en el momento de la rotura.
- 6.- Módulo de elasticidad: Módulo de Young.



Se denomina a la pendiente de la recta inicial del diagrama tensión deformación representada en la figura 21.

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \sigma = E\epsilon \quad (\text{Ec. 4})$$

#### B.- ENSAYO DE DOBLADO

El objetivo de este ensayo es observar la ductilidad de los materiales metálicos, tales como planchas de acero, uniones soldadas, etc. El ensayo de doblado es una derivación del ensayo de flexión. Basicamente, el ensayo consiste en doblar una pieza a un ángulo determinado y observar si ocurren agrietamientos en su superficie externa.

Generalmente el doblado se realiza a un ángulo de 180°, y se lo considera satisfactorio si el material ensayado no presenta sobre su parte estiradas grietas o resquebrajaduras perceptibles a simple vista.

Para la realización del ensayo se utiliza

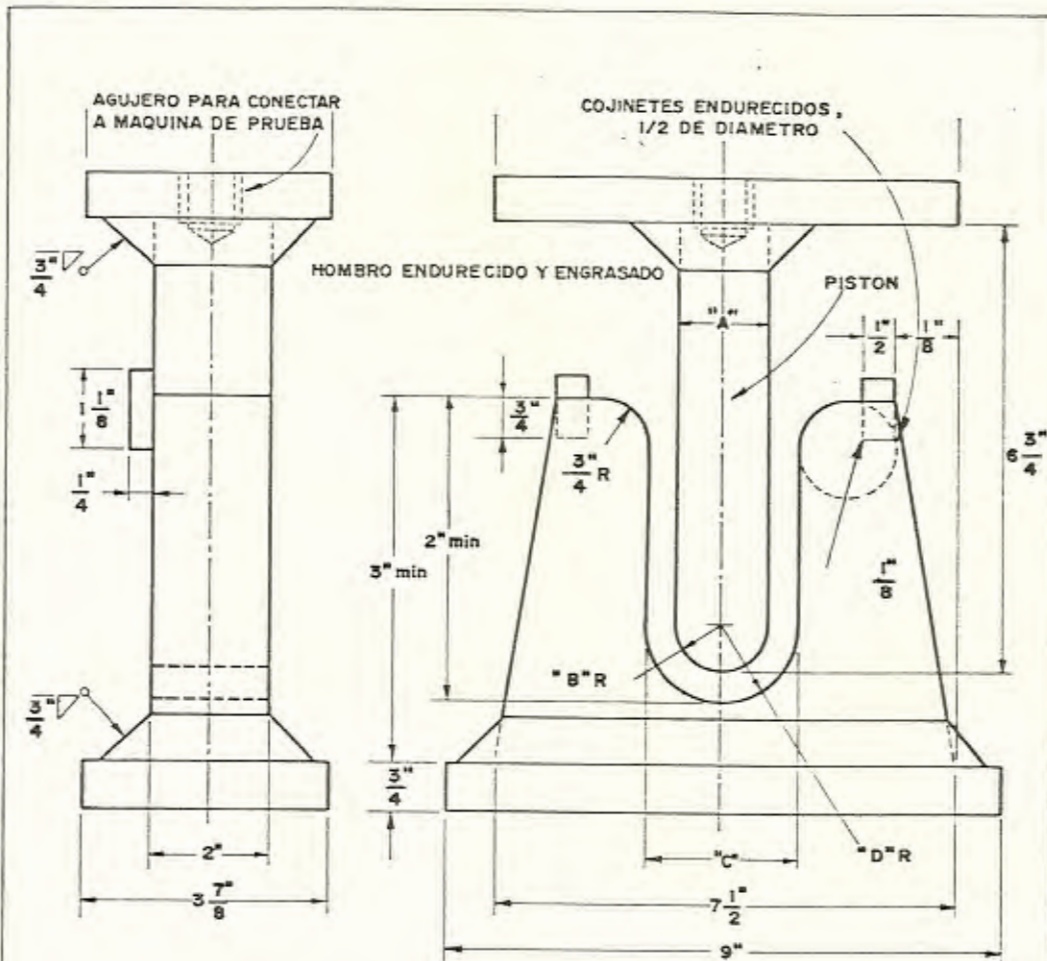


un dispositivo como la de la figura 23, el cual consiste en un molde sobre el que se coloca la probeta y un vástago con el que ejerce la carga. Se menciona que los sopores sobre los que descansa la probeta son rodillos fijos engrasados con posibilidad de movimiento giratorio de tal manera de no transmitir por fricción ningún esfuerzo de tracción.

Este método de doblado es usualmente utilizado en la calificación de los soldadores. Se considera un ensayo exitoso si no presenta agrietamientos mayores a 3.2 mm (1/8 pulg) en cualquier dirección en la superficie exterior, convexa

#### C.- ENSAYOS DE DUREZA

Los ensayos de dureza que interesan al presente estudio, son las denominadas dureza a la penetración, que es la resistencia que un cuerpo opone a la penetración de otro cuerpo más duro. Tres métodos se destacan



ESPESOR DEL MATERIAL	A pulg.	B pulg.	C pulg.	D pulg.	MATERIAL
3/8 t	1 1/2 4t	3/4 2t	2 3/8 6t + 1/8	1 3/16 3t + 1/16	T0005
1/8	2 1/16	1 1/32	2 3/8	1 3/16	P-23 y SB-171, aleacion 628
3/8 t	2 1/2 6 2/3t	1 1/4 3 1/3t	3 3/8 8 2/3t + 1/8	1 11/16 4 1/2t + 1/16	P-11 y P-25
1/16 - 3/8" incluido	8t	4t	10t + 1/8	5t + 1/16	P-51
1/16 - 3/8" incluido	10t	5t	12t + 1/8	6t + 1/16	P-52

Nota:  
 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EN LA TABLA  
 QN III DEL CODIGO ASME SECCION IX

Fig: 23 DOBLADORA DE PROBETAS ( Ref. 12 )

en la medición de la dureza a la penetración:

Brinell, Rockwell y Vickers.

- Ensayo Brinell.

En este ensayo se emplea como cuerpo penetrante una bola de acero templado, de 10 mm de diámetro, que es oprimida con una determinada fuerza sobre la pieza a examinarse. Como resultado se obtiene una huella permanente cuyo tamaño se utiliza como medida de la dureza del material. Las cargas que se utilizan en el ensayo Brinell son de 500 Kg. para materiales blandos y 3000 Kg. para materiales duros.

Existen expresiones matemáticas para el cálculo de la dureza Brinell, aunque generalmente los valores de la dureza están tabulados de acuerdo al tamaño de la huella y la carga utilizada.

- Dureza Rockwell.

La diferencia principal entre el ensayo Rockwell y Brinell, consiste en que en el método Rockwell se mide la profundidad de penetración del indentador, mientras que en Brinell se determina el área del segmento esférico de la impresión de la bola.

El método de dureza Rockwell, emplea varias escalas para la determinación de la dureza. De ellas existen dos escalas que se diferencian en esencia por la forma y el material del cuerpo penetrante empleado. La escala B utiliza una bola de acero de  $1/6$ " plg. de diámetro como penetrador, mientras que la escala C, trabaja con un diamante cónico como cuerpo patrón. (Ref. 16).



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

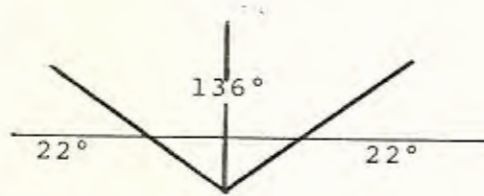
La escala "B" utiliza una carga de indentación de 100 Kg., y se aplica usualmente en materiales blandos y no ferrosos. Mientras que la escala "C" utiliza una carga de indentación de 150 Kg., y se aplica en materiales duros y templados.

- Método Vickers.

En este ensayo se emplea un diamante en forma de pirámide como cuerpo penetrador, se trata de una pirámide de base cuadrada con ángulo entre las caras opuestas (ángulo en el vértice) de  $136^\circ$ . La pirámide de diamante es comprimida con una fuerza  $P$  contra el material a ensayarse. Se determina la superficie de la huella (área lateral de la pirámide penetradora) midiendo las diagonales del área cuadrada resultante de la proyección de la pirámide sobre el plano de la pieza.

Referida a la carga y a la superficie, la dureza Vickers se calcula. (Ref. 16).

$$D_r : \frac{P}{o} : \frac{2 P \cos 22^\circ}{d^2} : 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (\text{Ec. 5})$$



$d$  : diagonal medida

$P$  : carga aplicada

$22^\circ$  : ángulo entre una cara y la superficie de la pieza.

El método Vickers deja huellas muy pequeñas sobre el material ensayado, por lo cual este método sirve para determinar la dureza de regiones muy cercanas en un material, lo que no es posible realizarlo con los otros métodos.

## 1.5 REPARACIONES.

A pesar de los métodos de inspección de materiales que se pueden aplicar para prevenir la introducción de defectos, tanto en los procesos de fabricación como en los de construcción; siempre es factible encontrar defectos, en dichos materiales y procesos por lo que se hace

necesario establecer criterios de decisión en cuanto - hasta que punto son aceptables los defectos, y los métodos de corrección que sean requeridos.

#### 2.5.1 Criterios de Decisión

En todos los trabajos de construcción de recipiente para almacenamiento de productos limpios del petróleo, habrá un inspector quien tendrá todas las facilidades necesarias para el desempeño de sus labores, llámese equipos, laboratorios, etc., y contará con libre acceso a todas las tareas de la obra.

Es el inspector quien tendrá en sus manos el criterio de decisión de aprobar o rechazar los trabajos realizados, por lo que dicha persona o personas deberán contar con una amplia experiencia en trabajos similares, dado que en última instancia son los que determinarán la calidad del trabajo realizado.

El contratista deberá efectuar todas las reparaciones que indique el inspector, siendo por cu

ta del primero todos los gastos originados por las reparaciones, incluyendo el importe de la inspección que se haga una vez efectuada dicha reparación.

En el caso de soldaduras, para obtener los mejores resultados deben inspeccionarse en el momento en que se efectúan las mismas. La comprobación de la reparación de bordes, del diámetro y tipo de electrodo a usarse, de la intensidad de la corriente, de la velocidad de avance del electrodo, y del aspecto del cordón, pueden señalar a un inspector calificado todo lo que precisa saber sobre la resistencia de la soldadura.

Un buen aspecto superficial del cordón es determinado por los factores siguientes: ausencia de grietas, de socavación, de sobremonta, de poros superficiales e inclusiones de escoria.

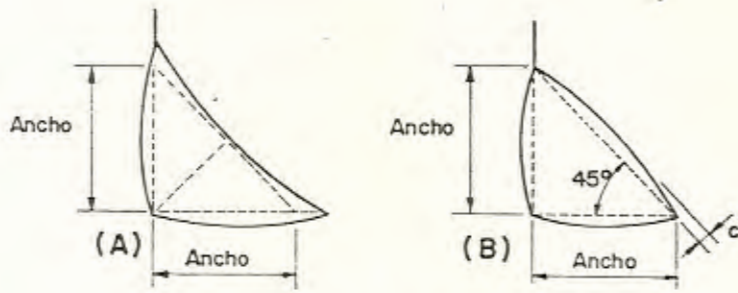
Las ondulaciones y el ancho del cordón deben ser uniformes en las puntas a tope y a ras de la plancha, o ligeramente convexas sin espesor excesivo del cordón. Las soldaduras en ángulo deben



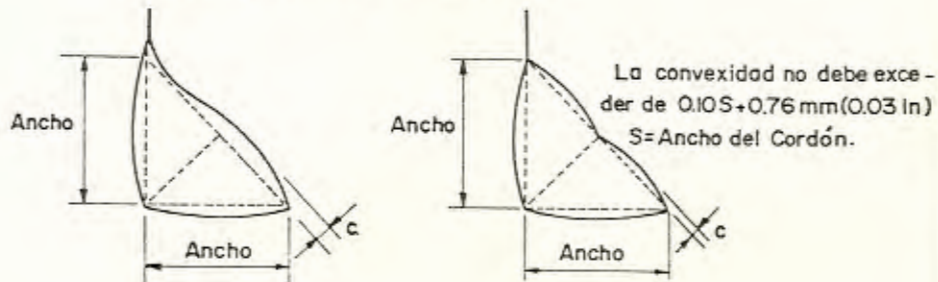
presentar los dos lados de igual longitud en cada plancha. Si se presenta más de una muy ligera variación a estas normas, debe revisarse la preparación de las planchas, las separaciones, la polaridad, el amperaje, la velocidad de avance, el ángulo del electrodo y otras características de la técnica de la soldadura. La Fig. 24 representa algunos criterios de aceptación en perfiles de cordones de soldadura.

A continuación se detallan algunos "criterios de decisión" para soldadura: (Ref. 9), para la construcción de recipientes de almacenamiento:

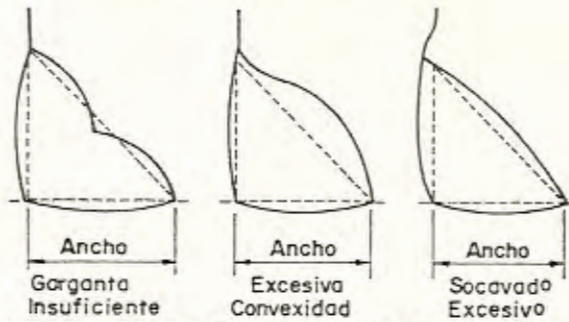
- Grietas: No se aceptará ninguna grieta ni rotura.
- Preparación inadecuada de uniones: No se aceptará, esto incluye falta de penetración, inclusión de escoria, fusión incompleta.
- Fusión excesiva: Se evitará la fusión excesiva de la pieza, ya que la inspección no destructiva puede interpretarla erróneamente como un defecto, lo que resultaría en rechazo de la soldadura.
- Traslape de soldadura: Todo traslape debe re-



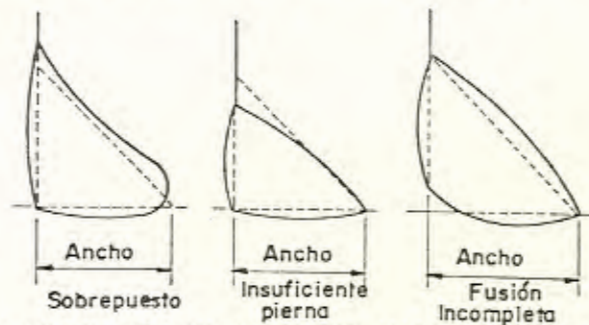
PERFIL DESEABLE DEL FILETE



(C) PERFIL ACEPTABLE



(D) PERFILES DE FILETES INACEPTABLES



(D) PERFILES DE FILETES INACEPTABLES

Fig: 24 CRITERIOS DE ACEPTACION ( Ref. 9 )

moverse con esmeril.

- Porosidad: La tolerancia de defectos imputables a la porosidad o bolsas de gas se regirá por lo estipulado en la sección IX del Código ASME.
- Socavaciones: La socavación máxima permisible será de 0.254 mm (0.01").

#### 2.5.2 Técnicas Operativas

Para el caso de los cordones soldados, en lugar de rechazar el cordón entero que contenga soldadura defectuosa o mano de obra de calidad inferior, el supervisor podrá permitir que se tomen las medidas correctivas adelante enumeradas.

Se obtendrá la aprobación necesaria antes de realizar cada corrección. Las soldaduras, así como el metal base defectuoso serán corregidos, ya sea removiendo o reemplazando soldadura defectuosa o como se indica a continuación.

- Traslape o excesiva convexidad: quitar el exceso de metal de soldadura con esmeril.
- Excesiva concavidad en la soldadura o cráter:

limpiar y depositar soldadura adicional.

- Excesiva porosidad de la soldadura, inclusión de escorias o materiales ajenos y fusión incompleta: quitar la parte defectuosa y soldar de nuevo.
- Grietas en la soldadura y en el metal de las piezas soldadas: remover la soldadura completamente en toda su extensión. En caso que la extensión de la grieta pueda determinarse a satisfacción del supervisor, por medio de partículas magnéticas u otro medio: se quitarán 2,5 cm (1") de metal sólido a cada lado de la grieta y se rellenará con la soldadura necesaria.

La remoción de defectos en la soldadura o partes del metal de la pieza se efectuará con cincel, esmeril, corte con oxígeno o por arco aire, de tal manera que el metal de soldadura o el metal base sin defectos no se afecten. Las partes de soldadura defectuosa, se corregirán sin remover demasiado el metal base.

Es de recalcar el hecho de cuando se realiza una

reparación depositando soldadura, se empleará un electrodo más pequeño que el utilizado para la soldadura original, y preferiblemente no mayor de 4 mm (5/32") de diámetro. Las superficies se limpiarán a fondo antes de proceder a soldar. Se deberá precalentar las piezas manteniéndose control adecuado de la temperatura entre pases durante todo el trabajo de reparación.

El reparar un defecto implica además que se debe volver a inspeccionar la soldadura para comprobar que ha quedado correcta. Estos gastos corren por cuenta del contratista.



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA



### III. DISEÑOS Y CALCULOS

#### 3.1 SELECCION DE MATERIALES

La selección de los Materiales a utilizarse en el diseño y construcción de cualquier obra requiere un minucioso análisis en cuanto a las condiciones propias de funcionamiento del proyecto, y de aspectos tanto económicos como técnicos.

En el caso de recipientes para almacenamiento de productos limpios de petróleo, cuando se habla de condiciones de funcionamiento, se habla de las presiones y temperaturas a que estará sometido el sistema, además del tipo de fluido a almacenar, sobre este punto debemos decir que el Terminal Pascuales, que es la referencia principal de este trabajo, funcionará en las siguientes condiciones:

- Temperatura: ambiente
- Presión de Diseño: atmosférico (14.7PSIG)
- Fluidos a almacenar:
  - Diesel : Gravedad específica: 0.825
  - Gasolina 80 octanos: Gravedad específica: 0.74
  - Gasolina 92 octanos: Gravedad específica: 0.74
  - Kerex: : Gravedad específica: 0.813

En relación al aspecto económico determinante de la selección de los materiales, se mencionan tres variables: la disponibilidad, la fabricabilidad, y la maquinabilidad.

- Al hablar de disponibilidad, nos referimos a que dichos materiales son posibles o no de encontrarlos en nuestro medio. El Ecuador no posee acerías especiales, y la materia semielaborada tiene que ser importada, en este caso planchas, tubos y vigas.
- En lo relacionado a la fabricabilidad, nos referimos a cuan fácil es fabricar dicho material ya que de ello depende su costo en el mercado, que como es lógico suponer los materiales especiales tendrán precios especiales.
- En cuanto a la maquinabilidad, nos referimos a la facilidad con que se puede trabajar un determinado material, ya que de tener condiciones especiales se necesitará de equipos también especiales para su maquinación; y por lo tanto aumentarán los costos de producción.

Revisado el aspecto económico se procede al aspecto técnico. Aquí, las propiedades mecánicas, físicas y químicas, son las que definirán la selección del material.

Las propiedades mecánicas importantes son la resistencia a la tracción, a la comprensión, al torque, la dureza, etc. Las propiedades físicas de interés son el peso, densidad, etc. Las propiedades químicas importantes son la composición y la resistencia a la corrosión.

El Instituto Americano de Petróleo (API), en base a la experiencia de muchos años en el campo petrolero, ha seleccionado para la construcción de recipientes de almacenamiento el acero ASTM A283 grado C. ó el A285 grado C, ambos aceros al carbono de calidad estructural de bajo e intermedio esfuerzo a la tensión.

Entre las zonas que justifican esta selección se tienen:

- Estos materiales se fabrican en hornos comunes y económicos de "corazón abierto", "oxígeno Básico" o en "Hornos Eléctricos", lo cual significa:

Que la fabricabilidad y disponibilidad están aseguradas.

- Sus propiedades mecánicas son aceptables para el trabajo a desempeñar: (Ref. 17).

Resistencia a la tensión:  $72 \times 10^3$  PSI

Punto de Fluencia:  $33 \times 10^3$  PSI

- Su maquinabilidad es alta, añádase a esto su soldabilidad que también es alta. Cabe recordar que toda



la estructura del recipiente va soldada, de ahí entonces el porqué de destacar su soldabilidad.

A pesar de haber señalado al ASTM A283 C, como el mejor material para estos casos, se recuerda que también podrían ser utilizados el ASTM A131, A20, A442 y el A516. (Ref. 17).

### 3.2 SELECCION DE ESPESORES DE PLANCHAS

Para realizar la selección de los espesores de las planchas de los recipientes, tanto de las paredes como del fondo y del techo, es necesario fijar los parámetros de diseño, que en este caso serán:

- Temperatura de Operación; la temperatura de operación tanto de los líquidos almacenados y sus vapores no excederán los 200°F (93°C).
- Presión de diseño; la presión a considerarse para diseño sobre la superficie libre del líquido no podrá exceder los 15PSIG.
- Peso; el peso del líquido almacenado se tomará por pie cúbico a la temperatura de 60°F (15°C), y en ningún caso se considera un peso menor a 48 lbs/ft<sup>3</sup>.

(Ref. 17).

Adicionalmente se deberían tomar en cuenta aspectos tales como posibles cargas de viento, lluvia o terremotos. Para todos estos casos se toma un factor de seguridad, elevando el esfuerzo calculado en un 33% sin que este valor total supere el 80% del esfuerzo de fluencia del material.

Es importante también considerar si el ambiente es corrosivo. De serlo, se debe tomar un factor de seguridad de corrosión. Dicho factor será como mínimo 1/16 plg., pudiendo ser aumentado aún más a criterios del diseñador. Es necesario recalcar que no solo el ambiente puede ser corrosivo, sino también el fluido a ser almacenado. En el caso de los recipientes para productos limpios, es posible tener agua en el fondo del tanque, por lo que se deberá tener un especial cuidado en la determinación del factor de corrosión en por lo menos el primer anillo de cada recipiente.

#### A.- ESPESORES DE PLANCHAS DE CUERPO

Para determinar los espesores por anillo de las planchas que conforman la pared del recipiente cilíndrico, se hará un análisis de cuerpo libre a los

diferentes niveles desde la parte baja a la más alta.

La fig. 25, permite realizar el siguiente análisis:

NOMENCLATURA:

$T_1$  : Fuerza meridional (lbs/pulgada de arco) positiva si es tensión.

$T_2$  : Fuerza circunferencial (lbs/pulgada de arco) positiva si es tensión.

$R_1$  : Radio de curvatura de la pared.

Si el tanque es cilíndrico  $R_1$  es infinito.

$R_2$  : Longitud, en pulgadas, de la normal a la pared del tanque al centro de revolución.

$P$  : Presión total en PSIG al nivel considerado

$W$  : Peso del tanque

$F$  : Sumatorio de las fuerzas, componentes verticales de los accesorios.

$A_T$  : Sección transversal en el punto en consideración.

$$T_1 = \frac{R_2}{2} \left( P + \frac{W + F}{A_T} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$T_2 = R_2 \left( P - \frac{T_1}{R_1} \right) \quad (\text{Ec. 7})$$



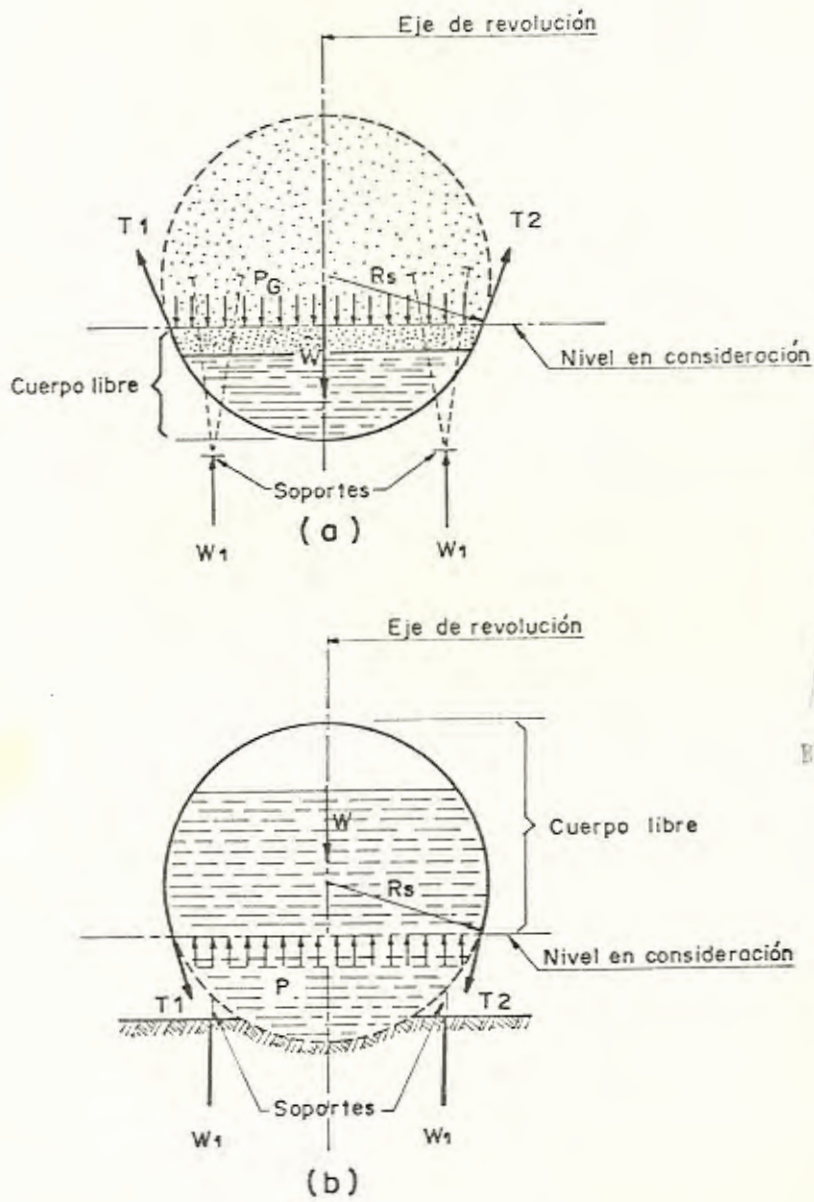


Fig: 25 DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRES DE RECIPIENTES CON DIFERENTES APOYOS ( Ref. 17 )

$$= R_2 \left( P - \frac{1}{R_1} \left[ \frac{R_2}{2} \left( P + \frac{W+F}{A_T} \right) \right] \right)$$

$$= R_2 \left( P \left( 1 - \frac{R_2}{2R_1} \right) - \frac{R_2}{2R_1} \frac{(W+F)}{A_T} \right) \quad (\text{Ec. 8}).$$

Si  $R_1 = \text{infinito}$  y  $R_2 = R_c$  Radio del cilindro.

De la Ec. 6

$$T_1 = \frac{R_c}{2} \left( P + \frac{W+F}{A_T} \right) \quad (\text{Ec. 9})$$

De la Ec. 8 se tiene

$$T_2 = PR. \quad (\text{Ec. 10})$$

El espesor de la ~~pared~~ se calculará con el mayor  $T_1$  o  $T_2$  y se utilizará la fórmula:

$$t = \frac{T}{St_s E} + C \quad (\text{Ec. 11})$$

donde:  $T = T_1$  ó  $T_2$

$St_s$  = Máximo esfuerzo tensil del material según tabla 3.05 del API 620 (Ref. 17).

Para tensión simple  $St_s = 15.200$  PSI en ASTM 283 C.

$E$  = Eficiencia de la junta en decimales; de la tabla 3.23 del API 620 (Ref. 17). En general se puede tomar un 85% para todas

las juntas

c = factor de corrosión

Además del método del cuerpo libre, existe otro método rápido utilizado para el cálculo de los espesores mínimos de las paredes del recipiente y es el que aparece en el API 650 (numeral 3.3.3) (Ref.5) el cual considera una eficiencia de las juntas del 85%, y un máximo esfuerzo tensil de 21000 PSI permitido.

La fórmula a utilizarse es:

$$t = \frac{2.6(D)(H-1)(G)}{E S_{ts}} + c \quad (\text{Ec. 12})$$

donde:

$S_{ts} = 21000 \text{ PSI}$

$E = 0.85$

$D =$  Diámetro nominal del tanque

$H =$  Altura en pies, del fondo a la altura de llenado máximo.

$G =$  Gravedad específica del líquido a almacenar, pero en ningún caso inferior a 1.0

$c =$  Factor de corrosión

Como ilustración a la parte teórica anteriormente



expuesta, se presenta el siguiente ejemplo:

Un tanque cilíndrico vertical tiene las siguientes características.

$$D = 25.28' \text{ pies}$$

$$H = 39.57 \text{ pies}$$

$$G = 1.0$$

c = factor de corrosión: ninguno.

Número de anillos = 5 de 96 plg. c/uno.

Se desea encontrar el espesor de las planchas en cada anillo del tanque.

Primer anillo.

$$H-1 = 39.57 - 1$$

$$= 38.57'$$

$$t = \frac{2.6(25.28\text{ft})(38.57\text{ft})(1.0)}{0.85(21.000 \text{ lbs/pulg}^2)}$$

$$t = 0.142 \text{ pulg.}$$

Segundo anillo.

$$H_2 = H\text{-anillo} = 39.57' - 8' = 31.57'$$

$$H_2-1 = 31.57' - 1$$

$$= 30.57'$$

$$t_2 = \frac{2.6(25.28\text{ft})(30.57\text{ft})(1.0)}{0.85(21.000 \text{ lbs/pulg}^2)}$$

$$t_2 = 0.113$$

Tercer anillo.

$$t_3 = 0.084 \text{ pulg.}$$

Cuarto anillo

$$t_4 = 0.055 \text{ pulg.}$$

Quinto anillo.

$$t_5 = 0.026 \text{ pulg.}$$



Bajo ninguna condición el espesor nominal de las planchas de la pared será inferior a lo siguiente, excluido el factor de corrosión. (Ref. 5).

<u>DIAMETRO NOMINAL DEL TANQUE</u>	<u>ESPESOR NOMINAL DE LAS PLANCHAS</u>	
Menos de 50 pies	3/16"	0.1875"
50 a 120 pies inclusive	1/4"	0.25"
120 a 200 pies inclusive	5/16"	0.3125"
más de 200 pies	3/8"	0.375"

Se recuerda que las longitudes y los anchos de las planchas son variables; más, bajo ningún caso tendrán anchos inferiores a 72 pulgadas. Para dar aún mayor agilidad al diseño de recipientes de almacenamiento de productos limpios se han elaborado tablas como: la Tabla XI, tomadas del API 650 (Ref.5) En donde para cada diámetro nominal, y para un ancho de plancha de 96 pulgadas, y para cada altura,



TABLA X - ESPESORES DE PLANCHAS PARA TAMAÑOS TÍPICOS EN ANILLOS DE 96 PULGADAS.

(1) DIAMETRO DE TANQUE (pies)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) ALTURA PERMITI- DA PARA LOS Ø LISTADOS (pies)
	ALTURA DEL TANQUE ( pie)								
	8	16	24	32	40	48	56	64	
	NUMERO DE ANILLOS								
ESPEJOR DE LA PLANCHA (pulgadas)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	
10	3/16	3/16	3/16	3/16	.....	.....	.....	.....	.....
15	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	.....	.....	.....	.....
20	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	.....	.....	.....
25	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.20	0.23	.....
30	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.21	0.24	0.28	.....
35	3/16	3/16	3/16	3/16	0.20	0.24	0.28	0.33	.....
40	3/16	3/16	3/16	3/16	0.23	0.28	0.32	0.37	.....
45	3/16	3/16	3/16	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	.....
50	1/4	1/4	1/4	0.25	0.29	0.35	0.40	0.46	.....
60	1/4	1/4	1/4	0.27	0.34	0.41	0.48	.....	58.2
70	1/4	1/4	1/4	0.32	0.40	0.48	.....	.....	50.0
80	1/4	1/4	0.27	0.37	0.46	.....	.....	.....	43.9
90	1/4	1/4	0.31	0.41	.....	.....	.....	.....	39.1
100	1/4	1/4	0.34	0.46	.....	.....	.....	.....	35.3
120	5/16	5/16	0.41	.....	.....	.....	.....	.....	29.6
140	5/16	5/16	0.47	.....	.....	.....	.....	.....	25.5
160	5/16	0.35	.....	.....	.....	.....	.....	.....	22.5
180	5/16	0.40	.....	.....	.....	.....	.....	.....	20.1
200	5/16	0.44	.....	.....	.....	.....	.....	.....	18.2
220	3/8	0.48	.....	.....	.....	.....	.....	.....	16.6



se dan los espesores por anillo.

Con esto queda pues definida la selección de espesores para planchas de la pared.

B.- ESPEORES DE PLANCHAS DEL TECHO Y FONDO.

Previa a la discusión del cálculo y selección de espesores para las planchas del techo y del fondo del tanque cilíndrico, se deben recordar los diferentes tipos de techo que se construyen comunmente:

- Techo cónico soportado por columnas y vigas,
- Techo cónico auto-soportado,
- Domo auto-soportado,
- Techo flotante.

En cuanto a los fondos, usualmente son planos, cóncavos o convexos.

Entre los requerimientos de diseño en los techos se debe mencionar: (Ref. 5).

- 1.- El techo y su estructura deberán soportar una carga muerta más una carga móvil uniforme, de no menos  $25 \text{ lbs/pies}^2$  por área proyectada.
- 2.- Las planchas del techo deberán tener un espesor

mínimo de 3/16 pulgadas (7.65 lbs/por pie cuadrado de plancha). Espesores mayores se requiriran para techos autosoportados. Deberá considerarse un adicional por corrosión.

- 3.- Las planchas que conforman el techo no deberán ir soldadas a las vigas de soporte, sino simplemente asentadas.
- 4.- Las planchas del techo iran soldadas al ángulo de tope por un filete contínuo en la parte superior solamente.
- 5.- La pendiente del techo será como máximo 2 plg. en 12 plg.
- 6.- Las partes de la estructura soportante del techo serán de vigas I ó H roladas o fabricadas. En el anillo más exterior del techo, los centros de los tirantes estarán separados  $2\pi$  pie (6.28 pie), uno del otro, medidos en la circunferencia del tanque.
- 7.- Los tirantes se unirán al cuerpo del tanque por medio de clips, los cuales estarán soldados al cuerpo del tanque.
- 8.- Cuando el techo esté soportado, la viga central estará sujeta por clips soldados al fondo del tanque, de tal manera que se eviten los movimientos laterales.

Para el cálculo o selección de los espesores de las planchas del techo se procede a considerar este como una placa. En el caso particular de los techos cónicos se tiene que:

ángulo (  $\theta$  ) máximo:  $37^\circ$  (arco tangente = 9:12)

ángulo (  $\theta$  ) mínimo:  $9.50$  (arco seno = 2:12)

$$\text{Espesor mínimo: } t = \frac{D}{400 \text{ sen } \theta} \quad (\text{Ec. 13})$$

pero no menor a  $3/16$  plg. y no mayor a  $1/2$  plg.

D : Diámetro del techo.

$\theta$  : Angulo del cono de los elementos con la horizontal, en grados.

t : Espesor en pulgadas.

Cuando la suma de la carga viva más la carga muerta exceda  $45 \text{ lbs/pie}^2$ ; el espesor mínimo deberá ser incrementado por el siguiente factor. (Ref. 5).

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\text{carga viva} + \text{carga muerta}}{45 \text{ lbs/pies}^2}} \quad (\text{Ec. 14})$$

Nótese que el espesor mínimo así calculado no incluye tolerancia para corrosión, que usualmente queda a criterio del constructor y que se añaden al espesor calculado.

### 3.3 DISEÑO DE JUNTAS, BISILES Y ROLADO

#### A.- DISEÑO DE JUNTAS.

El diseño de la junta debe satisfacer la resistencia y la rigidez requeridas en el producto final; es decir aquellas determinadas por la presión y la carga que soporten los recipientes. Un diseño por encima de estos requerimientos, implicará más material y mano de obra a utilizar, que traen como resultado mayores gastos.



El diseño de la junta se ve grandemente influenciado por los costos de prepararla, la accesibilidad para la suelda, y el tipo de carga que la junta soldada deberá soportar.

BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

En las figuras B.9, B.10, B.11, B.12, del apéndice "B", se pueden observar las condiciones usuales de las juntas y las fórmulas para el cálculo de las mismas. (Ref. 18). En cada una de estas figuras se ha encontrado el esfuerzo ( $\sigma$ ) al cual estará sometida la junta en particular, en base a los distintos parámetros involucrados.

## B.- DISEÑO DE BISELES.

El diseño del bisel depende en gran medida del espesor de las planchas a ser soldadas entre sí, del tipo de carga a aplicar y de los costos. Tal es así que para espesores de  $3/8$  plg. ó menores se utilizará junta a tope, es decir sin bisel. Para espesores mayores de  $3/8$  plg. se utilizarán: simple Vee, doble Vee, simple U, doble U, simple J, y doble J. El diseño del bisel es importante ya que sin apropiado biselado, una penetración completa es imposible, y sin adecuada penetración la suelda será débil.

En las figuras B.9 y B.10 del apéndice "B", se pueden apreciar los biseles, sus dimensiones, ángulos y espesores de aplicación. (Ref. 18).

Un aspecto importante en la consideración del diseño de la junta y su bisel son los costos estimados en la realización de la misma. Para estimar el costo se consideran: el costo del material depositado en la suelda, la energía utilizada, el electrodo, la eficiencia de la máquina de soldar y las condiciones locales donde se realice el trabajo, incluida la velocidad de avance.

El costo de cada uno de estos factores se calcula:  
 (Ref. 18).

$$\text{Labor (sucres)/pie} = \frac{\text{labor (sucres)/hora}}{\text{Velocidad de suelda (pie/hora)}} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\text{Energía (sucres)/pie} = \frac{\text{Amps x volts x (Kw/hr.sucres)}}{\text{Eficiencia x velocidad de suelda (Pie/Hr) 1.000}}$$

$$\text{Electrodos/(sucres)pie} = \frac{\text{libras electrodos}}{\text{pie}} \times \frac{\text{costo sucres}}{\text{libras}} \quad (\text{Ec. 17})$$

COSTO TOTAL POR PIE = Ec. 15 + Ec. 16 + Ec. 17.

Este costo no incluye factores locales, tales como fatiga del operario, cambio de electrodo, limpieza etc. De todo esto se concluye que, entre más elaborada sea la junta, mayor será su costo.

En los recipientes para almacenamiento de productos limpios se utilizan juntas tipo acanaladas DOBLE BEE, junta de traslape, junta de filete y junta de esquinas.

#### C.- DISEÑO DE ROLADO

Todas las planchas del cuerpo del tanque, del techo y del fondo, serán conformadas a la forma deseada

da, de preferencia por rolado, siempre y cuando no se alteren las propiedades mecánicas del material. Es importante anotar que el eje de rolado deberá ser perpendicular al eje del cilindro o tanque a construir, y será paralelo a la dimensión más larga de la plancha. El proceso de rolado dejará las planchas con una curvatura igual a la del tanque, ya sea la plancha para las paredes, o para el techo, o para el fondo. Curvaturas mayores a las especificadas no son recomendables por cuanto producirán esfuerzos innecesarios al momento de la suelta y en la conformación misma de la estructura.

#### 1.4 DISEÑO DE ACCESORIOS Y MISCELANEAS.

##### A.- ABERTURA DE LAS PAREDES.

Todas las aperturas a realizarse en las paredes del tanque y en el techo deberán ser circulares o elípticas. También, podrán ser con dos lados paralelos y extremos semicirculares. (Ref. 17)

Si se utilizan aberturas elípticas, la dimensión mayor (cateto mayor) no deberá exceder en dos veces





la dimensión del cateto menor, y además deberá alinear el cateto mayor con la dirección de mayor esfuerzo, sea meridional o latitudinal.

Todas la aberturas deberán estar localizadas de tal manera que la distancia entre el filo exterior del refuerzo y alguna línea de discontinuidad significativa en la curvatura de las paredes del tanque, sea de un mínimo de 6 pulgadas u ocho veces el espesor de la pared más la holgura por corrosión. (Ref. 5)

Todas las aberturas en las paredes de los tanques deberán ser reforzadas para colocar accesorios. El área de refuerzo para una sección transversal dada de una abertura, será aquella considerada en un plano normal a la superficie del tanque. La longitud del área del refuerzo será igual a la mayor de una de las dos condiciones siguientes: (Ref. 17).

- 1.- Una distancia igual al diámetro de la abertura después de considerar la corrosión.
- 2.- Una distancia igual al radio de la abertura después de considerar la corrosión, más el espesor de la pared de la boquilla, más el espe-

sor de la pared del tanque, todos estos tomados después de considerar el factor de corrosión.

El ancho del área del refuerzo será igual a la menor de una de las dos condiciones siguientes:

- 1.- Una distancia igual a 2.5 veces el <sup>espesor</sup> nominal del tanque menos la parte correspondiente a corrosión.
- 2.- Una distancia igual a 2.5 veces el espesor nominal de la pared de la boquilla, menos la parte correspondiente a corrosión, más el espesor de cualquier refuerzo adicional en el interior o en el exterior de la pared del tanque, menos su parte correspondiente a la corrosión si el refuerzo es interior.

B.- "PASO DE HOMBRES"

Todo tanque deberá ir provisto de por lo menos 2 "pasos de hombre" de tal manera que se asegure el acceso al interior para realizar inspecciones y reparaciones de ser necesario, y deberán tener un diámetro mínimo de 20 plg.

Las dimensiones y demás condiciones de estas construcciones estarán de acuerdo con la Fig. 26.a y 26.b y Tabla XI y XII, de la Ref. 5. La figura 26.a, es un esquema de un "paso de hombre" construido en el cuerpo de un tanque de almacenamiento. La figura 26.b, es un esquema de un "paso al hombre" en el techo.

Las siguientes recomendaciones son dictadas en la construcción de "pasos de hombre" (Ref. 5).

- Toda plancha de refuerzo de un "paso de hombre" deberá tener un agujero de inspección de 1/4 plg. de diámetro, con el propósito de detectar filtraciones de las paredes interiores. Este agujero estará localizado en el eje horizontal del refuerzo.
- El diámetro máximo del corte para colocar un accesorio será igual a la suma del diámetro interior del mismo más cuatro veces el espesor del flange, más una pulgada.

#### C.- PUERTA DE LIMPIEZA

Los tanques podrán tener puertas y boquillas de limpieza, de acuerdo con las dimensiones especificadas en la Fig. 27 y las Tablas XIII y XIV. La abertura de la puerta rectangular, excepto en las



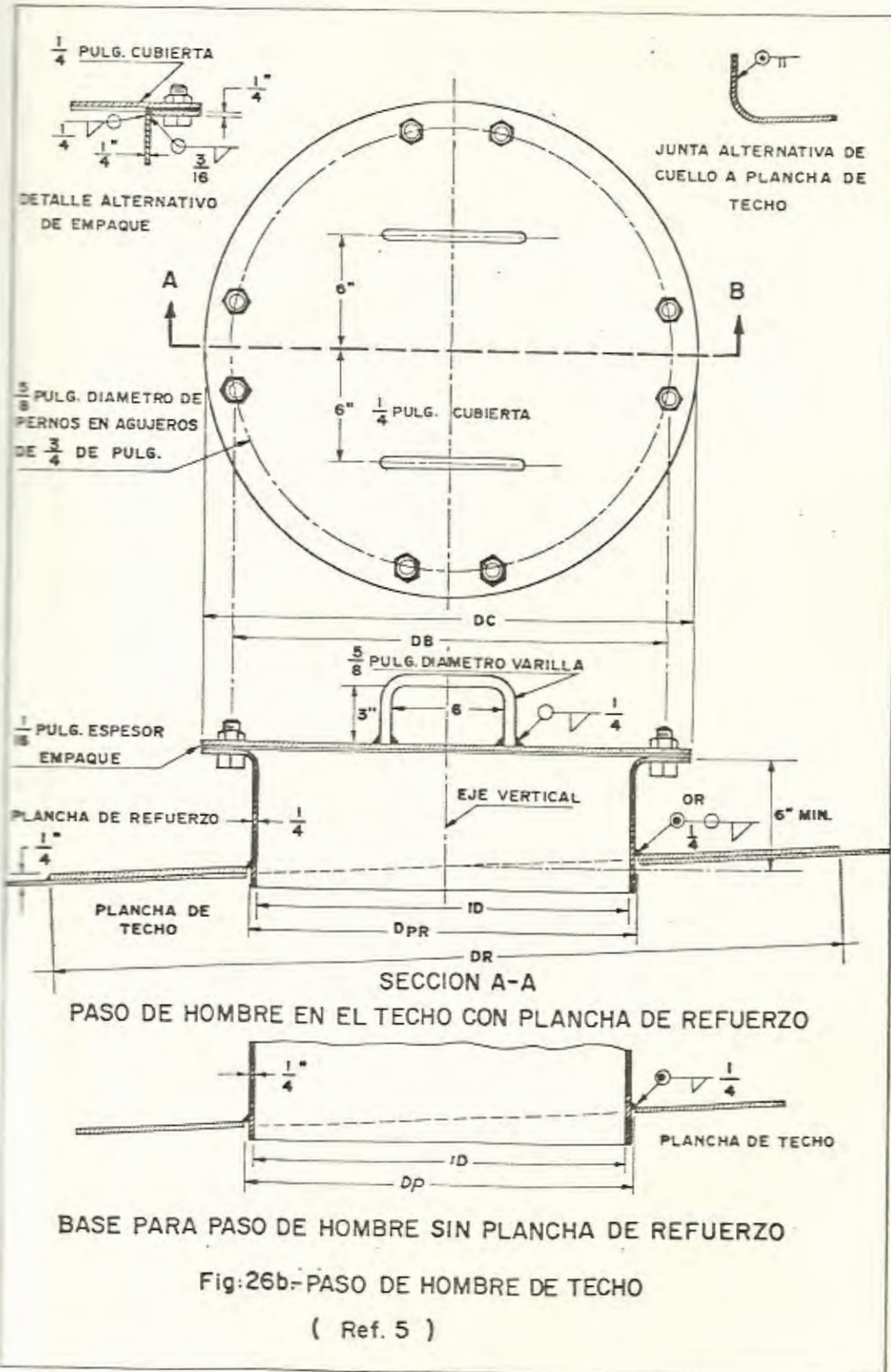


TABLA XI - PASO DE HOMBRE DE CUERPO DE 24 PULG. ( Ref. 17 )

TODAS LAS DIMENSIONES EN PULG.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ESPEJOR DE PA- RED Y REFUERZO 1 y T	CORDON A	CORDON B	RADIO APROXIM.	LONGITUD L	ANCHO W	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO DEL AGUJERO
3/16	3/16	3/16	3/16	54	65	24	25 3/4
1/4	3/16	1/4	1/4	54	64 3/4	24	26
5/16	3/16	5/16	5/16	53 3/4	64 1/2	24	26 1/4
3/8	3/16	3/8	3/8	53 1/2	64	24	26 1/2
7/16	3/16	7/16	7/16	53 1/2	64	24	26 3/4
1/2	3/16	1/2	1/2	53 1/4	63 1/4	24	27
9/16	3/16	9/16	9/16	53	63	24	27 1/4
5/8	1/4	5/8	5/8	52 3/4	62 3/4	24	27 1/2
11/16	1/4	11/16	11/16	52 1/2	62 1/4	24	27 3/4
3/4	5/16	3/4	3/4	52 1/2	62 1/4	24	28
13/16	5/16	13/16	3/4	52 1/4	61 3/4	24	28 1/4
7/8	3/8	7/8	7/8	52 1/4	25 1/4	24	28 1/4
15/16	3/8	15/16	7/8	52 1/4	61 3/4	24	28 3/4
1	7/16	1	1	52 3/4	62 1/4	24	29



TABLA XII = PASO DE HOMBRE DE TECHO ( Ref. 17 )

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS								
MEDIDA DEL PASO DE HOMBRE	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO DE TAPA	DIAMETRO DE CENTRO DE PERNOS	NUMERO DE PERNOS	DIAMETRO DE EMPAQUE		DIAMETRO DE AGUJERO EN EL TECHO	DIAMETRO EXT. DE REFUERZO
20	20	26	23 1/2	16	20	26	20 5/8	42
24	24	30	27 1/2	20	24	30	24 5/8	46

TABLA XIII = DIMENSIONES DE LA PUERTA DE LIMPIEZA ( Ref. 5 )

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS								
ALTURA DE LA ABERTURA	ANCHO DE LA ABERTURA	ANCHO DE REFUERZO	RADIO SUPERIOR DE LA ABERTURA	RADIO SUPERIOR DEL REFUERZO	DISTANCIA DEL BORDE DE LOS PERNOS	ANCHO DEL FLANGE	NUMERO DE PERNOS	DIAMETRO DE LOS PERNOS
8	16	46	3 1/4	14	1 1/4	3 1/2	22	3/4
24	24	72	8	29	1 1/4	3 1/2	36	3/4
36	48	106	15	41	1 1/2	4	46	1
48	48	125	16	51 1/2	1 1/2	4	52	1

esquinas superiores donde tendrá un radio de curva tura de por lo menos 1/3 de la mayor altura de la abertura. El ancho y la altura de la abertura serán de 48 plg. como máximo.

Si cualquier parte de la puerta tiene un espesor mayor a 5/8 plg., la unidad completa antes del montaje debe ser sometida a un alivio de tensiones a temperaturas entre 1.100°F (593°C), y 1.200°F por una hora por cada pulgada de espesor.

El área de la sección transversal de la plancha de refuerzo por encima de la abertura será igual a:

$$\text{Area} = \frac{K_1 ht}{2} \quad (\text{Ec. 18})$$

donde:

$K_1$  = Coeficiente del área

$h$  = Altura máxima de la abertura

$t$  = Espesor de la plancha del cuerpo.

El refuerzo en el plano del cuerpo tendrá una altu ra "L", por encima del borde inferior de la abertu ra. El valor de L no excederá el valor 1.5 h, ni será menor de 6" para el caso de aberturas pequeñas. (Ref. 5). Si la altura del refuerzo fuese





**TABLA XIV.- ESPESTORES DE LAS TAPAS DE LA PUERTA DE LIMPIEZA ( Ref. 5 )**  
 (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)  
 MEDIDA DE LA ABERTURA (altura h, por ancho b)

ALTURA DEL TANQUE H	PRESION EQUIVALENTE lbs/pulg. <sup>2</sup>	8 by 16		24 by 24		36 by 48		48 by 48	
		ESPEJOR DEL FLANGE Y TAPA Tc.	PLANCHA DE REFUERZO DE FONDO tb.	ESPEJOR DE FLANGE Y TAPA tc.	PLANCHA DE REFUERZO DE FONDO tb.	ESPEJOR DE FLANGE Y TAPA tc.	PLANCHA DE REFUERZO DE FONDO tb.	ESPEJOR DE FLANGE Y TAPA tc.	PLANCHA DE REFUERZO DE FONDO tb.
20	8.7	3/8	1/2	3/8	1/2	5/8	13/16	5/8	7/8
34	14.7	3/8	1/2	1/2		3/4	1	13/16	1 1/8
41	17.8	3/8	1/2	1/2	9/16	7/8	1 1/8	7/8	1 3/16
53	23	3/8	1/2	9/16	5/8	15/16	1 1/4	1	1 5/16
60	26	7/16	1/2	5/8	1 1/16	1	1 5/16	1 1/8	1 3/8

**TABLA XV - DIMENSIONES DE LAS ESCALERAS ( Ref. 5 )**

ALTURA ENTRE PELDAÑOS ( pulg.)	2R+r = 24 pulg.				2R+r = 26 pulg.			
	ANCHO DEL PELDAÑO (pulg.)	ANGULO		ANGULO	ANCHO DEL PELDAÑO (pulg.)	ANGULO		
		GRADOS	MINUTOS				GRADOS	MINUTOS
5 1/4	13 1/2	21	15					
5 1/2	13	22	56	15	20	9		
5 3/4	12 1/2	24	43	14 1/2	21	38		
6	12	26	34	14	23	12		
6 1/4	11 1/2	28	30	13 1/2	24	53		
6 1/2	11	30	35	13	26	34		
6 3/4	10 1/2	32	45	12 1/2	28	23		
7	10	35	0	12	30	15		
7 1/4	9 1/2	38	20	11 1/2	32	13		
7 1/2	9	39	50	11	34	18		
7 3/4	8 1/2	42	22	10 1/2	36	26		
8	8	45	0	10	38	40		
8 1/4	7 1/2	47	43	9 1/2	41	0		
8 1/2				9	43	23		
8 3/4				8 1/2	45	49		
9				8	48	22		

mayor, solamente la altura 1.5 h se considerará efectiva.

Toda la conexión reforzada deberá ser pre-ensamblada en un taller, antes de ser llevada al sitio de construcción del tanque. Dependiendo de la chapa de refuerzo, que usualmente se toma del mismo espesor de la pared del tanque, se procederá a un tratamiento de alivio de tensiones como se explicó anteriormente.



D.- PLATAFORMAS, PASADISOS Y ESCALERAS.

BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

Para el diseño y cálculo de las plataformas y pasadisos se tomará en consideración lo siguiente:

(Ref. 5).

Ancho mínimo: 24 plg.

Material: antideslizante.

Altura de la baranda: 42 plg. de acuerdo con el ANSI

Altura del protector de pie: 3 plg.

Distancia entre postes de la baranda: 96 plg.

La estructura debe ser capaz de soportar una carga concentrada móvil de 1000 lbs.

Los parámetros de diseño de las escaleras serán:

Ancho mínimo: 24 plg.

Angulo de inclinación de la escalera: 50°máx.

Material: antideslizante

La baranda de la escalera debe coincidir con la ba  
randa de la plataforma.

La distancia entre postes de la baranda medida en  
la pendiente será de 96 plg.

La estructura debe soportar una carga concentrada  
móvil de 1000 lbs.

La tabla XV nos dá para diferentes alturas entre  
peldaños, los anchos y ángulos a ser utilizados.

## IV. INSPECCION TECNICA EN MATERIALES Y PROCESOS.

## 4.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

## 4.1.1 Método Visual

El método visual de inspección para la construcción de los recipientes de almacenamiento en la Obra de Pascuales se realizó en las siguientes etapas:

- a.- Arribo de materiales
- b.- Almacenamiento de los materiales
- c.- Calificación de soldadores y procedimiento de suelda
- d.- Montaje y suelda de los tanques
- e.- Pruebas finales.

A.- ARRIBO DE MATERIALES

Dado que los materiales en su totalidad fueron importados del Japón, al arribo de estos, se procedió al chequeo de cada una de las planchas en sus dimensiones principales; largo, ancho, espesor, y comparando con la hoja o certificado de colada que acompañaba cada grupo.

Además, del chequeo dimensional, por el método visual se procedió a revisar el estado mismo de la plancha, sus biseles y su curvatura. De esta inspección se encontró que la totalidad de planchas estaban cubiertas por el certificado de colada, y que exceptuando un grupo de ocho planchas, todas se encontraban en buen estado. El grupo eliminado se debió a que presentaban corrosión superficial, que a criterio de la inspección reducía el espesor mínimo requerido de la plancha en dichos puntos. Aparentemente las planchas sufrieron exposición al ambiente salino del agua de mar, por lo que se explica su estado de corrosión. Estas planchas fueron sometidas a reparación con la debida autorización de la inspección. La reparación consistió en un relleno con material de aporte mediante porceso de suelda y un esmerilado posterior.

Es de anotar que antes de la suelda se realizó una limpieza exhaustiva con cepillo eléctrico.

Además de las planchas, se inspeccionaron también los accesorios de los tanques que venían

en el mismo embarque. Dichos accesorios fueron los pasos de hombre de cuerpo y techo, boquillas de limpieza, puerta de limpieza, etc. A todos estos accesorios se les comprobó las dimensiones principales según planos de diseño, y en el caso especial de la puerta de limpieza, por ser premontada en fábrica se comprobó su curvatura, su arco y se solicitó el certificado del proceso de alivio de tensiones que debió ser sometido en fábrica, tal como recomienda el API 650 (Ref. 5), para espesores mayores a 5/8 pulgadas.

#### B.- ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

Durante esta etapa de desarrollo del proyecto se procedió a comprobar el correcto almacenamiento de los materiales, es decir que en el caso de las planchas, estas no pierdan su curvatura ni que estén expuestas a las inclemencias de nuestro clima que es bastante húmedo. Otro punto en el que se tuvo especial cuidado fue el estibaje, es decir que se dejó más próximo el material que se iba a necesitar

primero y así sucesivamente. La Fig. 28 indica la forma correcta de almacenar las planchas para la construcción de los tanques de almacenamiento.

C.- CALIFICACION DE LOS SOLDADORES Y PROCEDIMIENTO DE SUELDA.

En la realización de la calificación de soldados y del procedimiento de suelda, mediante el método visual se comprobaron varios parámetros, entre ellos:

- 1.- Posición del soldador al realizar el trabajo.
- 2.- Preparación de las probetas y limpieza
- 3.- Control de niveles de corriente.
- 4.- Al final de la prueba se comprobó si los cordones presentaban inclusiones, socavaciones, porosidad, etc. de acuerdo con la norma AWS. 5.1 (Ref.3).

De esta prueba se pudo observar que algunos de los soldados locales emplearon técnicas incorrectas, como por ejemplo, el tener mala





BIBLIOTECA DPTO. DE INGENIERIA MECANICA

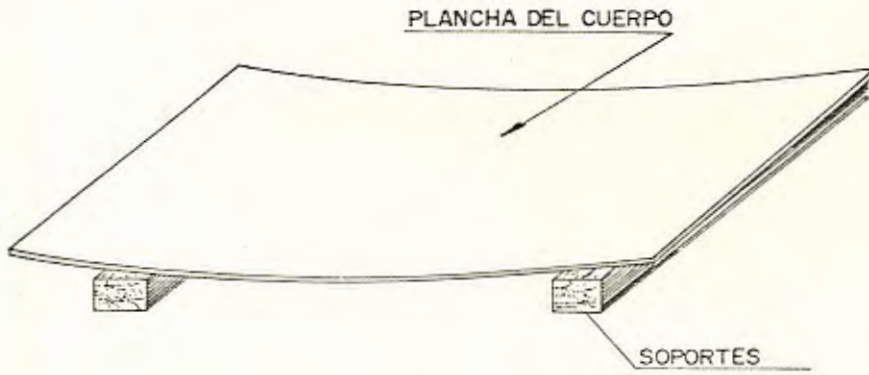


Fig. 29 FORMA CORRECTA DE ALMACENAR LAS PLANCHAS

posición durante el proceso mismo de suelda, no comprobar el amperaje, y no reconocer la polaridad al observar el arco. Todos estos soldadores fueron eliminados, pasando la prueba únicamente aquellos cuyas probetas cumplieron las especificaciones que se describirán posteriormente en los numerales 4.1.2 y 4.3.2

#### D.- MONTAJE Y SUELDA DE LOS TANQUES.

Durante el montaje se realizaron inspecciones visuales para comprobar el buen manejo y manipuleo de los materiales, de tal manera que no sean maltratados por operarios inexpertos, y que su montaje se realice de acuerdo con los diseños en el sentido de que se dejen las holguras necesarias para las dilataciones y contracciones producidas por el proceso de suelda, y que las planchas esten correctamente alineadas y empatadas. La Fig. 29 muestra el método y los accesorios para manipular las planchas para armar el cuerpo del tanque. En la Fig. 30 se representan los métodos típicos para ajustar los huelgos en las planchas del

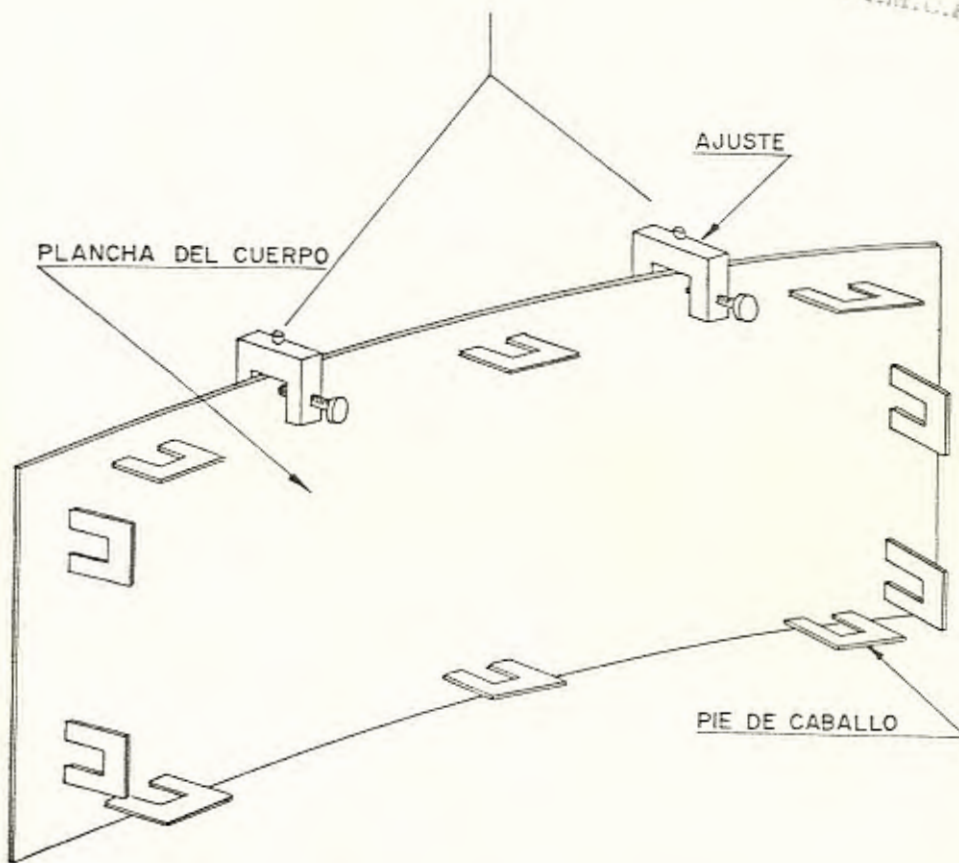


Fig. 29 METODO DE MANIPULAR LAS PLANCHAS PARA ARMAR EL CUERPO

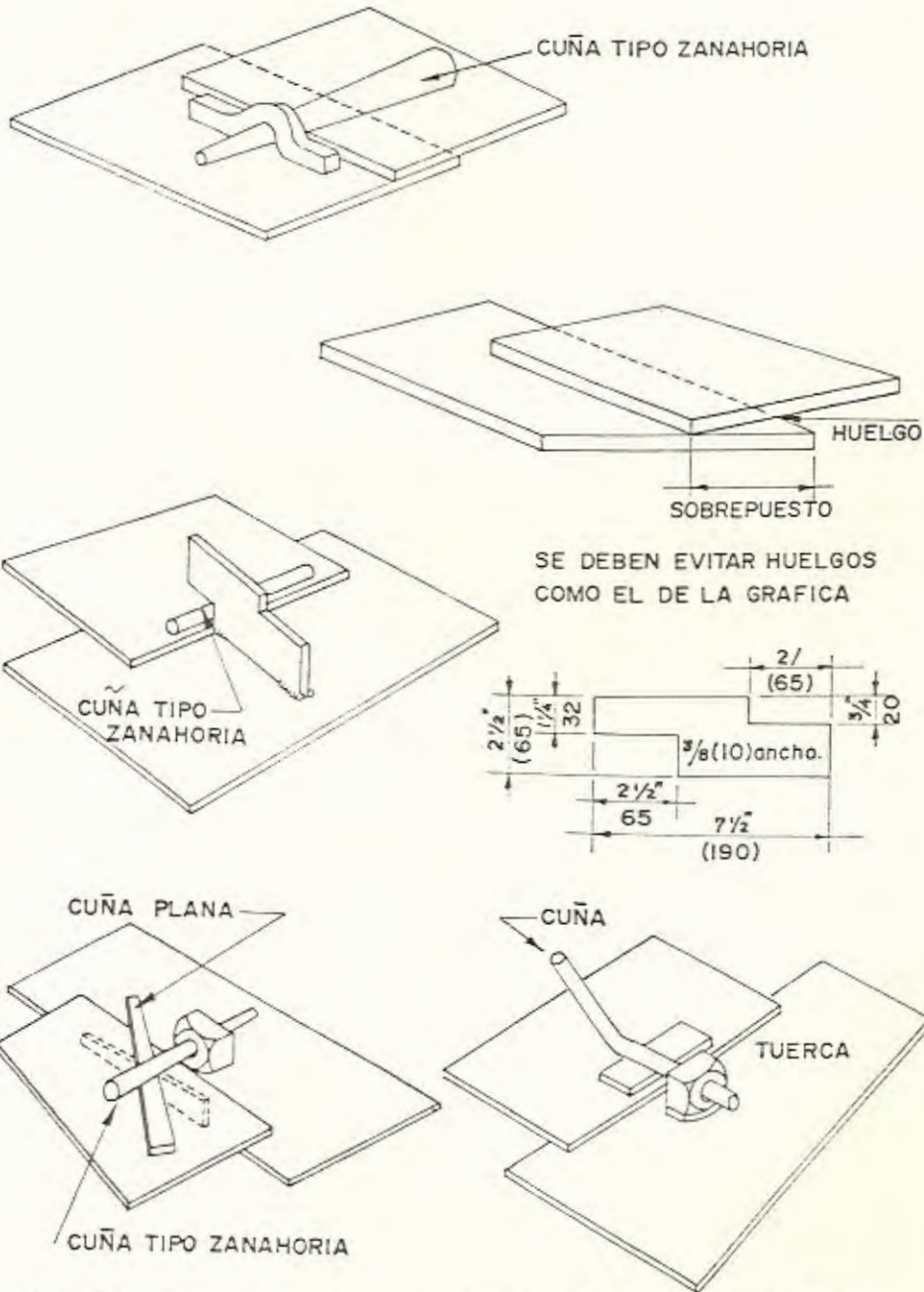
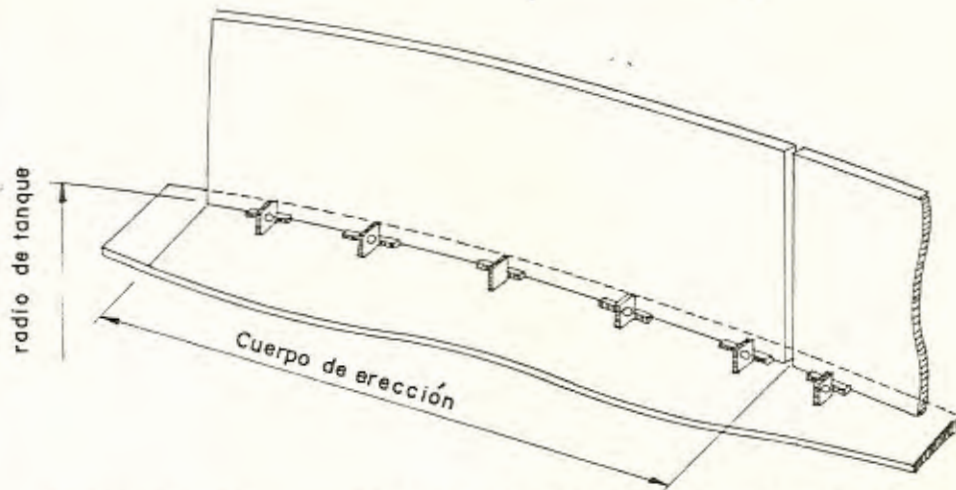


Fig: 30 METODOS TÍPICOS PARA AJUSTAR HUELGOS EN PLANCHAS DEL FONDO Y DEL TECHO.



METODO PARA POSICIONAR LAS PLANCHAS DEL CUERPO EN LAS DEL FONDO

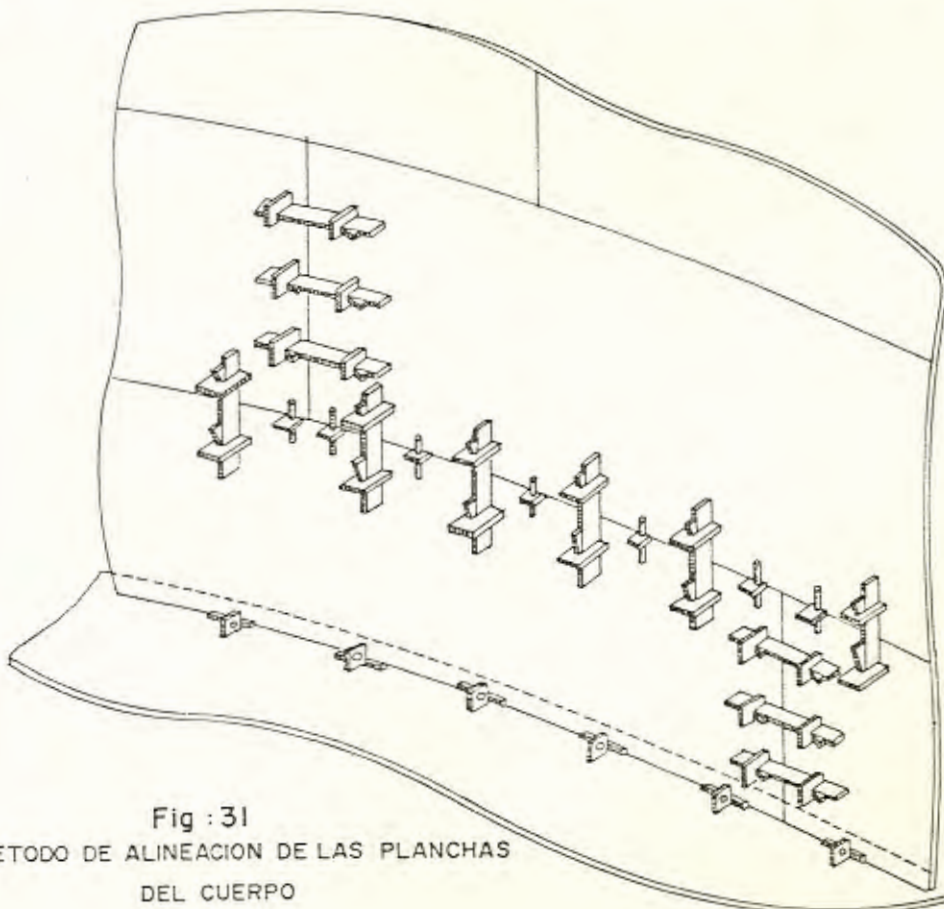


Fig : 31  
METODO DE ALINEACION DE LAS PLANCHAS  
DEL CUERPO

complemento de la prueba hidrostática y neumática, en donde se comprobó que no existan fugas de líquido por las juntas, ni asentamientos mayores a los especificados. Las conclusiones de dichas pruebas se expondrán en el numeral 4.2

#### 4.1.2 Método Radiográfico

El método radiográfico se utilizó en el desarrollo del proyecto en dos etapas que fueron:

- a.- Prueba de soldadores y calificación del Proceso de soldadura
- b.- Comprobación de los cordones de suelda de to dos los tanques.

##### A.- PRUEBA DE SOLDADORES Y CALIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA.

En la prueba de soldadores mediante inspección radiográfica se comprobó si los soldadores - eran idóneos o no, partiendo de una radiografía que se tomaba a la probeta de prueba, la cual debía estar libre de defectos tales como:

falta de fusión, de socavación y de porosidad como reza la norma AWS. 5.1 (Ref. 11). Este método junto con la inspección visual, fueron determinantes en la calificación de los soldadores, siendo calificados de primera o segunda, según la presentación del cordón y según la norma mencionada.

B.- COMPROBACIÓN DE LOS CORDONES DE SUELDA DE TODOS LOS TANQUES.



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA

Los tanques se construyeron de acuerdo con el código API 650, (Ref. 5), el cual especifica que se confinará la inspección radiográfica a las juntas de las planchas en donde se tenga penetración y fusión completa, particularmente las juntas verticales sujetas a esfuerzos primarios debidos al peso y a la presión del contenido del tanque.

El número y localización de los puntos a radiografiarse igualmente está definido en dicho código, *la dimensión de la película será de 6 x 6 pulgadas*, y la aceptabilidad de la junta

examinada por éste método se juzgará de acuerdo con el Código ASME para Calderos y Recipientes a presión, Sección VIII (Div. I), párrafo UW-51(b). (Ref. 12).

Es importante anotar que una radiografía de calidad tendrá un mínimo de distorsión, una buena definición, un alto contraste, y una adecuada densidad donde la exposición es controlada. Cualquier técnica que logre uno o varios de estos parámetros sin comprometer cualesquiera de los otros, es una buena aplicación. En el proyecto Pascuales se tomaron aproximadamente 1.000 radiografías de las cuales fueron rechazadas alrededor del 2.6% por presentar el cordón, defectos del tipo escoria, porosidad, falta de fusión ó grietas. Dichos defectos encontrados por el método radiográficos fueron reparados y vueltos a radiografiar todo esto con la aprobación del inspector de la obra. Todo punto radiografiado fue determinado sobre el plano y en el terreno por el inspector. En la radiografía aparece la determinación del punto ya sea por



letras o por coordenadas que se fijarán de mu  
tuo acuerdo con el contratista.

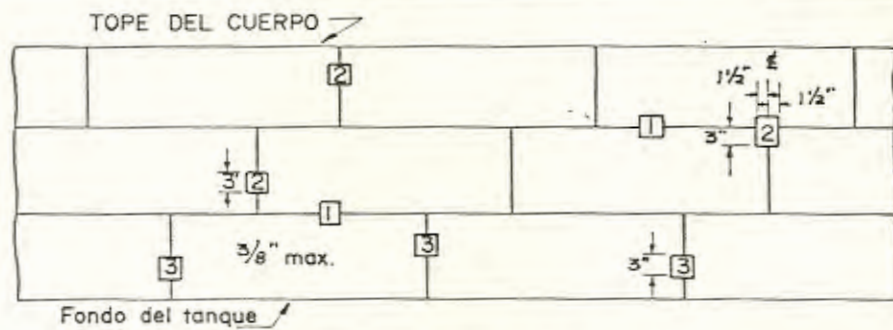
Cada radiografía fue registrada en el formato  
III con la relación del soldador, la localizaci  
ción del punto y la aprobación o rechazo del  
cordón. Este registro se anexa al informe fi  
nal de la obra, y las radiografía se conservara  
rán por un período de cinco años.

En la figura 32, se puede observar la manera  
de marcar sobre el plano del cuerpo del tan-  
que los puntos a radiografiar.

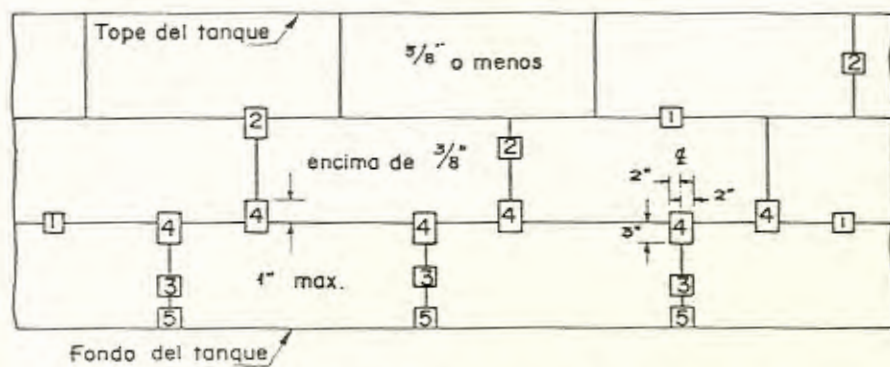
#### 4.1.3 Método de Tintas Penetrantes.

Este método no fue muy usado en la obra de Pascua  
les. Su única aplicación estuvo en la búsqueda  
de una porosidad en el fondo de uno de los tan-  
ques, luego de que fue realizada la prueba hidrosta  
tática y se comprobó una fuga de líquido. Para  
esta inspección, se prefirió este método a cual-  
quier otro por la rapidez con que se puede apli-  
car y obtener los resultados, además de que el am  
biente era ya confinado y difícilmente se podía

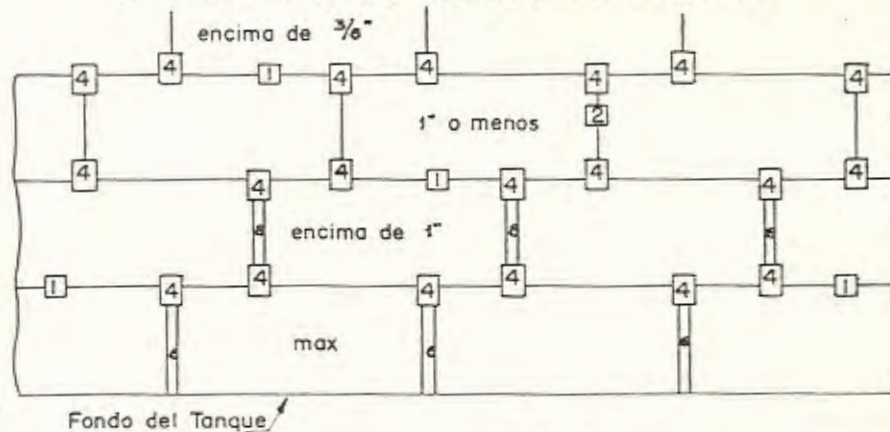




A.- PLANCHAS DE 3/8" PULG. O MENOS



B.- PLANCHAS DE 3/8" PULG. A 1 PULG. INCLUSIVE



C.- PLANCHAS POR ENCIMA DE 1" PULG.

Fig: 32 REQUERIMIENTOS DE RAYOS X PARA EL CUERPO DEL TANQUE. ( Ref. 5 )

## Notas:

- 1.- RADIOGRAFIA HORIZONTAL, UNA LOS PRIMEROS 10 PIES Y LUEGO UNA CADA 200 PIES.
- 2.- RADIOGRAFIA VERTICAL, UNA LOS PRIMEROS 10 PIES Y LUEGO UNA CADA 100 PIES ; 25 % DE LAS MISMAS EN LAS INTERSECCIONES.

introducir otro tipo de equipo de inspección. Las tintas utilizadas fueron del tipo fluorescentes, siendo observadas con apropiada luz negra. El resultado obtenido fue excelente y en corto tiempo, lo cual permitió realizar la reparación y recomenzar la prueba principal en poco tiempo y a bajo costo.

#### 4.1.4 Método de Caja de Vacío y Neumático.

##### A.- METODO DE CAJA DE VACIO.

El método de caja de vacío se aplicó para inspeccionar los cordones de soldadura del fondo del tanque. Para el efecto se utilizó una campana de vacío de las dimensiones determinadas en el numeral 2.4.1 literal G.

El método consistió en aplicar una solución jabonosa sobre la parte a ser inspeccionada del cordón, luego se colocó la campana sobre dicha porción y se produjo el vacío de por lo menos 3 psig, si se producían burbujas era porque existía algún defecto del tipo porosidad,



y debía ser separado y vuelto a inspeccionar. En la prueba del fondo de los tanques, en el Proyecto Pascuales se encontraron varias porosidades que fueron reparadas y vueltas a inspeccionar hasta que pasaron la prueba.

Es necesario mencionar que el inspector debe saber discernir entre lo que realmente es una burbuja de defectos y burbujas producidas por los bordes de la campana, y por la escoria superficial del cordón que no ha sido correctamente limpiada. Esta facilidad de discernimiento sólo se lo adquiere con la práctica.

Los defectos encontrados se registran en el acta de la prueba. El soldador que tuvo la falla le fue llamada la atención, y en el caso de reincidencia, éste podía ser re-examinado, si así el inspector lo decidía y lo justifica.

#### B.- METODO NEUMATICO.

Este método se aplicó como paso previo a la prueba hidrostática y consistió en probar los

La prueba fue realizada en la Laboratorio de Mecánica de Sólidos de la ESPOL, y se comprobó que el máximo esfuerzo tensil era de 55.000 psi, que está dentro de lo aceptable si se compara lo que dice la norma. (Ref. 12).

#### 4.3.2 Prueba de Doblado.

La prueba de doblado se realizó en muestras tomadas al arribo de los materiales. Dicho ensayo produjo resultados dentro de las especificaciones del material.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de doblado durante la calificación de los soldadores y la calificación del proceso de soldadura. Con la prueba de doblado se realizó el paso final de la calificación de los soldadores.

Mediante este ensayo se comprobó si había desgarramiento en el cordón soldado. Esto hubiera significado que no había fusión completa y que por lo tanto el soldador quedaba eliminado.

Si en cambio se doblaba la probeta y no había des  
garramiento, se consideraba una prueba exitosa, ca  
lificándose el soldador para trabajar en el proyec  
to.

La prueba de doblado también se utilizó para la ca  
lificación del proceso de soldadura. Para el efect  
o se tomaron varias muestras de soldadura, se to  
mó al mejor soldador y se soldaron cordones igual  
es. Se tomaron varias probetas que fueron somet  
idas a doblado, la que mejor resultado dió en pre  
sentación y resistencia al doblado, sirvió de cri  
terio para seleccionar el tipo de soldadura que  
se utilizó en todo el proyecto.

#### 4.3.3 Prueba de Dureza.

Las pruebas de dureza se llevaron a cabo en probe  
tas tomadas de los materiales llegados, especial  
mente en planchas. Las pruebas de dureza Rockwell  
dieron resultados esperados que coincidían con  
aquellos valores especificados para materiales ti  
po ASTM A 283°grados C. Estos valores fueron com  
parados con aquellos que constaban en el certificado

de colada del fabricante de las planchas.

Habiéndose realizado todas la pruebas requeridas, los materiales a utilizarse en la construcción de los tanques de almacenamiento, fueron aceptados por el inspector de la obra.



## V. EVALUACION DE LOS RESULTADOS

Todos los trabajos indicados en capítulos anteriores se llevaron a cabo con sujeción a normas internacionales establecidas en países, tales como E.U.A, Canada, Japón, en razón de que hasta el momento en nuestro país, no existe alguna norma lización estandar que sirva de guía en el diseño y construcción de las diferentes formas de recipientes para almacenamiento de productos limpios del petróleo.

Los métodos usados para la inspección de los procesos de construcción de los recipientes cubren todos y cada una de las etapas del proyecto, desde la inspección de los materiales, a la inspección del recipiente propiamente dicho. Esto lleva a tener la seguridad de que los materiales utilizados así como el producto final, el recipiente, tendrán la calidad y las características requeridas por los diseñadores del proyecto.

La obra de Pascuales, si bien es cierto se realizó a través de una compañía contratista extranjera, "Harbert Construction Corporation". Sin embargo, se señala que toda la mano de obra fue nacional, y la supervisión de la obra igualmente estuvo a cargo de Ingenieros nacionales. Por lo tanto se deja de

manifiesto el deseo de superación y de adquirir nuevas tecnologías, lo cual de por sí ya es un adelanto si se considera la ausencia de normalización alguna en nuestro país respecto a los procesos utilizados en dicha inspección.

Toda la mano de obra necesaria para los procesos de soldadura fue seleccionada mediante el uso de ensayos destructivos, y no-destructivos, y fue gracias a ello que los técnicos escogidos producían cordones de calidad, manteniéndose dentro de los rangos la aceptabilidad especificadas por la norma API y AWS.

Se comenta sin embargo, que la aplicación de todas estas técnicas en los procesos de construcción de recipientes de almacenamiento, elevaron los costos finales de la obra, pero que si se analiza el costo versus años de vida asegurada del proyecto, esta inversión esta plenamente justificada.

Al hablar del desarrollo de la obra propiamente dicha, se menciona que se realizó siguiendo cronogramas pre-establecidos, en los cuales estaban incluidos los trabajos de inspección. La inclusión de los trabajos de inspección se justifica, si se considera que estos toman tiempo para su realización, y de no ser programados podían fácilmente parar al avance propio de la obra.

El seguimiento diario del avance de obra, el control de los materiales, del personal y los procesos, mediante la aplicación de los métodos de inspección descritos en capítulos anteriores, dió como resultado que los recipientes de almacenamiento de productos limpios, se ajustan a las normas internacionales.

No es menos cierto que en el desarrollo del proyecto, se produjeron fallas, las que en ningún caso dejaron de estar dentro de lo previsto y de lo reparable, ni llegaron a comprometer el resultado final esperado.

Por lo tanto, se concluye que la aplicación de los métodos de inspección ya sean destructivos o no-destructivos son una garantía del óptimo resultado final de una obra o proyecto de construcción en recipientes de almacenamiento de productos limpios del petróleo.

En el apéndice "B" se incluyen una serie de fotografías de la obra de construcción de recipientes de almacenamiento de Pasuales, los mismo que han sido colocados en forma cronológica. En las primeras fotos podemos observar los trabajos previos a la construcción de los recipientes de almacenamiento, es decir la nivelación del terreno, el encofrado de los

anillos de cemento, y los muros de seguridad contra posibles derrames. En la foto subsiguiente, se observa la colocación de las primeras planchas del fondo, del cuerpo, del techo, etc. También en las fotos podemos ver los equipos utilizados para la realización de las pruebas, tales como: dobladora de probeta, caja de vacío, etc.

Se ha anexado una foto del equipo para chorreo abrasivo, el cual se utilizó para realizar la limpieza de los recipientes y accesorios previo el pintado.

Igualmente se anexan vistas panorámicas del patio de tanques en los que se observan la piscina del sistema contra incendios y su bomba

Para cerrar la sección fotos, tenemos una vista aérea del Terminal de Pascuales, terminado y listo para operar. En dicha foto se puede apreciar sus dos plataformas, la de almacenamiento y la de despacho, sus vías de acceso y la zona de bombeo.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A.- CONCLUSIONES

- La correcta aplicación de los métodos de inspección destructivos y no destructivos, en todas las etapas de construcción de recipientes de almacenamiento de Productos Limpios del Petróleo, en el Terminal de Pascuales de ~~CSPE~~, permitió la finalización satisfactoria de ~~esta obra~~, tal como se la había planificado.
- La aplicación de los métodos de inspección en la obra mencionada, ~~consumió~~ <sup>BIBLIOTECA OPTO. DE</sup> ~~consumió~~ un tiempo adicional al de la construcción propiamente dicha, elevando los costos totales. Sin embargo, este aumento es justificable si se toma en consideración el monto total de la inversión y el beneficio del trabajo correctamente realizado.
- Es necesario llevar una relación documentada, si es posible fotográfica, de todo lo acontecido en cada uno de los ensayos que incluya los parámetros de pruebas, los participantes y los resultados. Es recomendable que se elabore un acta que deberá ser firmada tanto por el Inspector como por el Supervisor de obra.

## 8.- RECOMENDACIONES

- Es necesario establecer una norma nacional de inspección de materiales y procesos de construcción de recipientes de almacenamiento de Productos Limpios del Petróleo. Se justifica esta recomendación en base de los Proyectos que CEPE ha programado para el futuro.
  
- De acuerdo a la experiencia adquirida en la construcción de los tanques de almacenamiento en el Terminal de Pascuales de CEPE, se cree necesario procurar los mejores métodos de almacenamiento y manipuleo de materiales según las condiciones del medio, a fin de que estos sufran el menor daño posible.
  
- Los métodos de inspección para la construcción de tanques de almacenamiento no deben estar incluidos en el cronograma de trabajo, sino que obligatoriamente serán ejecutadas en la etapa pre-establecida del desarrollo de la obra.
  
- Es importante tomar las precauciones necesarias durante los ensayos de inspección destructiva y no

destructiva con el propósito de evitar accidentes.  
La inspección radiográfica y las pruebas con presio-  
nes elevadas requieren especial cuidado por los ries-  
gos inherentes.



A P E N D I C E S



## APENDICE "A"

GLOSARIO DE TERMINOS (Ref. 19)

## 1.- ABOLLADURA (Dent)

Un cambio local en el contorno de la superficie, causado por impacto mecánico pero sin pérdida de material.

## 2.- AMPOLLA (Blister)

Un punto elevado sobre la superficie metálica causada por la expansión de gas en una cavidad dentro de la pared de la plancha metálica.

## 3.- ARRANCADURA (Gouge)

Ranuras alargadas o cavidades causadas por remoción mecánica del metal.

## 4.- FALTA DE PENETRACION (Lack of penetration)

Una condición donde el metal de soldar no continúa a través del espesor completo de la unión.

## 5.- FUSION INCOMPLETA (Incomplete fusion)

Falta de fusión total de alguna parte del metal en una junta de soldadura.

6.- GRIETA (Crack)

Separación en el metal inducido por un esfuerzo, el cual, sin otra influencia es insuficiente en extensión para causar ruptura completa del material.

7.- INCLUSION (Inclusion)

Impurezas no metálicas atrapadas en el metal durante su solidificación.

8.- INCLUSIONES DE ESCORIA (Slag Inclusions)

Material sólido no metálico atrapado en el depósito de soldadura o entre el metal de soldar y el metal base.

9.- LAMINACION (Lamination)

Una separación interna del metal, que generalmente produce capas paralelas a la superficie.

10.- PICADURA (Pit)

Una depresión que resulta al remover material extraño laminado dentro de la superficie durante la fabricación.

11.- POROSIDAD (Porosity)

Cavidades en la soldadura causadas por gas atrapado durante el proceso de solidificación. La porosidad puede

presentarse bajo superficie o como cavidades en la superficie.

12.- QUEMADURAS POR ARCO (Arc - Burns)

Puntos localizados de superficie fundida por la formación de un arco entre el electrodo o la tierra y la superficie metálica.

13.- SOCAVACION (Under Cut)

Reducción en espesor de la pared de la plancha metálica adyacente a la soldadura donde es fundida a la superficie metálica.



14.- TRASLAPE (Lap)

Pliegue de metal que ha sido laminado o empotrado en otra forma contra la superficie del metal laminado, pero no se ha fundido con el metal sano.



## APENDICE "B"

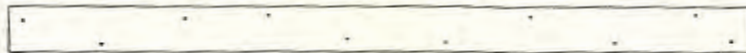
TABLAS, FIGURAS Y PLANOS

**CUADROS DE POROSIDAD PARA  
PRUEBAS DE CLASIFICACION DE SOLDADORES**



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 0.4mm. (1/16" pulg. DE DIAMETRO.)  
NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152mm. (6 pulg.) = 6

**Fig.B1-NUMERO Y DIMENSION DE POROS PARA SOLDADURAS INFERIORES  
A 3mm ( 1/8) pulg.) EN ESPESOR**



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 0.6mm. (1/32 pulg.) DE DIAMETRO  
NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm. (6 pulg.) = 10

**Fig.B2 - NUMERO Y DIMENSION DE POROS PARA SOLDADURAS DE 3mm.  
(1/8 pulg.) a 6 mm (1/4 pulg) DE ESPESOR**



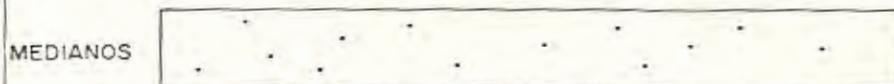
POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 1.2 mm. ( 3/64 pulg) DE DIAMETRO  
0.8 mm ( 1/32 pulg) y 0.4 mm (1.64 pulg.) DE DIAMETRO.

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm. (6 pulg.) = 10



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 1.2 mm. ( 3/64 pulg.) DE DIAMETRO

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152mm. (6 pulg.) = 7



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 0.8 mm. (1/32 pulg.) DE DIAMETRO

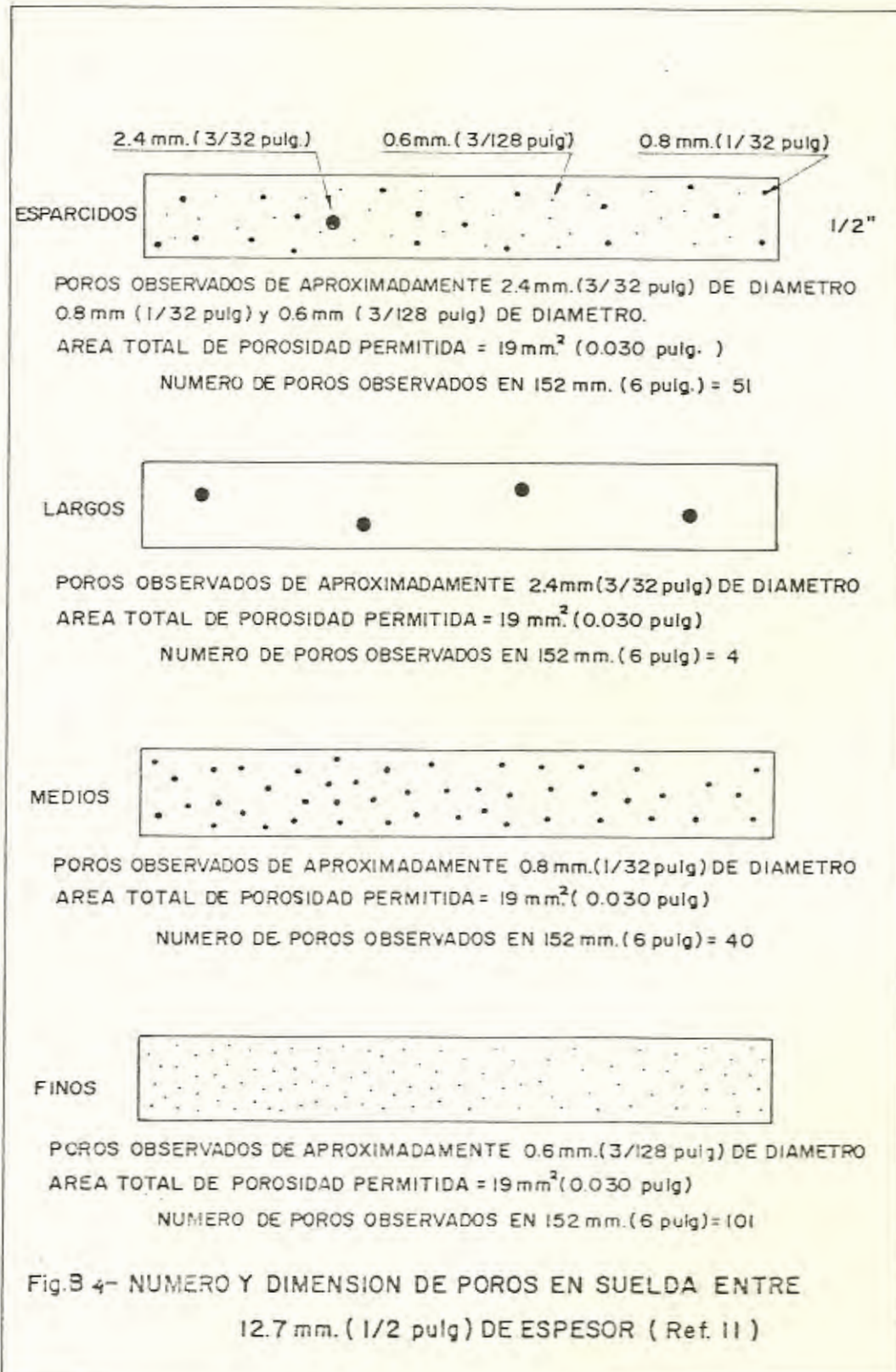
NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152mm (6 pulg.) = 13

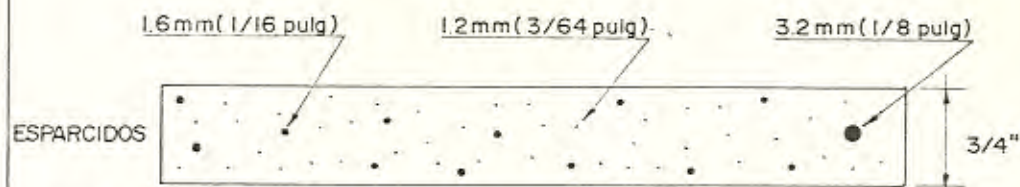


POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 0.4mm. (1/64 pulg.) DE DIAMETRO

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm. (6 pulg.) = 18

**FIG.B3- NUMERO Y DIMENSION DE POROS EN UN CORDON DE SUELDA  
ENTRE 6mm. y 13mm. DE ESPESOR ( Ref. II )**





POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 3.2 mm. (1/8 pulg.) DE DIAMETRO  
1.6 mm (1/16 pulg.) y 1.2 mm. (3/64 pulg.) DE DIAMETRO.

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $29 \text{ mm}^2$  (0.045 pulg.)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN  $152 \text{ mm}^2$  (6 pulg.) = 55

LARGOS



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 3.2 mm (1/8 pulg.) DE DIAMETRO

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $29 \text{ mm}^2$  (0.045 pulg.)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN  $152 \text{ mm}^2$  (6 pulg.) = 4

MEDIOS



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 1.6 mm. (1/16 pulg.) DE DIAMETRO

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $29 \text{ mm}^2$  (0.045 pulg.)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN  $152 \text{ mm}^2$  (6 pulg.) = 50

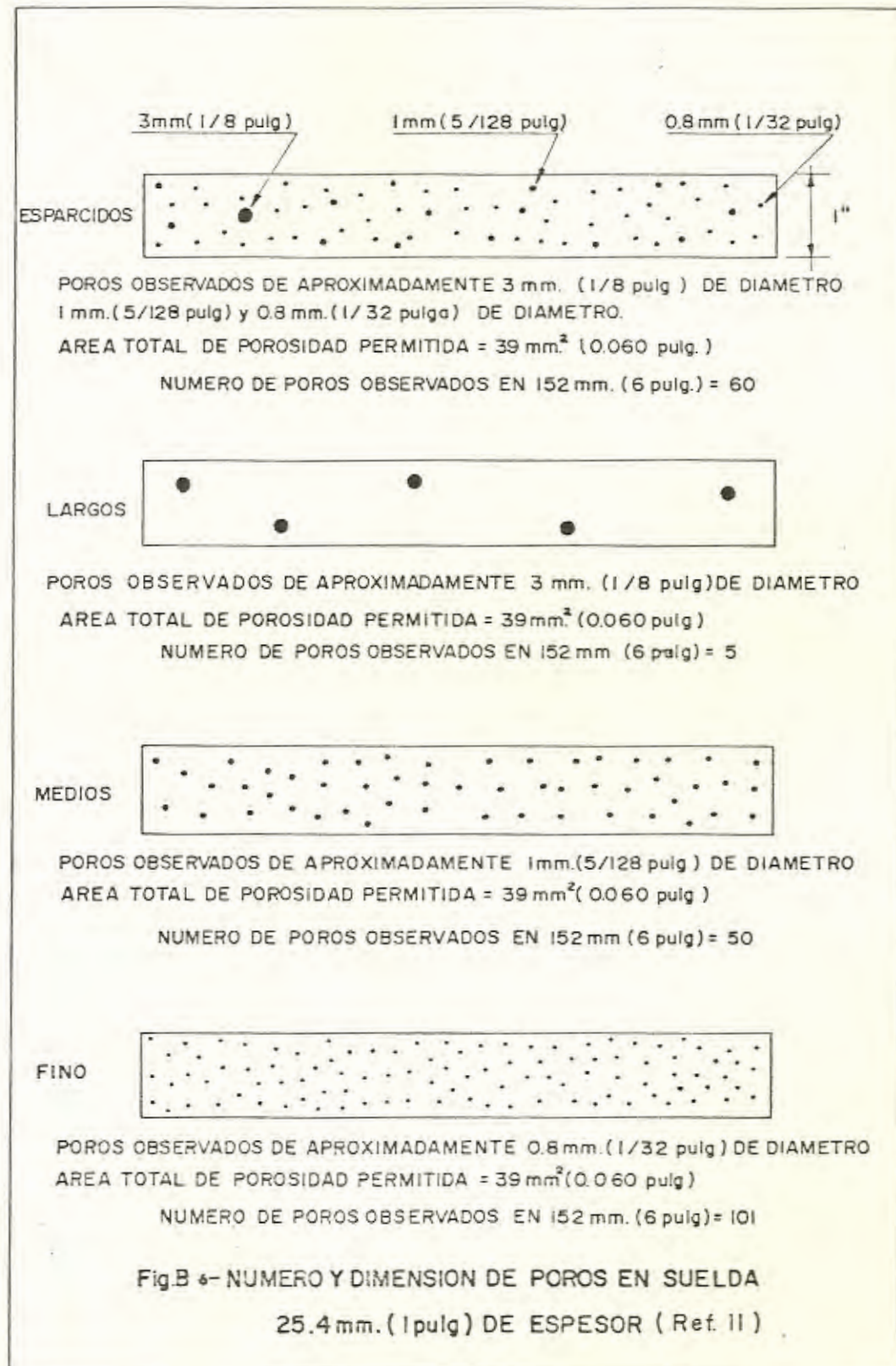


POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 1.2 mm. (3/64 pulg.) DE DIAMETRO

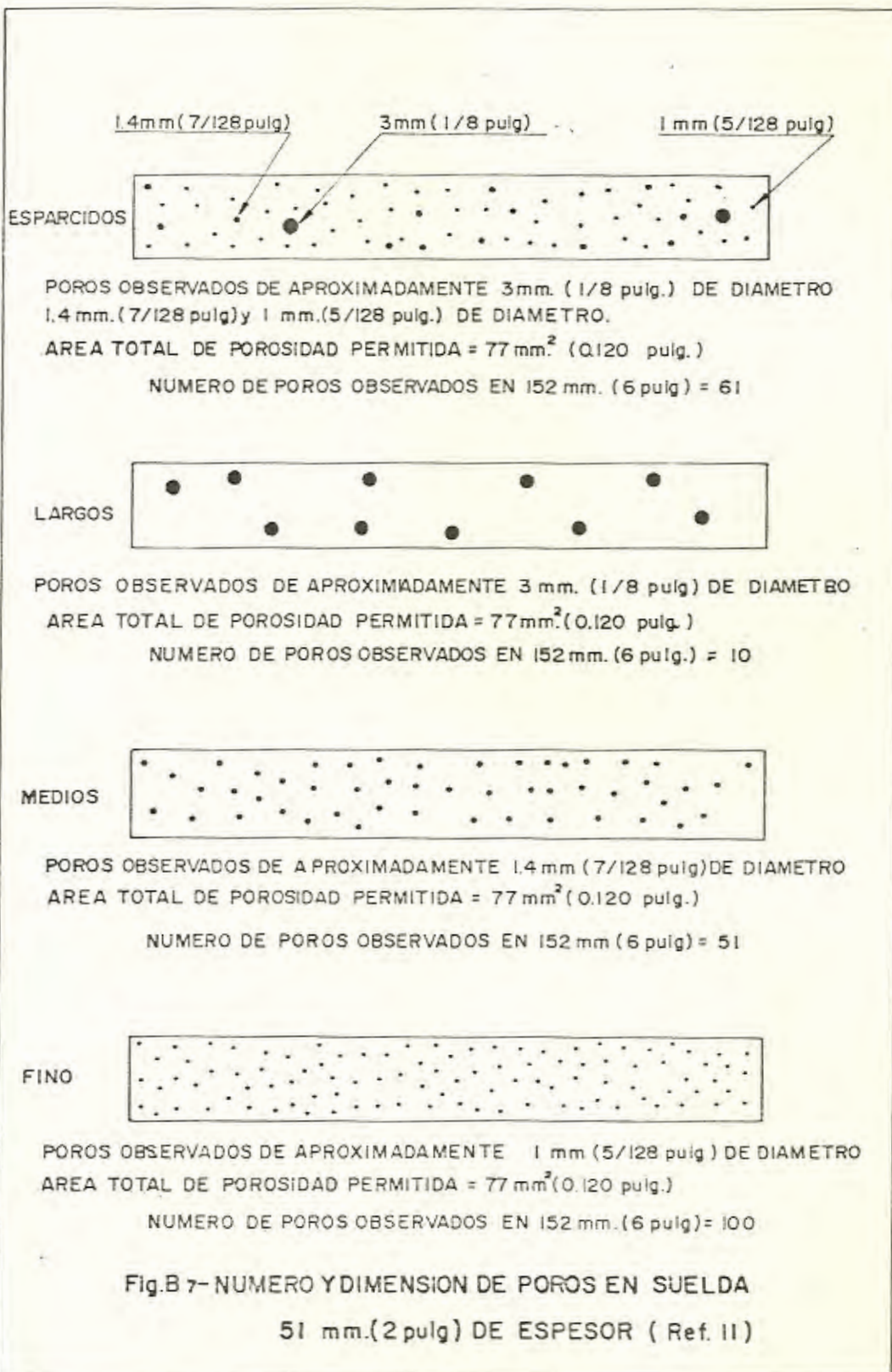
AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $29 \text{ mm}^2$  (0.045 pulg.)

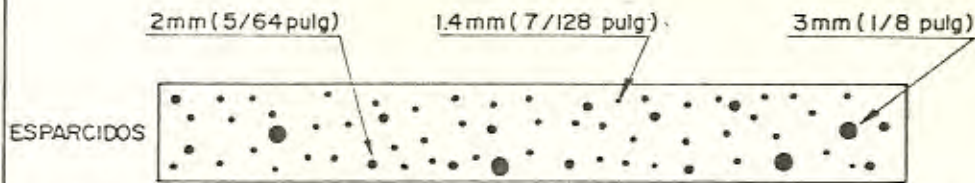
NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN  $152 \text{ mm}^2$  (6 pulg.) = 99

Fig. B 5 - NUMERO Y DIMENSION DE POROS EN SUELDA  
19 mm. (3/4 pulg.) DE ESPESOR (Ref. II)









POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 3 mm. (1/8 pulg) DE DIAMETRO  
2 mm (5/64 pulg) y 1.4 mm. (7/128 pulg.) DE DIAMETRO

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $155 \text{ mm}^2$  (0.240 pulg)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm (6 pulg) = 65



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 3 mm. (1/8 pulg) DE DIAMETRO

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $155 \text{ mm}^2$  (0.240 pulg)

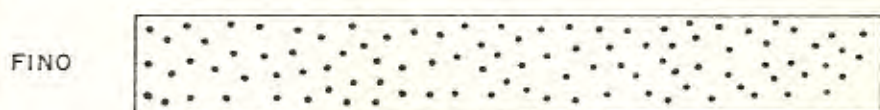
NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm (6 pulg) = 20



POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 2 mm (5/64 pulg.) DE DIAMETRO

AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $155 \text{ mm}^2$  (0.240 pulg)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm (6 pulg) = 50



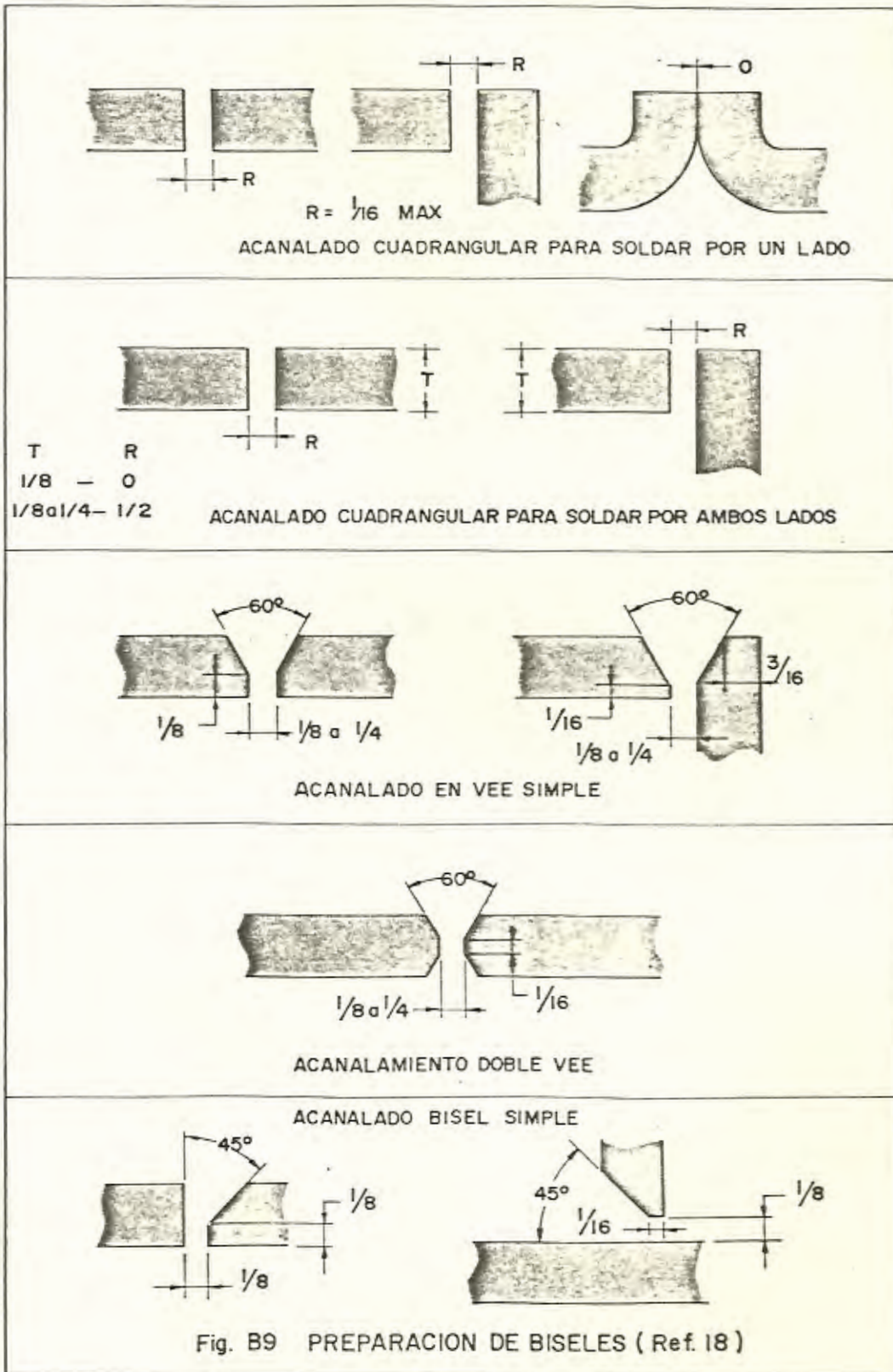
POROS OBSERVADOS DE APROXIMADAMENTE 1.4 mm (7/128 pulg) DE DIAMETRO

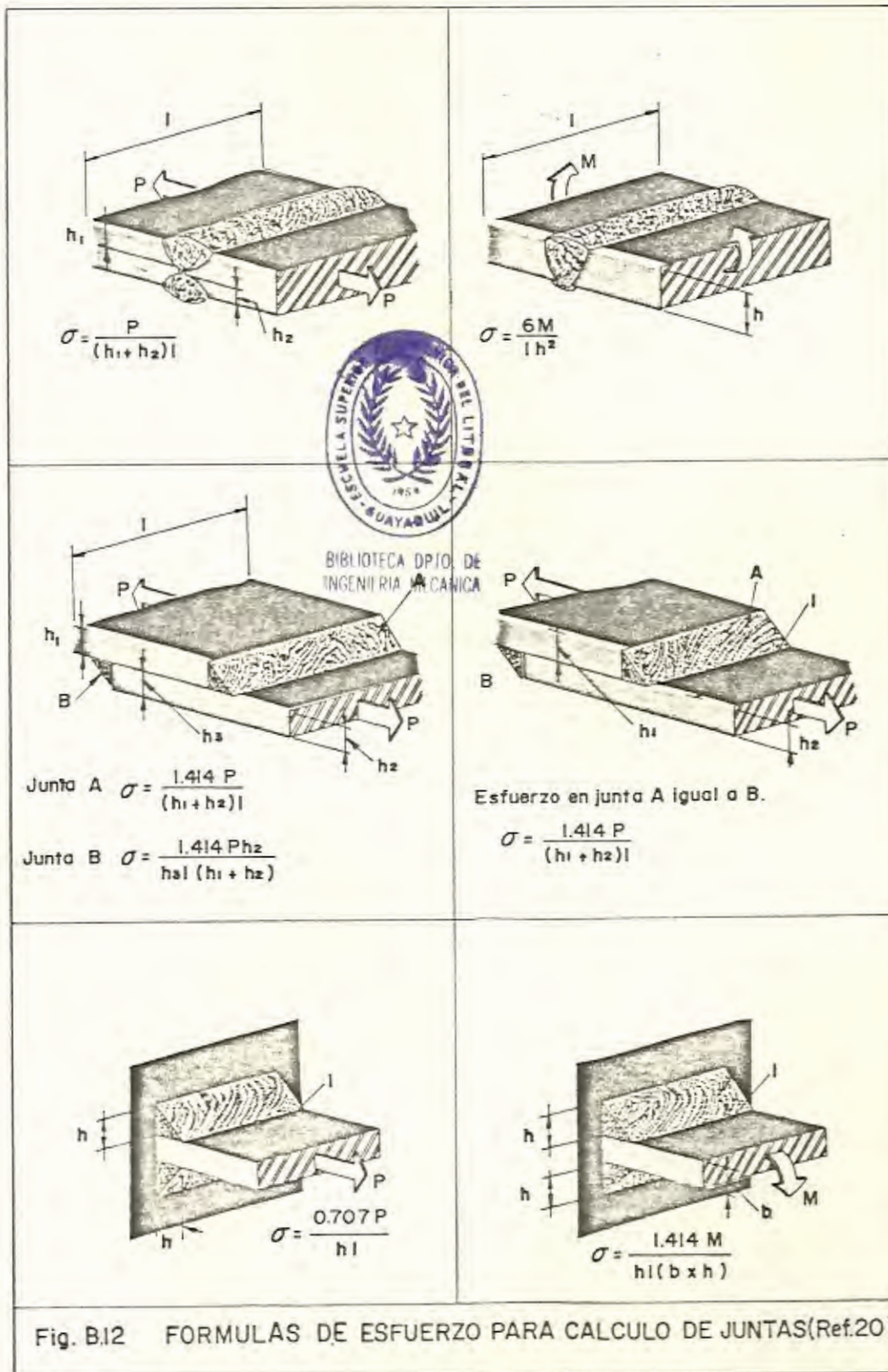
AREA TOTAL DE POROSIDAD PERMITIDA =  $155 \text{ mm}^2$  (0.240 pulg)

NUMERO DE POROS OBSERVADOS EN 152 mm (6 pulg) = 101

Fig B 3-NUMERO Y DIMENSION DE POROS EN SUELDA

3 mm. de ESPESOR. ( Ref. II )





## FOTO 1.

En esta foto podemos apreciar que una vez elaborado el dique de contención, y nivelado de terreno se procede a formar el anillo que servirá de base para la construcción del tanque.

## FOTO 2.

Encontramos que el dique y los anillos de concreto están terminados. Los anillos llevan en su interior una base compactada de arena asfáltica.

## FOTO 3.

En esta foto podemos apreciar la máquina de doblado de las probetas en la calificación de soldadores.

## FOTO 4.

En esta foto se indica la forma de la placa con sus dimensiones, en la cual el soldador será evaluado.

## FOTO 5.

Observamos dos etapas en la prueba de calificación:

En el grupo de la izquierda se procede a la limpieza del material, y en el grupo de la derecha se está analizando un cordón de soldadura en forma visual.



## FOTO 6.

En esta Foto se ve la ejecución del corte de las probetas para ser sometidas a doblado.

## FOTO 7.

Nos indica la colocación de la base del tanque sobre el terreno compactado de arena asfáltica dentro del anillo de concreto.

## FOTO 8 y 9.

En estas fotos se indica la manera como se procede a la construcción del tanque.

## FOTO 10 y 11.

Nos indican la estructura de soporte de los techos de los tanques.

## FOTO 12.

Apreciamos la forma del montaje de los techos de los tanques.

## FOTO 13.

Vemos las estructuras previas a la limpieza por chorreo abrasivo (Sand Blast).

## FOTO 14.

Es una vista panorámica del Patio de Tanques. En la parte anterior se puede apreciar la piscina que servirá de depósito para el agua contra incendios.

## FOTO 15.

En esta fotografía se puede apreciar el tamaño y la forma de una campana de vacío utilizada en la inspección de las juntas soldadas.

## FOTO 16.

Se puede apreciar a un individuo con su indumentaria necesaria para realizar un chorreo abrasivo, además, de la manguera y el mezclador aire-arena.

## FOTO 17 y 18.

Dos aspectos Panorámicos del Patio de Tanques, una vez que fueron pintadas y la piscina contra incendios llenada con agua.

## FOTO 19 y 20.

Otras dos vistas del Terminal de Pascuales. Se aprecian las leyendas de identificación de los tanques según la capacidad y el producto almacenado.

FOTO 21.

Es una vista aérea del Terminal una vez listo para operar.  
Se pueden observar claramente las dos plataformas, con sus  
vías de acceso y la distribución de los tanques.



BIBLIOTECA DPTO DE  
INGENIERIA MECANICA





Fig. 1



Fig. 2

FUNDACIONES LISTAS DEL TERMINAL PASCUALES





Fig. 3

MAQUINA PARA DOBLADO DE PROBETA



Fig. 4

PROBETA PARA PRUEBA DE SOLDADORES



Fig. 5

PRUEBA DE LOS SOLDADORES



Fig. 6

CORTANDO LA PROBETA PARA DOBLADO

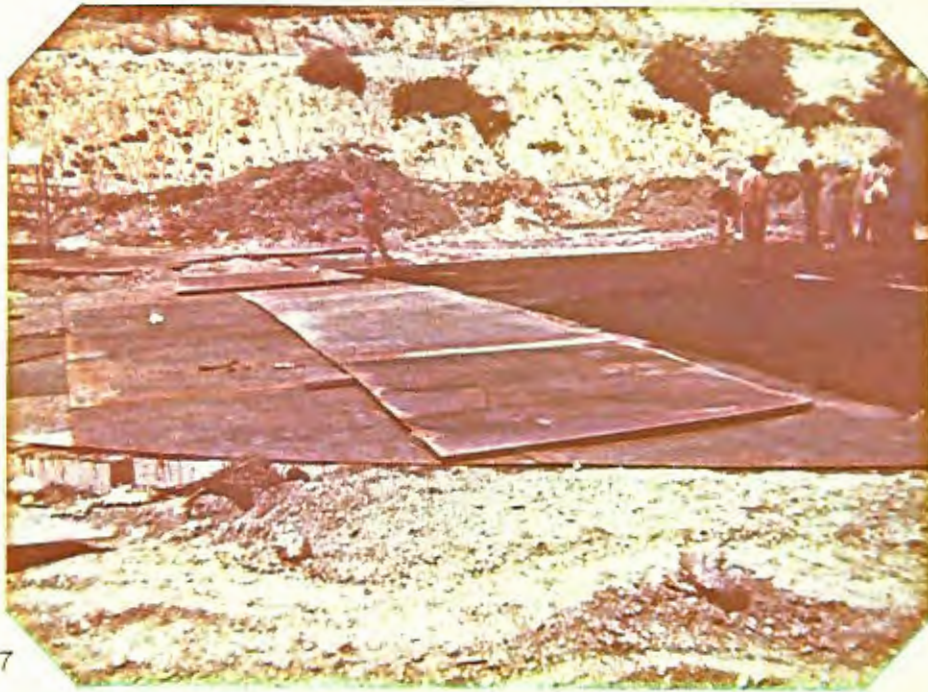


Fig. 7

COLOCACION DEL FONDO DEL TANQUE



Fig. 8

TANQUES EN CONSTRUCCION



BIBLIOTECA DPTO. DE  
INGENIERIA MECANICA



Fig. 9.

INICIACION DE LAS OBRAS DEL  
TERMINAL PASCUALES



Fig. II



Fig. 10

ESTRUCTURAS DEL TECHO



Fig. 12

MONTAJE DE TECHOS



Fig. 13

TANQUES LISTOS PARA SER PINTADOS

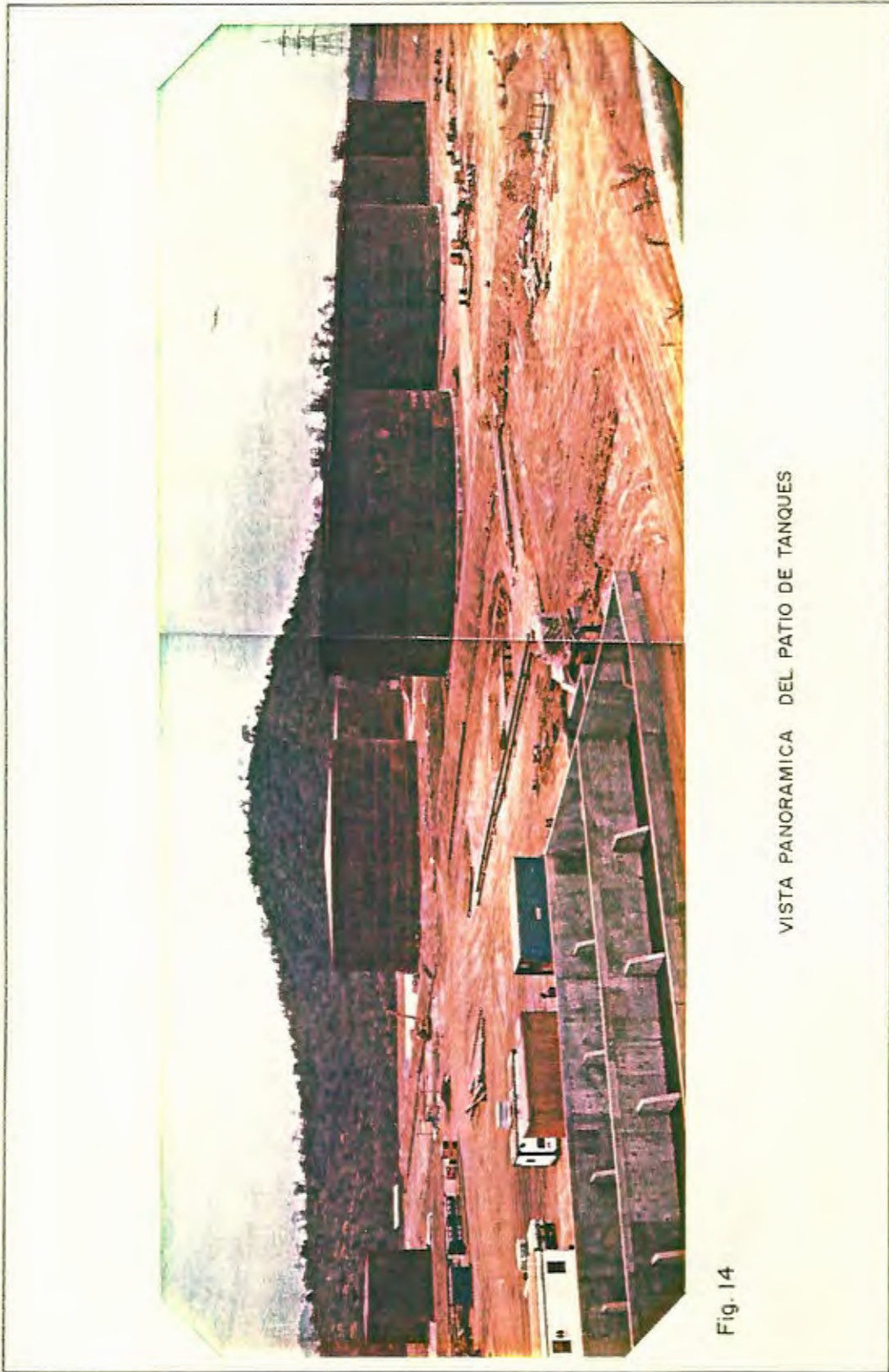


Fig. 14

VISTA PANORAMICA DEL PATIO DE TANQUES





Fig. 15

EQUIPO PARA PRUEBA DE VACIO

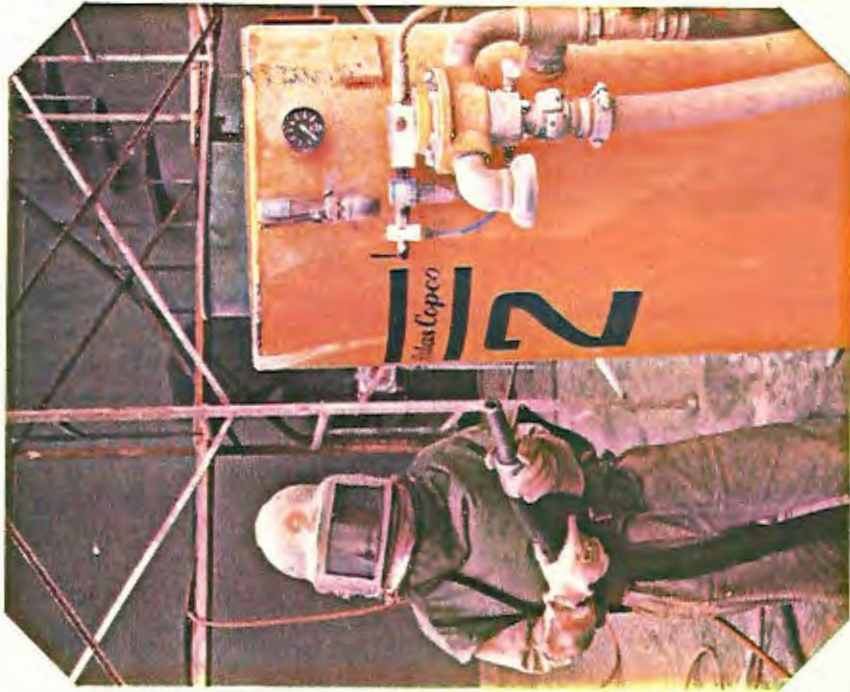


Fig. 16

EQUIPO DE SAND BLAST

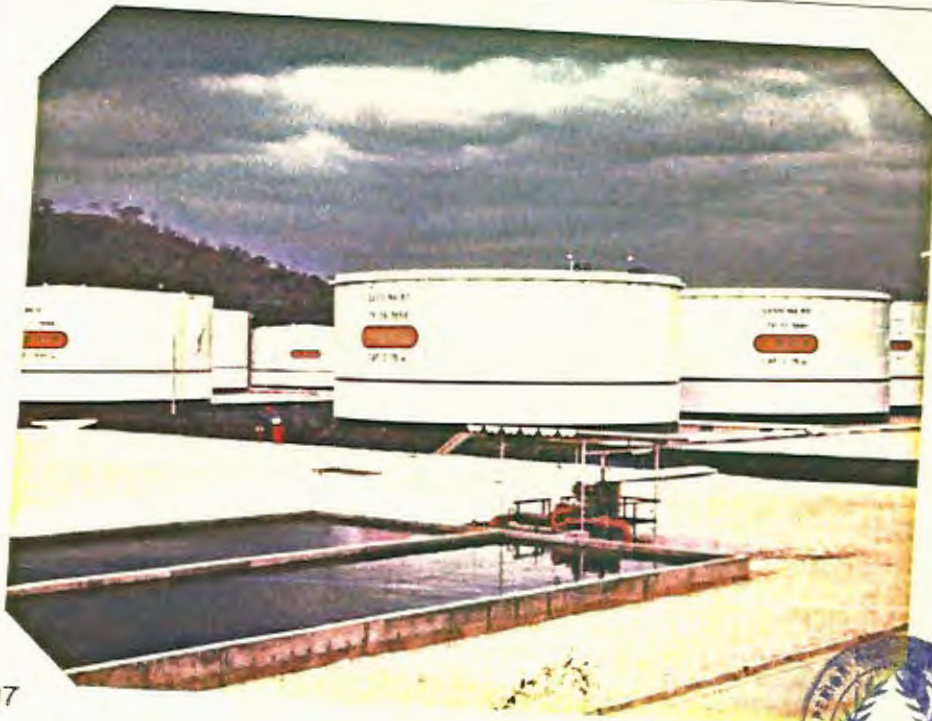
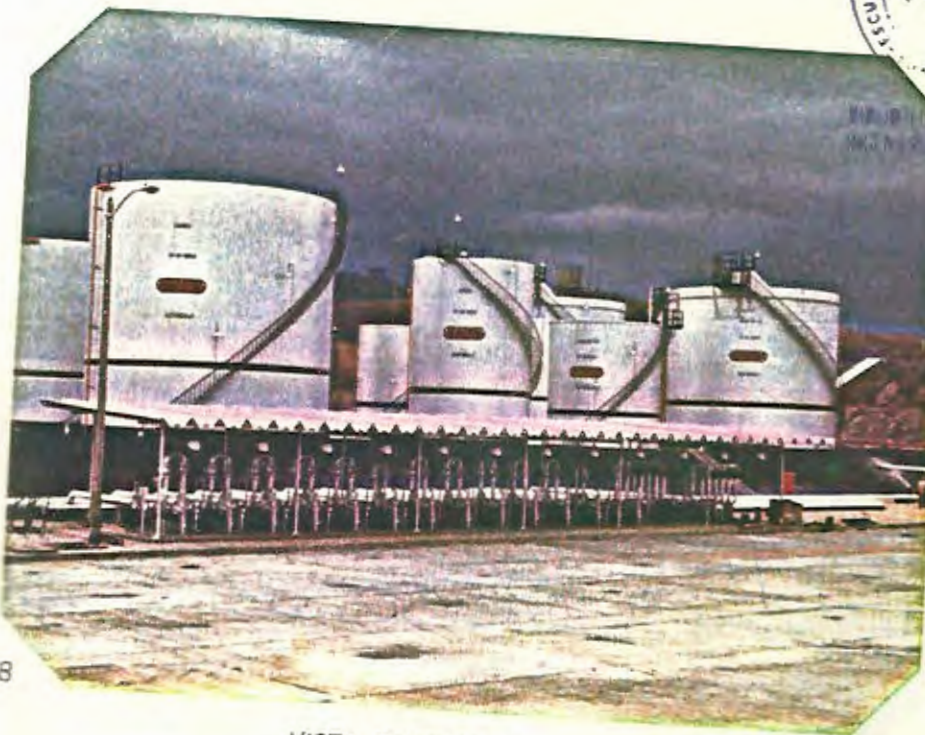


Fig. 17



INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA



VISTA PANORAMICA  
RECIPIENTES TERMINADOS Y PINTADOS

18



Fig. 19

MOTORES DEL PROGRESO : DIESEL Y ELECTRICIDAD



Fig. 20

VISTA PANORAMICA DE LA TERMINAL PASCUALES



Fig. 21

VISTA AEREA DEL TERMINAL PASCUALES  
UNA VEZ CONCLUIDO

APENDICE "C"

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



- 1.- American Society of Testing Materials (ASTM).  
Normas A6, Rolled Steel Plates, Shapes, Bars for structural Use.
- 2.- Welding Handbook, American Welding Society (AWS) Sección 5, Sexta Edición, Applications on Welding.
- 3.- American Welding Society (AWS). Norma AWS 5.1-69, Specifications for Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes.
- 4.- American Petroleum Institute (API). Norma API 5L. Standard, Line Pipe Specifications.
- 5.- American Petroleum Institute (API). Norma API Standard 650-78 Sexta Edición, Welded Steel Tanks for Oil Storage.
- 6.- Jefferson, T.B., Metals and How to Weld them, Segunda Edición, J.F. Lincoln Arc. Welding Foundation, 1961.

- 7.- American Welding Society (AWS), Welding Handbook, Volumen 2, Séptima Edición, Welding Processes, Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering.
- 8.- Thielsch, Helmut. Defectos y Rupturas en Recipientes a presión y Tuberías. Editorial URMO.
- 9.- American Petroleum Institute, API Standard 1104 Diciembre 1971 Décima Segunda Edición, Standard for Welding pipe lines and Related Facilities.
- 10.- Sosnin, H.A., Arc Welding Instructions for the Beginners, J.F. Lincoln Foundation, Décima Edición: 1979.
- 11.- American Welding Society, AWS B3.0-77 Welding Procedure and Performance Qualifications.
- 12.- American Society of Mechanical Engineers, Código ASME, Sección V, VIII y IX Boiler and Pressure Vessel Code.
- 13.- Mc. Gonnagle, Warren J. Non Destructive Testing, Segunda Edición.
- 14.- General Dynamics, Convair Division, Non-destructive



Testing. Ultrasonido, Partículas magnéticas, Radiográfico, Tintas penetrantes, Segunda Edición.

15.- Studemann, Hans. Ensayo de Materiales y control de defectos en la industria del metal. Editorial URMO.

16.- Avner, Sidney H., Introducción a la Metalúrgica Física. Mc. Graw Hill Book Company.

17.- American Petroleum Institute (API).

API standard 620, Diciembre 1978, Sexta Edición, Recommended Rules for design and construction of large, Welded, Low pressure storage tanks.

18.- Giachino, Weeks, Johnson. Welding Technology. American Technical Society. Segunda Edición.

19.- American Petroleum Institute (API)

API Boletín 5TI, Marzo 1978 Quinta Edición. Non-destructive Testing Terminology.

20.- Giachino, Weeks, Welding skills. American Technical Society. Quinta Edición.