

671.5212
L795
0.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



**·DISEÑO DE UNIONES SOLDADAS EN COMPUERTAS
DE ALTA PRESION PARA REPRESAS****

PROYECTO DE GRADO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
José Joaquín Gabriel Loayza Navarrete

Guayaquil - Ecuador
1990



D-I 0092

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. Omar Serrano V.,
Director del Proyecto, por su
acertada supervisión al
desarrollo del presente trabajo.

A la ESPOL por la formación
brindada.

D E D I C A T O R I A

A Gianna **Núñez**

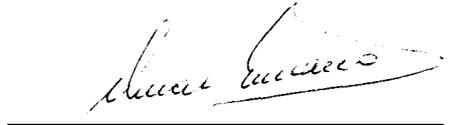
A mi hermano menor

A Sonia **Návarrete**

Al Ing. **Michael Derin**



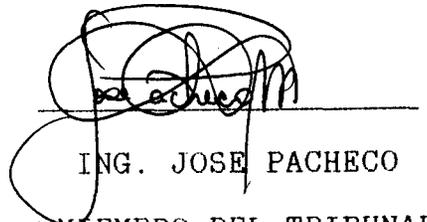
Ing. JORGE DUQUE R.
SUBDECANO FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA



ING. OMAR SERRANO
DIRECTOR DEL PROYECTO



ING. EDUARDO ORCES
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



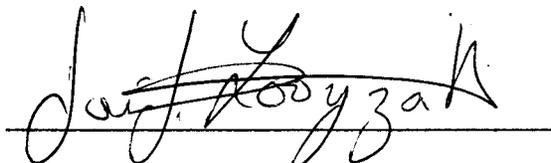
ING. JOSE PACHECO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA



"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente; **y**, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tòpico de Graduaciòn)


José Joaquín Loayza Navarrete

R E S U M E N

En este trabajo se describe el diseño de las uniones soldadas en compuertas de alta **presión** para represas, tomando como modelo las compuertas de la Presa Daule Peripa.

Primero se hace una breve **exposición** de los objetivos, normas **y** alcance del trabajo, luego se da una **descripción** sobre los tipos de compuertas que se emplean en estas represas y el tipo de material de que **están** construidas. Se detalla las **características** del proceso de soldadura **por** arco sumergido, se calculan los **parámetros** de soldaduras y se selecciona los tipos de uniones **y** **electrodos** a usar. Se considera la presencia de tensiones residuales por efecto del calor aplicado en las soldaduras, para realizar el recocido adecuado **que** eliminará dichas tensiones. Se efectúa el diseño propiamente dicho de las uniones soldadas, conociendo las cargas y esfuerzos originados por efecto de la **presión** del agua sobre la viga de **máxima** carga.

Para asegurar la calidad de las uniones soldadas es necesario realizar la **Homologación y Calificación** tanto del proceso de soldadura como de soldadores, según normas establecidas por el **código ASME** en su **sección IX**. Finalmente, se procede a recomendar los **métodos** de **inspección** no destructiva que **serán** utilizados para

VII.

comprobar la calidad de las uniones soldadas **y** establecer **su aceptación** 0 rechazo de acuerdo a los **códigos** correspondientes.

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

	PAG.
RESUMEN	VI.
INDICE GENERAL	VIII.
INDICE DE FIGURAS	X.
NOMENCLATURA	XIII.
INTRODUCCION	16.
CAPITULO 1	
CONSIDERACIONES GENERALES	
1.1. OBJETIVO	18.
1.2. NORMAS	18.
1.3. ALCANCE	19.
CAPITULO II	
FUNDAMENTO TEORICO	
2.1. COMPUERTAS DE ALTA PRESION EN REPRESAS	20.
2.2. SELECCION DE MATERIALES	21.
2.3. SOLDADURA DE COMPUERTAS	22.
2.3.1. Proceso de soldadura empleado	22.
2.3.2. Tipos de juntas	26.
2.3.3. Electrodo	32.
2.4. TENSIONES RESIDUALES Y DISTORSION	38.
2.5. RECOCIDO DE ELIMINACION DE TENSIONES	43.
2.6. DEFECTOLOGIA	44.
2.7. INSPECCION	45.
CAPITULO III	

DISEÑO DE LAS UNIONES SOLDADAS

3.1. CARACTERISTICAS GENERALES	49.
3.2. CARGAS EXISTENTES	49.
3.3, ESFUERZOS EN VIGA DE CARGA MAXIMA	55.
3.4. ESFUERZOS EN VIGA PARA PASO DEL VASTAGO	56.
3.5. DISEÑO DE UNIONES SOLDADAS	58.
3.6. CALCULO DE PARAMETROS DE SOLDADURAS	62.
3.7. TRATAMIENTO TERMICO DE ALIVIO DE TENSIONES	71.
3.8. ENDEREZADO POR CALOR	72.
3.9. MONTAJE EN TALLER	73.
3.10. INSTALACION Y ENSAYOS EN SITIO	76.

CAPITULO IV

CALIFICACION

4.1. CALIFICACION Y HOMOLOGACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	77.
4.2. CALIFICACION Y HOMOLOGACION DE SOLDADORES	93.

CAPITULO V

INSPECCIONES DE SOLDADURAS

5.1. INSPECCION VISUAL	99.
5.2. INSPECCION POR ULTRASONIDO	99.
5.3. INSPECCION RADIOGRAFICA	105.
5.4. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO	108.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111.
BIBLIOGRAFIA	113.

I N D I C E D E F I G U R A S

No.	PAG.
2.1. COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO ASTM A36	22.
2.2. PISTOLA MANUAL PARA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO	24.
2.2. ESQUEMA DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO	25.
2.4. TIPOS DE PREPARACIONES PARA UNIONES EN T	28.
2.5. UNION EN T A UNA SOLA PASADA	29.
2.6. SECUENCIA A SEGUIR PARA EL DEPOSITO DE VARIOS CORDONES ESTRECHOS	30.
2.7. POSICION DEL ELECTRODO EN SOLDADURA EN ANGULO EXTERIOR	31.
2.8. DIAMETROS DE ELECTRODOS Y SEPARACION PIEZA-PISTOLA PARA ARCO SUMERGIDO	33.
2.9. ADECUADA INCLINACION DEL ELECTRODO Y PIEZA PARA MEJORAR LA PENETRACION	34.
2.10. DIAMETROS Y TOLERANCIAS DE ELECTRODOS PARA ARCO SUMERGIDO	37.
2.11. CONTRACCION TRANSVERSAL EN UNIONES SOLDADAS EN T	40.
2.12. FLEXION LONGITUDINAL EN UNIONES SOLDADAS EN T	41.
2.13. DISTORSION ANGULAR EN UNIONES SOLDADAS EN T	42.
2.14. DEFECTOS TIPICOS EN SOLDADURAS AL ARCO	44.
3.1. VISTA SUPERIOR DEL RECINTO DE LA COMPUERTA	50.

N O M E N C L A T U R A

A	Area transversal de la sobremonta
AW	Area transversal del Cordòn de Soldadura
a	Separacibn entre vigas
B	Area transversal del metal base fundido
b	Altura desde el fondo de la pieza a la discontinuidad
C	Calor especifico volumètrico
c4	Constante transversal experimental
C5	Constante experimental de flexibn
C	Constante que depende del tamaño de la soldadura
cm	Centímetro ³
D	Diluciòn
D1	Flexiòn longitudinal
Dt	Contracciòn transversal
E	Voltaje del Arco
Em	Modulo de Young
f1	Eficiencia del metal base
f2	Fracciòn del Hneto que es us'ado para derretir el metal
gr	Gramos
H	Calor de Entrada
Hneto	Calor neto emitido
I	Intensidad de corriente
Im	Momento de Inercia
'K	Conductividad tèrmica

L	Distancia fuente-película
M	Momento flector
Mpa	Mega Pascal
mm	Milímetros
n	Distancia horizontal del transductor al punto de rebote de la onda en el fondo de la pieza.
p	Profundidad a la que se encuentra la discontinuidad medida desde la superficie.
Q	Calor total aplicado
Qf	Calor latente de fusión
Qm	Calor suministrado
R	Velocidad de enfriamiento del cordón soldado
r	Distancia medida en la pantalla del osciloscopio.
S	Velocidad del arco
s	Distancia horizontal de la discontinuidad al transductor.
seg	Segundos
T	Temperatura
Tm	Temperatura de fusión del metal base
To	Temperatura inicial
Tp	Temperatura máxima puntual
t	Espesor
tw	Espesor del cordón depositado
V	Esfuerzo cortante
Va	Velocidad de subida de temperatura en horno
Ve	Velocidad de enfriamiento en horno
x	Tamaño del filete

Distancia Centroide-punto de interés

Grados centígrados

Angulo de refracción del transductor.

Distorsión angular con restricciones

Distorsión angular sin restricciones

Esfuerzo Axial

Esfuerzo Cortante

Densidad

Coeficiente de Poisson

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

La compuerta de Alta Presiòn indicada en este tòpico toma como modelo las compuertas construidas por la Compañía BOETTICHER Y NAVARRO S.A. de España para la Represa Daule Peripa.

Represas y compuertas cumplen un rol importante en la vida **econòmica** del Ecuador, y por tanto el diseño de la misma **deberà** de ser el **màs** conveniente y **econòmico** posible, dada la crisis que por lo general vive el Ecuador.

Dicho **diseño** se basa en las consideraciones de **presiòn** y caudal **al que deberàn** estar sometidas las mismas, ya que se encontraran ubicadas en una cota 22.00, mientras que el nivel **màximo** de la represa **podrà** llegar hasta la cota 88.50, es decir que **habrà** un cabezal de **presiòn** de 66.5 metros de agua que deberà soportar dichas compuertas.

Diseños originales consideraban la **construcciòn** de las compuertas en su totalidad por **fundiciòn**, pero **anàlisis** posteriores demostraron que estas mismas **compuertas** **podrían** ser construidas en su gran mayoría por soldadura y a un valor **màs econòmico**.

Existen dos tipos de compuertas: de alto y de bajo nivel.

En este proyecto se **diseña** únicamente las uniones

soldadas de la compuerta de bajo nivel por ser esta la **que soportará** las máximas cargas, esta tendrá un peso promedio de 5326 kg y dispone además de un vástago de 1000 kg que **servirá** para levantar y bajar la compuerta. Es decir la compuerta tendrá un peso total de 6326 kg. como promedio.

En este trabajo nos remitiremos sólo al **análisis** de las soldaduras que se **usarán** en las uniones de las planchas y en especial de las vigas en T, ya que **serán** estas las que **deberán** de soportar y resistir los esfuerzos producidos por la **presión** del agua.

Valores de **presión**, momentos y esfuerzos generales, **fueron** suministrados por CEDEGE, los cuales **serán** usados para las consideraciones de soldaduras.

C A P I T U L O 1

C O N S I D E R A C I O N E S G E N E R A L E S

1.1. OBJETIVO

El objetivo del siguiente trabajo, es establecer los **tipos** de uniones, **parámetros** de soldadura, y los procedimientos de **calificación e inspección** para la construcción de la compuerta de Alta Presión en represas, basándonos en el diseño de la compuerta de Alta Presión de la Presa Daule Peripa.

1.2. NORMAS

Los **códigos** y normas usados corresponden a:

- AWS : (Sociedad Americana de Soldadura).
Para la **selección** del proceso de soldadura.
- ASTM : (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales). Para el **material** usado.
- ASME : (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Para **calificación y homologación** de *proceso y soldadores*.

- ONGC : (Oficina de Normas Generales de Canadá).

Para Inspección de soldadura por Ultra
Sonido.

1.3. ALCANCE

El trabajo está referido en su mayor parte al diseño de las uniones soldadas, en especial de las uniones en T, aunque también nos referirnos al **proceso de calificación a seguirse para la selección del proceso de soldadura y la calificación de los soldadores que realizarán dichas uniones soldadas.**

C A P I T U L O I I

F U N D A M E N T O T E O R I C O

.1. COMPUERTAS DE ALTA PRESION EN REPRESAS

Las compuertas de Alta **Presión** en represas son por lo general de dos tipos: una de gran **tamaño** que se encuentra ubicada en la parte **más** cercana al fondo de la represa llamada Compuerta de Bajo Nivel **y** otra de menor tamaño ubicada **más** arriba de la mitad del nivel **máximo** que **la represa** pueda llegar **y** que se llama Compuerta de Alto Nivel.

Ambas compuertas son de vital importancia, la una, la **llamada** de Bajo Nivel, tiene la **función** de permitir el desalojo **del agua más** profunda **y** que por lo general es la que acumula el sedimento **y** a la que menos llegan los rayos solares, **y** la de Alto Nivel, **que** sirve para desalojar el agua en la que habitan los **peces**.

Ambas compuertas tendrán en definitiva, de una u otra manera la **función** de desalojar el agua **almacenada** a un caudal establecido **y** por lo tanto, **deberán soportar** las grandes presiones **a** las **que** **estarán** sometidas.

Ya **que** la compuerta de Bajo **Nivel** es la que

soportar8 las máximas presiones, es esta, a la que nos referiremos en este trabajo.

Las dimensiones que tendrá esta compuerta serán de 3768 mm. de altura por 2189 mm, de ancho y un espesor total de 348 mm. , dispondrá además de 8 vigas en T horizontales que servirán de nervios, y se usarán planchas estabilizadoras colocadas en posición vertical , las cuales reducirán los esfuerzos que soportarán las vigas en T. En la parte inferior la compuerta presentará un doblés a 45 grados, ya que esta sección estará en contacto con el flujo del agua, que por su naturaleza será laminar. Las superficies que servirán de sello serán de bronce, por sus cualidades amortiguantes, y se hallará tanto en la parte inferior de la compuerta, como a los costados de la misma.

2.2. SELECCION DE MATERIALES

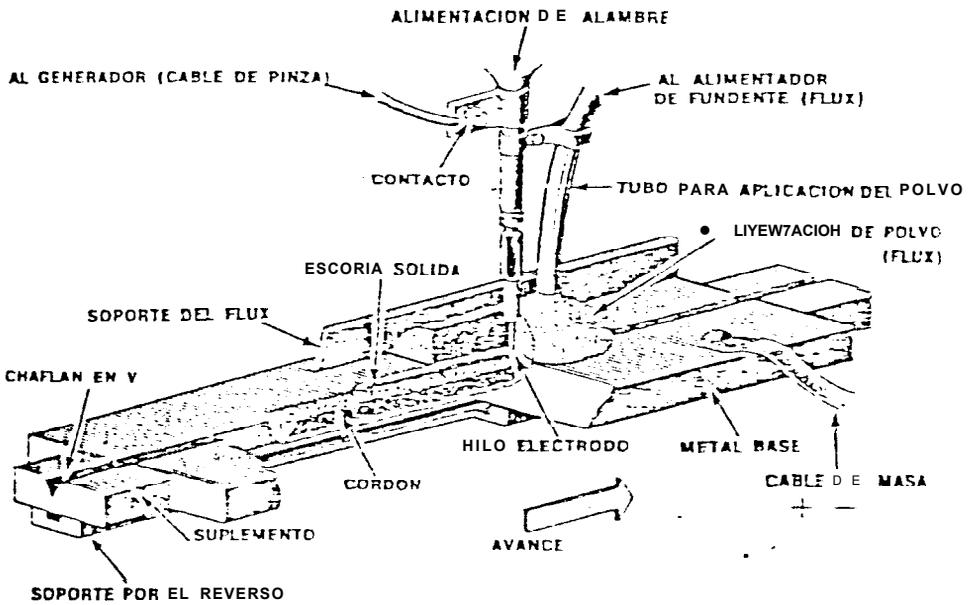
Segin las Normas para construcción de estructura sometidas a fuertes medios corrosivos, y dada la calidad y seguridad que debe de presentar estas compuertas, el material a seleccionarse para la construcción es el Acero Estructural A36 de la Norma ASTM, cuya composición química es la siguiente (1) :

El Proceso de Soldadura que resulta más económico y rápido para este tipo de compuerta es el proceso de soldadura por Arco Sumergido, el cual permite soldar piezas del espesor tratado (25 mm.) en una sola pasada, además según las especificaciones dadas por el Código ASME (2), podemos realizar los chaflanes de un solo lado, dejando un talón de 3 mm, y sin la necesidad de separación, lo cual nos permite terminar la construcción en menor tiempo,

En este procedimiento de soldadura, el calor necesario para fundir el material base y el de aportación, lo produce un arco eléctrico que salta entre el extremo del hilo electrodo y las piezas a soldar. El material de aportación es un hilo continuo, que se alimenta automáticamente. El arco salta en el interior de una sustancia granulada, que recibe el nombre de fundente y que rodea el extremo del hilo y al baño de fusión, protegiéndolos de la contaminación atmosférica.

Aunque normalmente se aplica de forma automática, también puede soldarse semiautomáticamente. En este caso, hay que

se funden durante la operación de soldadura, formando una escoria líquida, que se deposita sobre el baño de fusión y cumple una función desoxidante y protectora. Una vez depositado el cordón la escoria sólida se elimina fácilmente mediante golpes.



g. 2.3. Esquema de soldadura por arco sumergido (3)

El procedimiento de arco sumergido se caracteriza por su elevado poder de penetración y su gran velocidad de aportación, por lo que suele utilizarse para el soldeo de espesores gruesos en posición plana. Por ejemplo, permite soldar

chapas de hasta 75 mm. de espesor en una sola pasada. Normalmente para obtener buenos resultados exige el empleo de soportes por el reverso de la junta.

El Proceso de Soldadura por Arco Sumergido se diferencia de los otros métodos en que la soldadura puede ser hecha en un amplio rango de corrientes de soldadura, voltajes y velocidad de deposición, cada uno de los cuales pueden ser controlados independientemente el uno del otro. Cada uno de estos factores afectan en algún grado la forma del cordón depositado, la composición química del metal soldado, y la actividad del fundente, así como las propiedades mecánicas de la unión(1).

. TIPOS DE JUNTAS

Dentro de la selección del tipo de junta, se consideran.º (3) :

- a) Esfuerzos de tracción, compresión, flexión, fatiga e impacto.
- b) La dirección de la carga en relación con la junta.

c) Espesor de las piezas a soldarse.

d) Costo de **preparación** de la junta. "

La **compuerta** en su parte media estará sometida a esfuerzos de tipo compresivo producidos a consecuencia del momento flexionante generado por la **presión** del agua, El tipo de **unión** a usarse **será** en V con un **talón** de 3 mm. y sin **separación**, el **chafilán** tendrá un **ángulo** entre los 45 y 60 grados, Este tipo de junta presenta una buena resistencia a las cargas **estáticas**.

Fara las uniones en **ángulo** interior en T, las piezas se disponen formando un **ángulo** de aproximadamente 90 grados y de **fórma** que el borde de una de las piezas descansa sobre la superficie de la otra. Es aplicable a cualquier espesor y **según** sea **èste** y según el grado de **penetración** que se quiera conseguir, se suelen adoptar los siguientes tipos de preparaciones; Borde **recto**, Simple **chafilán**, Doble **chafilán**, Simple J y doble J. En nuestro caso usaremos el simple **chafilán** por las posibilidades de acceso del **equipò** de arco submergido y porque **està** **unión** procura una mejor **distribución** de tensiones, por lo que

Las uniones en ángulo interior se utilizan con mucha frecuencia en la fabricación a base de chapas y perfiles laminados. Para que este tipo de junta presente una resistencia adecuada, es necesario que el borde de la chapa vertical asiente perfectamente sobre la horizontal. En caso contrario, disminuye considerablemente la resistencia de la unión.

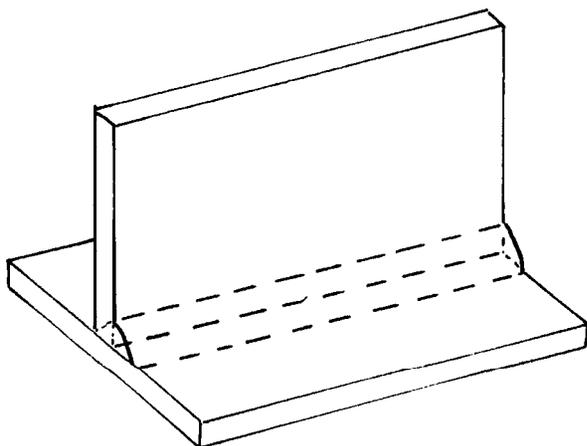


Fig. 2.5. Unión en T a una sola pasada (3)

SOLDADURA EN **ANGULO INTERIUR** EN **VARIAS PASADAS**: Cuando se quiera conseguir una junta de gran resistencia **serà** necesario depositar un **cordòn** muy grueso que resultarà muy **difícil** de obtener en una sola pasada. En estos casos, hay que recurrir a la soldadura en varias pasadas, y **segùn** la **posición** de las piezas y el espesor del

cordòn que se pretenda conseguir, podràn adoptarse las soluciones apuntadas en las siguientes figuras.

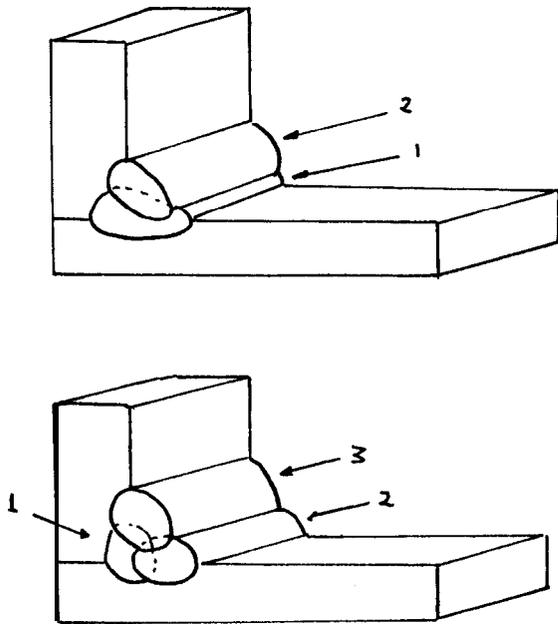


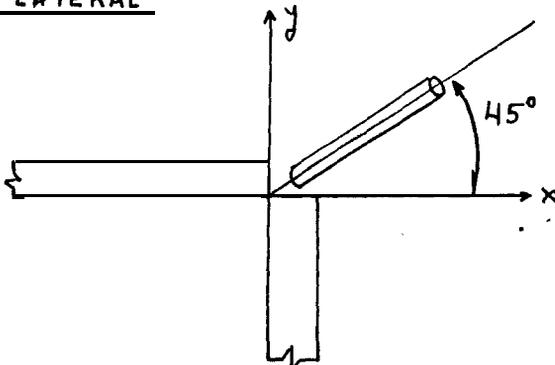
Fig. 2. 6, 'Secuencia a seguir para el depòsito de varios cordones estrechos (3)

La primera es recomendable cuando las piezas **estèn** posicionadas favorablemente o siempre que el **cordòn** no sea muy grueso, se deposita un primer **cordòn**, como el utilizado en la soldadura en una sola pasada, seguido de una o mas capas depositadas con balanceo lateral del electrodo. Cuando hay que depositar una gran cantidad de soldadura y las piezas no **estàn** posicionadas favorablemente, se recurrirà a la segunda soluciòn, que consiste

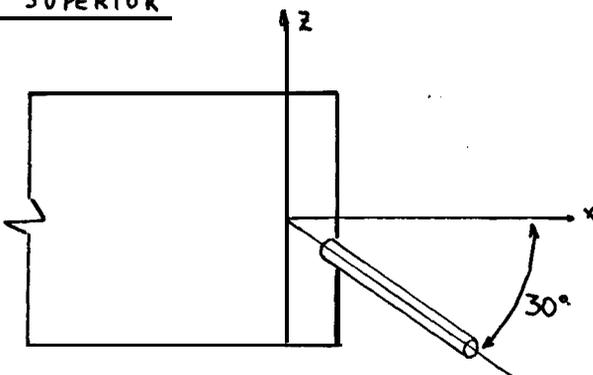
en el depósito de varios cordones estrechos, superpuestos y realizados en el orden señalado en la figura anterior. Sea cual sea la solución que se adopte, se debe limpiar siempre la escoria después de cada pasada.

SOLDADURA EN ANGULO EXTERIOR : Se emplea para las secciones que terminan en esquina y que se desea tengan un radio suave (3). Las Posiciones del electrodo para realizar este tipo de soldadura se observará en las siguientes figuras.

VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



Fis. 2. 7, Posición del electrodo en soldadura en ángulo exterior (1)

DIAMETROS DE ELECTRODOS (mm .)	MAXIMA SEPARACION PIEZA-PISTOLA (mm.)
2 , 2.5 , 3	76
4 , 4.5 , 5.5	127



Fig. 2.8. Diámetros de electrodos y separación pieza-pistola para arco sumergido (1)

El polvo acumulado en los electrodos puede causar porosidad especialmente en soldaduras de alta velocidad. La presencia de materiales orgánicos u otros elementos que producen gases, también son causantes de porosidades.

c) INCLINACION DEL ELECTRODO; La inclinación del electrodo, puede ser usada para controlar la longitud de la raíz de la soldadura y el grado de penetración de la junta como se podrá observar en las siguientes figuras.

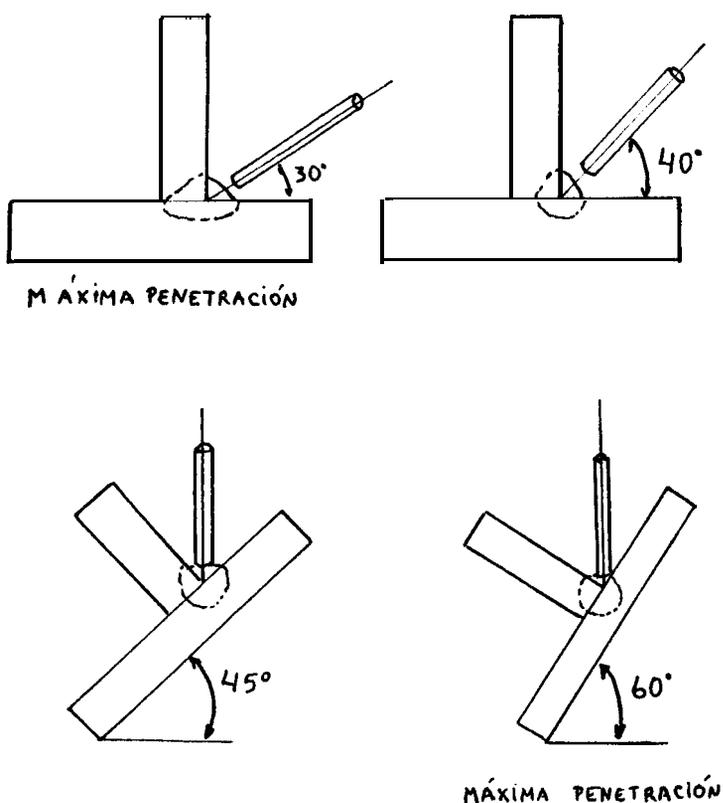


Fig. 2.9. Adecuada inclinación del electrodo y pieza para mejorar la penetración (3)

d) TIPO DE JUNTA Y PREPARACION DE BORDES:

Las uniones con una abertura de chaflán insuficiente exigirán el empleo de electrodos de gota relativamente caliente y con un gran poder de penetración, mientras que para aquellas muy separadas, será necesario el empleo de electrodos de penetración media y de gota más fría. En

uniones en T, el mayor tamaño que deberá tener el filete para soldadura de una sola pasada es de 8.5 mm. sin que se produzcan mordeduras (1). La más común causa de porosidad es la falta de limpieza en las juntas antes de soldar.

CLASIFICACION DE ELECTRODOS : Para soldadura por arco sumergido la designación para la clasificación según la AWS consiste del prefijo "EC", seguido por la identificación del metal soldado depositado. .

Para el material usado que es el acero estructural ASTM A36, con 0.25 % de Carbono, los electrodos que proporcionarán una mayor resistencia al cordón soldado y que seleccionaremos para nuestro caso serán (4) :

El AWS ECB5 con :

- 0.18/0.23 % C ; 0.40/0.70 % Mn
- 0.025 % P ; 0.025 % S
- 0.40/0.60 % Si ; 0.45/0.65 % Cr
- 0.90/1.10 % Mo ; 0.30 % Cu

El AWS ECB6H con :

- 0.25/0.40 % C ; 0.75/1.00 % Mn
- 0.025 % P ; 0.030 % S
- 0.25/0.50 % Si ; 4.80/6.00 % Cr
- 0.45/0.65 % Mo ; 0.30 % Cu

Estos electrodos seleccionados según el código ASME, depositarán un cordón de soldadura con la siguiente composición :

El AWS ECB5 depositará un B5 con :

- 0.18 % C ; 1.60 % Mn ; 0.030 % P
- 0.040 % S ; 0.80 % Si ; 0.40/0.65 % Cr
- 0.90/1.20 % Mo ; 0.30 % Cu
- 0.05 % V, Ti, Zr.

El AWS ECB6H depositará un B6H con :

- 0.25 % C ; 1.60 % Mn ; 0.030 % P
- 0.04 % S ; 0.80 % Si ; 4.5/6.0 % Cr
- 0.40/0.65 % Mo ; 0.30 % Cu

Se seleccionaron estos electrodos, porque la aleación con cromo-molibdeno presenta buenas características de endurecido profundo, de

ductilidad y de capacidad de soldarse, empleándose ampliamente para soldar recipientes sujetos a presión (5).

Los tamaños normales de electrodos son (4):

DIAMETRO ESTANDAR (mm.)	TOLERANCIAS (mm.)
1.6	0.13
2,0	0.15
2.4	0.15
3.2	0.18
4.0	0.20
4.8	0.20
5.6	0.20
6.4	0.20

Fig. 2.10. Diámetros y tolerancias' de electrodos para arco sumergido (4)

TIPOS DE FUNDENTES : Cada electrodo posee un tipo de fundente que le permite obtener un cordón con las características deseadas. Un fundente deberá ser granular en naturaleza y capaz de fluir libremente a través del tubo de alimentación del fundente y podrá ser

almacenado al menos por seis meses **sin** que pierda sus propiedades luego de usarse.

La designación dada para un fundente consistirá del prefijo "F" seguido por dos o tres dígitos que representan el esfuerzo tensil y las propiedades de impacto de la prueba hecha usando la combinación de electrodo y fundente, Esto es seguido por la clasificación del electrodo usado para clasificar el fundente y un sufijo que designa la composición química del cordón depositado (4).

La siguiente nomenclatura detalla como se especifica el tipo de fundente a usarse, el tipo de electrodo y el tipo de metal soldado a obtenerse :

F X X - E C X X X - X N

La N final es para materiales aplicados en la industria nuclear.

4. TENSIONES RESIDUALES Y DISTORSION

La resistencia de una junta soldada depende en gran medida de lo bien que se controle la **expansión** y

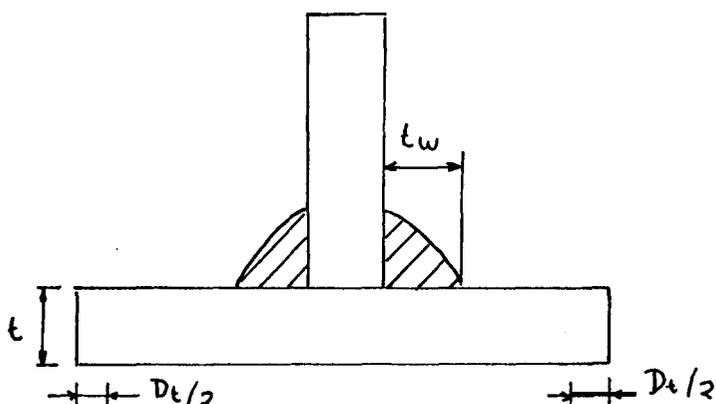


Fig. 2.11. Contracción transversal en uniones soldadas en T (8).

- b) FLEXXIUN LONGITUDINAL : Para este tipo de distorsión se emplea la ecuación 2.2.(8).

$$Dl = \frac{C5 \cdot Aw \cdot d \cdot L}{Im} \quad (\text{Ec. 2.2.})$$

donde : Dl es la flexión longitudinal.

Aw es el área transversal del cordón.

$C5$ es la constante experimental de flexión.

Im es el momento de inercia de la sección.

d es la distancia del centroide de la pieza soldada al de la soldadura.

L es la longitud de la pieza soldada.

La siguiente figura esquematiza este tipo de distorsión :

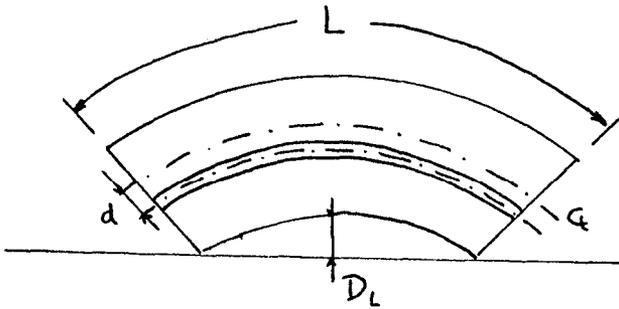


Fig. 2.12. Flexión longitudinal en uniones soldadas en T (8)

c) DISTORSION ANGULAR : Para este tipo de distorsión se emplea la ecuación 2.3. y 2.4 (8).

$$D = \frac{E_m t^3}{(1 - \nu^2)} \quad (\text{Ec. 2.3.})$$

$$\varphi = \frac{\varphi_0 \cdot a \cdot c}{(a \cdot c) + (2 \cdot D)} \quad (\text{Ec. 2.4.})$$

donde : D es la rigidez del material.

φ es la distorsión angular con restricción.

φ_0 es la distorsión angular sin restricción.

- Preparación adecuada de piezas y bordes.
- Soldar con predeformación contraria a la esperada.
- Aplicar el precalentamiento adecuado.
- Realizar el menor número de pasadas.
- Reducir al mínimo la aportación de calor.
- Realizar el alivio de tensiones.

5. RECOCIDO DE ELIMINACION DE TENSIONES

El Recocido de eliminación de tensiones es un tratamiento térmico que se utiliza para eliminar las tensiones internas desarrolladas durante el proceso soldadura. Consiste en calentar la pieza a una temperatura por debajo de la crítica, en el diagrama de equilibrio Fe-C, aproximadamente 594 grados centígrados (3) y luego enfriarla lentamente. El recocido para eliminación de tensiones sólo se aplica a piezas en las que se teme una rotura frágil y siempre que no se disponga de otro procedimiento para eliminar las fuerzas expansivas y de contracción que se presentan durante el soldeo.

Durante el Recocido, se recomienda, evitar el contacto directo de la llama y que la pieza este bien soportada. La temperatura del horno a utilizar no será superior a los 315 °C en el momento de introducir la pieza y la velocidad de calentamiento no será superior a 220 °C/hora. Durante el

enfriamiento hasta **alcanzar** los 315 ° C la velocidad de la misma no **será** menor a 260 ° C/hora dividido para el mximo espesor,

DEFECTOLOGIA

Las figuras mostradas a **continuación** describen los distintos tipos de defectos que aparecen en soldadura. De todos ellos los **más** graves son las fisuras. Las burbujas **pequeñas** o poros, no revisten en general mayor gravedad, a menos **que** adopten formas elongadas que puedan dar origen a **concentración** de tensiones en los **vértices** pudiéndose entonces comportar como verdaderas fisuras (9).

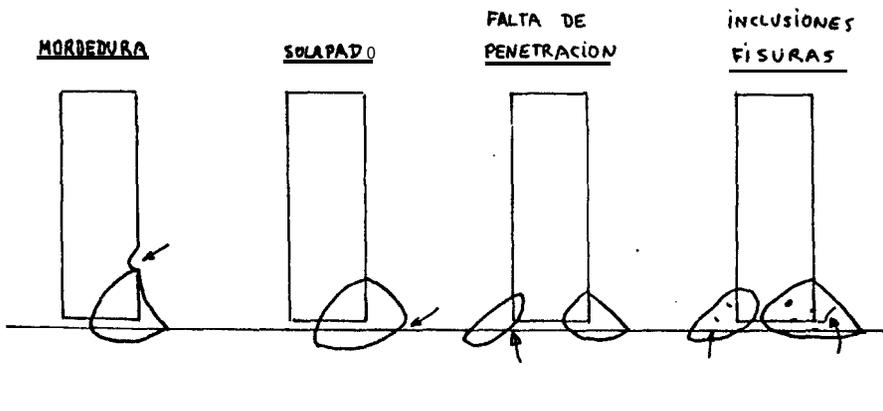


Fig 2.14. Defectos típicos en soldaduras al arco (9)

- a) MORDEDURAS : Se produce a consecuencia de una mala selección del bisel de la junta.
- b) SOLAPADO : Se presenta cuando la velocidad de deposición es relativamente lenta.
- c) FALTA DE PENETRACION : Se produce por mala selección de los parámetros de soldadura, como son corriente, voltaje, velocidad de deposición, tipo de bisel a utilizar.
- d) SOPLADURAS : Son cavidades producidas por el aprisionamiento de gases en el metal soldado.
- e) INCLUSIONES : Son impurezas o sustancias extrañas ocluidas en el baño de fusión durante el proceso de soldeo.
- f) POROSIDADES : consiste en la formación de pequeñas burbujas motivadas por la contaminación atmosférica.

INSPECCION

Para revisar los cordones de soldaduras generalmente se recurre a tres tipos de inspecciones: Inspección Visual. Inspección por Ultrasonidos y La Inspección Radiográfica.

- a) **INSPECCION VISUAL** : Esta técnica, consiste en observar por medio de los sentidos de la vista, si la soldadura no presenta fisuras apreciables, ni alteraciones de su morfología fuera de lo aceptable.
- b) **INSPECCION POR ULTRASONIDOS** : La técnica de ultrasonidos utiliza vibraciones (ondas) de alta frecuencia, para localizar y medir defectos en materiales. Es un método muy sensible y permite localizar fisuras muy finas, tanto superficiales, como subsuperficiales, así como otros defectos internos. Puede aplicarse a cualquier tipo de junta y determina con precisión la situación y el tamaño de los defectos.

Se le envía un impulso vibratorio de alta frecuencia a través de una pieza metálica sana y continua, la señal se desplaza a lo largo de la misma, reflejándose al llegar al extremo. Tanto el impulso como la señal reflejada pueden recogerse en la pantalla calibrada de un osciloscopio.

Las discontinuidades o defectos de estructura interrumpen la circulación de la señal y la

radiación pasa con mayor facilidad a través de estas zonas menos densas, llegando a la película con más intensidad, y produciendo manchas oscuras que definen claramente la situación, forma y tamaño del defecto.

3.1. CARACTERISTICAS GENERALES

Las compuertas de bajo nivel tienen **3768** mm. de altura **por 2189** mm. de ancho y **348** mm. de espesor, **estarán** sometidas a una carga **hidrostática máxima** de 66.5 metros basado en un nivel máximo del agua en la superficie del reservorio de 88.5 metros y una elevación de invert de 22.0 metros,

El conjunto de la compuerta consistir-à de un asiento para la compuerta y su estructura o marco, de una hoja de compuerta, de un vástago y una tuerca de compuerta.

Las compuertas y blindaje **serán** fabricados por soldadura con placas y perfiles de acero estructural **ASTM A36**. Las superficies de contacto **tendrán** un acabado a maquina liso y continuo. Los asientos de compuerta y marcos **tendrán** juntas impermeables.

3.2. CARGAS EXISTENTES

Las siguientes figuras **permitirán** una mayor comprensión de los puntos de aplicación de las cargas.

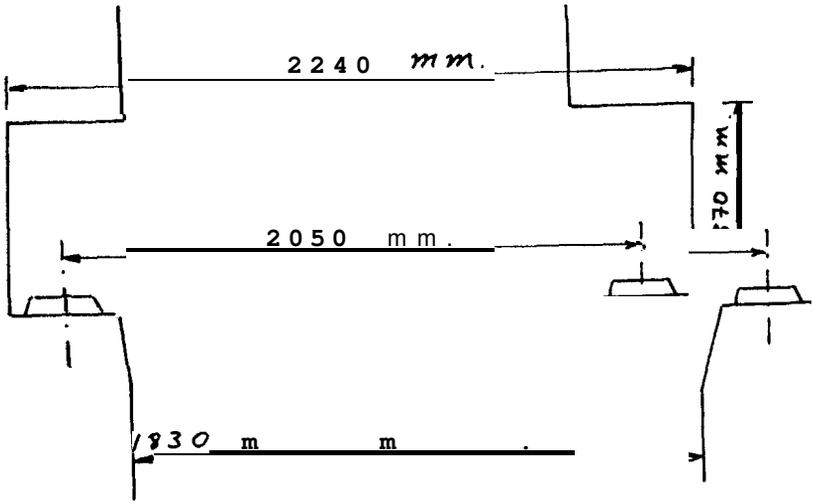


Fig 3.1. Vista Superior del Recinto de la Compuerta

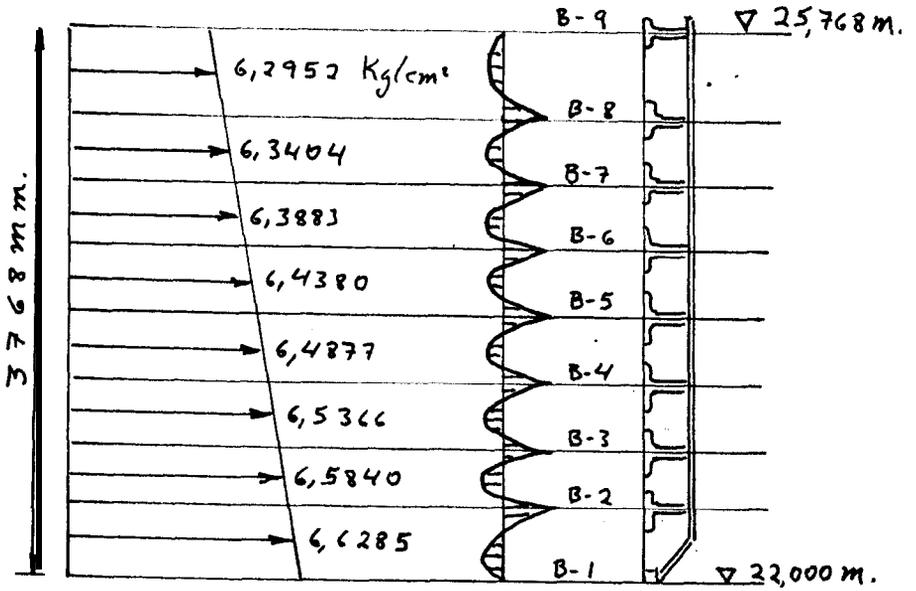


Fig. 3.2. Vista Lateral Compuerta, Diagrama de Cargas y Momentos.

En las siguientes figuras, se ha dividido por números de abajo hacia arriba todos los puntos de reacción a las fuerzas de presión producidas por el agua, y en letras todos los tramos de separación entre estos apoyos.

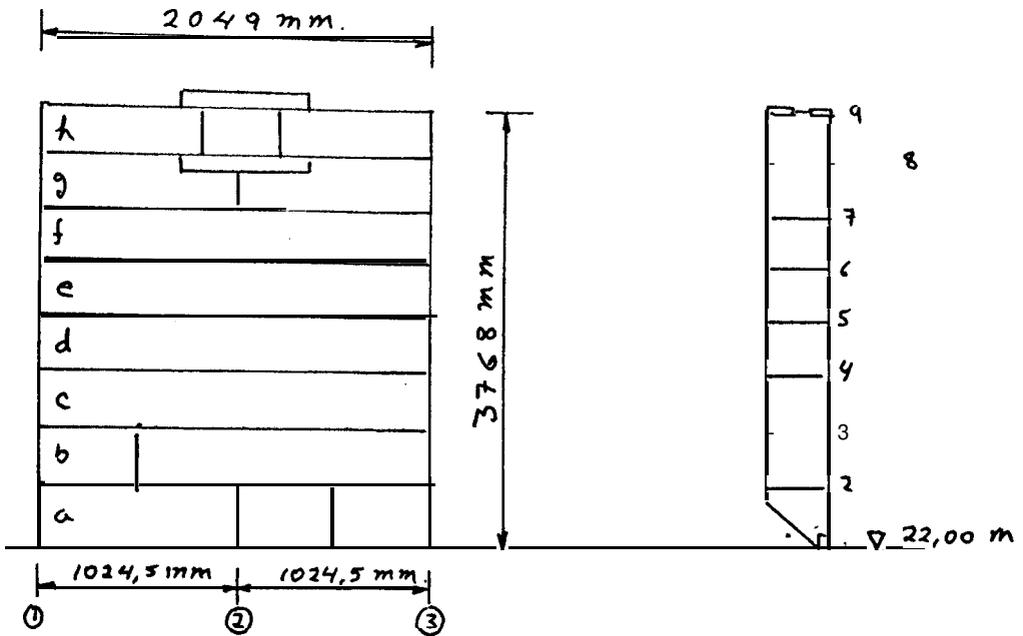


Fig 3.3. Vista Frontal y Lateral de las vigas T de la Compuerta

- DATOS:
- 9 puntos de concentración de carga.
 - 8 zonas de distribución de carga.
 - Altura del forro 3,766 mts.
 - Columna de agua en solera es de 66,50 mts.

SECCION FORRO:

TRAMOS	LUZ (mts.)	CARGA (T/m ²)
a	0,430	66,2850
b	0,460	65,8400
c	0,487	65,3665
d	0,492	64,8770
e	0,502	64,3800
f	0,492	63,8830
g	0,465	63,4045
h	0,440	62,9520

APOYOS	MOMENTO (T.cm/cm lineal)	CARGA (T/m lineal)
1	0,00000	11,144
2	1,33602	32,847
3	1,17731	30,412
4	1,32492	32,181
5	1,32435	32,045
6	1,36074	32,366
7	1,15487	29,674
8	1,32451	31,966
9	0,00000	10,839

La siguiente figura es el diagrama de cargas, momentos y reacciones que actúan en las vigas horizontales en T.

Distancia entre vigas de costado = 2,049 mts.
 Distancia entre sellos = 2,049 mts.
 Carga Total Máxima = 498.876 T/mts.

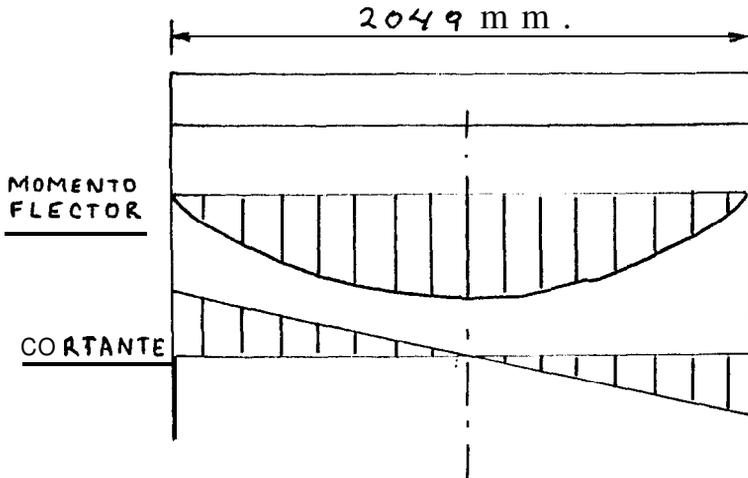


Fig. 3.4. Diagrama en Vigas T horizontales.

A continuación se detalla la tabla de Cargas, Momentos Electores y Cortantes que actúan sobre cada una de las vigas en T utilizadas en la Compuerta. Resulta necesario especificar que esta tabla de datos fue proporcionada por CEDEGE y es la tabla de resultado de Cargas, Momentos Electores y Cortantes de la Compañía BOETTICHER Y NAVARRO S.A. de España, desarrollado por un proceso de computación que no pudo ser anexo a la obra.

VIGA PRINCIPAL										
LUZ (mts)	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	
	2,049	2,049	2,049	2,049	2,049	2,049	2,049	2,049	2,049	
Q	CARGA CONTINUA (T/M)	11,144	32,847	30,412	32,181	32,045	32,366	29,674	31,966	10,839
	REACCION (T/M)	11,417	33,651	31,157	32,969	32,831	33,158	30,401	32,749	11,105
M	MOMENTOS (T.M)									
	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,5120	4,38638	12,92840	11,97010	12,66634	12,61310	12,73907	11,67949	12,58184	4,26631
	1,0250	5,84850	17,23786	15,96013	16,88846	16,81747	16,98543	15,57266	16,77579	5,68841
	1,5370	4,38638	12,92840	11,97010	12,66634	12,61310	12,73907	11,67949	12,58184	4,26631
	2,0490	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
V	CORTANTES (T)									
	0,0000	11,417	33,651	31,157	32,969	33,831	33,158	30,401	32,749	11,105
	0,5120	5,709	16,826	15,578	16,435	16,415	16,579	15,200	16,375	5,552
	1,0250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,5370	-5,709	-16,826	-15,578	-16,435	-16,415	-16,579	-15,200	-16,375	-5,552
	2,0490	-11,417	-33,651	-31,157	-32,969	-33,831	-33,158	-30,401	-32,749	-11,105

Fig. 3.5. Cuadro de cargas, momentos flectores y Cortantes de la viga principal

3.3. ESFUERZOS EN LA VIGA DE CARGA MAXIMA

Para este cálculo tomamos la viga B-Z que es la que soportará los máximos esfuerzos, de acuerdo con los datos antes expuestos.

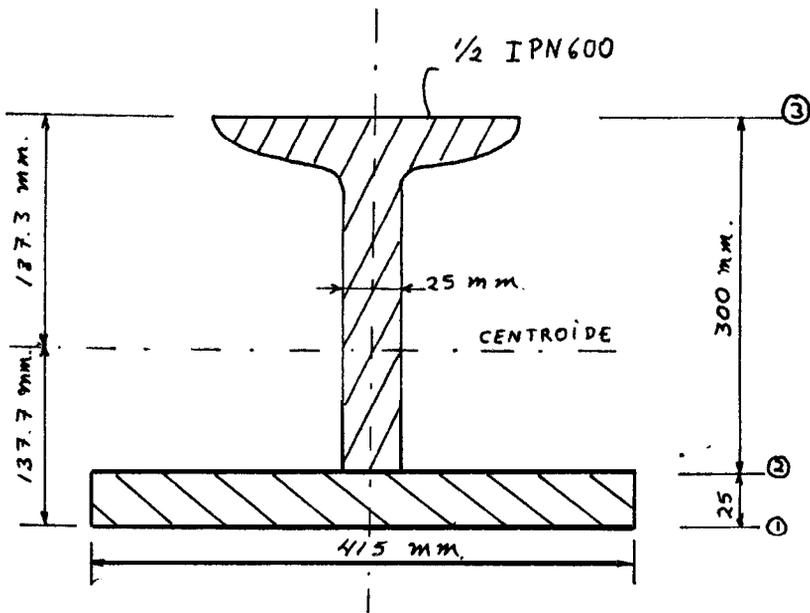


Fig. 3.6. Vista transversal de unión T con plancha.

$$I_m = 40428 \text{ cm}^4.$$

$$Y_1 = 13.77 \text{ cm.}$$

$$A = 230,75 \text{ cm}^2.$$

$$Y_2 = 11.27 \text{ cm.}$$

$$Y_3 = 18.73 \text{ cm.}$$

Donde I_m = Momento de Inercia transversal de la sección mostrada.

A = Area transversal de la sección mostrada.

Y = Distancia del centroide a los puntos de interés.

Y = Distancia desde un extremo al punto de interés longitudinal de la viga.

	$y = 0$ cm	$y = 51,2$ cm	$y = 102,5$ cm
M (kg.cm)	- - -	1-292.840	1'723.786
V (kgf.)	33.651	16.826	- - -
σ_1 (kg/cm ²)	- - -	(-) 440	(-) 557
σ_2 (kg/cm ²)	- - -	(-) 360	(-) 480
σ_3 (kg/cm ²)	- - -	599	799
ζ_0 (kg/cm ²)	553	277	- - -
ζ_2 (kg/cm ²)	501	250	- - -

3.4. ESFUERZOS EN LA VIGA PARA PASO DEL VASTAGO

Para una mayor comprensión se detalla dos tipos de figuras, la primera es la figura real del diseño, y la segunda en una aproximación bastante cercana de la primera, que permite facilitar el proceso de cálculo.

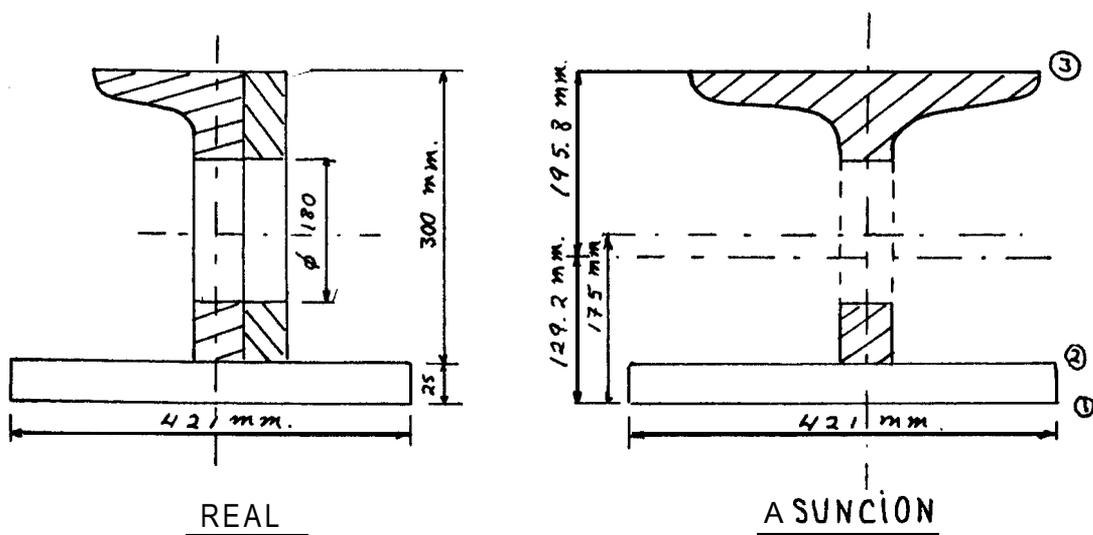


Fig. 3.7. Vista transversal de la viga de paso del vástago

CALCULO APLICADO :

$$\sigma = \frac{M \cdot Y}{I_m} \quad (\text{Ec. 3.1.})$$

$$I_m = 38.934 \text{ cm}^4$$

$$M = 1'677.578 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_1 = 1'677.579 \times 12,92 / 38.934 \quad \square \quad - 557 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 1'677.579 \times 10,42 / 38.934 \quad = \quad - 448 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_3 = 1'677.579 \times 19,58 / 38.934 \quad = \quad + 844 \text{ kg/cm}^2$$

3.5. DISEÑO DE UNIONES SOLDADAS

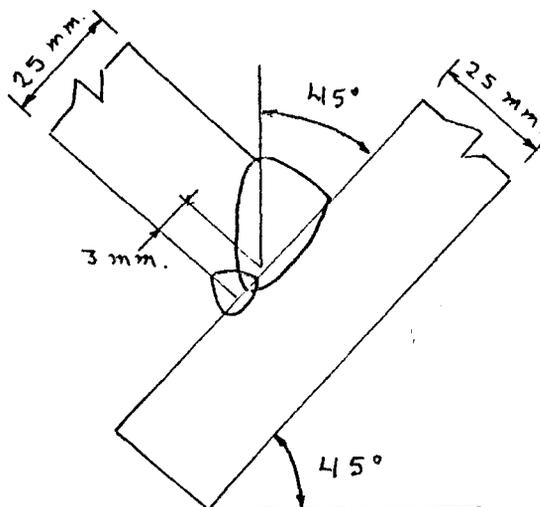
A continuaciòn se presentar& los tipos de uniones soldadas mas comunes a emplearse en la construcciòn de la compuerta de alta presiòn. Ademàs se detallaran los principales parâmetros de soldadura a cumplirse para obtener las mejores condiciones (1) :

POSICION DE SOLDEO : Plana

SOLDABILIDAD : Buena

SOLDADO DESDE : Un lado

PROCESO : S.A.H.



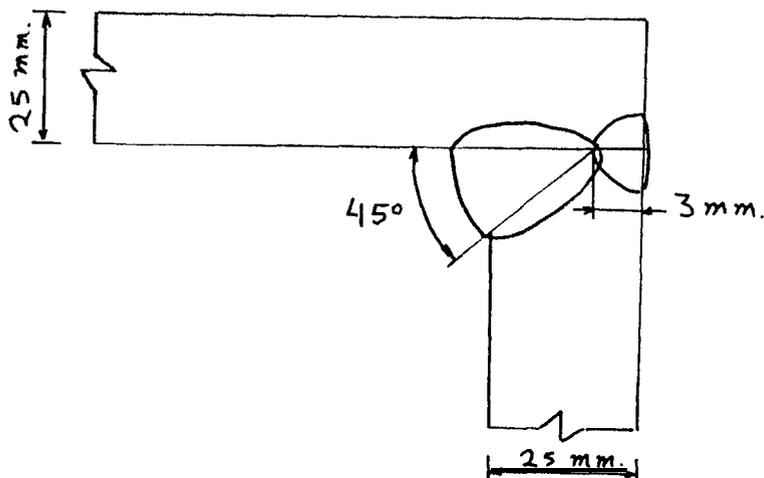
ESPEJOR PLANCHA (mm.)	25
PASADAS	1
TAMANO ELECTRODO (mm.)	5,5
CORRIENTE (amp.) DC (+)	1050
VOLTAJE (volt.)	30
VELOCIDAD DE APORTE (mm./min.)	216
CONSUMO DE ELECTRODO (kg./m.)	1,56
CONSUMO DE FUNDENTE (kg./m.)	0,71 - 0,90
TIEMPO TOTAL (hr./m.)	0,07709

FIG. 3.8.a. Union en Y con penetracion completa y a una sola pasada

POSICION DE SOLDEO : Plana
 SOLDABILIDAD : Buena
 SOLDADO DESDE : un lado
 PROCESO : S.A.H.



BIBLIOTECA



ESPESOR PLANCHA (mm.)	25
PASADAS	1
TAMANO ELECTRODO (mm.)	5
CORRIENTE (amp.) DC (+)	1000
VOLTAJE (volt.)	37
VELOCIDAD DE APORTE (mm./min.)	569
CONSUMO DE ELECTRODO (kg./m.)	0,38
CONSUMO DE FUNDENTE (kg./m.)	0,27 - 8.37
TIEMPO TOTAL (hr./m.)	0,02978

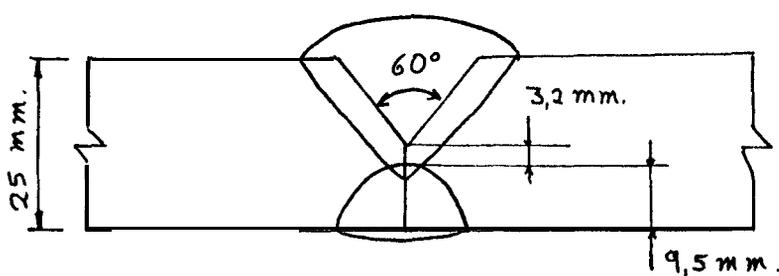
FIG. 3.8.b. Union en angulo con penetracion completa y a una sola pasada

POSICION BE SOLDEO: Plana

SOLDABILIDAD : Buena

SOLDADDESDE : Ambos lados

PROCESO : S.A.H.



ESPESOR PLANCHA (mm.)	25
PASADAS	1
TAMANO ELECTRODO (mm.)	5.5
CORRIENTE (amp.) DC (+)	1850
VOLTAJE (volt.)	37
VELOCIDAD DE APORTE (mm./min.)	228
CONSUMO DE ELECTRODO (kg./m.)	1,88
CONSUMO DEFUNDENTE Org./m.)	0,87 - 1,24
TIEMPO TOTAL (hr./m.)	0,0728

FIG. 3.8.c. Union a Tope con penetracion completa y a una sola pasada

CALCULO DE PARAMETROS DE SOLDADURAS

a) TEMPERATURA MINIMA DE PRECALENTAMIENTO: Para determinar cual es la temperatura mínima requerida de precalentamiento entre pasadas para arco sumergido en acero A36 podemos valernos de la siguiente figura :

ESPESOR DE PIEZA	T (° C)
Hasta 19 mm.	NINGUNA
De 19 a 38 mm.	21 ° C
De 38 a 63 mm.	65 ° C



Fig, 3.9. Temperatura de Precalentamiento para acero estructural ASTM A36 (1)

Dado que todas las piezas tienen un espesor de 25 mm. la temperatura de precalentamiento sería de 21 ° C, es decir no es, necesario hacer precalentamiento.

b) CORRIENTE Y POLARIDAD : La polaridad positiva es la más conveniente utilizando un generador de voltaje constante, con alimentación automática del electrodo, el cual

permite mantener tanto el voltaje como la corriente seleccionada constante durante toda la soldadura, la polaridad positiva es recomendada para soldaduras donde la rapidez y profundidad de **penetración** son requeridas, **también** proporcionan soldaduras que presentan mayor resistencia a la porosidad. Los valores de corriente presentados anteriormente **producirán** soldaduras de calidad aceptable.

c) **VOLTAJE APLICADO** : Un voltaje demasiado alto produce un **cordón más** ancho y profundo, consume más fundente, incrementa el aporte de aleaciones desde el fundente reduciendo la ductilidad e incrementando la presencia de fisuras, produce una **escoria** difícil de remover, y una soldadura de filete **concava** que es propensa a la **fisuración** (1). El voltaje bajo por el contrario produce un arco firme, necesario para conseguir una **penetración** en uniones profundas y para resistir las sopladuras por arco en velocidades de trabajo altas. Lo **más** conveniente es seguir las especificaciones dadas para las uniones soldadas en el capítulo anterior.

d) **CALOR DE ENTRADA DURANTE LA SOLDADURA** : Para el **cálculo** del calor de entrada podemos aplicar la

siguiente ecuación (1) :

$$H = \frac{E \cdot I \cdot 2,36}{S, 1000} \quad (\text{Ec. 3.2.})$$

Donde H = Calor de entrada en kilojoules/mm.

E = Voltaje del arco

I = Corriente en amperios de soldadura

S = Velocidad del arco en mm./minuto

e) CALOR NETO EMITIDO (1) :

$$H_{\text{neto}} = f_1 \cdot H \quad (\text{Ec. 3.3.})$$

Donde : $0.8 < f_1 < 1$

f_1 es la eficiencia del metal base

f) DILUCION : Equivale a la relación entre el metal base fundido (B) y el Brea de la sección transversal del cordón depositado (A + B) (1).

$$D = \frac{B}{A + B} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 3.4.})$$

g) CALOR TOTAL APLICADO : Equivale al calor

aplicado más el calor latente de fusión del material (1).

$$Q = Q_m + Q_f \quad (\text{Ec. 3.5.})$$

También existe otra relación que se cumple:

$$Q = \frac{(T_m + 273)^2}{300000} \quad (\text{Ec. 3.6.})$$

Donde T_m = Temperatura de fusión del metal..

Q = Calor total aplicado (joules/mm³).

h) AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CORDON DE SOLDADURA : Es igual a la sobremonta (A) mas el metal fundido (B) (1).

$$A_w = A + B \quad (\text{Ec. 3.7.})$$

Existe otra relación que también se cumple (1) :

$$A_w = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot H}{Q} \quad (\text{Ec. 3.8.})$$

Donde f_2 = Fracción del Hneto que es usado para derretir el metal. .

i) ECUACION DE TEMPERATURA MAXIMA (T_p) (1):

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4,13 \cdot \rho \cdot C \cdot t \cdot Y}{H_{neto}} + \frac{1}{T_m - T_o} \quad (\text{Ec. 3.9.})$$

Donde : T_p = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) a una distancia Y a partir del borde de la línea de fusión dentro de la zona afectada por el calor (ZAC).

T_o = Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$).

T_m = Temperatura de fusión del metal base.

t = Espesor de la plancha.

ρC = Calor específico volumétrico
(Joules/mm³ $^{\circ}\text{C}$)

Y = Distancia en mm. a partir del borde la zona de fusión.

j) VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO : Para saber si se trata de plancha gruesa o delgada aplicamos la siguiente ecuación:

$$V_o = t \sqrt{\frac{\rho \cdot C \cdot (T_c - T_o)}{H_{neto}}} \quad (\text{Ec. 3.10.})$$

Donde : V_o es el factor relativo de espesor.

Si reemplazamos $\rho C = 0,0044$ Joules/ mm³ $^{\circ}\text{C}$, $t=25$

mm. , $T_c=550^{\circ}\text{C}$, $T_o=30^{\circ}\text{C}$, y H_{neto} de la ecuación 3.3 con $f_1=0,8$, tenemos que

$$V_o = 42,278 \sqrt[2]{\frac{S}{E, I \cdot 60}} \quad (\text{Ec. 3.11.})$$

Conociendo los valores de S , E , I para los tres tipos de uniones a realizarse, podemos hallar V_o . Los valores de V_o para los tres tipos de uniones soldadas se muestran a continuación:

Unión a Tope : $V_o = 0,4181$

Unión en ángulo : $V_o = 0,60$

Unión en T : $V_o = 0,40$

Se considera plancha delgada si V_o es menor a 0,6 y plancha gruesa si es mayor que 0,8 por lo tanto nuestro caso es de plancha delgada, y la ecuación de velocidad de enfriamiento es :

$$R = 2 \pi K \rho C \left(\frac{t}{H_{\text{neto}}} \right)^2 (T_c - T_o)^3 \quad (\text{Ec. 3.12.})$$

Donde R = Velocidad de enfriamiento ($^{\circ}\text{C} / \text{seg.}$) en el centro del cordón depositado, a una temperatura de interés T_c .

K = Conductividad Térmica.

$\sigma = 550 \text{ } \text{QC.}$

$T_0 =$ Temperatura inicial **en** QC.

$t =$ espesor de la plancha.

k) **AREA TRANSVERSAL DEL CORDON DE SOLDADURA :** Para este cálculo se utiliza la fig. 3.10, en la cual con los valores de corriente y velocidad de soldadura se determina el área transversal del cordón. Adicionalmente esta área se la puede calcular mediante la siguiente expresión :

$$\text{AREA} = 1122 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1.55}{S^{0.903}} \quad (\text{Ec. 3.13.})$$

La fig. 3.11. presenta algunos de los valores de las condiciones de soldadura para los tres tipos de uniones presentes en la compuerta de alta presión.

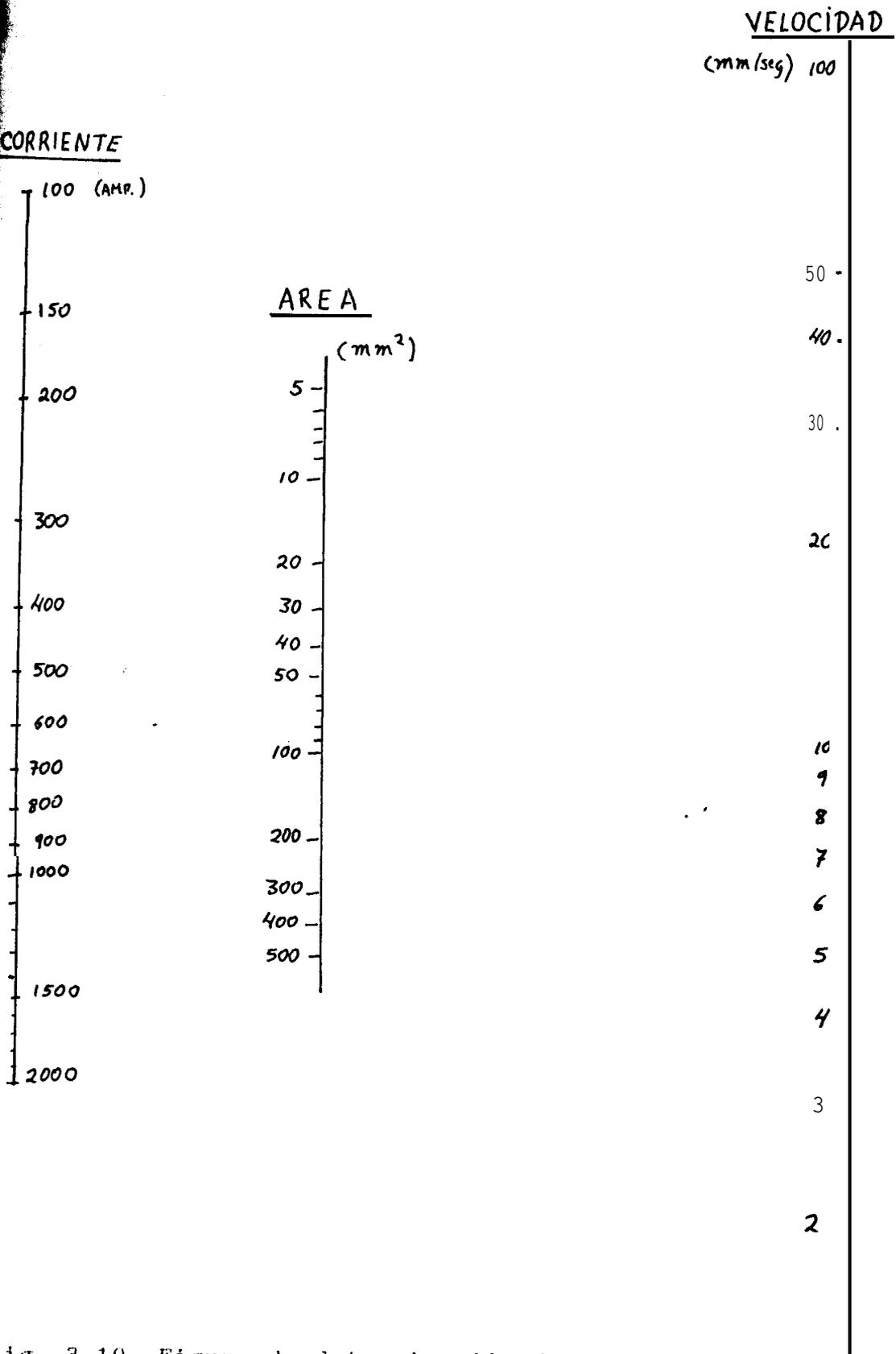


Fig. 3.10. Figura de determinación del área transversa del cordón de soldadura (1)

TIPO DE UNION	I (amp.)	VOLTAJE (volt.)	VELOCIDAD (mm./min.)	H (Kj./mm.)	Hneto (Kj./mm.)	Q (J./mm3.)	R (C/seg.)	AREA (mm2).
T	1050	38	216	0,436	0,349	9,896	558,51	500
ANGULO	1000	37	560	0,156	0,125	9,896	1353,72	200
TOPE	1050	37	228	0,402	0,322	9,896	656,10	490

Fig. 3.11. PARAMETROS Y CONDICIONES DE SOLDADURA

3.7. TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSIONES

Luego de la Soldadura las **piezas soldadas** serán sometidas a tratamiento térmico de alivio de tensiones.

De acuerdo a información proporcionada por la compahia fiscalizadora de las compuertas, el tratamiento térmico se aplicara en un horno cerrado, las piezas deberán estar correctamente soportadas y se evitará el contacto directo de la llama. Los quemadores serán regulados de forma que no produzcan una oxidación excesiva en las superficies de la piezas. Se colocarán termopares en un extremo de la **pieza**, y de allí cada 4,5 mts. de dicho extremo, si son varias piezas, se colocaran **termopares** en la zona inferior, central y superior distribuidos cada 4,6 mts. de pieza en el sentido longitudinal. La temperatura del horno no sera superior a 315 °C en el momento de introducir las piezas y la velocidad de calentamiento (Va) no será superior a 220 °C/hora dividido por el máximo espesor en pulgadas, pero en ningún caso mayor de 220 °C/hora.

$$220 \times 25$$

$$v_a \leq \frac{\text{-----}}{t} \text{ °C/hora.} \quad (\text{SC. 3.14.})$$

$$t \text{ (mm.)}$$

donde : t = espesor máximo en mm.

La temperatura máxima estará comprendida entre los 590 °C y los 650 °C. La diferencia de temperatura entre puntos distantes entre si 4,6 mts no excederá los 140 °C durante el calentamiento, y luego de alcanzar la máxima temperatura, la diferencia no será superior a 83 °C.

El tiempo mínimo de permanencia en el horno será de 2,36 minutos por cada milímetro de espesor.

Hasta alcanzar los 315 °C, la velocidad máxima de enfriamiento (V_e) será menor a 260 °C/hora dividido por el máximo espesor en pulgadas, pero en ningún caso mayor de 260 °C/hora, y luego de los 315 °C puede enfriarse al aire.

$$260 \times 25$$

$$V_e = \frac{\text{-----}}{t \text{ (mm.)}} \text{ °C/hora} \quad (\text{Ec. 3.15.})$$

3.8. ENDEREZADO POR CALOR

Este procedimiento se aplicará en aquellos componentes que hayan sufrido deformaciones al soldar durante la fabricación.

- a) Calentar hasta color ligeramente rojo ($T < 600$ °C) llevando la boquilla del soplete entre 5 y 10 mm. de la pieza, dependiendo de su espesor y del tamaño de la boquilla.
- b) Luego de que se consigan los 600 °C en ese punto, continúe calentando en forma de zig zag, desplazando la boquilla hacia adelante en una misma dirección, evitando los vaivenes, de forma que siempre se tenga material frío delante de la línea de calentamiento.
- c) La línea de calentamiento tendrá una anchura de 26 a 35 mm. para planchas de 25 mm, de espesor.
- d) La velocidad de la boquilla debe ser constante y el enfriado será al aire.
- e) El Control de las temperaturas se harán con tizas térmicas o por pirdmetros de contacto.

9. MONTAJE EN TALLER

Cada compuerta, incluyendo los marcos, bonete, cubierta del bonete, hoja de la compuerta, revestimiento del conducto, extensión del vástago, indicador de la posición de la hoja de la compuerta, deberán montarse completamente en el taller para su

revisiòn y para garantizar que todas las partes calzan con precisiòn y estàn alineadas correctamente.

Cada compuerta se **abrirà** y cerrara una o mas veces según sea requerido para demostrar que la compuerta funciona correctamente a **satisfacciòn** del ingeniero. Mientras se monta para **operaciòn** en taller **deberà** mamparse los **marcos** de la compuerta de tal forma que se pueda realizar el ensayo **hidrostàtico** o en lugar de mamparse, se podrà juntar dos compuertas en SUS caras aguas arriba y se ensayaran las compuertas en pares. Con las compuertas en la **posiciòn** de cierre, se **deberà** aplicar una presiòn **hidrostàtica** de 0.7 **kg/cm²** medida desde la linea de piso del marco de la compuerta, en el lado aguas arriba de la compuerta. En este **ensayo**, los sellos de la compuerta **deberàn** ser lo suficientemente **herméticos** para que ningún chorro de agua salga de ellos.

A **continuaciòn** mostramos la estructura que servirà para alojar la compuerta de alta **presiòn**.

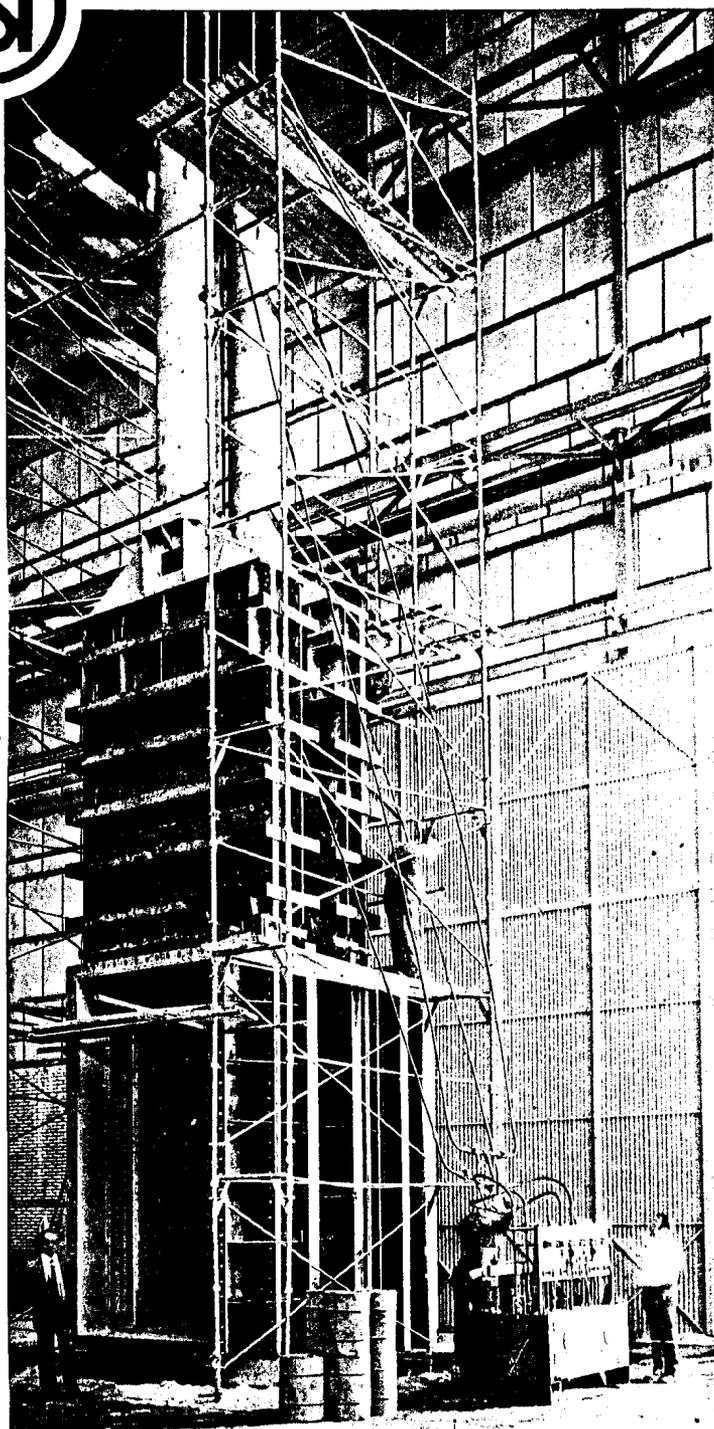


Fig 3.12. Estructura de alojamiento de la compuerta de alta presión.

3.10. INSTALACION Y ENSAYOS EN SITIO

Luego de haber instalado las compuertas, se las deberá mantener en la posición abierta usando maderos o con los colgadores de la compuerta hasta el momento en que las tuberías de control y la maquinaria de operación se hayan instalado y el Contratista esté listo para realizar los ensayos descritos a continuación.

El Contratista deberá tener cuidado de sangrar todo el aire en el sistema hidráulico, luego de lo cual deberá elevar y bajar cada compuerta 5 veces en todo su recorrido de operación, y deberá hacer todos los ajustes necesarios en la colocación o la instalación requeridos para garantizar una operación satisfactoria y de un cierre hermético de las compuertas.

No se permitirá el uso de aire comprimido para ensayar y hacer funcionar las compuertas, Hasta que las compuertas estén listas para entrar en operación final, se deberá proteger la compuerta y los marcos de apoyo contra daños por escombros flotantes. usando recubrimientos de madera u otros medios satisfactorios para el Ingeniero.

C A P I T U L O 1 V

C A L I F I C A C I O N

La **Especificación** del Procedimiento de soldadura (WPS) es el documento que describe todos los requisitos y detalles necesarios para la **realización** de una **unión**. Sometiendo dicha unión a los ensayos que se especifican en el capítulo II y III del Código ASME sección IX, ya sea que se trate de **calificación u homologación de proceso** o de **calificación u homologación de soldador**, se confecciona el registro correspondiente, el cual acredita que la **unión** reúne las propiedades requeridas o que el soldador tienen la capacidad necesaria para realizarla.

4.1 CALIFICACION Y HOMOLOGACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Entre los datos o variables tenemos:

- DISEÑO JUNTA : Chaflán, separación, talón, etc.
- MATERIALES BASE : Especificación, propiedades, composición, espesores...
- MATERIALES APORTE : Especificación, diámetros, fundentes . . .

- POSICION : Tipo, ascendente,
descendente. . .
- TRATAMIENTOS : Pre y/o post-calentamiento
entre: pasadas...
- GAS PROTECTOR : Tipo, mezcla, caudales...
- CARACTERISTICAS ELECTRICAS : c.c. , c.a. ,
intensidades, velocidades.
- TECNICA SOLDEO : Cordones estrechos, anchos,
extensiòn electrodo, Nº de
pasadas, velocidad soldeo...

En la especificaciòn deben reseñarse todos los datos que se consideren necesarios o converiientes.

De todos estos factores, unos influyen fundamentalmente y otros no, segùn exigencias requeridas a la uniòn , o segùn se trate de homologaciòn de proceso, soldador u operador. Este hecho da lugar a una primera clasificaciòn de las variables en tres grupos :

VARIABLE ESENCIAL.- Afecta las propiedades mecànicas o dificultad de realizaciòn:

- Cambio de Proceso.
- Cambio de Posición.
- Cambio de Material Base o Aporte.
- Cambio de tratamiento.
- Supresión de soporte (backing), etc. . .

VARIABLE NO ESENCIAL .- No afecta las propiedades de la unión o dificultad de realización :

- Tipo de Junta.
- Método soporte.
- Método sensado, limpieza, etc...

VARIABLE ESENCIAL SUPLEMENTARIA .- Afecta tenacidad de la unión. Se consideran esenciales o no según se requiera o no tenacidad respectivamente.

- Proceso.
- Calor suministrado.
- Tratamiento Térmico.
- Ascendente o descendente. etc. . .

Los criterios que se seguirán serán los siguientes:

- Cambio de una variable esencial : requiere una nueva homologación y WPS.
- Cambio de una variable no esencial : requiere

VARIABLES ESENCIALES EN TENACIDAD PARA PROCEDIMIENTO	
METAL BASE	NUMERO P PARA IMPACTO
METAL DE APORTE	ESPECIFICACIONES DE SFA USADO
FRECALENT.	MAXIMO ENTREPASADAS
CARACT. ELECT.	CORRIENTE Y VOLTAJE

VARIABLES NO ESENCIALES PARA PROCEDIMIENTO	
JUNTA	DISEÑO DE JUNTA RESPALDO SEPARACION DE RAIZ
METAL DE APORTE	DIAMETRO ESPECIFICACIONES DE SFA DESIGNACION DEL FUNDENTE
POSICION	POSICION EMPLEADA
FRECALENT.	EL EMPLEADO
CARACT. ELECT.	RANGOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE

Hay distintos tipos de variables que por su variedad e importancia están clasificados en el Código ASME

en grandes grupos para su mejor utilización. Estas variables son las relativas a materiales de base, materiales de aportación, composición química de materiales depositados y posiciones de soldeo :

a) METALES DE BASE : Divididos en los grupos F, semejantes en cuanto a composición, soldabilidad y propiedades mecánicas. Dentro de cada N^o F existen a veces subgrupos, G utilizados en los casos de requisitos en tenacidad. Refiriéndonos exclusivamente a nuestro caso Acero Estructural A36 :

F-1 a F-11 : Aceros Normales y aleados.

b) MATERIALES DE APORTE, : Comprenden los grupos F, con similar distribución a los grupos P. Refiriéndonos exclusivamente a nuestro caso para Acero Estructural A36.

F-1 a F-6 : Aceros Normales y aleados.

c) COMPOSICION MATERIAL DEPOSITADO : Forma los grupos A, con un total de 12, distribuidos según la composición química del metal depositado.

A-1 : acero dulce.

A-2 : aceros al carbono-molibdeno

A-3 : aceros al carbono-cromo
etc.,

d) POSICIONES DE SOLDEO : Definidas para:

Soldaduras de chapas a tope (G)

Soldaduras de chapas en T (F)

Según el tipo de unibn a realizarse:

PLANA : 1G y 1F

CORNISA (HORIZONTAL) : 2G y 2F

VERTICAL : 3G y 3F

TECHO (SOBRECABEZA) : 4G y 4F

A continuación mostramos las figuras que detallan estas posiciones.

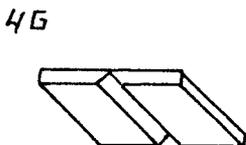
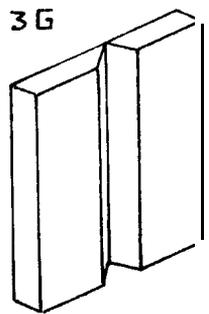
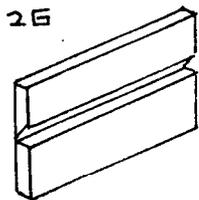
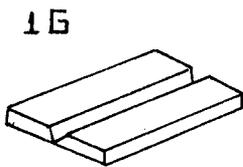


Fig. 4.1. Uniones de chapas a tope (2)

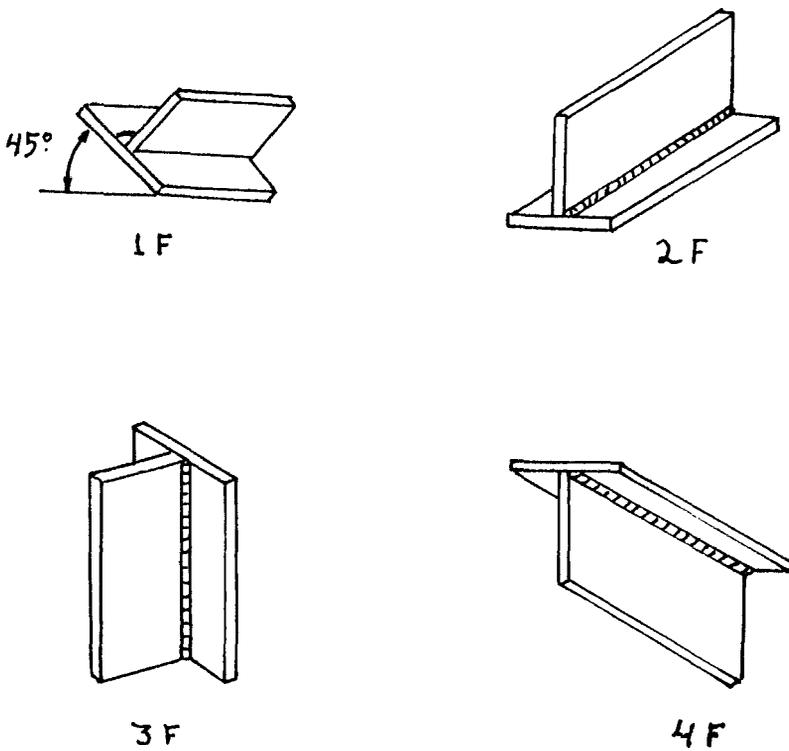


Fig. 4.2. Uniones de chapas en T (2)

Utilizaremos la posición plana que es la más aconsejable para realizar los cordones de soldaduras por arco sumergido y obtener la mayor penetración.

e) ENSAYOS : Son de distintos tipos, con los objetivos siguientes :

e.1.) TRACCION : Su objetivo es determinar la resistencia de las uniones.

- e.2.) DOBLADO : Doblados de cara y raíz. Se utilizan para determinar la ductilidad de la soldadura, así como para el grado de fusión con el material base.
- e.3.) TENACIDAD : Charpy y Caída de peso según se requiera. Resistencia a la entalla.
- e.4.) ABATIMIENTO : Se emplea para determinar grado de fusión y calidad general de la soldadura.
- e.5.) METALOGRAFICOS : Para determinar grado de fusión, agrietamiento, tamaño y forma en soldaduras de ángulo, fusión en la raíz, etc.
- e.6.) RADIOGRAFICOS : Para determinar faltas de penetración, inclusiones, poros, etc. Utilizado para homologación de soldadores y operarios, fundamentalmente.

Para el caso de Homologación de procedimientos, las variables fundamentales son aquellas que pueden repercutir en las características mecánicas de la unión soldada. En general estas variables son relativas a los materiales de base y aportación, los cuales de ben estar perfectamente definidos y

clasificados según sus NQ P, F y A y la especificación correspondiente. También son fundamentales los tratamientos térmicos, pre y postcalentamiento, temperaturas entre pasadas. Por el mismo criterio, no son fundamentales el tipo de junta, la posición, las características eléctricas o la técnica de soldeo cuando no se exige resiliencia, en cuyo caso estas tres últimas suelen pasar a fundamentales. En cualquier caso, la homologación de un procedimiento es válida siempre que no se cambie alguna variable fundamental,

Para soldadura a tope, el campo cubierto por una especificación de soldeo también está delimitado de acuerdo con el espesor del material soldado y del material aportado. En general, los espesores máximos homologados duplican al de los materiales de base o de aportación que se emplearon en la homologación cuando esta se realizó con ensayos de doblado longitudinal.

Si los ensayos de doblado utilizados fueron transversales, la regla de duplicar el espesor sólo es válida hasta un máximo de 203 mm.

Para nuestro caso que se trata de piezas de espesor igual a 25 mm. según la norma, aquellos procesos calificados para espesores de plancha mayor a 9,5

mm. homologa o califica a todos los espesores que vayan de 4,7 mm. a 2 veces el espesor que haya tenido la plancha inicialmente.

Las pruebas a utilizar para homologación de procedimientos son cuatro de doblado y dos de tracción. Los cuatro doblados pueden ser dos de cara y dos de raiz en el caso de doblado transversales o longitudinales, o bien los cuatro pueden ser doblados laterales. A partir de 19 mm. es obligatorio utilizar cuatro doblados laterales.

LOS resultados obtenidos deberán estar de acuerdo con los datos y requisitos de la especificación de soldeo.

En las páginas 89 y 90 se presenta un ejemplo de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) realizado para las uniones en T de la compuerta de alta presión. En esta especificación se ha incluido todos los parámetros e información correspondiente, tal como se presentó anteriormente.

En las páginas 91 y 92 se presenta un modelo de formato para los resultados de los ensayos de las uniones soldadas (PQR) de acuerdo a la especificación del procedimiento de soldadura WPS. Obviamente este formato no ha sido llenado en

nuestro caso debido a que no se obtuvo esta información de los constructores de las compuertas.

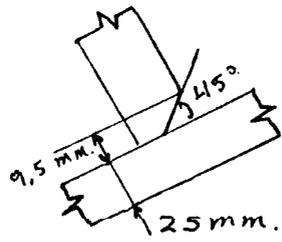
Tanto el formato WPS así como el PWR han sido traducidos y elaborados del código ASME sección IX.

Compañía: E S P E For: JOSE J. LOAYZA N.
 WPS No: 1 Fecha: 23/02/90 PQR usado No (s) 1
 Revision No: 1 fecha: 23/02/90
 Proceso soldadura(s): S AW tipo(s): SEMI AUTOMATICA
 (Automat., Manual, Semiautomat.)

JUNTAS

DETALLES

Diseño Junta: MEDIA V A 45°
 Respaldo (Si): _____ (No): X
 Material respaldo (tipo): _____
 Metal Metal no fundente
 Nonmetal Otros



METAL BASE

P No: 1 Grupo No _____ : a P No: 11 - Grupo _____ No _____ ;
 0
 Tipo de Especificación y grado ASTM A36
 0
 Análisis Químico y Prop. Mecánicas 0.25% C - 0.04% P - 0.05% S - 0.8 % Mn

Rango de espesor:
 Metal Base: Ranura: 45° Filete: 9,5 mm.
 Rango Diá. Tubo: Ranura: _____ Filete: _____
 Otros: _____

METAL DE APORTE

Especif. No (SFA): <u>SFA 5.23</u>		
AWS No (Clase): <u>ECB5</u>		
F No: <u>6</u>		
A No: <u>3</u>		
Tamaño Metal Aporte: <u>5,5 mm.</u>		
Meta! soldado depositado: <u>B5</u>		
Rango de espesor: <u>25 mm.</u>		
Ranura: <u>45°</u>		
Filete: <u>9,5 mm.</u>		
Electrodo Flux (clase):		
Flux Nombre comercial: <u>F70-ECB5-B5</u>		
o t r o s :		

<p>POSICIONES</p> <p>Posiciones del Chaf <u>45° 1F</u></p> <p>Soldadura Arriba: _____ Abajo: <u>X</u></p> <p>Posiciones de Filetes: <u>TOPE a 45°</u></p>	<p>TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO</p> <p>Rango Temperatura: <u>650°</u> <u>C</u></p> <p>Rango Tiempo: _____</p>
<p>PRECALENTAMIENTO</p> <p>Prealent. Temp. Min: _____</p> <p>Entrepasad. Temp. Max: <u>NO</u></p>	<p>GAS</p> <p>Porcentaje Compuestos</p> <p>Gas(es) (Mezcla) Vel.Flujo</p> <p>_____</p> <p>Respaldo _____ o _____</p>

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Corriente AC o DC: DC Polaridad: +

Amperaje (rango): 1050 Voltaje (rango): 38

Tamaño de electrodo y tipo: ECB5 - 5,5 mm.

Modo de transferencia metálica: ARCO SUMERGIDO

Velocidad de alimentación electrodo (rango): 216 mm /min

TECNICA

Aportación Recta u Oscilante:.. RECTA

Tamaño de Orificio del Gas: _____

Limpieza inicial o entrepasadas: PULIDO ESMERILADO

Método de Respaldo: N O

Oscilación: S I

Múltiples o simples pasadas: 1 PASADA

Múltiple o simple electrodo: 1 ELECTRODO

Velocidad de aporte (rango): 1,56 Kg/m

Otros: _____

Capas de Soldad.	Proceso	Metal Aporte		Corriente		Voltajes Rango	Velocidad de Aporte Rango	OTROS
		Clase	Diám.	Polar. Tipo	Amperio Rango			
<u>1</u>	<u>SAW</u>	<u>ECB5</u>	<u>5,5</u>	<u>DC +</u>	<u>1050</u>	<u>38</u>	<u>216 $\frac{mm}{min}$</u>	

Nombre de la Compañía: _____
 PQR No: _____ Fecha: _____
 WPS No: _____
 P r o c e s o s d e S o l d e o: _____
 Tipos (Manual, Automatic., Semiautomatic.): _____

UNIONES

Diseño del Chablón Usado

METAL BASE

Especif. material: _____
 Tiro 0 Grado: _____
 P No: _____ a P No: _____
 Espesores: _____
 Diámetro: _____
 Otros: _____

TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO

Temperatura: _____
 Tiempo: _____
 Otros: _____

GAS

Porcentaje Compuestos
 Gas(es) (Mezcla) Vel. Flujo

Respaldo _____

METAL DE APORTE

SEA especificación: _____
 AWS clasificación: _____
 Metal aporte F No: _____
 Análisis Metal soldado A N _____
 Tamaño M e t a l a p o r t e : _____
 Otros: _____
 Metal Depositado: _____

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Corriente: _____
 Polaridad: _____
 Amperios: _____ Voltajes: _____
 Tamaño Electrodo: _____
 otros: _____

TECNICO

Velocidad de aportación: _____
 Aportación Recta u Oscilante: _____
 Oscilación: _____
 Múltiples o simples pasadas: _____
 Múltiples o simples electrodos: _____
 Otros: _____

PRECALENTAMIENTO

Temperatura Pre calentamiento: _____
 Temperatura entrepasadas: _____
 Otros: _____

ENSAYO DE TRACCION

FQR No: _____

Probeta No.	Ancho mm.	Espesor mm.	Area mm ² .	Carga Total en rotura Kg.	Tensión de rotura Kg./m ²	Tipo y situac. de la rotura

ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

Tipo y Figura No.	Resultado	Tipo y Figura No.	Resultado

ENSAYO DE TENACIDAD

Probeta No.	Situación de ranura	Ranura tipo	Temp. de ensayo	Valor de Choque	Resiliencia Kgs./cm ²	Expansión lateral		Ensayo de caída peso		Tipo
						%cortad	Mil	Rota	No Rota	

Tipo de ensayo: _____

Análisis del depósito: _____

Otros: _____

ENSAYO DE SOLDADURA EN ANGULO

Resultado aceptable (Si/No) : _____ Penetración Metal base (Si/No): _____

Tipo y aspecto de la rotura: _____ Resultado de la Macrografía: _____

Nombre del Soldador: _____ Reloj No: _____ Sello No: _____

Ensayo dirigido por: _____ No. del informe del Laboratorio: _____

para: _____

Certificamos que el contenido de este informe es correcto y que las soldaduras han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del código ASME, Sección IX.

F e c h a : _____ Firma: _____

Firma: _____ inspector de: _____

Aprobado p _____ o _____ r _____ Firma: na: _____

4.2. CALIFICACION Y HOMOLOGACION DE SOLDADORES

La Calificación y Homologación de Soldadores se encuentra detallada en el capítulo III del código ASME sección IX, dicha homologación del soldador se llevará a cabo según la especificación de soldadura correspondiente (WPS), pudiendo prescindirse del tratamiento postsoldeo si figura en aquella.

Las *variables* fundamentales, son aquellos que pueden dificultar la realización de la soldadura. Los tipos de variables para soldadores de acuerdo al código ASME sección IX empleando el arco sumergirlo son (2):

VARIABLES NO ESENCIALES PARA SOLDADORES	
TECNICA	FILETE METODO DE LIMPIEZA METODO DE RESPALDO OSCILACION NUMERO DE PASADAS , TAMAÑO SEPARACION DEL ELECTRODO MANUAL O AUTOMATICA PENETRACION

VARIABLES ESENCIALES EN TENACIDAD PARA SOLDADORES	
TECNICA	OSCILACION NUMERO DE PASADAS, ESPESOR

Para la **calificación** del soldador por arco sumergido se considera el espesor de plancha a calificar y la **posición** a soldar como variables esenciales.

- a) **METALES DE BASE** : A utilizar en las pruebas será el mismo de que estará hecha las compuertas de alta presión, acero estructural **ASTM A36**.
- b) **ESPEORES Y DIAMETROS** : Dado nuestro caso, tratándose de piezas de espesor de 25 mm, según la Norma, un soldador calificado para espesores mayores a 19 mm, homologa o califica para espesores iguales o superiores a este.
- c) **LA HOMOLOGACION A TOPE EN CHAPA** : Homologa en ángulo para todos los espesores y gargantas de soldadura.
- d) **LA CHAPA EN ANGULO** : Homologa asimismo para todos los espesores y gargantas.
- e) **PROBETAS** : A utilizar son un plegado de cara a

otro de raíz, transversales o longitudinales, o bien dos plegados laterales (para $e = 10$ mm.). Para homologación exclusivamente en ángulo de chapas, se realiza un macro de una sección y un ensayo de rotura por abatimiento continuo.

- f) POSICION : Es otra variable fundamental para el caso de soldadores. Las posiciones cualificadas por una prueba determinada, dependen de la posición de la prueba y de que sea realizada a tope o en ángulo.
- g) LA HOMOLOGACION EN CHAPA : En posiciones 1G y 2G, la chapa homologa para tubería de diámetro mayor a 73 mm. Para otras posiciones, también la chapa homologa para tubería pero sólo a partir de 610 mm. de diámetro. En pruebas en ángulo, cualquier posición homologa para diámetros de tuberías mayores de 73 mm. Para diámetros menores, las pruebas hay que realizarlas sobre el diámetro de tubo a homologar.
- h) RADIOGRAFIA : Se utiliza para prescindir de ensayos mecánicos o macrográficos. Esta puede aplicarse realizando probetas a tope de longitud mínima de soldadura de 152 mm. para examinar por radiografía. Alternativamente, pueden

examinarse los primeros 153 milímetros de producción de un soldador. En estos casos los reensayos se harán radiografiando longitudes dobles respectivamente, y reparando en cualquier caso, las soldaduras rechazadas y la producción completa del soldador rechazado, por medio de un soldador calificado.

- i) REENSAYOS Y RENOVACIONES PARA SOLDADORES Y OPERADORES : Cuando un soldador ha fallado las pruebas, puede ser reexaminado mediante la realización de dos pruebas adicionales para cada posición fallada cada una de las cuales deberá pasar todos los ensayos requeridos. Cuando la homologación se hizo por radiografía, las pruebas serán hechos por este mismo procedimiento.

La renovación de la homologación de un soldador u operador se requiere en cualquier de los dos casos siguientes :

- Si el soldador u operador ha interrumpido su actividad por un período superior a 3 meses, excepto cuando haya trabajado en otros procesos de soldadura, este período se extiende hasta 6 meses.

- Cuando exista alguna otra razón específica que permita dudar de su capacidad para realizar soldaduras sanas.

En la página 98 se presenta un ejemplo del certificado de calificación de soldadores de acuerdo al código ASME, sección IX. Dicho certificado ha sido parcialmente llenado con los parámetros y condiciones de soldadura especificadas en el WPS. La parte de resultados de los ensayos no ha sido llenada por falta de información.

Nombre del Soldador:- _____ Chequeo No: _____ Sello No: _____
 Usando WPS No: _____ Rev: _____ Fecha: _____

Variable	Valor Actual usado en calificación	Rango Calificado
Proceso	_____	- _____
Tipo de Proceso	_____	_____
Respaldo (metal, flux, etc.)	_____	_____
Material especificaciones	_____ í t -	- - - - - a -
Espesor	_____	_____
Chaflán	_____	_____
Filete	_____	_____
Metal aporte	_____	_____
Espec. No.	_____	_____
Clase	_____	_____
F No.	_____	_____
Metal Soldado Depositado		
Chaflán	- - - - -	- _____
Filete	- - - - -	_____
Posición	_____	_____
Tipo de Gas	_____	_____
Características eléctricas		
Corriente	_____	_____
Polaridad	_____	_____

RESULTADOS ENSAYOS RE DOBLADO

Tipo y Fig. No.

Resultados

--	--

RESULTADO ENSAYO RADIOGRAFICOS

Resultados Radiográficos: _____

RESULTADOS ENSAYOS METAL SOLDADO

Pruebas de Fractura (Describe localización, naturaleza y tamaño fisura): _____

Longitud y Porcentaje de Defectos: _____ mm. _____ %.

Ensayos Macrográfico-Fusión: _____

Apariencia garganta:- _____ mm. _____ x mm. Concavidad/convexidad: _____ mm.

Ensayo dirigido por: _____ Ensayo de Laboratorio No: _____

Certificamos que el contenido de este informe es correcto y que las soldaduras han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del código ASME, Sección IX.

Fecha: _____ Organización: _____

Por: _____

C A P I T U L O V

I N S P E C C I O N E S D E S O L D A D U R A S

1. INSPECCION VISUAL

Para realizar una inspección visual de la unión soldada, es necesario, limpiar muy bien la zona a inspeccionar, evitando usar equipo de esmerilado, ya que esto puede enmascarar la presencia de discontinuidades superficiales.

Es necesario anotar la apariencia visual de la unión soldada subrayando los defectos visibles y forma de la soldadura, por ejemplo, curvatura superficial, grado de penetración en la raíz, material de respaldo, grosor o espesor diferente del metal base, magnitud de los refuerzos de soldadura, acabado de soldadura y alineación de piezas.

2. INSPECCION POR ULTRASONIDO

Para las inspecciones a realizar por Ultrasonido, la Norma ONGC (6) recomienda emplear equipos cuyas frecuencias esté entre 2 y 5 MHz. El ángulo de Refracción más apropiado en los tipos de transductores a utilizarse para planchas de 25 mm. de espesor es de 60 grados.

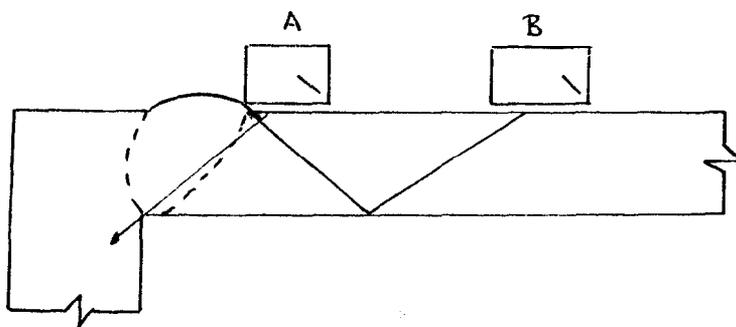


Fig. 5.2. Esquema de la **inspección ultrasónica** en uniones en **ángulo** (6)

PROCEDIMIENTO DE BARRIDO PARA LA DETECCIÓN INICIAL DE DEFECTOS: Este procedimiento consiste en barrer la **sección completa** con el eje del haz, empleando el movimiento del transductor entre puntos A y B que se indican en la figuras anteriores. Durante este movimiento **dar** al transductor una ligera rotación como se muestra en la siguiente figura :

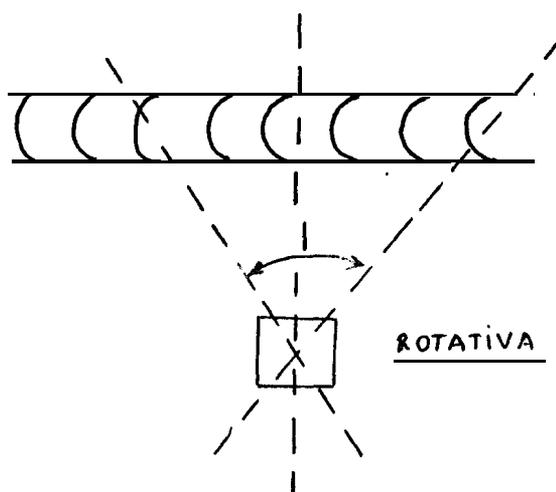


Fig. 5.3. Desplazamiento del transductor (6)

Cuando sea posible, efectuar el barrido de la soldadura desde todas sus caras de unión. ES necesario emplear una distancia de salto adicional para barrer la totalidad del área y marcar los límites que atraviesa el punto de incidencia del transductor sobre la superficie del material antes de comenzar la inspección. Desplace la sonda según se indica en la siguiente figura y marque las áreas de las que se obtienen señales de ecos, para investigación posterior.

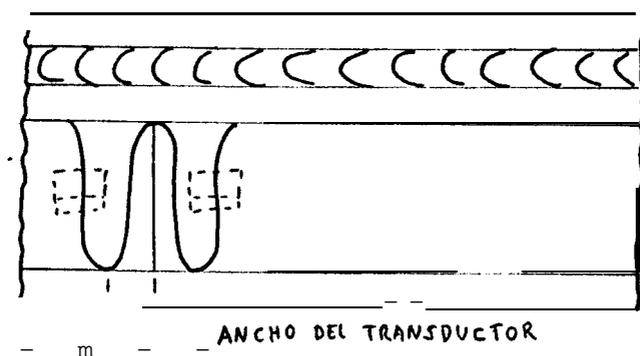


Fig. 5.4. Procedimiento de Barrido para soldaduras (6)

PROCEDIMIENTO PARA LA LOCALIZACION DE DEFECTOS :
 Cuando se registra una señal del eco de un defecto precedente de una de las áreas sospechosas anteriormente marcada desplazar el transductor hacia

adelante y atrás en ángulos rectos a la línea de la soldadura hasta que se alcance la máxima amplitud de señal. Es importante que el eje del haz se mantenga precisamente en ángulo recto con respecto a la soldadura para asegurar precisión de localización. Obsérvese el alcance del defecto partiendo de la posición de la señal en la pantalla. Obténgase confirmación de la existencia del defecto barriendo asimismo desde otras posiciones; esto pudiera requerir un cambio de transductor y el uso de mayores distancias de salto. La localización de un defecto puede después calcularse por relaciones trigonométricas según se indica a continuación:

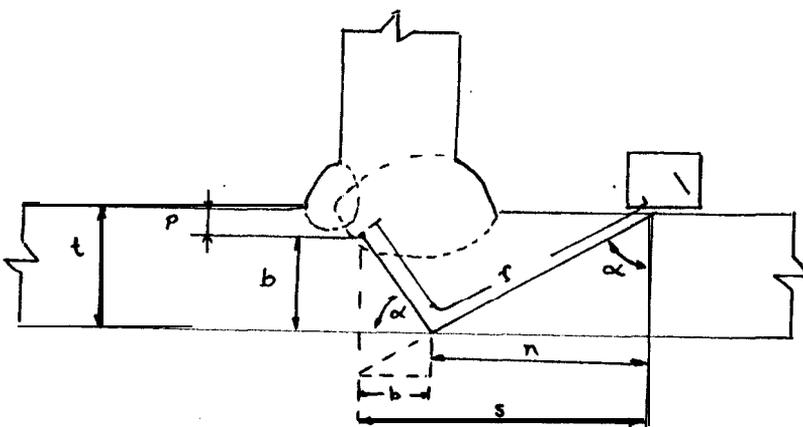


Fig. 5.5. Elemento de ayuda para detección de defectos.

donde: r es la distancia medida en la pantalla del osciloscopio.

s es la distancia horizontal de la discontinuidad al transductor.

t es el espesor de la pieza.

n es la distancia horizontal del transductor al punto de rebote de la onda en el fondo de la placa,

p es la profundidad a la que se encuentra la discontinuidad medida desde la superficie de la pieza.

b es la altura desde el fondo de la pieza a la discontinuidad.

α es el ángulo de refracción del transductor, que para nuestro caso valdrá 60 grados.

ECUACIONES :

$$s = r \cdot \text{seno} (\alpha) \quad (\text{Ec. 5.1.})$$

$$n = t \cdot \text{tangente} (\alpha) \quad (\text{Ec. 5.2.})$$

- Si $n < s < 2n$ significa que la discontinuidad se halla ubicada luego que la onda ha rebotado en el fondo de la pieza. En este caso :

$$p = t (1 + n) - s \quad (\text{Ec. 5.3.})$$

- Si $s < n$ significa que la discontinuidad se halla antes del rebote de la onda con el fondo de la pieza. En este caso :

$$p = r \operatorname{coseno} (\alpha) \quad (\text{Ec, 5.4.})$$

5.3. INSPECCION RADIOGRAFICA

Generalmente, las uniones soldadas son radiografiadas usando una direcciòn normal a la superficie de la soldadura. Para uniones a tope el centro del foco es perpendicular a la superficie de las piezas,, pero para uniones en T el foco central usualmente es inclinado ,

Las uniones en V , uniones en ángulo , uniones de exteriores y filetes , requieren dos vistas , cada una paralela a cada extremo , para inspecciones correctas de fisuras o falta de fusiòn.

Cuando tenemos 100 % de penetraciòn en las uniones soldadas en T de la compuerta de alta presiòn, es recomendable usar un ángulo de incidencia focal de 15° con la vertical, ya que esta permite detectar mejor las zonas de falta de fusiòn y penetraciòn incompleta(11).

Para las uniones soldadas en ángulo de la compuerta

de alta presión, el ángulo de incidencia radiográfica dependerá de la forma de la junta. En caso de que la junta sea horizontal, el ángulo de incidencia radiográfica será de 15° con la vertical.

Las siguientes figuras, ilustran la forma como deberá realizarse la inspección radiográfica para uniones soldadas en T y ángulo de la compuerta de alta presión.

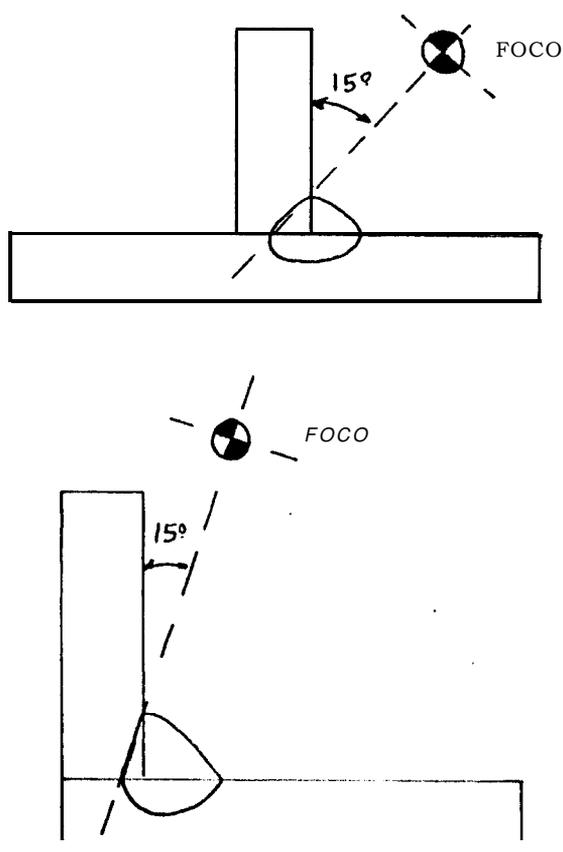


Fig. 5.6. Angulo de incidencia radiográfica para uniones soldadas en T y en ángulo de la compuerta de alta presión (11).

La forma de muchas soldaduras prohíbe seleccionar una dirección de exposición paralela a la superficie soldada, la cual es la más favorable para detectar fisuras internas o fallas de laminación (En estos casos, la inspección ultrasónica resulta más aconsejable).

Posiciones adecuadas para algunos tipos de uniones soldadas son mostrados en la figuras siguientes :

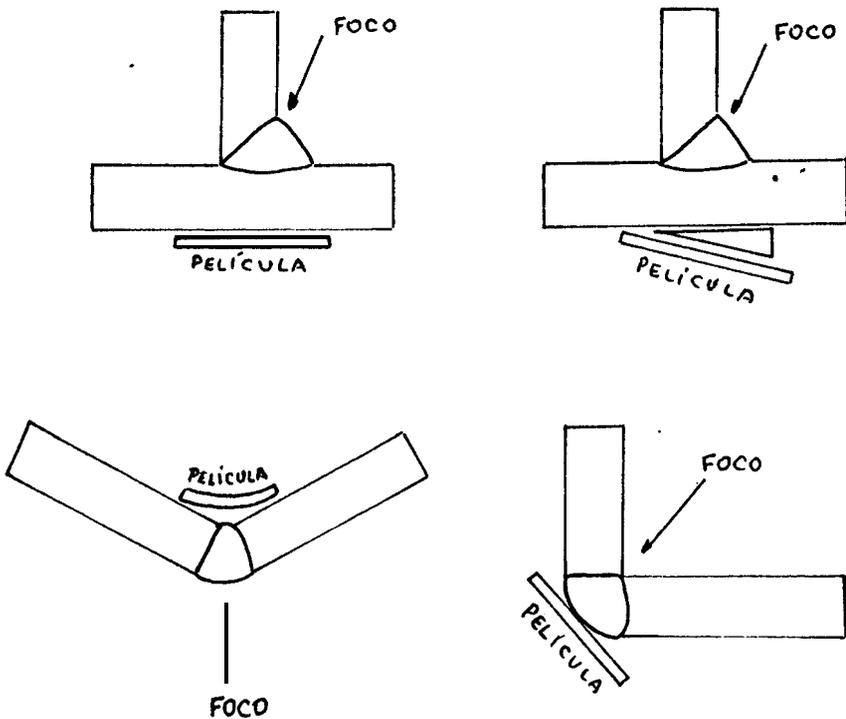


Fig. 5.7. Ubicación de la película radiográfica en uniones soldadas en T y ángulo.

La posición inclinada de la película radiográfica en uniones en "T" se usa para reducir los efectos inherentes del contraste causados por variaciones en penetración de espesores transversales en la zona soldada.

En las uniones en ángulo según la facilidad de radiografiar se puede colocar la película radiográfica en la parte interior o exterior.

5.4. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

PARA INPECCION VISUAL : El criterio de aceptación y rechazo según el código ASME sección IX considera que la sección transversal del metal soldado y la zona afectada por el calor deberán presentar completa fusión y estar libres de fisuras, no deber haber mas de 3,2 mm de diferencia entre las longitudes de la raíz de los filetes, ni deberán haber indicaciones lineales en la raíz que excedan de 0,8 mm. tampoco se aceptarán soldaduras que tengan una concavidad o convexidad mayor que 1,6 mm.

PARA INSPECCION RADIOGRAFICA : El criterio de aceptación y rechazo según el código ASME sección VIII adoptado para espesores de 25 mm. como en el caso de la compuerta es el siguiente :

- a) Si la indicación es de tipo lineal, es decir que su longitud es mayor que 3 veces su ancho:
- a.1) - Cualquier tipo de fisura o zona de fusión o penetración incompleta será inaceptable.
 - a.2) - Cualquier inclusión que tenga una longitud de 8 mm. o más tampoco será aceptada.
 - a.3) - Por ultimo no se aceptarán aquellos grupos de inclusiones en la cual la longitud total sumada, sea igual o mayor al espesor en un tramo de 300 mm. exceptuando aquellos casos en que la distancia entre las sucesivas imperfecciones exceda a 6 L, donde L es la longitud de la imperfección más larga del grupo.
- b) Si la indicación es de tipo redondeada, es decir, que tienen una longitud de 3 veces el ancho o menos, lo máximo permisible será de 5 mm. para espesores de 25 mm. Diámetros de indicaciones redondeadas menores a 0.8 mm no serán tomadas en cuenta.

PARA INSPECCION POR ULTRASONIDOS : El criterio de

aceptación y rechazo según el código ASME sección VIII considera que todas las indicaciones que produzcan una respuesta mayor de 20 por ciento de la altura de referencia se investigaran en la medida en que el operador pueda evaluar la forma, identidad y situación de tales reflejos entérminos de normas de aceptación dadas a continuación:

- Discontinuidades **son inaceptables si** la amplitud excede los niveles de referencia, y la longitud de las mismas superan los 8 mm. en espesores de planchade 25 mm .
- Y tampoco se aceptarán aquellas discontinuidades que , sean interpretadas como fisuras, falta de fusión, o penetración incompleta.

Sólo aquellas discontinuidades clasificadas como rechazables necesitan registrarse en el informe de la inspección y deberán anotarse así, bajo el título de "Evaluación del Defecto". Todas las discontinuidades rechazables **deberán** indicarse sobre la soldadura misma con una marca inmediatamente encima de la discontinuidad y en toda su longitud , **indicándose** el tipo de discontinuidad y profundidad en **relación con la superficie de contacto' (6)**.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las compuertas de alta presión para represas pueden ser contruidas y montadas por personal técnico nacional.
- Los valores de cargas y momentos de flexión proporcionados por CEDEGE para la construcción de las compuertas para la presa DAULE-PERIPA, fueron comprobados y verificados en este traajo. Adicionalmente se utilizò un factor de seguridad de 3 que considera tanto las cargas estáticas como dinámicas, tomando en cuenta los efectos por fatiga.
- El proceso de soldadura semiautomático por arco sumergido es el más adecuado para obtener máxima penetración y elevadas velocidades de soldadura en las planchas de 25 mm. de espesor usadas en la compuerta de alta presión, con menos posibilidades de encontrar defectos, gracias al fundente que utiliza.
- Resulta fundamental realizar la calificación de procedimiento de soldadura y de soldadores, para asegurar la calidad de las uniones soldadas.
- Para la adecuada selección de parámetros de soldadura,

biseles y proceso de soldadura, se recomienda seguir las Normas y especificaciones establecidas en el Código ASME.

- Las caídas de presión producidas por el paso del agua bajo la compuerta, ocasionarán la muy típica corrosión por cavitación. Para solucionar este problema se recomienda aplicar soldadura por metalizado.

- Se recomienda que las uniones soldadas sean perfectamente pulidas a fin de evitar que se produzca corrosión por cavitación en las zonas que estarán en contacto con el flujo de agua, y realizar inspecciones mensuales de las uniones soldadas para darles el correspondiente mantenimiento en caso de requerirlo.

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

- (1) THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY, The Frocedure Handbook of Arc Welding, 12 th. Ediciòn, 1973.
- (2) Còdigo ASME, secciòn IX, 1986.
- (3) JOSEPH W. GIACHINO, WILLIAN WEEKS, Tècnica y Pràctica de la Soldadura.
- (4) Còdigo ASME, secciòn II, 1986.
- (5) SYDNEY H. AVNER, Introducciòn a la Metalurgia Física, 2 da. ediciòn, 1981, Mèxico.
- (6) Còdigo de la Oficina de Normas Generales de Canadà.
- (7) METALS HANDBOOK, Nondestructive inspection and quality control , 8 th ediciòn, volumen 11 , 1976 .
- (8) WELDING JOURNAL, Julio 1984,
- (9) VII CURSO PANAMERICANO DE METALURGIA, 1986, ESPOL.
- (10) Còdigo ASME, secciòn VIII, 1986.
- [11) CONVAIR DIVISON, Nondestructive Testing, Radiographic testing, 1967, San Diego, California.

A N E X O S

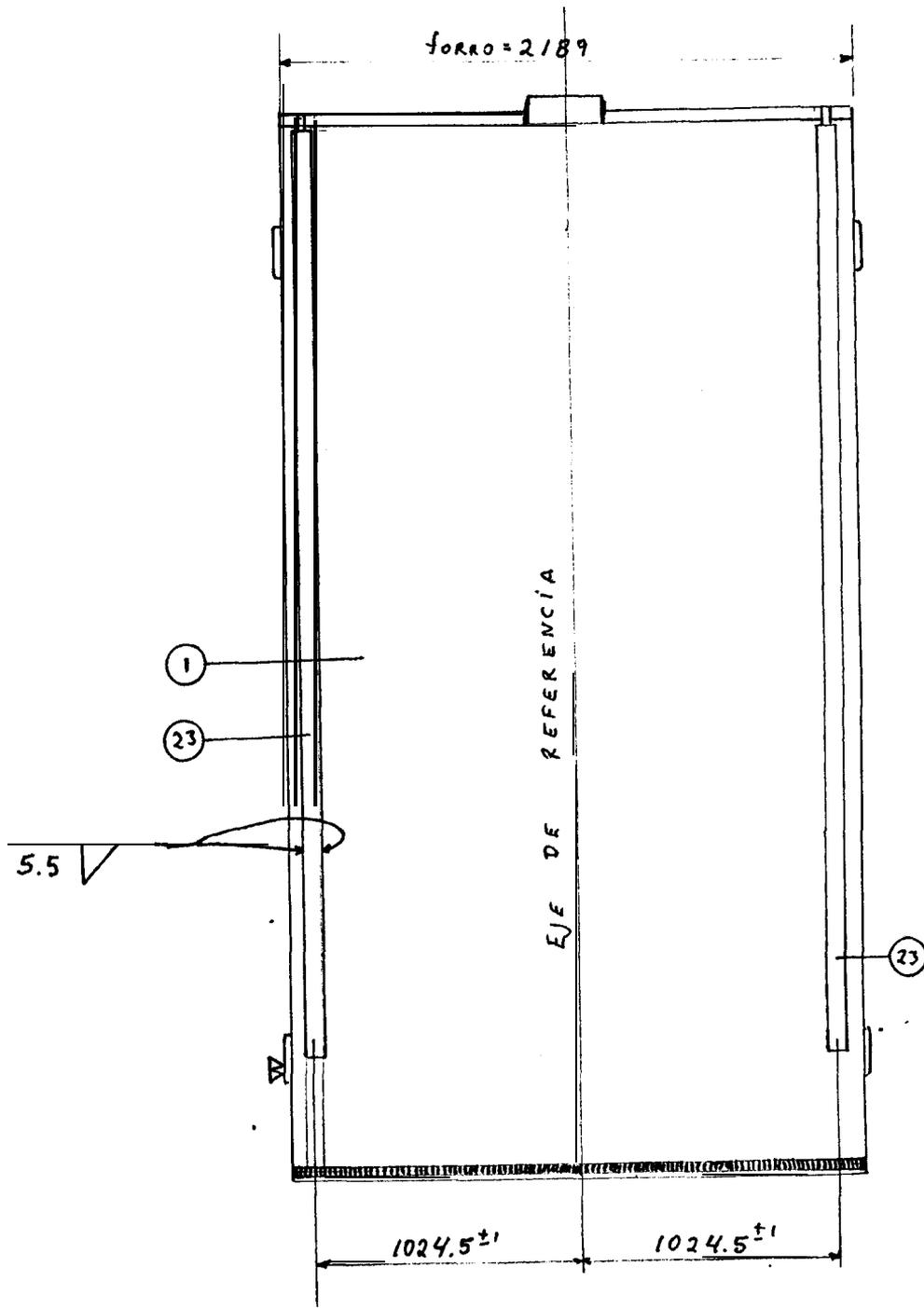
A N E X O

A - 1

P L A N O S D E

L A S

C O M P U E R T A S



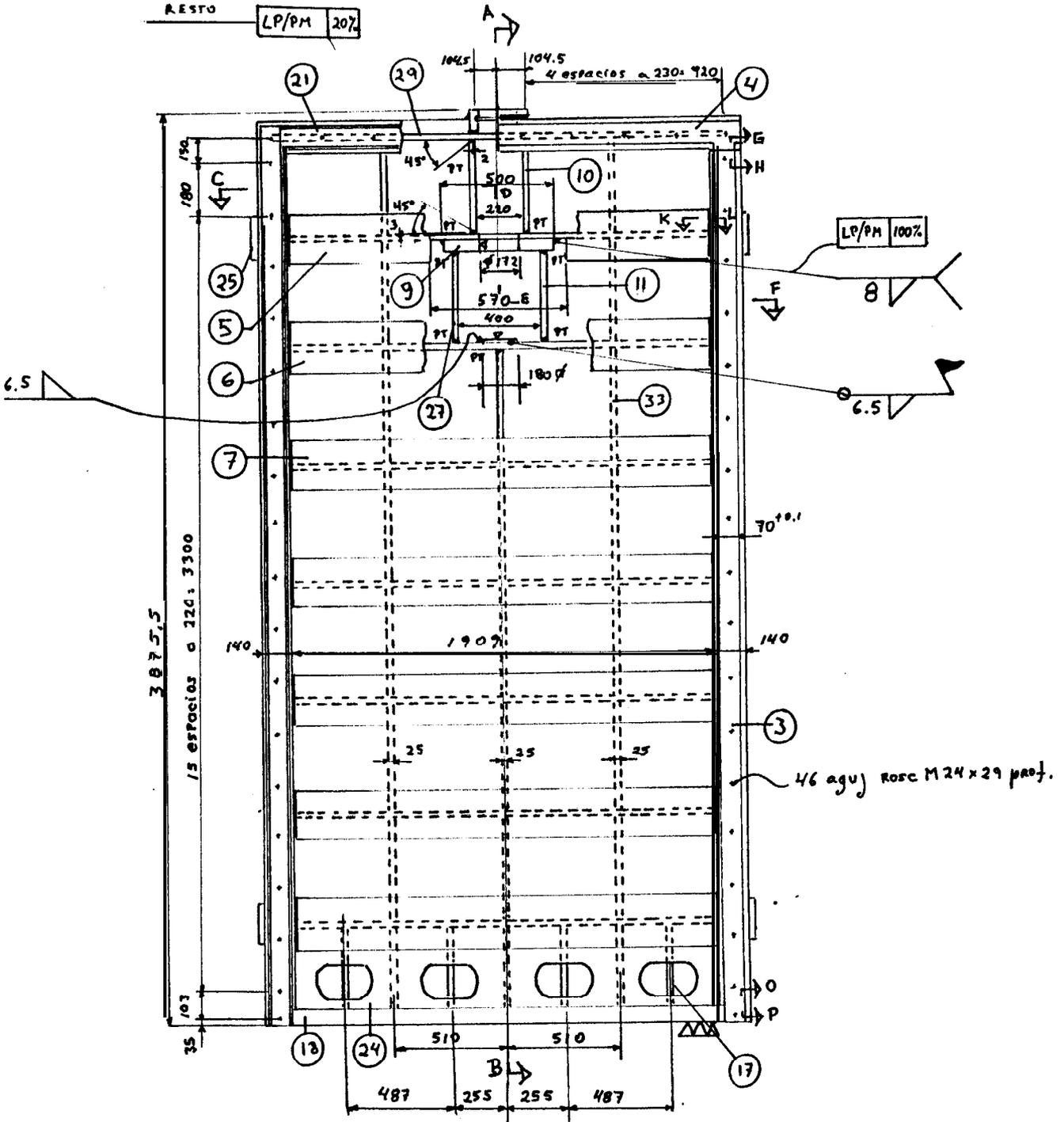
	F ECHA	NOMBRE	ESPOL	ESCALA
DISEÑO	Feb. 70		ESPOL	1: 26.5
DIBUJO	Feb. 70	J. LOAYZA	MATERIAL	
APROBO	Feb. 70		AS7M A36	LAMINA
Contiene				1
VISTA FRONTAL DE COMPUERTA				
Observaciones				

Donde sea aplicable

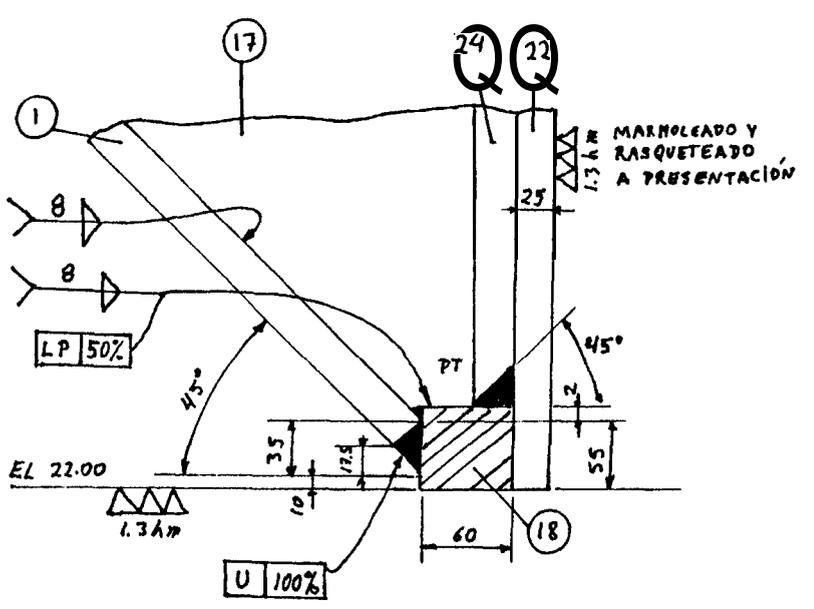
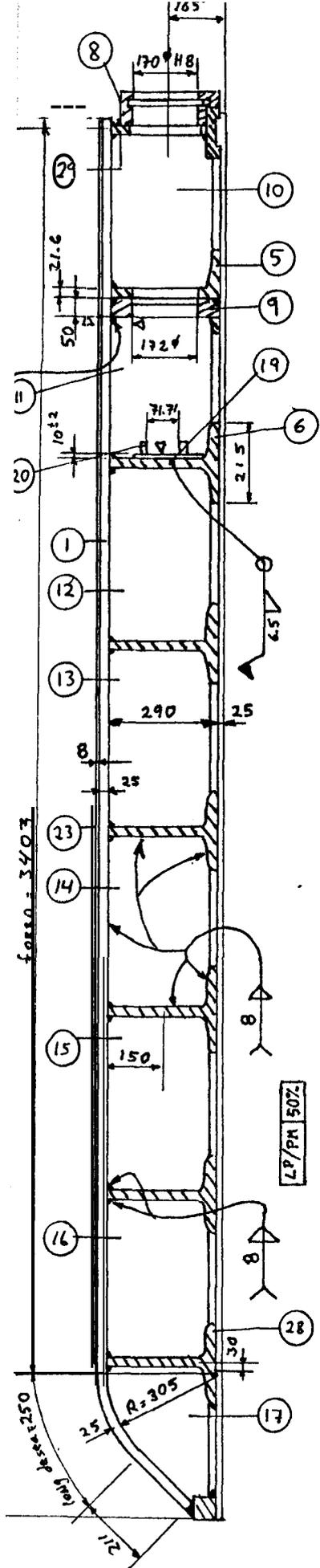
U 50%

RESTO

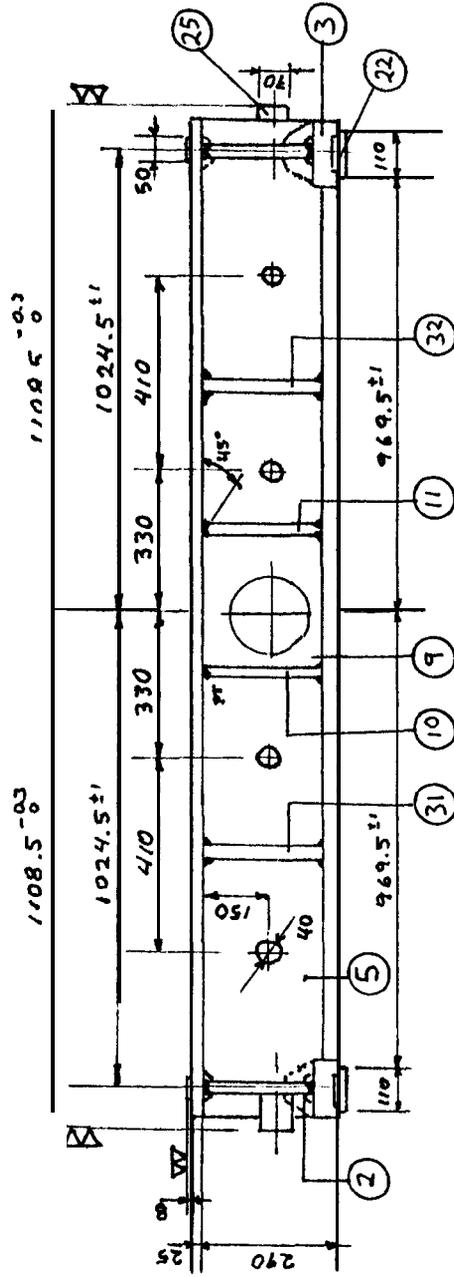
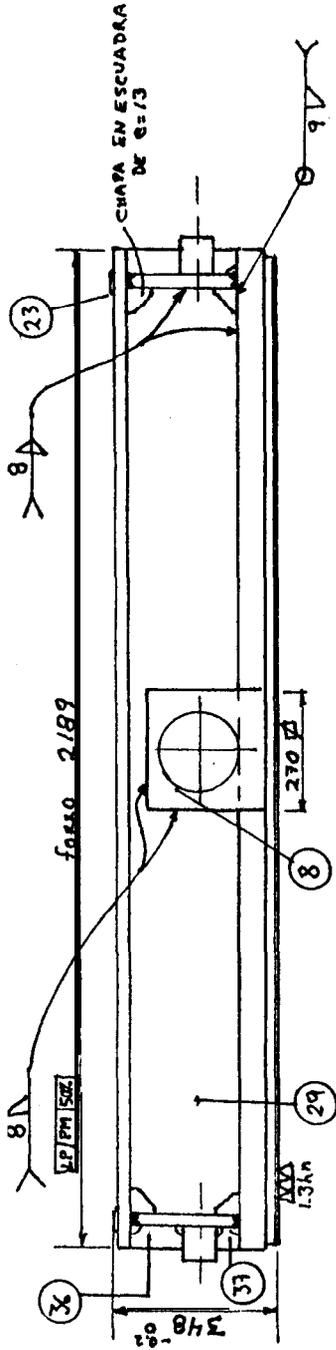
LP/PM 20%



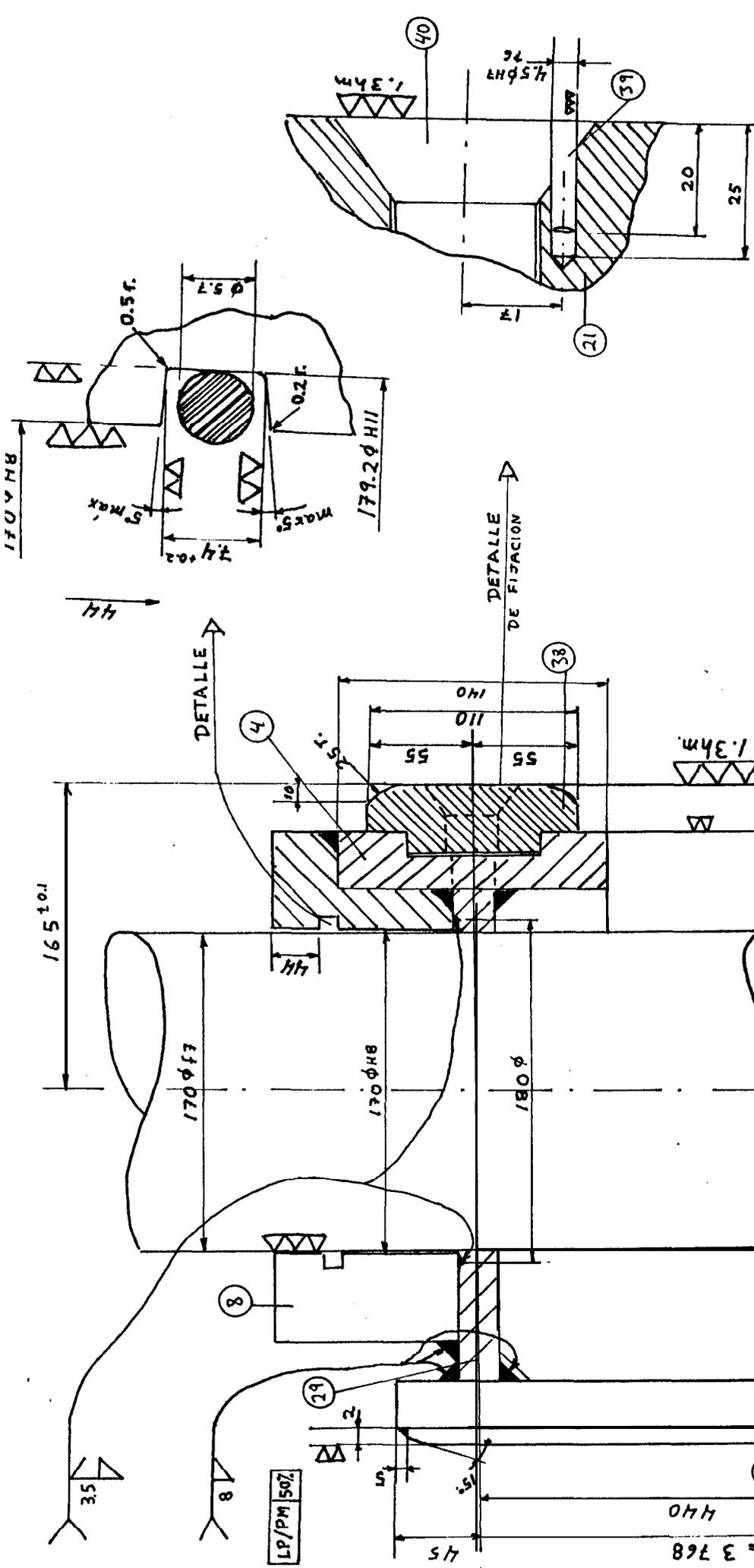
	FECHA	NOMBRE	ESPOL	ESCALA
DISEÑO	Feb. 90		ESPOL	1:26.5
DIBUJO	Feb. 90	J. LOAYZA	MATERIAL	
APROBO	Feb. 90		AS-f-M A36	LAMINA
Contiene				2
VISTA POSTERIOR COMPUERTA				
Observaciones				



	FECHA	NOMBRE	ESPUL	ESCALA
DISENO	Feb. 90			: 17
DIBUJO	Feb. 90	J. LOAYZA	MATERIAL	
APROBO	Feb. 90		ASJM A36	LAMINA
Contiene				
DETALLES DE VIGAS T				4
Observaciones				



FECHA	NOMBRE	ESPOL	ESCALA
DISEÑO Feb. 90			1:17
DIBUJO Feb. 90	J. LOAYZA	MATERIAL ASTM A36	LAMINA 5
APROBO Feb. 90			
Contiene		VISTA SUPERIOR	
Observaciones			



FECHA	NOMBRE	ESCALA
DISEÑO Feb. 90	ESPOL	1:3
DIBUJO Feb. 90	J. LOAYZA	MATERIAL
APROBO Feb. 90	ASTM A36	LAMINA
Contiene		
VASTAGO		
6		

Observaciones

A N E X O

A - 2

C U A D R O D E
M A T E R I A L E S

Y

ESPECIFICACIONES

POSICION	DESIGNACION	MATERIAL	PESO fkg.)	CANTIDAD
1	CHAPA DE FORRO 25x2189x3864	A36	1694	1
2	CHAPA 25x229x3780	A36	192	1
3	CHAPA 55x140x3643 (60)	436	435	2
4	CHAPA 55x140x2189 (60)	A36	131	1
5	1/2 IPN-600x2024	A36	200	1
b	1/2 IPN-600x2024	136	200	1
7	1/2 IPN-600x2024	A36	800	4
8	CUADRADILLA 270x95	A36	40	1
9	CHAPA 50x290x500	836	51	1
10	CHAPA 50x262x500	n36	40	2
11	CHAPA 25x262x387	836	19	1
12	CHAPA 25x262x464	A36	23	1
13	CHAPA 25x263x480	836	73,5	3
14	CHAPA 25x264x470	A36	72	3
15	CHAPA 25x264x465	A36	71,4	3
16	CHAPA 25x264x438	A36	67,5	3
17	CHAPA 25x264x363	1136	105	7'
18	CUADRADILLA 60x2189 (60x55)	AISI-304	61,5	1

POSICION	DESIGNACION	MATERIAL	PESO (kg.)	CANTIDAD
19	CHAPA 10x100 (15)	AISI-304	2,5	1
20	CUADRADILLA 15x150	AISI-304	0,3	2
21	CHAPA 37x110x2159 (45)	ASTM-B584-73 Aleacion 932	80	1
22	CHAPA 37x110x3023 (45)	ASTM-B584-73 Aleacion 932	110	1
23	CHAPA 8x50x3370	A36	23,5	2
24	CHAPA 25X263X1963	A36	70	1
25	CHAPA 71x70x170 (75)	A36	23	4
26	CHAPA 25x229x3.188	A36	192	1
27	CHAPA 25x262x387	A36	19	1
28	1/2 IPN-600x2024	A36	200	1
29	CHAPA 25x260x2024	A36	85	1
30	CHAPA 37x110x3023 (45)	ASTM-B584-73 Aleacion 932	110	1
31	CHAPA 25x264x416	A36	38	2
32	CHAPA 25x264x443	A36	45,6	2
33	CHAPA 25x264x465	A36	48	2
34	CHAPA 25X264X478	A36	30	12
35	CHAPA 25x57x234	A36	6,4	32
36	CHAPA 25x57x114	A36	4,8	4

POSICION	DESIGNACION	MATERIAL	PESO(kg.)	CANTIDAD
37	CHAPA 25x49x57	836	2	4
38	LOCTILE Tipo II-510	136	..	50gr.
39	PASADOR 4.5 , 24	ASTM-B138 Aleacion 675	..	46
40	TOR. M-24x61	ASTM-B138 Aleacion 675	18	46