



\*D-10290\*



671.5212  
5211  
e.2



**BIBLIOTECA**

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

*FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA*

**PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION E INSPECCION DE UNIONES  
SOLDADAS PARA ESTRUCTURAS DE PUENTES**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de**

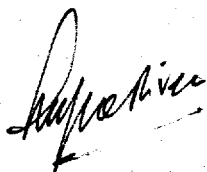
**INGENIERO MECANICO**

*PRESENTADO POR:*

**Edgar Helenio Sánchez Sánchez**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

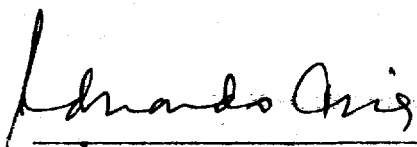
**1990**



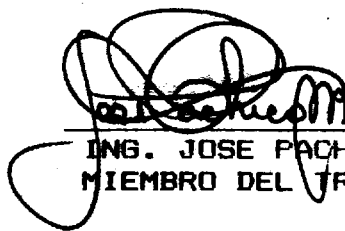
ING. JORGE DUQUE R.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



ING. OMAR SERRANO  
DIRECTOR  
PROYECTO DE GRADO



ING. EDUARDO ORCES  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL




ING. JOSE PACHECO  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

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

( Reglamento de Tópico de Graduación )

  
-----  
Edgar H. Sánchez Sánchez

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

Al ING. OMAR SERRANO V.  
Director del Tópico, por  
su ayuda y colaboración  
para la realización de  
este trabajo.

A las personas que  
directa e indirectamente  
han colaborado en la  
elaboración y culminación  
del mismo.

# DEDICATORIA

A mi PADRE, que en paz  
descanse.

A mi MADRE y HERMANOS  
por su apoyo constante  
durante mis años de  
estudio.

## R E S U M E N

En el presente trabajo se elabora el procedimiento para la construcción e inspección de las uniones soldadas para un puente cuya longitud es de 61 mts. y cuyo ancho es de 9.5 mts. dividido en tre tramos simétricos. Las normas y especificaciones aplicables son: ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), AISC (Instituto Americano de Construcción de Acero), las cuales regirán los procesos de construcción e inspección de las uniones soldadas para esta estructura.

Se ha seleccionado el proceso de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido para la ejecución de las soldaduras debido a su economía y producción satisfactorias, para lo cual previamente se seleccionarán los parámetros de soldadura a utilizarse. Se pondrá especial atención en la distorsión y contracción de las soldaduras, presentándose las causas y tipos, un análisis matemático y los métodos de control y prevención.

Previa a la construcción de las uniones soldadas se procederá a la calificación tanto del procedimiento de soldadura a aplicarse, como de los soldadores.

Se inspeccionará la calidad de las uniones soldadas mediante método visual, partículas magnéticas, ultrasonidos, y radiografía, presentándose los criterios de aceptación y rechazo de las uniones inspeccionadas.

Finalmente, se hará un análisis de costos de : material depositado, tiempo de soldadura, energía a utilizarse y de las inspecciones.

## INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN .....	
INDICE GENERAL.....	
INDICE DE FIGURAS.....	
INDICE DE TABLAS.....	
INDICE DE ABREVIATURAS.....	
INDICE DE FORMATOS.....	
INTRODUCCION.....	
I. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA CONSTRUCCION DE LAS UNIONES SOLDADAS.....	
1.1. Revisión del diseño del puente.....	
1.2. Revisión del diseño de las uniones soldadas.....	
1.3. Normas y especificaciones aplicables....	
II. ASPECTOS TECNICOS.....	
2.1. Preparación del metal base.....	
2.2. Requerimientos del metal de aportación..	
2.3. proceso de soldadura aplicado.....	





- 2.4. Selección de parámetros de soldadura....
- 2.5. Requerimientos de precalentamiento.....
- 2.6. Tratamiento térmico para alivios de esfuerzos residuales.....
- 2.7. Distorsión y contracción en soldaduras..
  - 2.7.1. Causas y tipos.....
  - 2.7.2. Análisis matemático.....
  - 2.7.3. Métodos de control y prevención..
- 2.8. Procedimientos de ensamblaje de las uniones soldadas.....

III. CALIFICACION.....

- 3.1. Parámetros para procedimientos de pre-calificación.....
- 3.2. Calificación del procedimiento de soldadura.....
- 3.3. Calificación de soldadores.....

IV. INSPECCION DE UNIONES SOLDADAS.....

- 4.1. Visual.....
- 4.2. Partículas magnéticas.....
- 4.3. Ultrasonido.....

4.4. Radiografía.....

4.5. Criterios de aceptación y rechazo.....

V. ANALISIS ECONOMICO.....

5.1. Factores considerados.....

5.2. Cálculo de costos.....

5.2.1. Material depositado.....

5.2.2. Tiempo de soldadura.....

5.2.3. Energía utilizada.....

5.3. Estimación de costos de inspección.....

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

APENDICES.....

A.-Glosario de términos.....

B.-Planos y fotos.....

BIBLIOGRAFIA.....

## I N D I C E   D E   F I G U R A S

Num.	Descripción	Pág
1	Características de las uniones a tope ...	
2	Características de las uniones en ángulo interior .....	
3a	Transición en ancho .....	
3b	Transición en espesor .....	
4	Biselado de plancha (Ref. 1) .....	
5	Sección transversal de un electrodo re - vestido en el proceso de soldar (Ref. 4).	
6	Cambios dimensionales fundamentales (Ref.7).....	
7	Contracción Transversal en Unión a Tope.. (Ref. 8) .....	
8	Contracción Transversal en Unión -T (Ref. 8) .....	
9	Distorsión por Flexión Longitudinal (Ref. 8) .....	
10a	Distorsión angular de Uniones en-T res - tringidas (Ref.7) .....	
10b	Distorsión angular de Uniones en-T libres (Ref. 7) .....	
11a	Preposicionamiento Elástico de Unión en-T ( Ref. 8) .....	

Num.	Descripción	Pág.
11b	Preposicionamiento Plástico de Unión en-T (Ref. 8) .....	
11c	Soldadura completa (Ref. 8) .....	
12	Dispositivos de Restricción (Ref. 8) ....	
13a	Ensamble de vigas.Procedimiento 1 (Ref.4)	
13b	Ensamble de vigas.Procedimiento 2 (Ref.4)	
14	Posiciones de Ensayo para Soldaduras en Planchas Ranuradas (Ref. 1) .....	
15	Posiciones de Ensayo para Soldaduras en Filete (Ref. 1) .....	
16a	Pruebas de Calificación en Planchas Ra - nuradas de espesores ilimitados (Ref.1).	
16b	Pruebas de Calificación en Planchas Ra - nuradas de espesores limitados (Ref.1)..	
17	Ensayo por Partículas Magnéticas(Ref.10)	
18	Uso de Yugo en el Ensayo por Partículas Magnéticas (Ref. 10) .....	
19	Inspección por Ultrasonido mostrando to- dos los movimientos del transductor (Ref.1).....	
20a	Inspección de soldaduras a tope.Técnica 1 (Ref. 11) .....	
20b	Técnica suplementaria para inspección de soldaduras a tope a rás con el metal base (Ref.11).....	
20c	Técnica suplementaria para inspección de	

Num.	Descripción	Pág.
	soldaduras a tope cuando no está a rás con el metal base (Ref. 11) .....	
21	Procedimientos de inspección ultrasónica para uniones soldadas en-T.(Ref. 9)....	
22	Ubicacion de placas radiograficas .....	
23a	Inspección de uniones a tope.Vista normal (Ref. 10) .....	
23b	Inspección de unión en-V (Ref. 10) .....	
23c	Inspección de unión en-T (Ref. 10) .....	
24	Contornos de soldadura.(Ref. 1) .....	
25	Limitaciones de defectos en soldaduras a Tensión. (Ref. 1) .....	
26	Limitaciones de defectos en soldaduras a Compresión. (Ref.1) .....	

## I N D I C E   D E   T A B L A S

Num.	Descripción	Pág.
I	Características del Acero ASTM A-588 (Ref.2) .....	
II	Valores de Rugosidad de acuerdo con el espesor del material (Ref.1) .....	
III	Límites de aceptabilidad y reparaciones de discontinuidades sobre bordes de planchas cortadas (Ref. 1) .....	
IV	Requerimientos del Material de Aporte (Ref. 1) .....	
V	Características Principales de los elec- trodos revestidos (Ref. 3) .....	
VI	Recomendaciones para Mantenimiento y Re- cuperación de los Electrodo s Revestidos (Ref. 3) .....	
VII	Tiempo de Exposición atmosférica permi - sible de los Electrodo s de Bajo-Hidróge- no (Ref. 1) .....	
VIII	Características Principales de la Má - quina de Soldar .....	
IX	Detalle de Empleo de los Electrodo s a utilizar (Ref. 3) .....	

Num.	Descripción	Pág.
X	Temperaturas Mínimas de Pre calentamiento y Entrepasadas (Ref. 6) .....	
XI	Temperaturas Aproximadas de Pre calentamiento y Entrepasadas basadas sobre Porcentajes de Carbono Equivalente (Ref.6).	
XII	Tratamiento Térmico para Alivios de Esfuerzos (Ref.1) .....	
XIII	Limitaciones en Tipo y Posición-Calificación de Procedimiento (Ref. 1) .....	
XIV	Número y Tipo de Probetas a Ensayar y Rango de Espesores Calificados-Calificación de Procedimiento (Ref. 1) .....	
XV	Número y Tipo de Probetas a Ensayar y Rango de Espesores Calificados-Calificación de Procedimiento (Ref. 1) .....	
XVI	Clasificación de Electrodo s para Calificación (Ref. 1) .....	
XVII	Número y Tipo de Probetas y Rango de Espesores Calificados-Calificación de Soldadores (Ref. 1) .....	
XVIII	Inspección Visual de Uniones Soldadas (Ref. 9) .....	
XIX	Espaciamiento de los Electrodo s de Contacto y Amperaje Requerido (Ref. 11)....	

Num.	Descripción	Pág.
XX	Procedimientos de Inspecciones Recomendados para configuraciones de Soldaduras a Tope y en -T. (Ref.11) .....	
XXI	Criterio de Aceptación y Rechazo por Ultrasonido para Soldaduras sujetas a Esfuerzos Tensiles (Ref. 1) .....	
XXII	Criterio de Aceptación y Rechazo por Ultrasonido para Soldaduras de alma a alas de alas de completa penetración (Ref.1).	
XXIII	Peso del metal de Soldadura para segmentos unidos a Tope (Ref.6) .....	
XXIV	Peso del metal de Soldadura para Uniones en Filete (Ref.6) .....	
XXV	Cálculo de Costos de la Cantidad de Electrodo requeridos .....	
XXVI	Costos aproximados del Tiempo de Soldadura Empleado .....	
XXVII	Costos aproximados de la Energía utilizada.....	
XXVIII	Estimación de Costos de las Inspecciones	



# I N D I C E     D E     A B R E V I A T U R A S

<b>A</b>	<b>Amperaje.</b>
<b>AASHO</b>	<b>Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras.</b>
<b>AC</b>	<b>Corriente Alterna.</b>
<b>AISC</b>	<b>Instituto Americano de Construcción de Acero</b>
<b>ASTM</b>	<b>Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.</b>
<b>AWS</b>	<b>Sociedad Americana de Soldadura.</b>
<b>Amp</b>	<b>Amperio.</b>
<b>Ap</b>	<b>Area de la Sección Transversal Resistente.</b>
<b>Aw</b>	<b>Area de la Sección Transversal de la Soldadura.</b>
<b>B</b>	<b>Distorsión Angular.</b>
<b>b</b>	<b>Coficiente.</b>
<b>CEU</b>	<b>Costo de Energía utilizada.</b>
<b>CE</b>	<b>Costo del Electrodo.</b>
<b>C</b>	<b>Coficiente de Rigidez para Cambios Angulares.</b>
<b>Ceq</b>	<b>Carbono Equivalente.</b>
<b>Cr</b>	<b>Cromo.</b>
<b>Cu</b>	<b>Cobre.</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	<b>Constante Empírica.</b>
<b>C<sub>2</sub></b>	<b>Constante Empírica.</b>
<b>DC</b>	<b>Corriente Directa.</b>
<b>D</b>	<b>Velocidad de Deposición.</b>
<b>d</b>	<b>Abertura de raíz.</b>
<b>E</b>	<b>Módulo de Young's.</b>

<b>F<sub>c</sub></b>	Fuerza de Contracción.
<b>F<sub>u</sub></b>	Esfuerzo Tensil Ultimo.
<b>F<sub>y</sub></b>	Esfuerzo Punto de Fluencia.
<b>F</b>	Plana.
<b>fig.</b>	Figura.
<b>Gr.</b>	Grado.
<b>H(S)</b>	Hora(s).
<b>H</b>	Horizontal.
<b>I</b>	Momento de Inercia.
<b>I<sub>w</sub></b>	Corriente de soldadura.
<b>KSI</b>	Kilo PSI. (10 <sup>3</sup> PSI).
<b>Kg(s)</b>	Kilogramo(s)
<b>Kg-m</b>	Kilogramo-metro.
<b>L</b>	Longitud de Soldadura.
<b>Lbs</b>	Libras.
<b>log</b>	Logaritmo.
<b>M</b>	Momento Flexionante.
<b>mm</b>	milímetro.
<b>Mn</b>	Manganeso.
<b>Mo</b>	Molibdeno.
<b>NA</b>	Eje Neutro.
<b>Ni</b>	Níquel.
<b>η<sub>d</sub></b>	Eficiencia de Deposición.
<b>OH</b>	Sobrecabeza.
<b>P</b>	Fósforo.
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada.
<b>R</b>	Rigidez.

S	Azufre.
STA	Sobre Temperatura Ambiente.
Si	Silicio.
Se-	Contracción Transversal sin restricción.
T	Espesor del metal base.
T.A.	Temperatura Ambiente.
t <sub>r</sub>	espesor del ala.
t <sub>s</sub>	tiempo de soldadura.
t <sub>w</sub>	espesor del cordón.
u	contracción transversal total.
um	micra-metro.
u <sub>1</sub>	contracción transversal después del primer pase.
u pulg.	micra-pulgada.
V	Vertical.
VCA	Voltaje Circuito Abierto.
Volt.	Voltaje.
V <sub>a</sub>	velocidad del arco.
w	peso total de metal de soldadura depositado.
w <sub>1</sub>	peso del metal de soldadura depositado después del primer pase.
WE	Peso del electrodo consumido por pie de soldadura.
WW	Peso del metal depositado por pie de soldadura.
y	Centroide de la soldadura.



•           grados.  
°C           grado centígrado.  
°F           grado fahrenheit.  
δ           distorsión  
Φ           cambio angular  
Φ<sub>0</sub>          cambio angular básico.  
δ<sub>m</sub>         distorsión máxima  
"           pulgada.

# INDICE DE FORMATOS

Num.	Descripción	Pág.
1	Precalificación de Procedimiento de Soldadura .....	
2	Resultados de Ensayos de la Calificación del Procedimiento de Soldadura .....	
3	Certificado de Ensayos de Calificación de Soldadores .....	

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

La necesidad de mejorar el sistema vial para poder movilizar la producción de zonas inaccesibles en épocas climáticas severas, ha hecho que en nuestro país se comience a realizar puentes metálicos que utilizan soldadura dentro de su proceso de fabricación, desarrollando la tecnología nacional en este campo. Reducir plazos de construcción, utilización de mano de obra calificada, y realizarlos en una forma rápida, económica y segura, serían algunas de las muchas razones por las que estas obras deben ser realizadas.

El objetivo de este trabajo es el de poner a disposición de ingenieros y personal que trabajen en esta actividad un documento técnico en donde se establecen métodos y condiciones óptimas en la construcción e inspección de uniones soldadas para puentes, de tal forma que sirva de referencia.

## CAPITULO I

### CONSIDERACIONES PREVIAS A LA CONSTRUCCION DE LAS UNIONES SOLDADAS.

#### 1.1. REVISION DEL DISEÑO DEL FUENTE.

El puente considerado es del tipo compuesto: viga de placas de acero-cubierta de hormigón. El puente tiene una longitud de 61 mts. y un ancho de 9.5 mts. divididos en tres tramos simétricos.

La estructura del puente, como se puede observar en los planos N°1 y N°2, se encuentra formada de las siguientes partes principales:

- Apoyos
- Vigas metálicas con sus arriostramientos
- Losa de hormigón.

La parte más importante en la que se basará este trabajo será en la forma como se construye la estructura metálica que forma parte del puente.

Las vigas estructurales de acero y los arriostramientos serán fabricados como se señalan en los planos respectivos. Todas las vigas -I serán fabricadas por soldadura de planchas que forman tanto el alma y las alas.

Cada tramo simétrico tiene una longitud de 18.90 mts. la viga y transversalmente serán cuatro vigas que estarán arriostradas la interior con la exterior, de ambos lados.

El acero estructural que se utilizará para la construcción de los elementos estructurales será del tipo de baja aleación, de alta resistencia, denominado COR-TEN b, que corresponde a las especificaciones dadas por las normas ASTM A 588, con límite de fluencia de 50.000 psi. Este acero tiene una resistencia a la corrosión de 4 veces la del acero al carbono.

Las partes que conforman la estructura metálica del puente son las vigas, atiesadores, arriostramientos transversales, pernos conectores de corte, placas de apoyo, angulos de bordes, pernos de sujeción.

La usual viga en I utilizada es hecha por dos



planchas (alas) soldadas a filete a una plancha simple (alma), es la sección más común empleada en la construcción de miembros a compresión en puentes. Cuando no se encuentran laminadas, pueden construirse según las necesidades. El alma resiste la mayor parte de los esfuerzos cortantes mientras que las alas llevan la mayor parte de los esfuerzos de flexión.

Los atiesadores transversales serán usados sobre los extremos a lo largo de la viga donde la carga concentrada debe ser soportada, y son diseñados para transmitir las reacciones al alma. Estos se convierten en miembros de compresión verticales, y tienen como efecto hacer que la viga actúe como una armadura. Estos serán colocados conforme lo estipula el plano N°3.

Los arriostramientos transversales son conformados por ángulos cortados de acuerdo a la separación entre vigas y están soldados a los atiesadores, tal como se puede apreciar en el plano N°4.

Los pernos conectores de corte serán de acero de alta resistencia con un punto de fluencia mínimo

de 50.000 psi.

El tipo, tamaño y longitud de los pernos prisioneros será tal como se indique en el plano N°5. Estos estarán soldados al ala superior de las vigas e incrustados en las secciones de losa fundida para actuar como conectores de corte, que permiten a la losa actuar con el acero y formar una viga compuesta teniendo gran resistencia y rigidez.

La información completa y cabal respecto a la localización, tipo, tamaño y extensión de toda soldadura se muestra claramente en los planos. Estos especificarán la longitud efectiva de la soldadura, la cantidad de penetración, la requerida garganta efectiva, además de los detalles de las uniones soldadas.

## 1.2. REVISION DEL DISEÑO DE LAS UNIONES SOLDADAS

El tipo de unión recomendado dependerá de las condiciones de diseño, y pueden ser una de las siguientes:

- Unión a tope con bordes rectos
- Unión a tope con bordes en doble-V

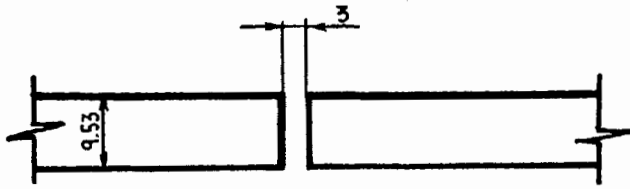
- Unión en ángulo interior

La figura N°1 y la figura N°2 nos presenta las características de las uniones a tope y en ángulo interior respectivamente a utilizarse en la fabricación de la estructura.

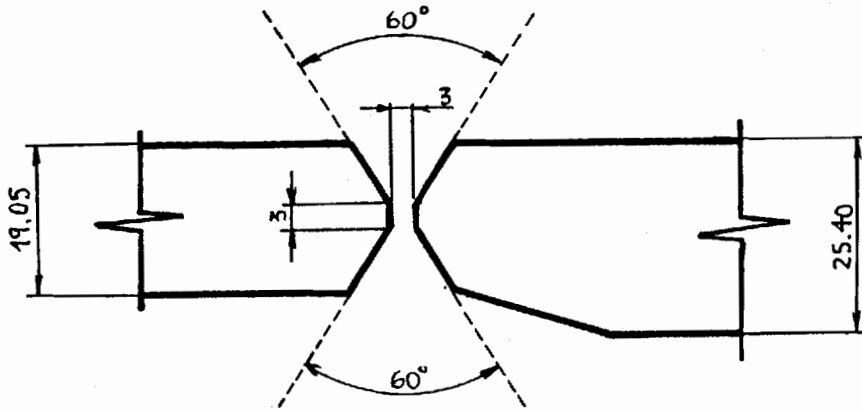
El empalme de alma en vigas compuestas soldadas deben ser soldadas a tope, abarcando las soldaduras toda la altura del alma. Una soldadura correcta a tope, su sección debe ser por lo menos la misma que el alma, para confiar que la unión tenga su resistencia original.

En esta unión a tope, el tipo de preparación de los bordes será recto, pero las planchas se disponen con una separación de 3 mm. ( 1/8 de pulg.), tal como se aprecia en la figura N°1.

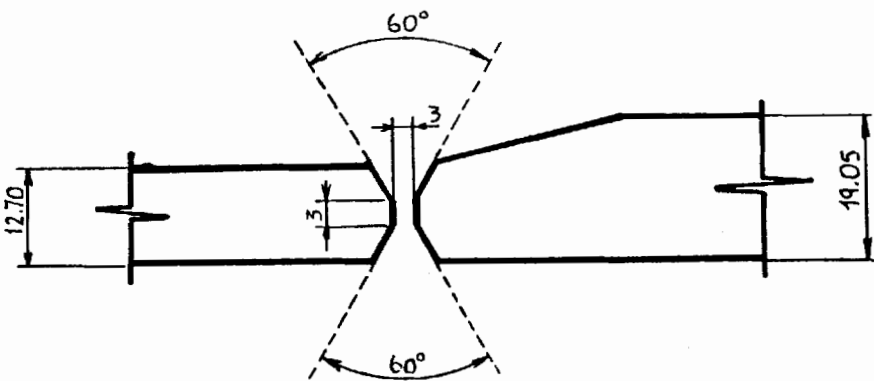
Las uniones en ángulo interior, se utilizan con mucha frecuencia en la fabricación de perfiles. Las soldaduras mantienen las alas unidas al alma en una viga. Estas soldaduras están localizadas en áreas de esfuerzo de flexión y deben transferir fuerzas cortantes longitudinales entre alas y almas. Las soldaduras de filete simple



ALMA

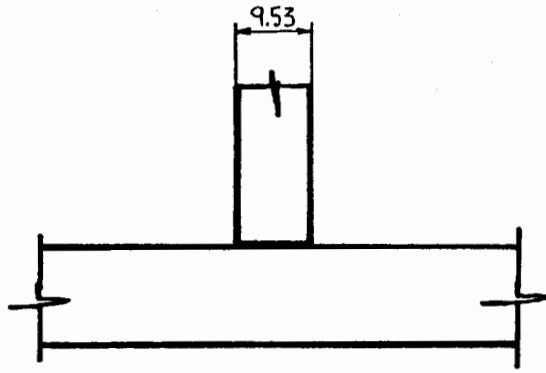


ALA INFERIOR

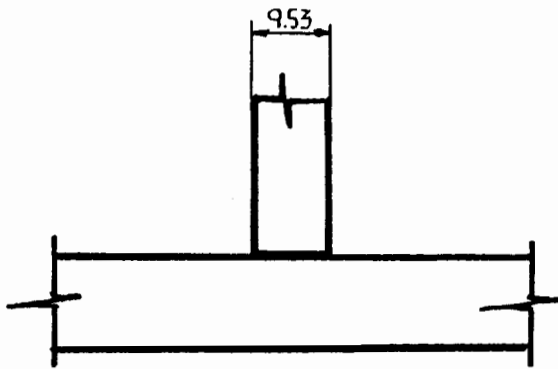


ALA SUPERIOR

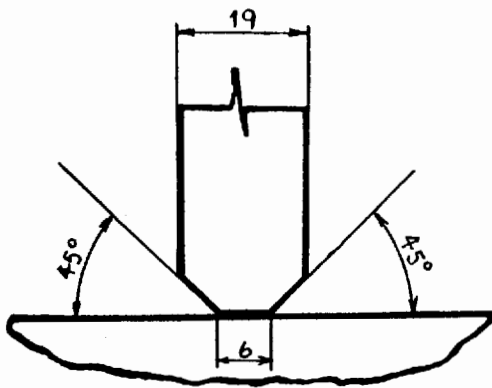
Fig.1 Uniones a tope  
(DIMENSIONES EN mm)



VIGA METALICA



ATIESADOR



CONECTOR DE CORTE  
(DIMENSIONES EN mm)

Fig.2 Uniones en ángulo interior

han sido indicadas en los planos de diseño, pero para que este tipo de juntas 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.

Tanto los atiesadores del apoyo como los intermedios serán también soldados en ángulo interior con filetes como se muestra en los planos de diseño. El ajuste entre los atiesadores y el contorno de la viga-I deberá ser ajustado firmemente, donde las esquinas de los atiesadores serán recortados tal que la soldadura de filete del ala-alma pueda ser continua en la parte posterior de los atiesadores.

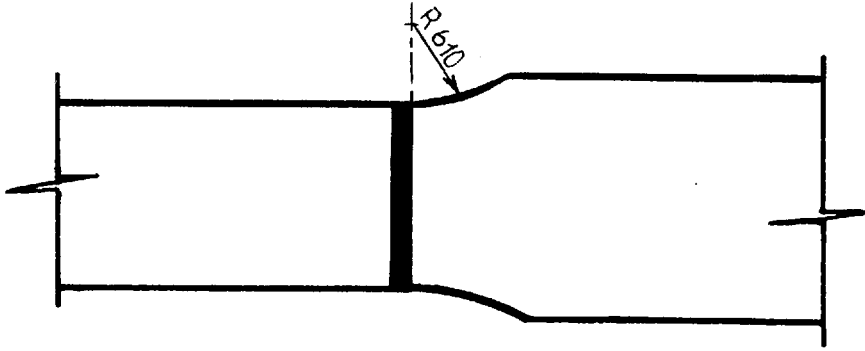
Para la soldadura de los pernos o conectores de corte sobre la parte superior de la viga de acero, éstos tendrán que tener una preparación de borde para lograr una penetración completa. La abertura del borde preparado será de  $45^\circ$  y con un talón de 6 mm. (1/4 de pulg.), permitiendo que la losa actúe con el acero y forme una viga compuesta que tendrá gran resistencia y rigidez.

El ala superior de la viga compuesta está formada de tres planchas, de las cuales dos son del mismo espesor y la tercera es de un espesor mayor. La plancha de mayor espesor va colocada en medio y unida a la de igual espesor por medio de bordes achaflanados en -V desde ambos lados, donde el ángulo total no excede de los 60° para prevenir deformaciones y reducir el material de aporte, conteniendo además un talón de 3 mm. (1/8 de pulg.). Otra característica de este tipo de unión es la transición suave que se produce, reduciendo el espesor o el ancho del ala más grande a la correspondiente más pequeña.

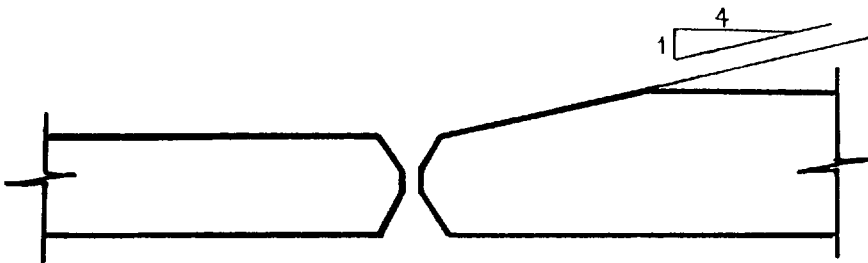
Las transiciones que se dan en este tipo de unión es en espesor y en ancho como se puede ver en la figura N°3.

Cuando la transición es hecha en espesor, el extremo del ala mas ancha será biselado y de acuerdo con la especificación de puentes de la AWS, no será mayor que una 1 pulg. en 2½ pulg. (ángulo de 23°), podemos observar que este diseño está dentro del rango permitido.

Si la transición es hecha en ancho, como también ocurre en este diseño, los extremos del ala ancha



a.- TRANSICION EN ANCHO



b.- TRANSICION EN ESPESOR

Fig.3 Tipos de transicion



son cortados en ángulo, formando una transición en línea recta o en forma de curva, con un radio de curvatura de 610 mm. ( 2 pies ) como mínimo referido al centro de la unión a tope lo que concuerda con la especificación de la AWS.

De manera similar ocurre con la fabricación del ala inferior de la viga compuesta.

Las uniones y soldaduras enlistadas a continuación no son recomendadas de utilizarse en la fabricación de estructuras soldadas para puentes, éstas son (Ref. 1 ):

- Uniones a tope con penetración parcial
- Soldaduras de ranuras hechas en un lado solamente.
- Soldaduras intermitentes en ranuras.
- Soldaduras intermitentes de filete.

### 1.3. NORMAS Y ESPECIFICACIONES APLICABLES.

Las normas y especificaciones técnicas que se tomarán en consideración en la realización de este trabajo son:

Código de soldaduras estructurales-acero D 1.1-85 de la Sociedad Americana de la Soldadura (AWS) para todo lo referente a soldadura y características varias referentes a la construcción de la estructura metálica del puente.

Código de la Asociación Americana para pruebas de Materiales (ASTM) referentes a las características del acero utilizado y procedimientos para los diferentes ensayos no-destructivos.

Especificaciones del Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC), proporciona especificaciones para el diseño y fabricación de acero estructural.

Especificaciones Técnicas sobre puentes de la TAMS- AHT- INTEGRAL, Asociación de Empresas Consultoras.

## CAPITULO II

### ASPECTOS TECNICOS

#### 2.1. PREPARACION DEL METAL BASE

El acero estructural que se utilizará para la construcción de los elementos estructurales será del tipo de baja aleación, de alta resistencia, denominado COR-TEN-b, que corresponde a las especificaciones dadas por la norma ASTM A 588.

La Tabla I nos presenta ciertas propiedades, composición química, formas y usos principales de el metal base a ser utilizado.

Las superficies y bordes a ser soldados serán planas, uniformes y libres de aletas, rasgaduras, fisuras y otras discontinuidades que afectarían adversamente la calidad o resistencia de la soldadura. Tanto las superficies a ser soldadas y las superficies adyacentes a la misma estarán también libres de imperfecciones, finas escamas, óxidos, grasa y otros materiales extraños que

**TABLA I**  
**CARACTERISTICAS DEL ACERO ASTM A -588 ( REF. 2 )**

<b>TIPO</b>	<b>ALTA RESISTENCIA, BAJA ALEACION</b>
<b>ASTM N°-</b>	<b>A - 588</b>
<b>Fy (KSI)</b>	<b>42 - 50</b>
<b>Fu (KSI)</b>	<b>63 - 70</b>
<b>USO PRINCIPAL</b>	<b>CONSTRUCCIONES SOLDADAS, EMPERNADAS</b>
<b>FORMA</b>	<b>PLANCHAS, BARRAS</b>
<b>COMPOSICION QUIMICA</b>	<b>0.10-0.20 %C    0.15-0.90 %Si    0.04 %Pmax. 0.98-1.35 %Mn    0.04-0.05 %S    otros</b>
<b>RESISTENCIA CORROSION RELATIVA</b>	<b>CUATRO VECES CON RELACION A LOS ACEROS ORDINARIOS</b>

impedirían una soldadura apropiada o producirían vapores insoportables.

Todas las planchas que conforman el ala y alma serán Universal Mill Plates o también pueden ser cortadas de planchas más anchas siempre que los bordes cortados, si fueran cortados por cizallamiento, sean cepillados a la profundidad establecida o que los bordes cortados sean hechos utilizando llama y gas con ayuda de una guía mecánica para el soplete. Todos los bordes recortados de planchas de cualquier espesor serán cepillados a una profundidad mínima de 6 mm. (1/4 de pulg.).

Todo corte con oxígeno será hecho con la llama ajustada y manipulada de tal manera que se evite cortar más allá de los límites preindicados. El método usual para la preparación de los bordes es cortar con soplete hacia abajo a través de la superficie de la plancha con el ángulo apropiado. La figura N° 4 presenta el biselado de de una plancha.

Los ángulos que conforman los diafragmas o arriostramientos serán cortados a la longitud

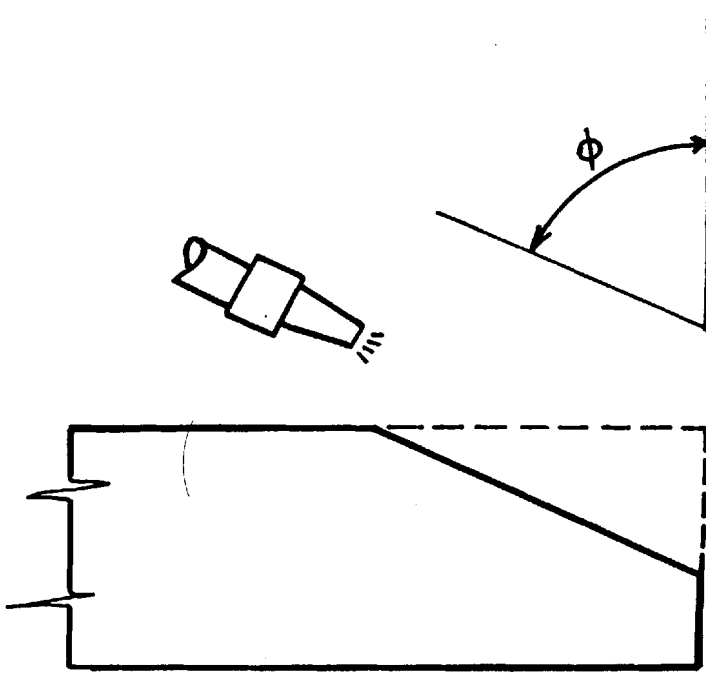


Fig.4 Biselado de plancha  
(Ref. 1)

especificada en los planos de construcción, de igual manera las planchas en las que irán estos ángulos serán cortadas y perforadas a la medida de los pernos que la sujetarán.

La Tabla II presenta valores de rugosidad de acuerdo con el espesor del material.

Los límites de aceptabilidad y reparaciones de discontinuidades sobre bordes de planchas cortadas estarán de acuerdo con lo que recomienda la Tabla III .

El despiece de los principales elementos que conforman la estructura son presentados en los planos de construcción colocados en el anexo B.

Los planos detallan la lista de materiales a utilizarse en la construcción de los elementos principales de la estructura del puente.

## 2.2. REQUERIMIENTOS DEL METAL DE APORTACION

Como los elementos estructurales principales y los elementos misceláneos de acero serán hechos con acero estructural de baja aleación-alta

## TABLA II

### VALORES DE RUGOSIDAD DE ACUERDO CON EL ESPESOR DEL MATERIAL ( REF. 1 )

VALOR DE RUGOSIDAD Upulg. (U M)	ESPESOR DE MATERIAL pulg. ( mm )
1000 ( 25 )	HASTA 4 ( 102 )
2000 ( 50 )	DESDE 4 ( 102 ) HASTA 8 ( 203 )



### TABLA III

## LIMITES DE ACEPTABILIDAD Y REPARACION DE DISCONTINUIDADES SOBRE BORDES DE PLANCHAS CORTADAAS (REF. 1 )

DESCRIPCION DE DISCONTINUIDADES	REQUERIMIENTOS DE REPARACION EN PLANCHAS
CUALQUIER DISCONTINUIDAD DE 1" (25.4 MM) DE LONGITUD O MENOS	NINGUNA, NO NECESITA SER REPARADO.
DISCONTINUIDAD SOBRE 1" (25,4 MM) EN LONGITUD Y 1/8 " (3.2 MM) DE PROFUNDIDAD MAXIMA.	NINGUNA, PERO LA PROFUNDIDAD SERIA EVALUADA.
DISCONTINUIDAD SOBRE 1" (25.4 MM) EN LONGITUD CON PROFUNDIDAD SOBRE 1/8 " (3.2 MM) PERO NO MAYOR QUE 1/4" (6.4 MM).	REMUEVA, NO NECESITA SER EVALUADA.
CUALQUIER DISCONTINUIDAD SOBRE 1" (25.4 MM) EN LONGITUD CON PROFUNDIDAD SOBRE 1/4" (6.4 MM) PERO NO MAYOR QUE 1".	COMPLETAMENTE REMUEVA Y SUELDE. LONGITUD DE SOLDADURA AGREGADA NO EXCEDERA DEL 20% DE LA LONGITUD DE LOS BORDES DE LA PLANCHA QUE ESTA SIENDO REPARADA.

resistencia según ASTM A 588, se requerirá de electrodos recomendados por la Tabla IV de la AWS.

El electrodo requerido para este tipo de trabajo es el E-7018. Este electrodo pertenece al grupo de los de bajo-hidrógeno que poseen compuestos en sus recubrimientos que producen soldaduras densas cuya calidad puede ser observada con rayos-X, con excelente tenacidad a la muesca y elevada ductilidad. También reducen el peligro de menos burbujeo y microfisuras sobre elementos a soldar gruesos.

También se usarán electrodos E-6010 o E-6011 para el cordón de raíz o penetración cuando las partes a soldar presenten superficies contaminadas.

La Tabla V nos presenta características principales de los electrodos E-6010, E-6011 y E-7018 a utilizarse.

Los electrodos con recubrimientos de bajo-hidrógeno deben ser almacenados en lugares adecuados para que no se contaminen. Si el revestimiento muestra señales de estar húmedo y no muestra daños en su integridad física (como

**TABLA IV**

**REQUERIMIENTOS DEL MATERIAL DE APORTE ( REF. 1 )**

REQUERIMIENTOS DEL ACERO				REQUERIMIENTOS DEL METAL DE APORTACION		
GRUPO	ESPECIFICACION ACERO	F <sub>y</sub> (KSI)	F <sub>u</sub> (KSI)	ESPECIFICACION ELECTRODO	F <sub>y</sub> (KSI)	F <sub>u</sub> (KSI)
II	ASTM A131	45.5	68-85	SMAW AWS A5.1 0 A5.5 E 7015, E 7016 E 7018, E 7028	60	72 MIN.
	ASTM A242	42-50	63-70			
	ASTM A441	42-50	63-70			
	ASTM A516	35-38	65-85			
	ASTM A537	50	70-90	SAW AWS A5.17 0 A5.23	60	70-90
	ASTM A572	42	60 MIN.			
	ASTM A588	50	65 MIN.			
	ASTM A595	55	65 MIN.	GMAW AWS A5.18 ER70S-X	60	72 MIN.
	ASTM A606	45	65 MIN.			
	ASTM A607	45	60-65			
	ASTM A618	50	70-90			
	ASTM A633	42	70-90	FCAW AWS A5.20 E7XT-X	60	72 MIN.
	ASTM A709	50	65-70			
API 2H	42	62-80				
API 5L	52	66-72				

**TABLA V**  
**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS (REF. 3)**

CLASIFICACION	E - 6010	E - 6011	E - 7018
ANALISIS DEL METAL DEPOSITADO	0.13 % C 0.45 % Mn 0.15 % Si	0.06 - 0.07 % C 0.4 - 0.5 % Mn 0.25 % Si	0.06 % C 1.0 % Mn 0.65 % Si
CARACTERISTICAS	REVESTIMIENTO CELULOSICO. IDEAL PARA PASADAS DE RAIZ.	REVESTIMIENTO CELULOSICO. PARA SOLDADURAS DE PENETRACION.	REVESTIMIENTO DE BAJO-HIDROGENO, CON POLVO DE HIERRO.
PROPIEDADES MECANICAS			
- RESISTENCIA A LA TRACCION (KG/CM <sup>2</sup> )	52 - 58	48 - 52	55 - 57
- ALARGAMIENTO	22 - 26 %	22 - 25 %	30 - 33 %
- RESISTENCIA AL IMPACTO ( KG-M )		10 - 12	18 - 20
POSICIONES A SOLDAR	PLANA. HORIZONTAL. SOBRECABEZA. VERTICAL ASCENDENTE Y DESCENDENTE.	PLANA. HORIZONTAL. SOBRECABEZA. VERTICAL ASCENDENTE Y DESCENDENTE.	PLANA. HORIZONTAL. SOBRECABEZA. VERTICAL ASCENDENTE Y DESCENDENTE.



agrietado, desconchado) se seguirán las recomendaciones para mantenimiento y recuperación de la Tabla VI . Caso contrario se los separará.

Inmediatamente después de abrir la caja herméticamente sellada que los contiene o de su remoción desde su secamiento en el horno, estos serán almacenados en hornos a temperaturas de al menos 250°F (120 °C). Los tiempos de exposición atmosférica permisible de los electrodos de bajo-hidrógeno no excederán los valores mostrados en la Tabla VII para varios niveles de resistencia.

### 2.3. PROCESO DE SOLDADURA APLICADO

Uno de los procesos de soldadura al arco más ampliamente utilizado en el campo de la construcción y en la fabricación de vigas compuestas tanto para edificaciones como para puentes es la soldadura al arco eléctrico manual con electrodo revestido.

La soldadura al arco eléctrico manual con electrodo revestido es un proceso donde la coalescencia es alcanzada por la generación de un arco eléctrico entre un electrodo metálico

**TABLA VI**  
**RECOMENDACIONES PARA MANTENIMIENTO Y RECUPERACION DE LOS**  
**ELECTRODOS REVESTIDOS (REF. 3)**

REVESTIMIENTO	MANTENIMIENTO ( ° C )	RECUPERACION ( H/°C )
CELULOSICO	T.A	1H / 100 °C
RUTILICOS	10 - 20 STA	1H / 100 °C
BAJO HIDROGENO	30 - 140 STA	2H / 300-350 °C
GRAFITICOS	30 - 60 STA	1H / 150 °C

H = HORA(S)  
 STA = SOBRE TEMPERATURA AMBIENTE  
 T.A = TEMPERATURA AMBIENTE

## TABLA VII

### TIEMPO DE EXPOSICION ATMOSFERICA PERMISIBLE DE LOS ELECTRODOS DE BAJO HIDROGENO (REF. 1)

ELECTRODO	( 1 ) (HORAS)	( 2 ) (HORAS)
E- 70XX	4 MAX.	MAS DE 4 A 10 MAX.
E- 80XX	2 MAX.	MAS DE 2 A 10 MAX.
E- 90XX	1 MAX.	MAS DE 1 A 5 MAX.
E-100XX	1/2 MAX.	MAS DE 1/2 A 4 MAX.
E-110XX	1/2 MAX.	MAS DE 1/2 A 4 MAX.

(1) ELECTRODOS EXPUESTOS A LA ATMOSFERA POR PERIODOS MAYORES QUE LOS MOSTRADOS SERAN RESECADOS ANTES DE USARLOS.

(2) PERIODOS DE EXPOSICION ALTERNATIVOS ESTABLECIDOS POR ENSAYOS.

revestido y la pieza de trabajo. El calor producido por el arco eléctrico funde el metal que se mezcla con los elementos del revestimiento del electrodo, que es el que proporciona el metal de relleno y el medio de protección. La figura N°5 muestra la sección transversal de un electrodo revestido en el proceso de soldar.

El equipamiento es relativamente simple, no muy costoso y portátil. Este proceso es apropiado para unir metales en un amplio rango de espesores, pero normalmente para espesores desde 3 hasta 19 mm (1/8 hasta 3/4 de pulg.), que abarca los espesores de planchas en esta obra.

Sin embargo, a pesar de que este proceso presenta ciertas deficiencias, mantiene una posición dominante debido a su simplicidad y versatilidad y porque también muchos soldadores e ingenieros están satisfechos con este proceso debido a la gran experiencia que ellos han adquirido con él.

#### 2.4. SELECCION DE PARAMETROS DE SOLDADURA

La selección de parámetros de soldadura varía con las características de cada tipo de unión a



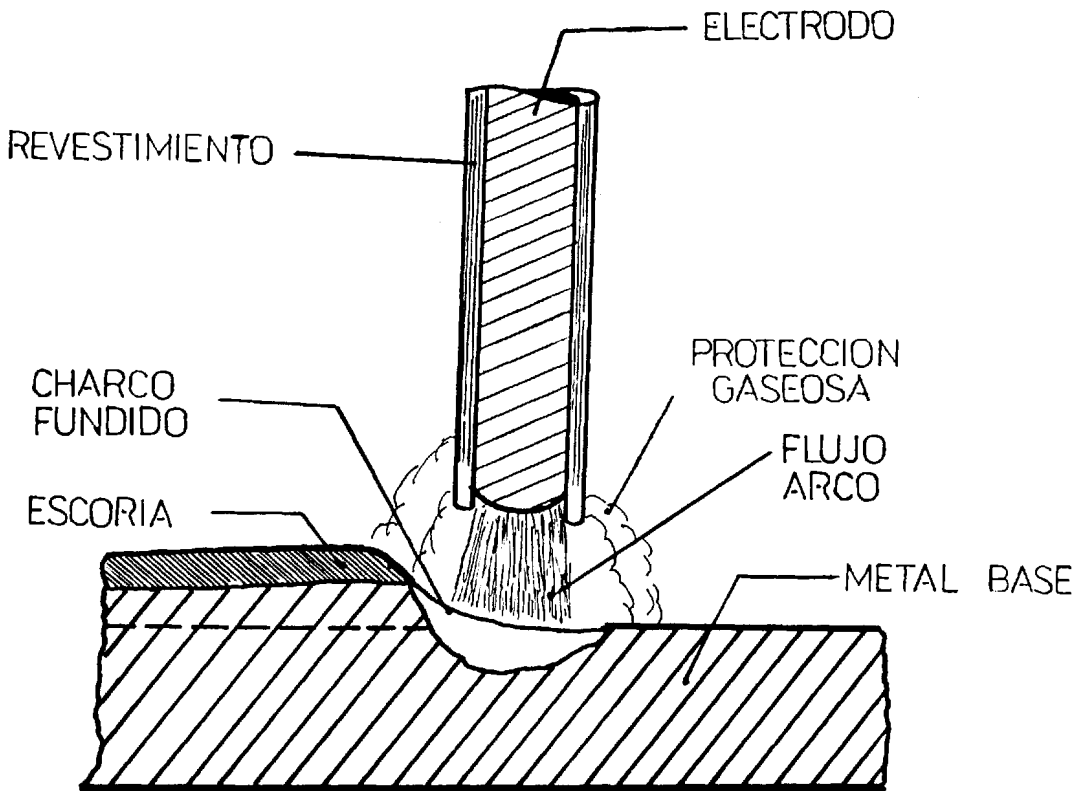


Fig.5 Sección transversal de un electrodo revestido en el proceso de soldar (Ref.4)

soldar, por lo que en las planillas de procedimiento de soldadura irán específicamente definidos.

Para una efectiva soldadura con el proceso al arco eléctrico manual, una máquina de soldar tipo corriente constante se requiere. La máquina más apropiada es una DIALARC 250 AC/DC. Sus características principales son presentadas en la Tabla VIII.

Electrodos : son proporcionados en una variedad de diámetros . Se utilizan comunmente en el rango de 3/32 hasta 3/16 pulg.(2.50 hasta 5.00 mm).

Corriente : típicas corrientes utilizadas están entre 50 y 300 amp. Los rangos de amperaje se seleccionarán en función de los diámetros de los electrodos utilizados, la Tabla IX presenta detalles de empleo de los electrodos a utilizar.

Voltaje : dado por las características de la máquina de soldar utilizada. Normalmente están entre 50 y 100 voltios para el voltaje de circuito abierto ( OCV ) y entre 18 y 36 voltios

**TABLA VIII**

**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA MAQUINA DE SOLDAR**

	AC	DC	AC	DC
VOLTIOS	30	30	28	28
AMPERIOS	250	250	200	200
CICLO DE TRABAJO	30%	30%	50%	50%
MAXIMO UCA	70	71	70	71

**TABLA IX**  
**DETALLES DE EMPLEO DE LOS ELECTRODOS A UTILIZAR (REF. 3 )**

ELECTRODO	POLARIDAD	DIAMETROS Y RANGO DE AMPERAJE *			
		3/32 "	1/8 "	5/32 "	3/16 "
	(+)=INVERTIDA (-)=DIRECTA				
E -6010	CONTINUA (+)		85-130	140-175	
E -6011	ALTERNA 0 CONTINUA (+)	70-90	90-130	130-160	160-200
E -7018	ALTERNA 0 CONTINUA (+)		100-140	140-190	190-230

\* SE FABRICAN ELECTRODOS EN LOS DIAMETROS PARA LOS CUALES SE INDICAN RANGOS DE AMPERAJE

el voltaje del arco.

Velocidad de soldeo: Este parámetro dependerá de ciertas condiciones del proceso y detalles de la unión.

## 2.5. REQUERIMIENTO DE PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento consiste en calentar el metal base a una temperatura relativamente baja antes de comenzar la soldadura. Su finalidad es la de reducir la velocidad de enfriamiento de la zona soldada (Ref.5).

El precalentamiento debe ser usado por una de las siguientes razones (Ref. 6):

- Reducir esfuerzos de contracción en la soldadura y metal base-adyacente especialmente importante en uniones altamente restringidas.
  
- Proveer una velocidad de enfriamiento muy lenta a través del rango de temperatura crítica alrededor de 1600°F (871°C) a 1330°F (721°C), previniendo excesivo endurecimiento y baja ductilidad tanto de la soldadura como del área afectada por el calor del metal base.

- Proveer una velocidad muy lenta de enfriamiento a través del rango de los 400°F (205°C), permitiendo más tiempo para que el hidrógeno presente se difunda lejos de la soldadura y del metal adyacente evitando el burbujeo que produce fisuramientos.

Para esta aplicación específica el Código de la AWS D1. 1-86 (Ref. 1), ha establecido mínimas temperaturas de precalentamiento y entrepases para distintos espesores de planchas a soldarse para aceros comunes soldables, como se establece en la Tabla X .

Otro método de estimar la temperatura de precalentamiento y entrepases se obtiene midiendo los porcentajes de carbono y de los elementos aleantes de un acero específico, denominado método del Carbono Equivalente (Ceq.) Una de las fórmulas utilizadas para tal propósito es :

$$\text{Ceq.} = \%C + \%Mn/6 + \%Ni/15 + \%Mo/4 + \%Cr/4 + \%Cu/13 \quad ( 1 )$$

Esta fórmula es válida solamente si los

**TABLA X**  
**TEMPERATURAS MINIMAS DE PRECALENTAMIENTO Y ENTREPASADA (REF. 6 )**  
**( °F )**

<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>				
	SOLDADURA ARCO PROTEGIDO CON ELECTRODOS QUE NO SON DE BAJO-HIDROGENO	SOLDADURA ARCO-PROTEGIDO CON ELECTRODOS DE BAJO HIDROGENO; SOLDADURA ARCO SUMERGIDO; SOLDADURA AL ARCO CON PROTECCION GASEOSA; SOLDADURA AL ARCO-RECUBIERTA CON FUNDENTE.		SOLDADURA ARCO-PROTEGIDA CON ELECTRODOS DE BAJO-HIDROGENO;SOLDADURA ARCO SUMERGIDO CON ALAMBRE DE ACERO AL CARBONO O ALEADO, FUNDENTE NEUTRAL.
ESPESOR DE LA PARTE MAS GRUESA EN EL PUNTO A SOLDAR ( PULGADAS )	ASTM A36,A106,A53 GR-B A131,A139,A375,A381 A500,A501,A516 GR-55 A524,A570 GR-D Y E	ASTM A36,A106,A131 A139,A242,A441,A501 A529,A537,A570,A573 A538,A595,A606,A618	ASTM A572 GR-60 Y 65 A633 GR-E	ASTM A514,A517 A709 GR-100 Y 100 W
HASTA 3/4 INCLUIDO	NINGUNO	NINGUNO	50	50
3/4 < T ≤ 1-1/2	150	50	150	125
1-1/2 < T ≤ 2-1/2	225	150	225	175
SOBRE 2-1/2	300	225	300	225

contenidos de aleación son menores que los siguientes :

0.50 % C	3.50 % Ni	1.00 % Cr
1.60 % Mn	0.60 % Mo	1.00 % Cu

La Tabla XI presenta valores de temperaturas aproximadas de precalentamiento y entrapases basadas sobre porcentajes de Carbono Equivalente.

Según este método, la composición química del acero A 588 utilizado, presentada en la Tabla I cae dentro del rango permitido. Utilizando la Ecuac. 1, resulta que este acero posee un 0.425% de Carbono Equivalente. Según la Tabla XI , el precalentamiento es opcional para este acero.

El precalentamiento puede ser hecho utilizando en algunos casos hornos o utilizando soplete usando gas natural mezclado con aire comprimido, produciendo una llama caliente y combustión limpia.

## 2.6. TRATAMIENTO TERMICO PARA ALIVIOS DE ESFUERZOS RESIDUALES

Tratamiento térmico para alivio de esfuerzos está



**TABLA XI**

**TEMPERATURAS APROXIMADAS DE PRECALENTAMIENTO Y ENTREPASES  
BASADAS SOBRE % DE CARBONO-EQUIVALENTE (REF. 6)**

CARBONO EQUIVALENTE %	TEMPERATURA	
	° F	° C
Hasta 0.45	opcional	opcional
0.45 a 0.60	200 a 400	95 a 205
Sobre 0.60	400 a 700	205 a 370

definido como el calentamiento uniforme de la estructura a una temperatura deseable, calentando a esta temperatura por un determinado periodo de tiempo, seguido de un enfriamiento uniforme (Ref.7 ).

Como la estructura del puente se construirá de acuerdo con las recomendaciones de Códigos, tratamientos térmicos son especificados y se harán conforme a los siguientes requerimientos (Ref. 1 ):

- La temperatura del horno no excederá de 600°F (315°C ) al momento en que el ensamble soldado sea colocado en el.
- Arriba de 600°F (315°C), la velocidad de calentamiento no sera mayor de 400°F ( 220°C) por hora dividido para el espesor máximo de metal de la parte mas gruesa en pulgadas; pero en ningún caso mas de 400°F ( 220°C) por hora. Durante el período de calentamiento, la variación en temperatura de la parte a ser calentada no será mayor que 250°F ( 140°C ) en unos 15 pies (4.6 mts) de intervalo de longitud.

- Arriba de 600°F ( 315°C ) enfriamiento será hecho en un horno cerrado o cámara de enfriamiento a una velocidad no mayor de 500°F(260°C) por hora dividido para el máximo espesor del metal de la parte más gruesa en pulgadas, pero en ningún caso mayor que 500°F por hora. Desde 600°F ( 315°C ) el ensamble puede ser enfriado en aire quieto.

Cuando es impracticable el tratamiento posterior a la soldadura a las limitaciones de la temperaturas establecidas anteriormente, ensambles soldados pueden ser aliviados de esfuerzos a bajas temperaturas por largos periodos de tiempo, de acuerdo a la Tabla XII .

## 2.7. DISTORSION Y CONTRACCION EN SOLDADURAS

Algunos grados de distorsión y contracción están presentes en toda estructura soldada, estos problemas no pueden ser eliminados ni evitados totalmente, pero ellos pueden ser minimizados conociendo las causas que lo originan, tipo, fórmulas específicas de cada tipo, métodos de control y prevención.

## TABLA XII

### TRATAMIENTO TERMICO PARA ALIVIO DE ESFUERZOS (REF. 1 )

DISMINUCION EN TEMPERATURA DEBAJO DE LA TEMPERATURA MINIMA ESPECIFICADA		MINIMO TIEMPO DE PERMANENCIA A LA TEMPERATURA QUE VA DISMINUYENDO
°F	°C	Hora por pulgada de espesor
50	28	2
100	56	3
150	84	5
200	112	10

2.7.1. CAUSAS Y TIPOS : En uniones soldadas, los ciclos de calentamiento y enfriamiento siempre causan contracciones tanto en el metal base como en el metal soldado, y las fuerzas de contracción tienden a causar algún grado de distorsión.

Las enormes diferencias de temperaturas en el área del arco, crea una distribución no uniforme de calor en la parte a ser soldada por lo que propiedades como módulo de elasticidad, coeficiente de expansión térmica, conductividad térmica y calor específico del material original varían con la temperatura.

Restricción externa debido a las formas de sujeción, restricción interna debida a la masa y la rigidez de la plancha de acero misma también debe ser considerada. Todos estos factores tienen una influencia definitiva sobre el grado de movimiento.

Finalmente, es necesario considerar el

factor de tiempo que afecta la rapidez cambiante de las condiciones.

Estas condiciones variables son además influenciadas por los diferentes procedimientos de soldar, tipo y tamaño de electrodo, corriente de soldadura, velocidad de soldeo, diseño de la unión, y velocidad de enfriamiento y calentamiento.

La distorsión encontrada en estructuras fabricadas es causada por tres cambios dimensionales fundamentales que ocurren durante la soldadura, estos son (Ref. 7 ):

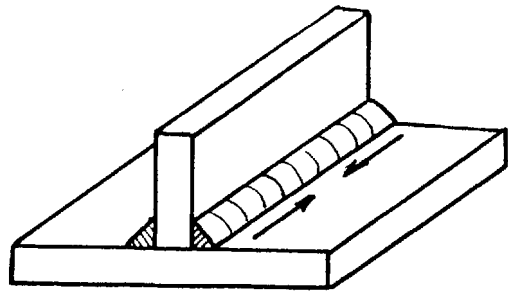
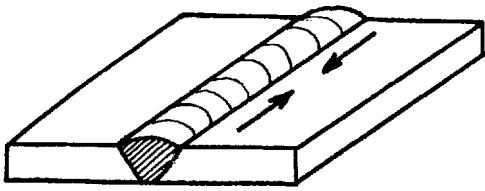
1.- Contracción transversal que ocurre perpendicular a la línea de soldadura.

2.- Contracción longitudinal que ocurre paralelo a la línea de soldadura.

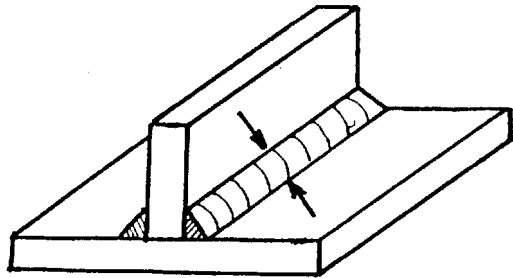
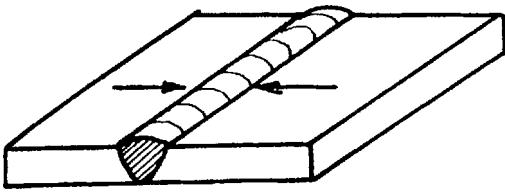
3.- Cambio angular que consiste en la rotación alrededor de la línea de la soldadura.

Los cambios dimensionales anteriormente mencionados pueden aparecer en uniones a tope y en uniones en -T, ver figura N°6; originando los principales tipos de distorsión conocidos, así tenemos:

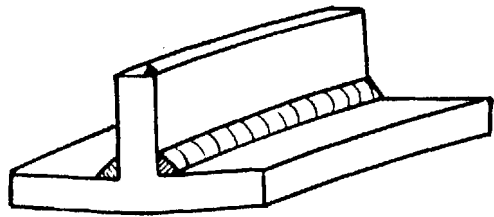
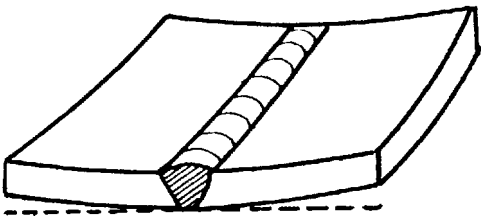
- a) Contracción transversal en uniones a tope.
- b) Contracción longitudinal en uniones a tope.
- c) Distorsión angular en uniones a tope.
- d) Contracción transversal de uniones en -T con soldadura en filete.
- e) Contracción longitudinal de uniones en -T con soldadura en filete.
- f) Distorsión angular de uniones en -T con soldadura en filete.



LONGITUDINAL



TRANSVERSAL



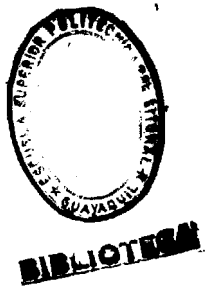
ANGULAR

Fig.6 Cambios dimensionales fundamentales (Ref. 7)



g) Distorsión por flexión longitudinal de uniones en -T con soldadura en filete.

2.7.2. ANALISIS MATEMATICO : Los métodos para estimar la distorsión encontrada en un proceso de soldadura incluye análisis computacionales y el uso de fórmulas empíricas. Análisis con métodos computacionales da resultados más seguros pero son más costosos. En la práctica se utilizan fórmulas empíricas para resolver los problemas de distorsión. Una ecuación empírica se la puede definir como una expresión matemática derivada no de teoría sino de observaciones experimentales (Ref.8). Cada tipo específico de distorsión poseen ecuaciones empíricas que relacionan el nivel de distorsión con factores como tamaño de la soldadura, peso del metal depositado y geometría de la unión. A continuación presentamos las ecuaciones empíricas aplicables a los principales tipos de distorsión.



- Contracción transversal en uniones a tope : para una soldadura a tope sin ninguna restricción, figura N°7 la contracción transversal está dada por:

$$S_{tr} = 0.2 ( A_w/T ) + 0.05 d \quad (2)$$

Dónde :

$S_{tr}$  = Contracción transversal sin restricción , pulgadas.

$A_w$  = Area de la sección transversal de la soldadura, pulgadas<sup>2</sup>.

$T$  = Espesor del metal base, pulgadas.

$d$  = Abertura de raíz, pulgada.

En uniones a tope restringidas de aceros soldados con múltiples pasadas, la contracción transversal aumenta con cada pase. Matemáticamente, la contracción total después del primer pase aumenta logarítmicamente con el peso del metal de soldadura

depositado. La ecuación que rige es :

$$u = u_0 + b ( \log w - \log w_0 ) \quad (3)$$

dónde :

$u$  = Contracción transversal total

$u_0$  = Contracción transversal después del primer pase

$w$  = Peso total del metal de soldadura depositado

$w_0$  = Peso del metal de soldadura depositado después del primer pase

$b$  = Coeficiente

- Contracción longitudinal en uniones a

tope : La ecuación aplicable es :

$$\delta l = \frac{0.12 * I_w * L}{100.000 * T} \quad (4)$$

Dónde :

$\delta l$  = Contracción longitudinal total

$I_w$  = Corriente de soldadura

$L$  = Longitud de soldadura

$T$  = Espesor de la plancha

- Distorsión angular en uniones a tope:

la fórmula que gobierna es :

$$B = \frac{0.13 * I_{-} * \text{Volt}}{V_{-} * T^2} \quad ( 5 )$$

Dónde:

B = Distorsión angular

I<sub>-</sub> = Corriente

Volt = Voltaje

V<sub>-</sub> = Velocidad de soldado

T = Espesor de plancha

- Contracción transversal de uniones en

-T con soldadura en filete: la  
contracción transversal observada en  
uniones en -T, presentada en la figura  
Nº8, presentan a menudo menores  
problemas en la construcción. La fór-  
mula aplicable es :

$$S_{tr} = C_1 ( t_w / t_r ) \quad ( 6 )$$

*Dónde :*

- Distorsión angular en uniones a tope:

la fórmula que gobierna es :

$$B = \frac{0.13 * I_{\text{a}} * \text{Volt}}{V_{\text{a}} * T^2} \quad ( 5 )$$

Dónde:

B = Distorsión angular

I<sub>a</sub> = Corriente

Volt = Voltaje

V<sub>a</sub> = Velocidad de soldeo

T = Espesor de plancha

- Contracción transversal de uniones en

-T con soldadura en filete: la  
contracción transversal observada en  
uniones en -T, presentada en la figura  
Nº8, presentan a menudo menores  
problemas en la construcción. La fór-  
mula aplicable es :

$$S_{\text{tr}} = C_1 ( t_w / t_r ) \quad ( 6 )$$

Dónde :

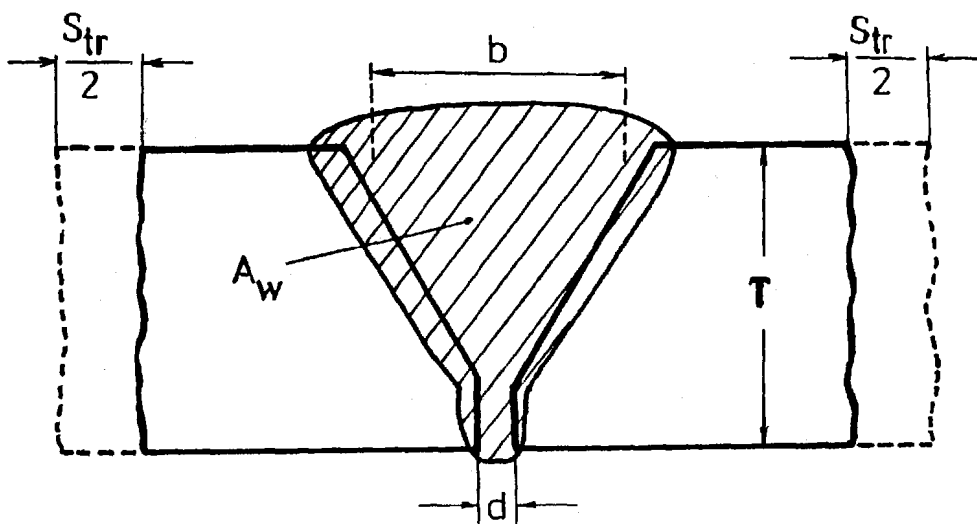


Fig.7 Contracción transversal en unión a tope (Ref.8)

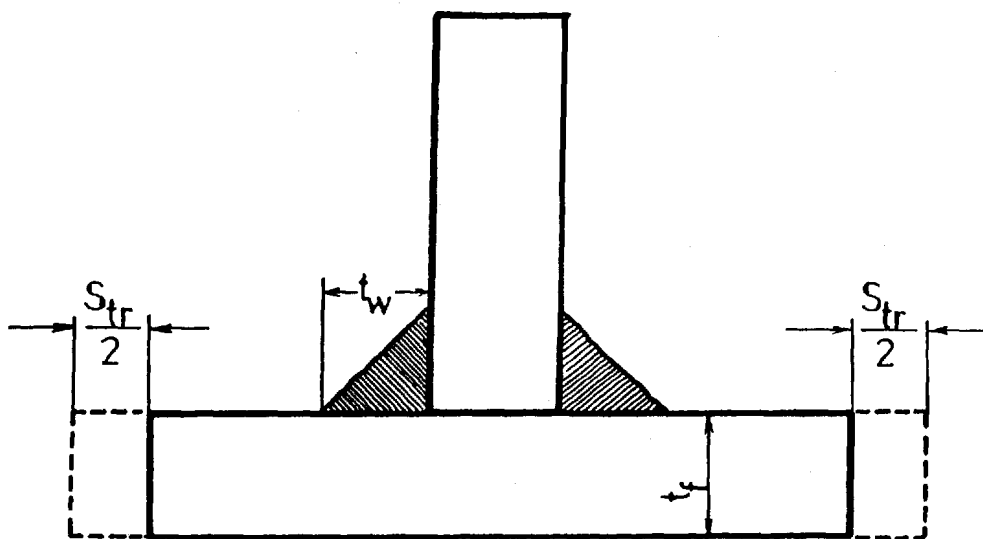


Fig.8 Contracción transversal en unión -T (Ref.8)

$S_{tr}$  = Contracción transversal total

$C_1$  = Constante, cuyo valor es de 0.04

$t_w$  = Espesor del cordón

$t_x$  = Espesor del ala

- Contracción longitudinal de uniones en -T con soldadura en filete: este tipo de contracción utiliza la ecuación siguiente:

$$\delta = 25 \left( \frac{A_w}{A_p} \right) \quad ( 7 )$$

Dónde:

$A_w$  = Area de la sección transversal del metal depositado

$A_p$  = Area de la sección transversal resistente

$\delta$  = Contracción longitudinal

- Distorsión por flexión longitudinal: se produce cuando al enfriarse la soldadura, la fuerza ( $F_c$ ) de contracción, que actúa a través del centroide de la soldadura y a una distancia (d) desde el eje neutro (NA) de la unión en -T se desarrolla.

Entonces un momento (M) se produce y la sección entera es flexionada, como se aprecia en la figura No.9.

Por resistencia de materiales, se recordará que la cantidad de deflexión ( $\delta$ ) para una viga en flexión puede ser calculada usando el método de área-momento, que establece:

$$\delta = 1/EI \int_0^{L/2} M l dx \quad (8)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

I = Momento de inercia

M = Momento aplicado ( $M=F*d$ )

l = distancia desde un extremo al punto donde la deflexión, en este caso, distorsión es determinada.

La distorsión máxima ocurre en  $l = L/2$ , entonces:

$$\delta = \frac{F_c * d * L^2}{8 * E * I} \quad (9)$$



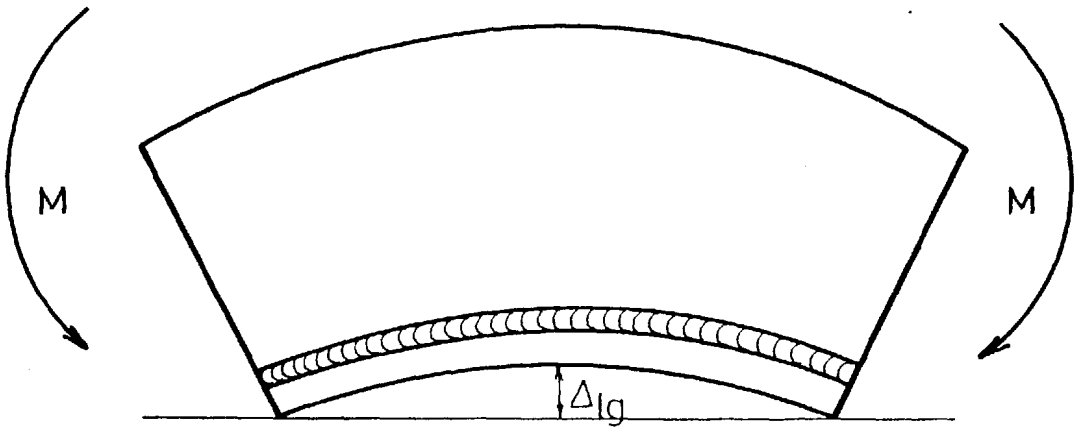
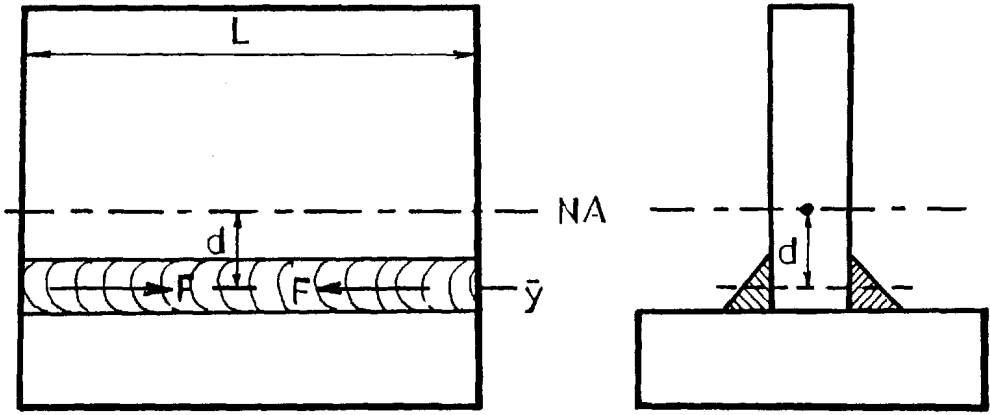


Fig.9 Distorsión por flexión longitudinal (Ref.8)

Se asume que la fuerza de contracción ( $F_c$ ) es proporcional al área de la sección transversal de la soldadura ( $A_w$ ). Entonces se reescribe:

$$\delta_{1e} = \frac{C_2 * A_w * L^2 * d}{I} \quad (10)$$

- Distorsión angular de uniones en -T con soldadura en filete: ocurre en miembros de estructuras restringidas, en el caso de los atiesadores soldados a las planchas la distorsión puede ocurrir en forma ondulada, como se muestra en la fig.10 a.

Para el caso de distorsión uniforme, los cambios angulares producidos por la distorsión en una soldadura están dados por la ecuación :

$$\frac{\delta}{L} = 0.25 \phi \left[ \frac{(X - 0.5L)}{L} \right]^2 \phi \quad (11)$$

Dónde :

$\delta$  = Distorsión

L = Longitud del tramo

$\phi$  = Cambio angular

X = Distancia desde la línea del centro de la estructura a el punto en que se mide la distorsión.

El cambio angular ( $\phi$ ) es relacionado con el cambio angular básico ( $\phi_0$ ) que puede ocurrir en una soldadura sin restricciones, figura N°10 b. La fórmula es:

$$\phi = \frac{\phi_0}{1 + (2 R/ L) * (1/C)} \quad (12)$$

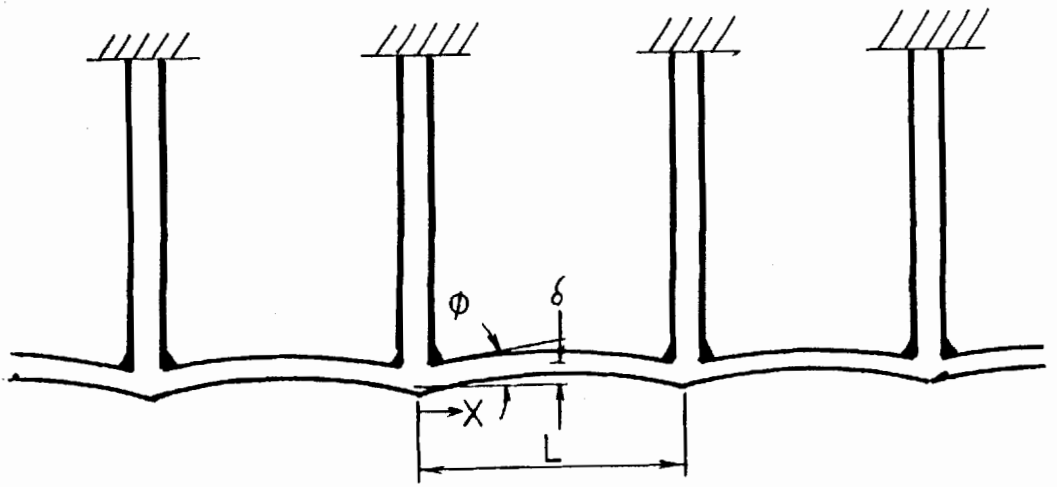
Dónde:

$\phi_0$  = Cambio angular de una soldadura sin restricción, grados.

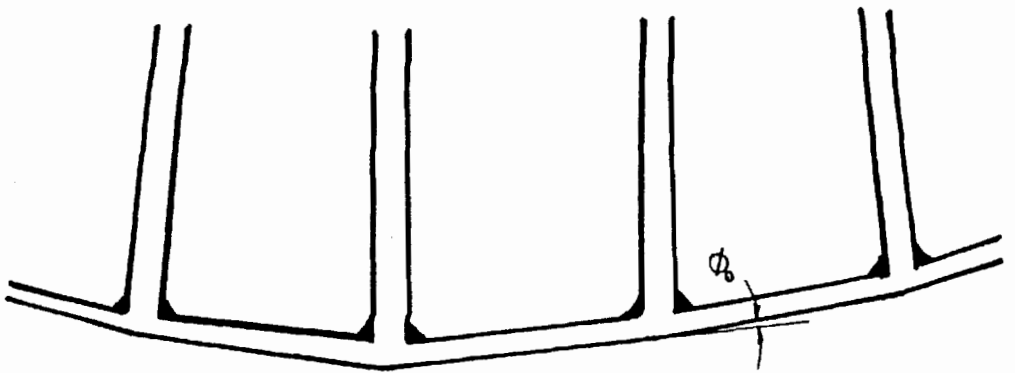
C = Coeficiente de rigidez para cambios angulares ,kg.mm/mm.

R = Rigidez de el reborde del fondo de la plancha, MPa. mm<sup>3</sup>.

Dónde (R) es una función del espesor de



a.- RESTRINGIDAS



b.- LIBRES

Fig.10 Distorsión Angular de Uniones en-T (Ref.7)

la plancha y la constante elástica del material, entonces:

$$R = \frac{E * T^3}{12 (1 - \nu)} \quad ( 13 )$$

Dónde :

$\nu$  = razón de Poisson

2.7.3. METODOS DE CONTROL Y PREVENCION: el control de la distorsión debe producirse desde la etapa de diseño, cumpliendo los siguientes puntos:

- No sobredimensionar la soldadura.
- Usar una preparación de bordes adecuada.
- Usar pocas pasadas de soldaduras como sea posible.
- Colocar soldadura cerca del eje neutro de la unión.
- Balancee la soldadura alrededor del eje neutro de la estructura.
- Use soldaduras con respaldo.
- Utilizar medios de alivio de esfuerzos.

Otra estrategia para controlar la distorsión es montar y soldar pequeños sub-montajes primeros y posteriormente unir estas pequeñas estructuras para producir el montaje final. Hay dos métodos prácticos para controlar la distorsión :

- montaje pre-fijado
- montaje restringido

- Montaje pre-fijado: consiste de un pre-posicionamiento de una estructura en una manera opuesta a la distorsión predecida tal que cuando la soldadura sea completada ninguna distorsión se evidencia.

Este preposicionamiento puede ser producido por:

- Deformación elástica.
- Deformación plástica.
- Medios térmicos.

La figura N° 11 considera una unión en-T preposicionada elásticamente (a ) o plásticamente (b), para compensar la distorsión angular que ocurrirá. La soldadura completa se presenta en (c).

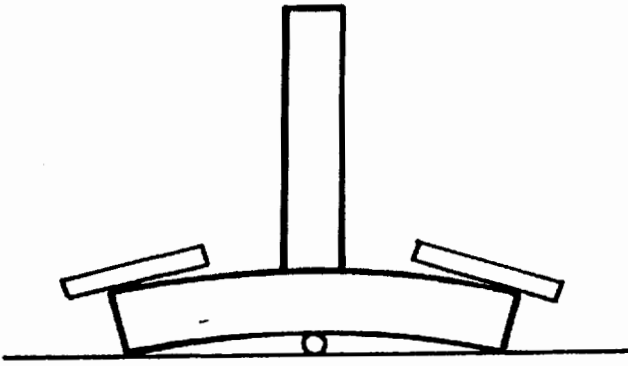
- Método de montaje restringido: Es un método que restringe físicamente los elementos soldados durante la fabricación.

La prevención de distorsión en soldadura se dá en la etapa de diseño, ensamble y construcción.

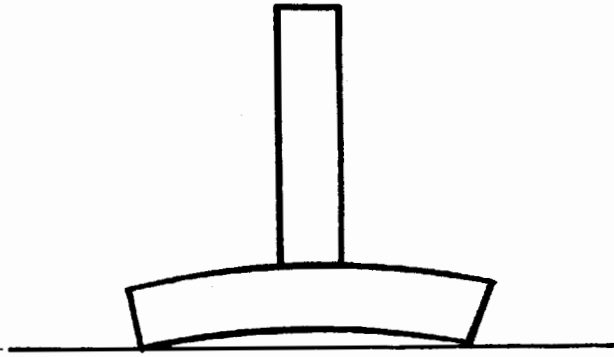
Diseño : El diseño de uniones apropiadas y la localización de uniones soldadas son aspectos importantes.

Ensamble: (1) Preposicionamiento  
(2) Restricciones  
(3) Conociendo la contracción permisible, un diseño adecuado puede ser usado.

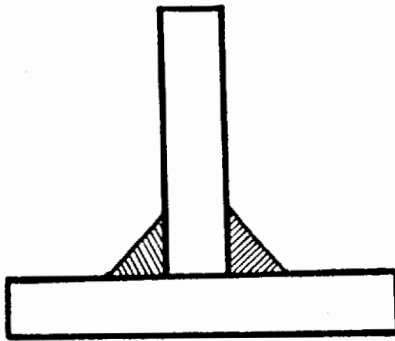
Construcción:



a.- ELASTICO



b.- PLASTICO



c.- SOLDADURA COMPLETA

Fig.11 Preposicionamiento de Unión en T (Ref.8)



- (1) Proceso de soldadura.
- (2) Tipo y tamaño de electrodo.
- (3) Número y secuencias de pasadas.

## 2.8. PROCEDIMIENTOS DE ENSAMBLAJE DE LAS UNIONES SOLDADAS

Antes de soldar, las partes serán colocadas y sostenidas en su lugar por distintos tipos de sujeción u otros medios adecuados que no están prohibidos por las especificaciones de soldadura.

Los dispositivos de restricción o sujeción utilizados son:

- Guías mecánicas y accesorios fijos.
- Sujetadores flexibles.
- Respaldos.
- Sujetadores rígidos-rígidos.
- Atiesadores.
- Puntos de soldadura.

La figura N°12 presenta algunos tipos de los dispositivos antes mencionados.

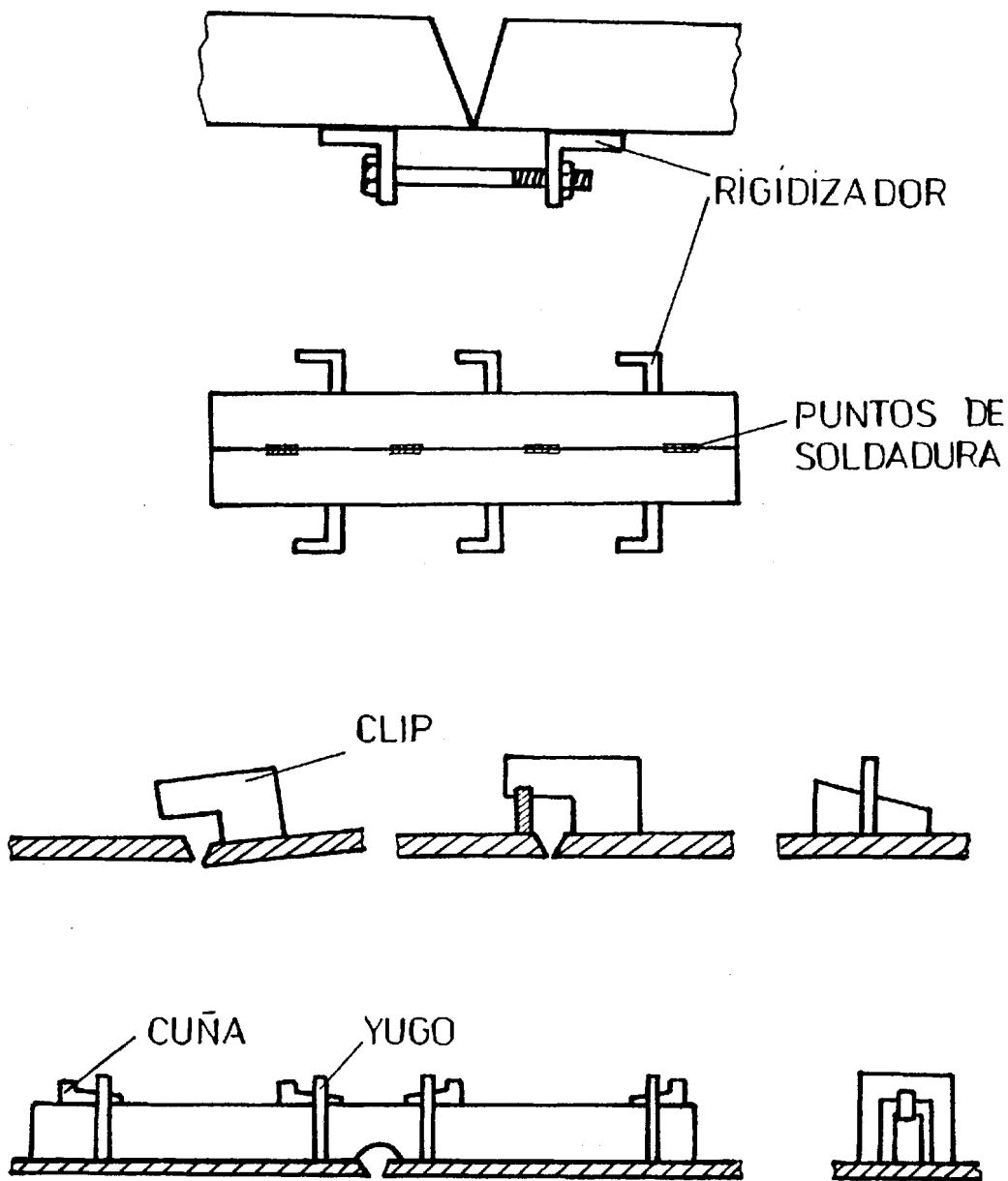
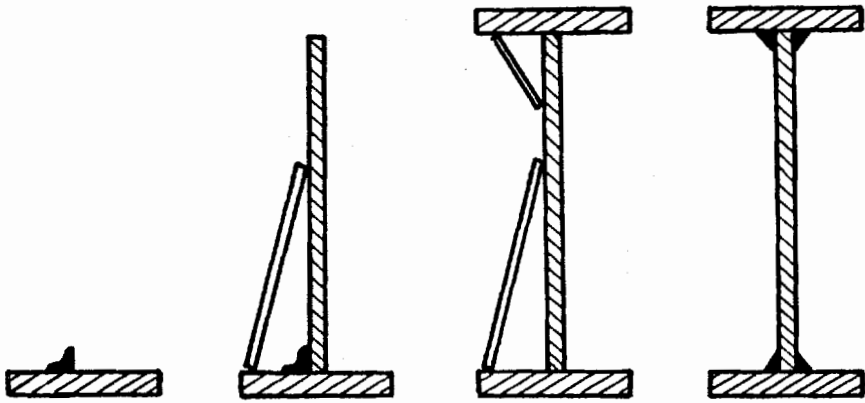


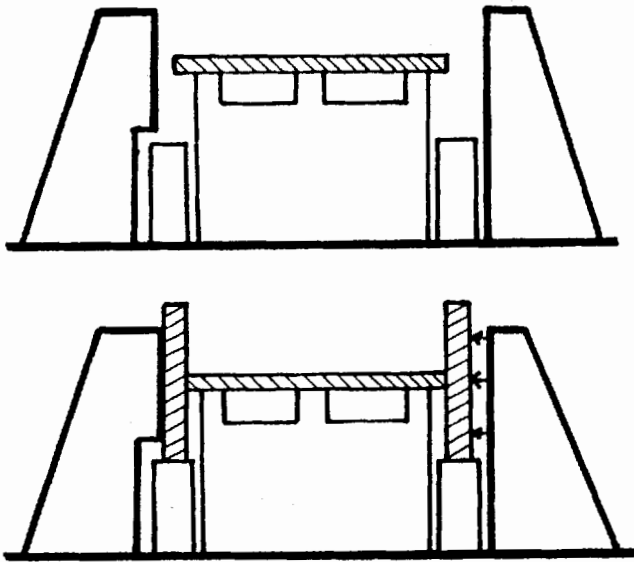
Fig.12 Dispositivos de Restricción (Ref.8)

Ensamble de vigas: Las vigas hechas de planchas pueden ser acomodadas y ensambladas por algunos de los siguientes procedimientos:

- 1.- Colocar una ala en posición plana sobre el piso. Una línea con tiza es marcada a lo largo de la línea de centro del ala, y pequeños sujetadores en ángulo recto son punteados a intervalos a lo largo de la longitud del ala cercana a su línea de centro, como lo presenta la figura N°13 a. A continuación el alma es colocada sobre el ala y temporalmente soportada por ángulos o barras punteadas entre el alma y las alas. Las planchas del ala superior pueden entonces ser colocadas sobre la parte superior del alma.
- 2.- Otra manera es colocando el alma sobre accesorios en posición horizontal, figura N°13 b. Las planchas de las alas son puestas en posición y algunos métodos de sujeción son usados para forzar el ala firmemente contra el borde del alma. Se debe tener cuidado de no usar mucha presión contra las alas porque esto puede arquear el alma hacia



a.- PROCEDIMIENTO 1



b.- PROCEDIMIENTO 2

Fig.13 Ensamble de Vigas  
(Ref. 4)

arriba.

El plano 6, muestra un esquema del armado de una viga.

Ensamble en taller : Las uniones estructurales deberán ensamblarse en el taller para determinar que la construcción y la correspondencia de las partes componentes de la estructura metálica del puente sean las correctas. El ensamble en el taller se hará en la misma posición de la instalación final en el sitio de la obra (posición cerrada). Algunos pasos importantes deben observarse :

- a.) Asegurarse que todas las dimensiones sean cuidadosamente mantenidas. Los errores o defectos que se descubrieren deben ser remediados.
  
- b.) Las dimensiones se medirán con una cinta de acero calibrada que tenga la misma temperatura que el elemento que se esté midiendo.

- c.) El desalineamiento de planchas debe ser lo mínimo posible.
- d.) Las dimensiones totales de una unidad estructural ensamblada deberán estar dentro de las tolerancias indicadas en los planos. No se permitirán desviaciones mayores de 1 mm. en la longitud total de los miembros individuales que tengan ambos extremos hechos en fábrica, y los elementos que no sean hechos en fábrica no deberán variar más de 2 mm. para longitudes de miembros de 10 mts. o menos, ni más de 3 mm. para miembros de más de 10 mts.
- e.) Al desmontar las partes ensambladas en el taller, cada pieza de la superestructura será contramarcada para facilitar su ensamble en el campo.
- f.) Las marcas serán círculos con pintura blanca hechos después de la aplicación de la capa de pintura en el taller.

Ensamble en el campo : Antes del montaje definitivo se limpiarán cuidadosamente las

partes que se van a instalar, removiendo todos los compuestos de embalaje, óxidos, tierra, abrasivos y cualquier otra sustancia extraña. Las unidades que se transporten ensambladas deberán ser inspeccionadas antes de su instalación.

Montaje : El montaje de la superestructura del puente se hará siguiendo el procedimiento expuesto a continuación :

- 1.) Las vigas metálicas armadas y soldadas en el taller serán transportadas al lugar de su colocación mediante transporte convencional.
- 2.) Se colocarán en su posición mediante el uso de grúas de gran capacidad de carga.
- 3.) Toda vez que las vigas han sido colocadas en su posición definitiva se procede a la comprobación de sus niveles de acuerdo a los planos respectivos.
- 4.) Haciendo base en las vigas colocadas, se

procederá a la colocación de los elementos de arriostramientos, tanto horizontales como verticales.

5.) Los diafragmas serán puestos en su posición, ayudado por los pernos y luego soldados en su lugar.

6.) Seguidamente se soldarán los conectores de corte sobre las vigas y se inspeccionarán estos para asegurarse de la conexión adecuada de la viga.

7.) Terminado los puntos anteriores e igualmente haciéndose base en las vigas y sus arriostramientos, se armará el enconfrado para el hormigonado de la losa.

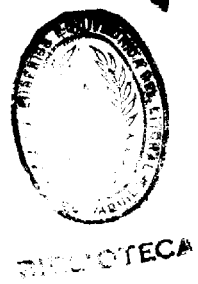
8.) Al término de la construcción del puente, se quitarán todos los materiales y desechos resultantes del montaje del mismo.

9.) Todas las superficies expuestas de las vigas, alas, y arriostramientos se limpiarán a chorro.



procederá a la colocación de los elementos de arriostramientos, tanto horizontales como verticales.

- 5.) Los diafragmas serán puestos en su posición, ayudado por los pernos y luego soldados en su lugar.
- 6.) Seguidamente se soldarán los conectores de corte sobre las vigas y se inspeccionarán estos para asegurarse de la conexión adecuada de la viga.
- 7.) Terminado los puntos anteriores e igualmente haciéndose base en las vigas y sus arriostramientos, se armará el enconfrado para el hormigonado de la losa.
- 8.) Al término de la construcción del puente, se quitarán todos los materiales y desechos resultantes del montaje del mismo.
- 9.) Todas las superficies expuestas de las vigas, alas, y arriostramientos se limpiarán a chorro.



## CAPITULO III

### CALIFICACION

Muchos Códigos y Especificaciones requieren que los procedimientos de soldadura para determinada obra sean comprobados por pruebas prescritas para ver si son satisfactorias las soldaduras. Entonces, la AASHO (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras), en sus especificaciones para puentes y carreteras incorpora las pruebas de calificación de procedimientos de soldadura y de personal dados por el Código de la AWS.

#### **3.1. PARAMETROS PARA PROCEDIMIENTOS DE PRE-CALIFICACION**

El Código AWS D1.1 (Ref.1) requiere que cuatro parámetros o variables críticas serán especificadas sobre los escritos de los procedimientos de precalificación. Los parámetros o variables críticas que son estipuladas sobre los procedimientos escritos son:

- (1) Amperaje
- (2) Voltaje
- (3) Velocidad de soldeo
- (4) Caudal del gas de protección

Cambios en estos parámetros, más allá de aquellos especificados en los escritos de las estipulaciones de los procedimientos de soldadura, requerirán una nueva revisión o pre-calificación de las estipulaciones. Aún cuándo los procedimientos pre-calificados están exentos de ensayos, el Código AWS requiere que la persona encargada de la construcción prepare un procedimiento escrito de las especificaciones para proceder a soldar la unión a ser usada en la construcción.

Toda pre-calificación de procedimientos de soldadura incluirá además de los parámetros mencionados anteriormente, los siguientes:

- Metal base
- Proceso de soldeo
- Posición de soldeo
- Especificación del metal de aportación

- Característica de la pasada
- Tipo de limpieza de la raíz de la soldadura
- Temperatura de precalentamiento y de entrepases
- Tratamiento térmico

Además se incluirá el procedimiento de soldeo, como se muestra en el formato 1 . A continuación se adjunta la elaboración de los procedimientos de pre-calificación de las uniones a ser utilizada en la construcción de la estructura del puente.

### 3.2. CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Para la ejecución de las uniones soldadas en este tipo de obra es necesario la calificación del procedimiento de soldadura a ser utilizado. El cuál tiene que ser probado y demostrar que las soldaduras queden sanas y con características mecánicas apropiadas.

Una planilla completa de procedimientos de soldadura consistirá de especificaciones detalladas de procedimiento para cada unión que va a soldarse y tablas o diagramas indicando los procedimientos de soldeo a usarse para cada una

**FORMATO 1**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Metal base ASTM A 588

Proceso de soldeo SMAW

Manual ó automática MANUAL

Posición de soldeo PLANA

Especificación del metal de aportación AWS 5.1-5.5

Clasificación del metal de aportación EG010(1) E7018(2-3)

Fundente XXXX

Gas XXXX Caudal XXXX

Pasada simple ó múltiple MULTIPLES

Arco simple ó múltiple SIMPLE

Corriente DC

Polaridad INVERSA


Secuencia 1 Y 2-3

Limpieza de raíz CEPILLO

Pre calentamiento y temperatura entrepases OPCIONAL

Pos calentamiento XXXX

**PROCEDIMIENTO DE SOLDEO**

No Pase	Tamaño de Electrodo	Parámetros		Velocidad de Soldeo (pulg./min.)	Diseño de Junta
		(Amp.)	(Volt.)		
1	1/8"	90 - 125	28	11	
2-3	5/32"	140 - 190	28		

**FORMATO 1**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Metal base ASTM A 588

Proceso de soldeo SMAW

Manual ó automática MANUAL

Posición de soldeo HORIZONTAL

Especificación del metal de aportación AWS 51 55

Clasificación del metal de aportación E 6010(1) E7018(23)

Fundente XXXX

Gas XXXX Caudal XXXX

Pasada simple ó múltiple MULTIPLES

Arco simple ó múltiple SIMPLE

Corriente DC

Polaridad INVERSA

Secuencia 1 Y 2 3

Limpieza de raíz CEPILLO

Pre calentamiento y temperatura entrepases OPCIONAL

Pos calentamiento XXXX

**PROCEDIMIENTO DE SOLDEO**

No Pase	Tamaño de Electrodo	Parámetros		Velocidad de Soldeo (pulg./min.)	Diseño de Junta
		(Amp.)	(Volt.)		
1	1/8 "	90 - 125	28	9.5 - 11.5	
2-3	5/32"	140 - 190	28		

**FORMATO 1**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Metal base ASTM A-588

Proceso de soldeo SMAW

Manual ó automática MANUAL

Posición de soldeo PLANA

Especificación del metal de aportación AWS 51-5.5

Clasificación del metal de aportación E-6011(1) E7018 (2-3)

Fundente XXXX

Gas XXXX Caudal XXXX

Pasada simple ó múltiple MULTIPLES

Arco simple ó múltiple SIMPLE

Corriente DC

Polaridad INVERSA

Secuencia 1 Y 2-3

Limpieza de raiz CEPILLO

Pre calentamiento y temperatura entrespases OPCIONAL

Poscalentamiento XXXX

**PROCEDIMIENTO DE SOLDEO**


No Pase	Tamaño de Electrodo	Parámetros		Velocidad de Soldeo (pulq./min.)	Diseño de Junta
		(Amp.)	(Volt.)		
1	3/32"	70 - 90	28	11	
2-3	1/8"	100 - 140	28		

**FORMATO 1**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

**Metal base** \_\_\_\_\_ ASTM A-588  
**Proceso de soldeo** \_\_\_\_\_ SMAW  
**Manual ó automática** \_\_\_\_\_ MANUAL  
**Posición de soldeo** \_\_\_\_\_ HORIZONTAL  
**Especificación del metal de aportación** \_\_\_\_\_ AWS 5.1-5.5  
**Clasificación del metal de aportación** E-6010 (1) E-7018(25)  
**Fundente** \_\_\_\_\_ XXXX  
**Gas** \_\_\_\_\_ XXXX **Caudal** \_\_\_\_\_ XXXX  
**Pasada simple ó múltiple** \_\_\_\_\_ MULTIPLES  
**Arco simple ó múltiple** \_\_\_\_\_ SIMPLE  
**Corriente** \_\_\_\_\_ DC  
**Polaridad** \_\_\_\_\_ INVERSA  
**Secuencia** \_\_\_\_\_ 1 Y 2-5  
**Limpieza de raiz** \_\_\_\_\_ CEPILLO  
**Precalentamiento y temperatura entrepases** \_\_\_\_\_ OPCIONAL  
**Poscalentamiento** \_\_\_\_\_ XXXX

**PROCEDIMIENTO DE SOLDEO**

No Pase	Tamaño de Electrodo	Parámetros		Velocidad de Soldero (pulg./min.)	Diseño de Junta
		(Amp.)	(Volt.)		
1	1/8"	90 - 125	28	9	 ala superior e inferior
2-5	5/32"	140 - 190	28		

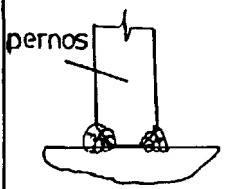


**FORMATO 1**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

**Metal base** \_\_\_\_\_ ASTM A-588  
**Proceso de soldeo** \_\_\_\_\_ SMAW  
**Manual ó automática** \_\_\_\_\_ MANUAL  
**Posición de soldeo** \_\_\_\_\_ PLANA  
**Especificación del metal de aportación** AWS 5.1-5.5  
**Clasificación del metal de aportación** E-6011(1) E-7018 (2-3)  
**Fundente** \_\_\_\_\_ XXXX  
**Gas** \_\_\_\_\_ XXXX      **Caudal** \_\_\_\_\_ XXXX  
**Pasada simple ó múltiple** \_\_\_\_\_ MULTIPLES  
**Arco simple ó múltiple** \_\_\_\_\_ SIMPLE  
**Corriente** \_\_\_\_\_ DC  
**Polaridad** \_\_\_\_\_ INVERSA  
**Secuencia** \_\_\_\_\_ 1 Y 2-3  
**Limpieza de raíz** \_\_\_\_\_ CEPILLO  
**Precalentamiento y temperatura entrapases** OPCIONAL  
**Poscalentamiento** \_\_\_\_\_ XXXX

**PROCEDIMIENTO DE SOLDEO**

No. Pase	Tamaño de Electrodo	Parámetros		Velocidad de Soldero (pulg./min.)	Diseño de Junta
		(Amp.)	(Volt.)		
1	1/8"	90 - 130	28	9	
2-3	5/32"	140 - 190	28		

de las uniones requeridas.

Se mostrará los tipos y ubicaciones de las soldaduras que se indiquen en los Planos, el tipo de ensayo no-destructivo y los distintos tipos de ensayos mecánicos a aplicarse.

Cuándo es necesario establecer un procedimiento de soldeo para calificación, las siguientes reglas se aplicarán (Ref. 1 ):

a) Para aceros que tienen un específico punto de fluencia de 50.000 psi o menos, calificación sobre cualquier otro también califica para todos, o para una combinación de otros teniendo un punto de fluencia mínimo especificado igual o menor que el del metal base utilizado en la prueba.

b) Si el acero tiene un punto de fluencia específico sobre los 50.000 psi, las pruebas de calificación de procedimientos sobre este acero solamente calificará este acero en particular, grado o tipo, y al punto de fluencia especificado.

c) Una reducción en el punto de fluencia debido

a un incremento en espesor de un acero en particular es permitido.

d) Calificación sobre algunos de estos aceros ASTM A242, A441, A534 Grado A, A572 Grado 50, A588, API 5LX Grado 42, ó ABS Grado AH, DH, ó EH, también calificará para alguna combinación de ellos o con otros aceros probados teniendo un punto de fluencia especificado bajo.

e) Si el acero tiene un punto de fluencia especificado sobre los 50.000 psi y es calificado para ser soldado a un acero que tiene un punto de fluencia de 50.000 psi o menos, también calificará para ser soldado a un acero que tenga el punto de fluencia de 50.000 psi o menos.

Para el proceso de soldadura al arco eléctrico manual con electrodo revestido sugerido en este trabajo, los cambios siguientes serán considerados esenciales en los procedimientos de soldadura y se requerirá establecer un nuevo procedimiento para calificación. Estos cambios son (Ref.1 ):

1.) Un cambio creciente en el nivel de

resistencia del metal de aporte (cambio desde E-70XX a E-80XX, pero no viceversa).

- 2.) Un cambio de electrodo tipo bajo-hidrógeno a un electrodo distinto, pero no viceversa.
- 3.) Un incremento en el diámetro del electrodo por más de 1/32 pulg. ( 1 mm) sobre el usado en la calificación de procedimiento.
- 4.) Un cambio en los valores de voltaje y amperaje del electrodo que no esté en los rangos recomendados por el fabricante de electrodos.
- 5.) Para una ranura especificada, un cambio de más de  $\pm$  25% en el número de pases especificados. Si el área de la ranura es cambiada, es permitido cambiar el número de pases en proporción al área.
- 6.) Un cambio en la posición en que la soldadura es efectuada.
- 7.) Un cambio en el tipo de ranura

8.) Un cambio en la forma de alguna otra ranura envuelta:

a.- Una disminución en el ángulo de la ranura.

b.- Una disminución en la abertura de la raíz de la ranura.

c.- Un aumento en la cara de la raíz de la ranura.

d.- La omisión, pero no inclusión de refuerzo.

9) Una disminución de más de 25°F (13.9°C) en la temperatura mínima especificada para precalentamiento o entrepases.

10) La adición o supresión de tratamientos de pos-calentamiento de la soldadura.

Posición de ensayo de las soldaduras: toda soldadura que se encuentre en proceso de construcción será clasificada cómo ( Ref. 1 ) :

- Plana

- Horizontal
- Vertical, y
- Sobrecabeza

Estas posiciones son mostradas en la Figura N°14, para soldaduras en planchas ranuradas y en la Figura N°15 para soldaduras de filete.

La Tabla XIII muestra las limitaciones en el tipo y posición de las soldaduras para calificación de procedimientos.

Tipos de ensayos y propósitos (Ref.1) : los tipos de ensayos mencionados posteriormente son para determinar las propiedades mecánicas y sólidez de las uniones soldadas . Los ensayos usados son:

- 1.) Ensayo de reducción de sección en tensión.
- 2.) Ensayo de flexión de raíz.
- 3.) Ensayo de flexión de cara.
- 4.) Ensayo de flexión lateral.
- 5.) Ensayo de flexión longitudinal de cara y raíz.
- 6.) Ensayo de impacto.
- 7.) Ensayos macrográficos.

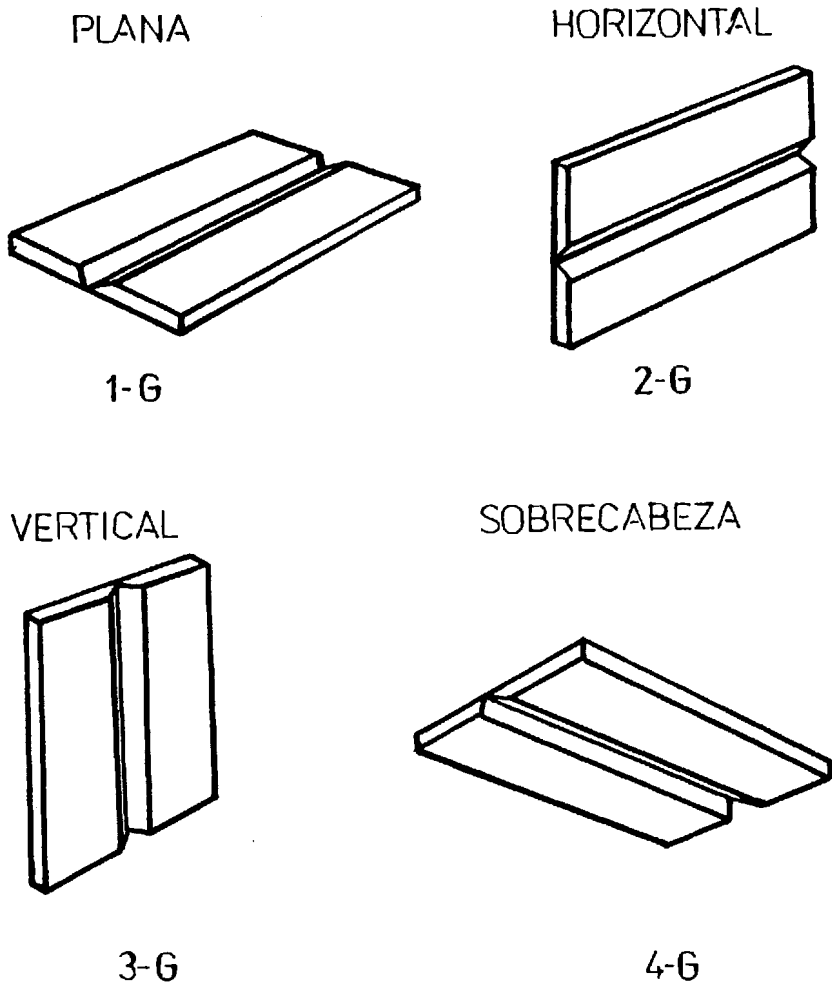
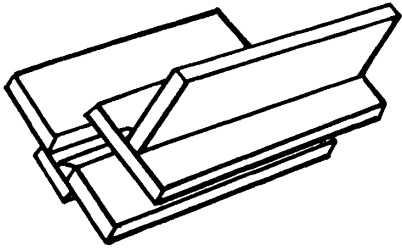


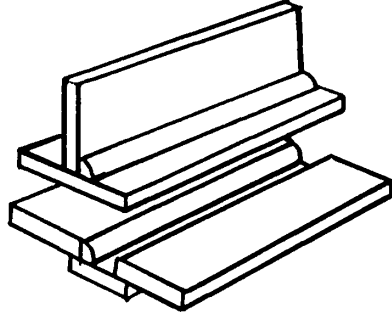
Fig.14 Posiciones de Ensayo para Soldaduras en planchas ranuradas (Ref.1)

PLANA



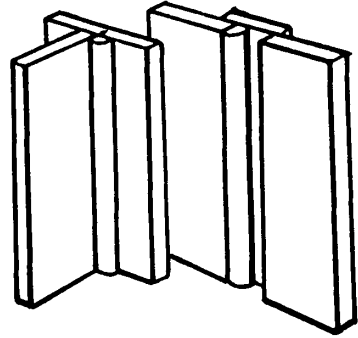
1-F

HORIZONTAL



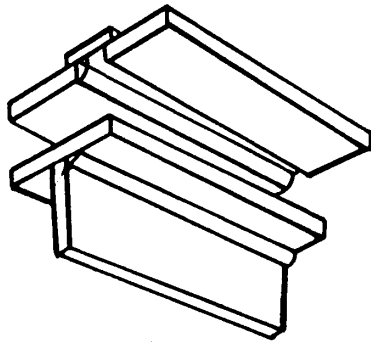
2-F

VERTICAL



3-F

SOBRECABEZA



4-F

Fig.15 Posiciones de Ensayo para Soldaduras en Filete (Ref.1)



**TABLA XIII**  
**LIMITACIONES EN TIPO Y POSICION--CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO**  
**(REF. 1)**

TIPO DE SOLDADURA Y POSICION DE SOLDADURA CALIFICADA*			
PRUEBA DE CALIFICACION		PLANCHA	
SOLDADURA	POSICION DE PLANCHA	RANURA	FILETE
PLANCHA - RANURA PENETRACION COMPLETA O PENETRACION PARCIAL	1 G	F	F
	2 G	H	F , H
	3 G	U	U
	4 G	OH	OH
PLANCHA - FILETE	1 F		F
	2 F		F , H
	3 F		U
	4 F		OH

\* POSICION DE SOLDADURA : F= PLANA      H= HORIZONTAL  
 V= VERTICAL                              OH= SOBRECABEZA

## 8.) Ensayos radiográficos o de ultrasonido.

En la Tabla XIV y Tabla XV se especifican el número y tipo de las probetas a ensayarse y el rango de espesores calificados para soldaduras ranuradas y de filete respectivamente, con penetración completa.

Las especificaciones del procedimiento, el procedimiento de soldeo y los resultados de los ensayos efectuados pueden ser escritos convenientemente en formatos, como se presenta en el formato 2 ,según AWS.

### 3.3. CALIFICACION DE SOLDADORES

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

Para la calificación de un soldador las siguientes reglas serán aplicadas (Ref.1 ) :

1.) Calificación establecida con algunos de los

TABLA XIV

NUMERO Y TIPO DE PROBETAS A ENSAYAR Y RANGO DE ESPESORES CALIFICADOS  
 -CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO ( REF. 1)

ENSAYOS SOBRE PLANCHAS RAMURADAS SOLDADAS- PENETRACION COMPLETA									
ESPEJOR PLANCHA, T ENSAYADO (PULG.)	NUMERO DE SOLDADURA POR POSICION	ENSAJO NO DESTRUC- TIVO (NOTA 1)	PROBETAS REQUERIDAS PARA ENSAYOS				FLEXION LATERAL	MAXIMO ESPEJOR PLANCHA, T CALIFICADO ( PULG.)	
			REDUCCION SECCION TENSION	FLEXION DE RAIZ	FLEXION DE CARA	FLEXION			
1/8 < T > 3/8	1	SI	2	2	2	-----	1/8 A 2T		
3/8	1	SI	2	2	2	-----	3/4		
3/8 < T > 1	1	SI	2	-----	-----	4	2T		
1	1	SI	2	-----	-----	4	ILIMITADO		

(NOTA 1) : TODAS LAS PLANCHAS SERAN VISUALMENTE INSPECCIONADAS

TABLA XV

NUMERO Y TIPO DE PROBETAS A ENSAYAR Y RANGO DE ESPESORES CALIFICADOS  
 -CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS (REF. 1)

SOLDADURAS EN FILETE							
PROBETA A ENSAYAR	TAMANO FILETE	NUMERO DE SOLDAD. POR PROCED.	PROBETAS REQUERIDAS			TAMANO CALIFICADO	
			MACRO-GRAFIA	METAL SOLDADO EN TENSION	FLEXION LATERAL	ESPESOR PLANCHA	TAMANO FILETE
ENSAYO PLANCHA	PASADA SIMPLE, MAXIMO TAMANO USADO	1 EN CADA POSICION	3 CARAS	-----	-----	ILIMITADO	MAXIMO ENSAYADO EN LA PASADA SIMPLE
	PASADA MULTIPLE, MINIMO TAMANO USADO	1 EN CADA POSICION	3 CARAS	-----	-----	ILIMITADO	MINIMO ENSAYADO EN LA PASADA MULTIPLE

FORMATO 2

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CALIFICACION DEL  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

ESPECIFICACION PROCEDIMIENTO	RESULTADOS DE ENSAYOS EN SOLDADURAS DE RANURAS
Especificación material _____	Resist. tensil, psi 1.- _____
Proceso de soldadura _____	2.- _____
Manual ó automática _____	
Posición de soldadura _____	Ensayo doblado guiado (2 raíz, 2 cara ó 4 flexión lateral)
Especificación del metal de aportación _____	
Clasificación del metal de aportación _____	raíz                      cara 1. _____ 1. _____ 2. _____ 2. _____
Grado del metal soldado _____	
Gas _____ Caudal _____	Inspección radiográfica-ultrasónica
Pasada simple ó múltiple _____	RT reporte N. _____
Arco simple ó múltiple _____	UT reporte N. _____
Corriente _____	
Secuencia _____	RESULTADOS DE ENSAYOS DE SOLDADURA EN ANGULO
Precalentamiento _____	Pasada múltiple _____
Tratamiento térmico _____	Tamaño mínimo _____
Nombre del Soldador _____	Pasada simple _____
	Tamaño máximo _____
	Ensayo tensión todo metal soldado
<u>INSPECCION VISUAL</u>	Resist. tensil, psi _____
Apariencia _____	Resist. punto de fluencia, psi _____
Porosidades _____	Elongación, % _____
Socavado _____	
Dato de ensayo _____	Ensayo de Laboratorio N.- _____

PROCEDIMIENTO DE SOLDEO

Certificamos que el contenido de este informe es correcto y que las soldaduras han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos de 5B del Código de Soldadura Estructural AWS D1.1-85.

Procedimiento # \_\_\_\_\_ Contratista \_\_\_\_\_  
Revisión # \_\_\_\_\_ Autorizado por \_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_

aceros permitidos por este Código será considerada como calificada para soldar con algunos de los otros aceros.

2.) Un soldador será calificado para cada proceso usado.

3.) Un soldador calificado para soldar con electrodos revestidos, identificado en la Tabla XVI, será considerado como calificado para soldar o puntear con algún otro electrodo en el mismo grupo designado y con un electrodo listado numericamente menor en el grupo designado.

Para la calificación de los soldadores hay que efectuar dos (2) tipos de pruebas sobre planchas ranuradas, las cuáles son (Ref. 1):

a) Pruebas de calificación en planchas ranuradas de espesores ilimitados: los detalles son los siguientes:

- espesor de plancha: 1 pulgada.
- simple ranura en-V
- ángulo de 45° incluido
- abertura de raíz de 1/4 pulg. (6.4 mm) con

**CLASIFICACION DE ELECTRODOS PARA  
CALIFICACION ( REF. 1 )**

GRUPO	CLASIFICACION DE ELECTRODOS <sup>*</sup>
F4	EXX15, EXX16, EXX18
F3	EXX10, EXX11
F2	EXX12, EXX13, EXX14
F1	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28

\* LAS LETRAS XX SON USADAS EN LA CLASIFICACION PARA VARIOS NIVELES DE RESISTENCIA DEL METAL DEPOSITADO

BIBLIOTECA



refuerzo

- longitud mínima de soldadura en la ranura será de 5 pulg.(127 mm).

La figura N°16a nos presenta las características de la plancha para este tipo de prueba.

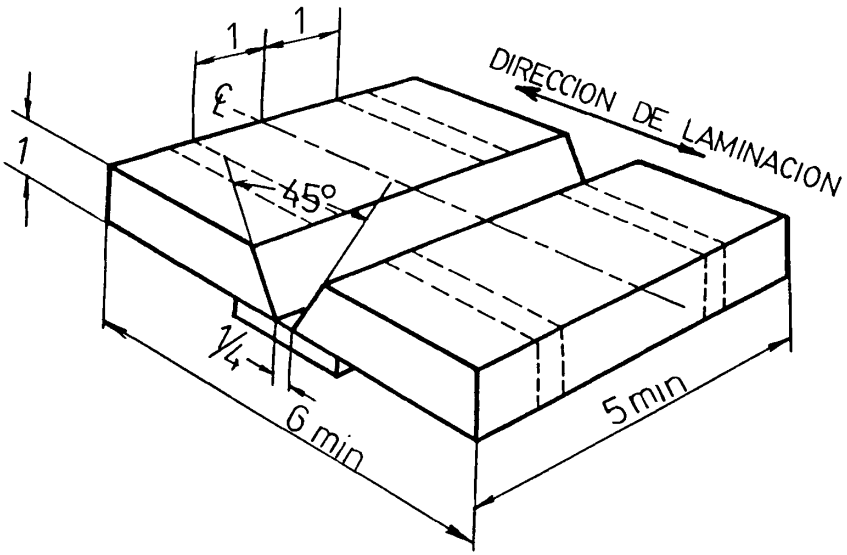
b) Pruebas de calificación en planchas ranuradas de espesores limitados: los detalles son:

- plancha de espesor 3/8 pulg.(9.5 mm)
- simple ranura en -V
- ángulo de 45° incluido
- abertura de raíz de 1/4 de pulg.(6.4 mm), con respaldo
- longitud mínima de la soldadura en la ranura será de 7 pulg.(180 mm).

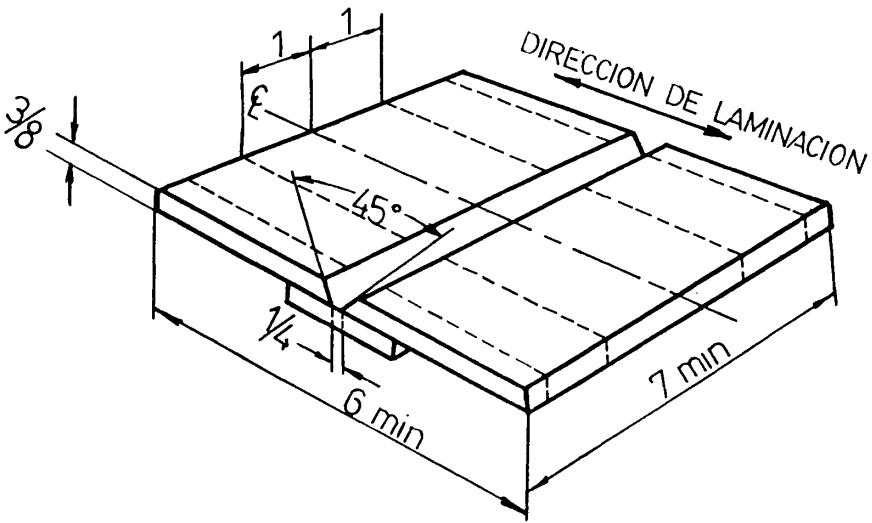
La figura N°16 b nos presenta este tipo de prueba con sus características.

También se pueden efectuar pruebas para planchas soldadas con filete, cuyas partes a unir tengan un ángulo diédrico ( $\phi$ ) de 60° ó mayor, pero no excedente de 135° .





a.- EN PLANCHAS RANURADAS DE  
ESPEORES ILIMITADOS



b.- EN PLANCHAS RANURADAS DE  
ESPEORES LIMITADOS

Fig.16 Pruebas de Calificación  
(Ref.1)

El tipo y número de probetas para ensayos mecánicos que deben ser efectuados y los rangos de espesores calificados son mostrados en la Tabla XVII.

Los resultados de los ensayos para la calificación de soldadores, junto con las características de identificación del soldador, metal de aporte, tipo de inspecciones y resultados que se obtengan, son presentados en el formato 3.

TABLA XVII

NUMERO Y TIPO DE PROBETAS Y RANGO DE ESESORES CALIFICADOS -CALIFICACION DE SOLDADORES ( REF. 1)

ENSAYOS SOBRE PLANCHAS										
TIPO DE SOLDADURA	ESESOR DE PLANCHA, T (PULG.)	INSPEC. VISUAL	NUMERO DE PROBETAS				PARTI- CION UNION -T	MACRO- GRAFIA	ESESOR PLANCHA CALIFI - CADO	
			ENSAYOS DE FLEXION		CARA	RAIZ				LATERAL
RAMURA	$3/8 < T < 1$	SI	----	2	----	----	----	T/2 A 2T		
RAMURA	1	SI	----	2	----	----	----	ILIMITADO		
OPCION- 1	1/2	SI	----	----	----	1	1	ILIMITADO		
OPCION- 2	3/8	SI	----	2	----	----	----	ILIMITADO		

**FORMATO 3**

**CERTIFICADO DE ENSAYOS DE CALIFICACION DE SOLDADORES**

Nombre del soldador \_\_\_\_\_ Identificación # \_\_\_\_\_  
Proceso de soldadura \_\_\_\_\_  
Posición \_\_\_\_\_  
(plana, horizontal, sobrecabeza o vertical- si es vertical indique si es ascendente o descendente)  
De acuerdo con el procedimiento de soldadura # \_\_\_\_\_  
Especificación del material \_\_\_\_\_  
Diámetro y espesor de pared (si es tubería) \_\_\_\_\_  
Espesor único \_\_\_\_\_  
Rango de espesores que califica \_\_\_\_\_

**METAL DE APORTACION**

Especificación # \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ F # \_\_\_\_\_  
Describe el metal de aportación (si la especificación no es cubierta por la AWS ) \_\_\_\_\_  
Usa soporte \_\_\_\_\_  
Diámetro metal de aportación \_\_\_\_\_  
Nombre de fábrica \_\_\_\_\_

**INSPECCION VISUAL**

Apariencia \_\_\_\_\_ Socavados \_\_\_\_\_ Porosidades \_\_\_\_\_

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO**

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
------	-----------	------	-----------

Ensayo conducido por \_\_\_\_\_ . Ensayo de laborat. # \_\_\_\_\_  
Fecha de ensayo \_\_\_\_\_

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE SOLDADURA EN ANGULO**

Apariencia \_\_\_\_\_ Garganta \_\_\_\_\_  
Ensayo de rotura de penetración de raíz \_\_\_\_\_  
Macroataque \_\_\_\_\_  
(Describe localización, naturaleza y tamaño de fisura)  
Ensayo conducido por \_\_\_\_\_ . Ensayo de laborat. # \_\_\_\_\_  
Fecha de ensayo \_\_\_\_\_

**RESULTADOS DE ENSAYOS RADIOGRAFICOS**

Identificación película	Resultados	Observación
-------------------------	------------	-------------

Ensayado por \_\_\_\_\_ Ensayo # \_\_\_\_\_

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 de Soldadura Estructural AWS D1.1-85.

Fabricante o contratista \_\_\_\_\_  
Autorizado por \_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_

## CAPITULO IV

### INSPECCION DE UNIONES SOLDADAS

Inspecciones y ensayos serán ejecutados necesariamente antes y después del montaje, durante y después de la soldadura para asegurar que los materiales y la ejecución de la obra satisfagan los requerimientos de los estándares de calidad.

#### 4.1. VISUAL

Para muchas soldaduras no críticas, su integridad es verificada principalmente por inspección visual. ésta constituye una parte importante en el control de calidad debido a que su técnica operativa es simple, rápida y relativamente menos costosa.

la inspección visual de las uniones soldadas es de mucha importancia en lo que respecta a la apariencia del cordón, las condiciones de la superficie, los aspectos dimensionales y el

tratamiento dado a la misma, conforme lo expuesto en la Tabla XVIII.

Las herramientas utilizadas para la inspección visual son :

- Regla de bolsillo
- Medidor del tamaño de la soldadura
- Lupa
- Escuadras para determinar rectitud, perpendicularidad y alineamiento.

Los principales tipos de defectos que pueden ser reconocidos visualmente son (Ref. 6 ) :

- a) Fisuras : detectadas visualmente al menos que sean internas o muy finas. Asociadas con excesiva corriente elevada, insuficiente ángulo del bisel y/o uniones altamente restringidas.
- b) Porosidades superficiales: son causada por planchas sucias o con óxidos, electrodo húmedo, o críticas condiciones del arco.
- c) Inclusiones de escoria superficiales: son indicios que la técnica falla. Asociada con

TABLA XVIII

INSPECCION VISUAL DE UNIONES SOLDADAS (REF.9)

APARIENCIA	[ Regularidad de la superficie del cordon. Forma de la soldadura.
DEFECTOS SUPERFICIALES	[ Sobremontas Protuberancias Socavado Fisuras Cráteres
DIMENSIONES	[ Tolerancias Sobre-espesor del cordón Extensión del cordón
TRATAMIENTO	[ Remoción de salpicaduras Remoción de escoria Remoción de material extraño a la soldadura

---

manipulación incorrecta del electrodo, o tamaño impropio del mismo.

d) Socavados: resulta de una pobre selección de procedimientos, debido a electrodos demasiados grandes o corriente, voltaje o velocidad del arco excesiva.

Como se dijo al comienzo, la inspección visual puede ser hecha antes, durante y después de la soldadura.

Inspección antes de soldar: incluye verificación de que el correcto proceso y procedimiento estén bien empleados. Las piezas a ser unidas serán chequeadas para rectitud, lisura y dimensiones. Los materiales serán examinados para ver si satisfacen especificaciones de calidad, tipo, tamaño y las materias extrañas como pinturas, grasas, aceites, películas de óxido y escamas serán removidas.

Inspección durante la soldadura: en este punto la inspección visual es crítica en el paso de raíz en las soldaduras de múltiples pases, donde esta tiende a fisurarse debido a la tendencia a solidificarse rápidamente y propensa a atrapar



gases y escoria.

Inspección después de la soldadura: es utilizada para evaluación de la calidad. Los defectos superficiales pueden ser detectados y puede requerirse una reparación de la soldadura. Las variaciones dimensionales de tolerancias y defectos en apariencia son detectados.

## **PARTICULAS MAGNETICAS**

Es un método para localizar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos (Ref. 10 ).

Los defectos superficiales son fácilmente detectables usando yugos o electrodos de contacto. Para detecciones de discontinuidades superficiales, como inclusiones de escoria, vacíos e inadecuada penetración en la raíz de la unión, magnetización con electrodos de contacto es mejor, usando corriente de media onda y polvo seco.

Los electrodos de contacto son espaciados adyacentes al cordón de soldadura para fisuras

paralelas y en los lados opuestos para fisuras transversales en uniones de planchas ranuradas, la figura N°17 nos presenta el posicionamiento de este tipo de electrodo en el ensayo por Partículas Magnéticas en uniones a tope y en-T.

Los yugos, usando corriente alterna, directa o de media onda son adecuadas para detectar discontinuidades superficiales en uniones soldadas.

Los polos del yugo deben ser colocados sobre los lados opuestos de la soldadura para localizar fisuras paralelas al cordón y adyacente al cordón para localizar fisuras transversales. La figura N°18 nos indica el uso del yugo en el ensayo por partículas magnéticas en soldaduras a tope. Las uniones soldadas en-T no son muy indicadas para ser inspeccionadas utilizando este tipo de magnetización porque presentará indicaciones no-relevantes.

La Tabla XIX nos presenta distintos espaciamientos de los electrodos de contacto y amperaje requerido en función del espesor del material. En cuanto a la preparación de la superficie donde se aplicará estos ensayos, estas deben estar limpias

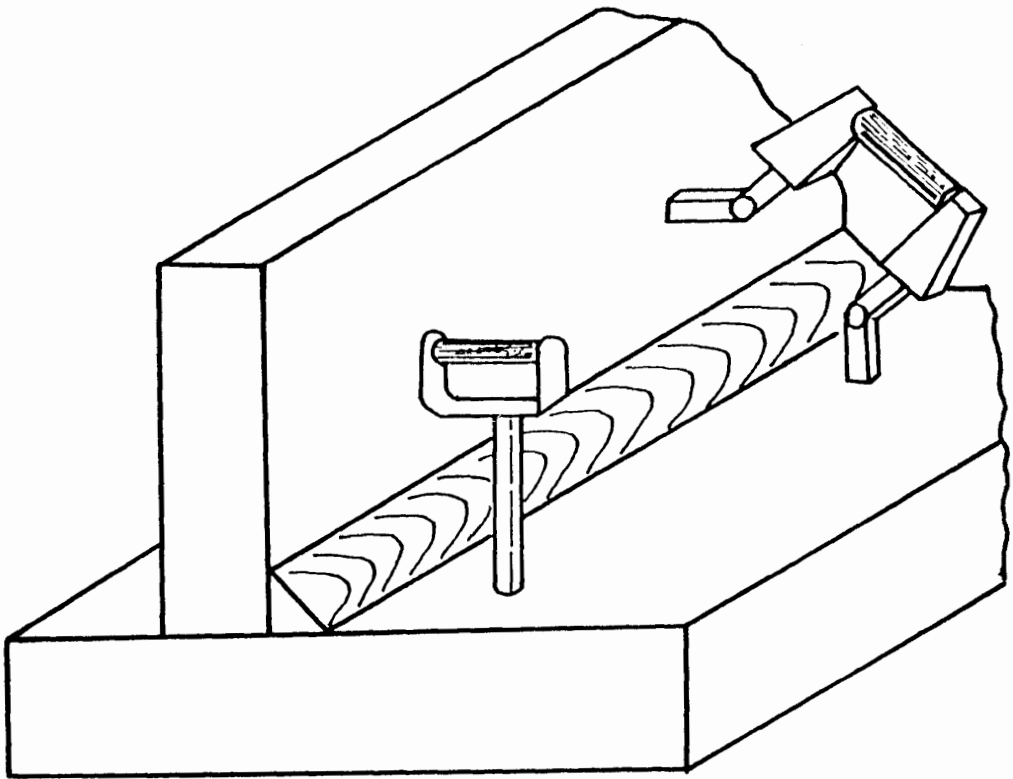
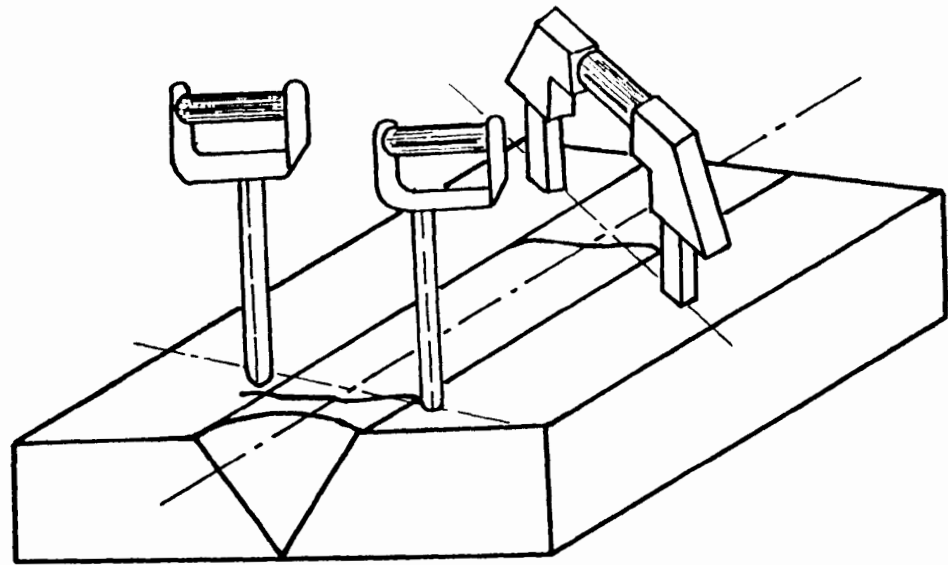


Fig.17 Ensayo por Partículas Magnéticas (Ref. 10)

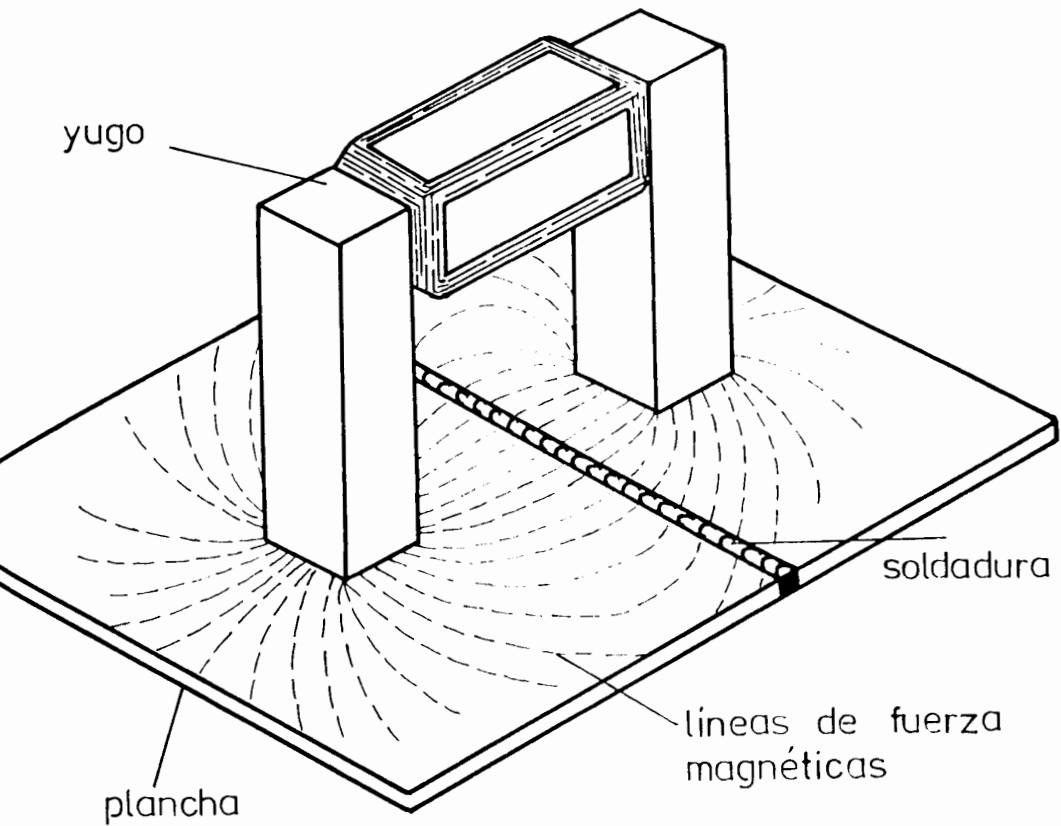


Fig. 18 Uso de Yugo en el Ensa-  
yo por Partículas Mag-  
néticas (Ref. 10)

TABLA XIX

ESPACIAMIENTO DE LOS ELECTRODOS DE CONTACTO Y AMPERAJE  
REQUERIDO ( REF. 11 )

ESPACIAMIENTO ELECTRODOS* PULGADAS ( mm )	ESPOSOR DE SECCION , PULGADAS	
	< 3/4	> 3/4
2 A 4 (51 A 102)	200 AMP. A 300 AMP.	300 AMP. A 400 AMP.
4 A 6 (102 A 152)	300 AMP. A 400 AMP.	400 AMP. A 600 AMP.
6 A 8 (152 A 203)	400 AMP. A 600 AMP.	600 AMP. A 800 AMP.

\* DISTANCIAS MENORES QUE 2 PULG. ( 51 mm ) NO SON FACTIBLES Y OTROS  
METODOS DE INSPECCION DEBEN SER EMPLEADOS.



BIBLIOTECA

y secas. Se debe utilizar cepillado o chorreo con arena para limpiar las soldaduras.

Los defectos como fisuras superficiales, sub-superficiales, en cráteres y porosidades sub-superficiales pueden ser interpretados de acuerdo con la forma de las partículas al ser magnetizadas.

Este tipo de inspección solo es aplicable a uniones soldadas no críticas en la estructura del puente, porque no es muy adecuada para inspeccionar grandes espesores.

#### 4.3. ULTRASONIDO

La inspección por ultrasonido es un método no-destructivo en que un haz de ondas sonoras de elevadas frecuencias que son introducidas en el material a ser inspeccionado son usadas para detectar defectos superficiales y sub-superficiales. Las ondas sonoras viajan a través del material con alguna pérdida de energía y son reflejadas en la interfase. El haz reflejado es detectado y analizado para definir la presencia y localización de defectos (Ref. 10 ).

Se utiliza esta técnica para la inspección de las uniones soldadas a tope que conforman la unión de almas en toda su longitud de soldadura.

El plano 7 presenta los detalles de la unión típica del alma. Toda soldadura a tope será ensayada desde cada lado del eje de la soldadura. Generalmente se utilizan frecuencias de 1.0 a 5.0 MHZ.

Modos de exploración: los modos de exploración se efectúan dependiendo si las discontinuidades son longitudinales o transversales.

1.) Discontinuidades longitudinales: hay 3 tipos de movimientos del transductor para inspeccionar, estos son A, B y C.

a.- Tipo A : ángulo de rotación,  $\alpha=10^\circ$  .

b.- Tipo B : distancia de exploración, b, será tal que la sección de la soldadura a ensayarse es cubierta.

c.- Tipo C : distancia de progresión, c, será aproximadamente la mitad del

ancho del transductor.

2.) Discontinuidades transversales: los movimientos del transductor serán D y E.

a.-Tipo D: aplicable sobre el cordón, cuando las soldaduras están limpias.

b.- Tipo E: ángulo de exploración,  $e=15^\circ$ , como máximo.

La figura N° 19 presenta una inspección por ultrasonido mostrando todos los tipos de movimientos del transductor.

Los procedimientos de inspecciones específicas recomendadas para configuraciones de soldaduras a tope y en -T son detallados en la Tabla XX.

La figura N°20a presenta la técnica 1, utilizada para inspeccionar soldaduras a tope utilizando ondas transversales. La figura N°20b y figura N°20c muestran técnicas suplementarias para la inspección ultrasónica de uniones a tope cuando la soldadura está a rás con el metal



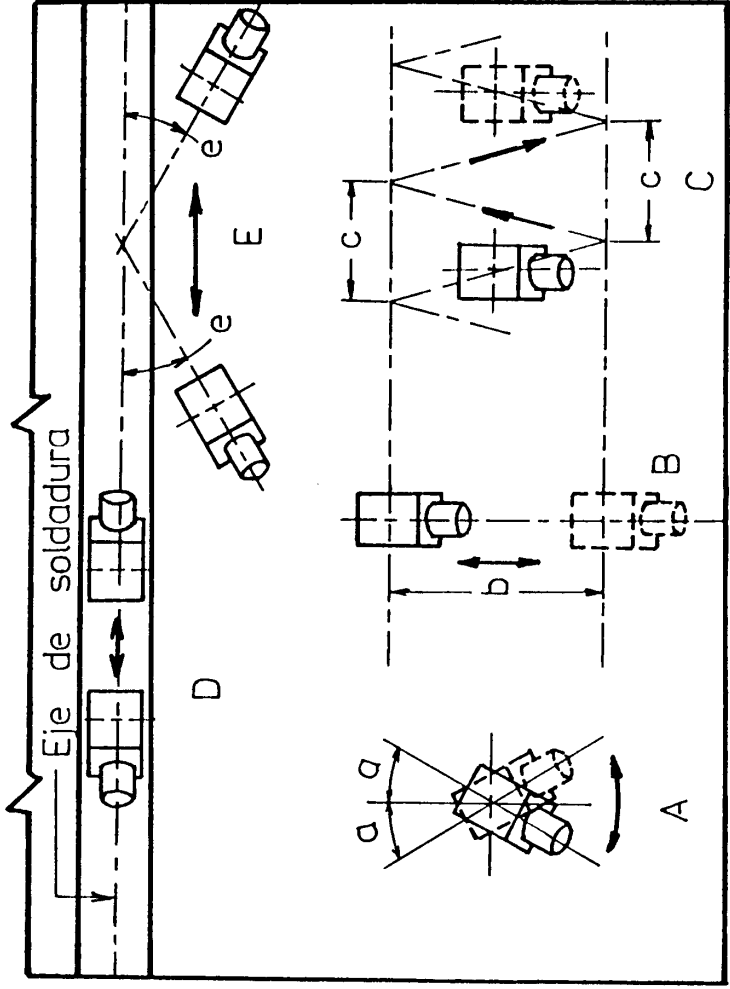
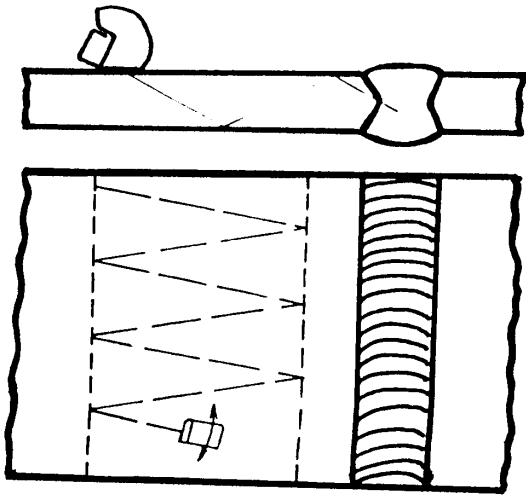


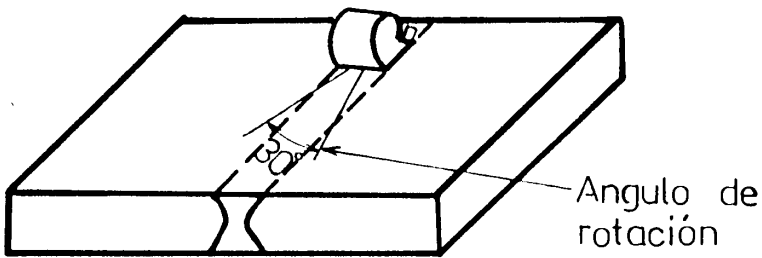
Fig. 19 Inspección por Ultrasonido mostrando todos los movimientos del transductor (Ref. 1)

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION RECOMENDADOS PARA CONFIGURACIONES DE SOLDADURAS  
A TOPE Y EN-T ( REF.11)

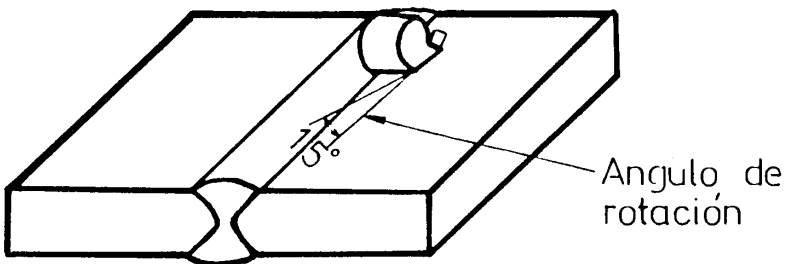
TIPO DE SOLDADURA	ESPESOR GARGANTA SOLDADA					
	> 1/2" ( 12 MM )		1/2" A 1-1/2" ( 12 - 38 MM )		1-1/2" A 2-1/2" ( 38 - 63 MM )	
	PRIMARIO	TOPE 1/4	PRIMARIO	TOPE 1/4	PRIMARIO	TOPE 1/4
TOPE : -----						
ANGULO RECOMENDADO (°)	70	70	70 0 60	45 0 60	70, 60, 45	45 0 60
TECNICA SUGERIDA	1	1	1	1	1	1
EN--I--						
CARA A						
ANGULO RECOMENDADO (°)	70		70 0 60	70 0 60	70, 60 0 45	
TECNICA SUGERIDA	2		2	2	2	
CARA B						
ANGULO RECOMENDADO (°)	70		70 0 60	70 0 60	70, 60 0 45	
TECNICA SUGERIDA	2		2	2	2	
CARA C						
ANGULO RECOMENDADO (°)	RECTO, 70		RECTO (70 0 45)	RECTO (70 0 45)	RECTO, 45	
TECNICA SUGERIDA	2		2	2	2	



a.-TECNICA 1



b.-SOLDADURA A RAS .  
TECNICA SUPLEMENTARIA



c.-SOLDADURA CONVEXA .  
TECNICA SUPLEMENTARIA

Fig.20 Inspección de soldaduras a tope (Ref.11)

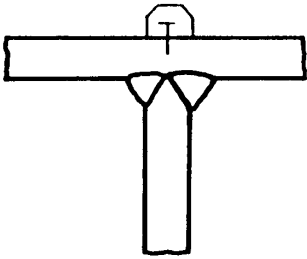
base y cuando no , respectivamente.

La figura N°21 presenta los procedimientos de inspección ultrasónica para soldaduras de uniones soldadas en -T, técnica 2 en sus literales a,b,c y d.

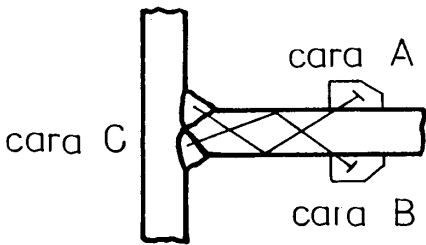
#### 4.4. RADIOGRAFIA

Inspección de uniones soldadas utilizando radiografía es una técnica no-destructiva utilizada para determinar la calidad de las soldaduras, por medio de radiaciones capaces de penetrar a través de los materiales. Los rayos X ó Gamma son dos tipos de radiaciones electromagnéticas utilizadas para penetrar materiales opacos. Una película sensible se sitúa en la parte posterior de la soldadura para obtener un registro permanente de la estructura interna de la misma (Ref. 5 ).

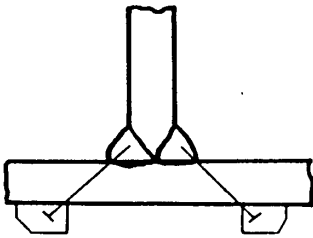
Cuando las radiaciones pasan a través de una soldadura sana, de espesor constante, inciden sobre la película con intensidad uniforme, produciendo una imagen sin manchas. Por el contrario, si la pieza tiene defectos tales como sopladuras, inclusiones, falta de penetración o fisuras, la radiación pasa con mayor facilidad a través de



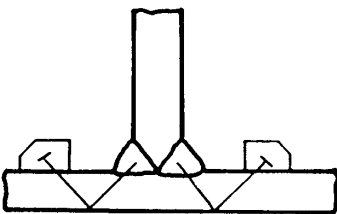
a) Inspección de la zona de fusión utilizando transductor normal



b) Inspección de la soldadura desde las caras A y B



c) Inspección de la soldadura desde la cara C



d) Posición alternativa para inspeccionar la soldadura

Fig.21 Procedimientos de Inspección Ultrasonica para Uniones soldadas en-T (Ref. 9)

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 .

Este tipo de ensayo se aplicará en las uniones soldadas a tope en transición entre alas y en las uniones en -T, donde se requerirá inspeccionar en un 100% debido a que estas uniones son consideradas críticas para la confiabilidad y seguridad de la estructura. La figura N°22 indica los lugares donde se procederá a colocar las placas radiográficas. Este método es el más sensible y se lo utiliza más en la inspección de las uniones soldadas de la estructura del puente por dar mayor seguridad de que la estructura sea confiable. El plano 7 indica los detalles de las uniones que conforman tanto el ala superior como inferior que serán inspeccionadas por este método.

Las uniones a tope con ranuras cuadradas también pueden ser satisfactoriamente inspeccionadas con una vista normal, como se aprecia en la figura N°23 a.

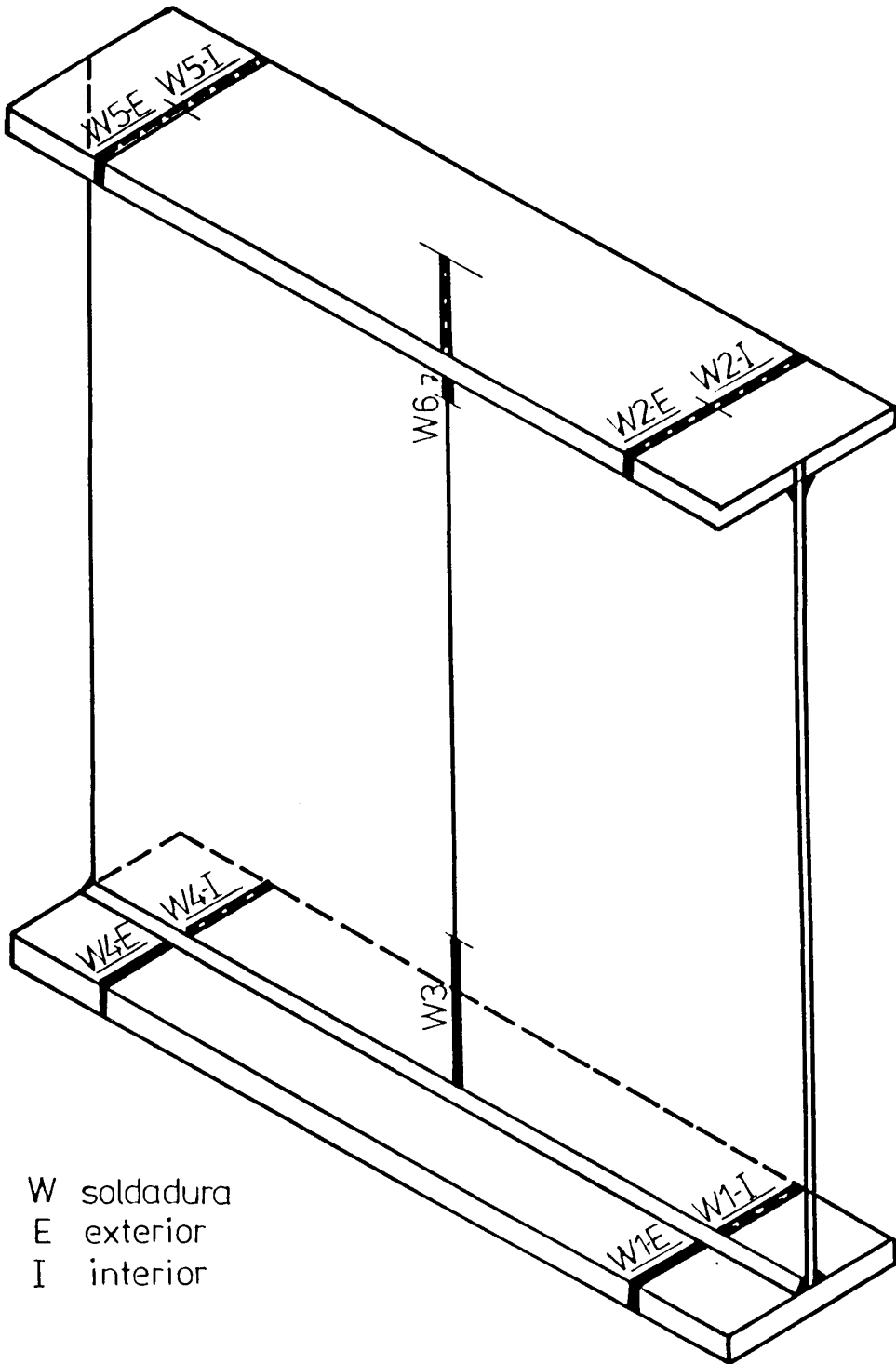


Fig.22 Ubicación de placas radiográficas

Las uniones ranuradas en -V, uniones biseladas, uniones con filete, requieren dos vistas, una paralela a cada borde preparado, figura N°23 b.

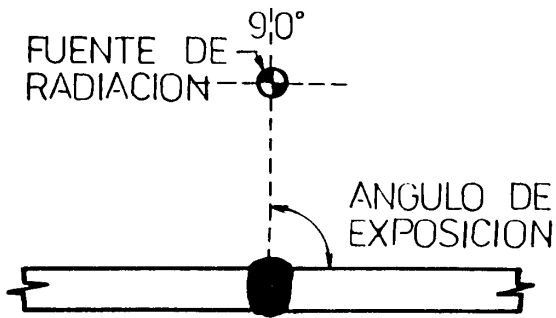
Las uniones en -T que son soldadas en ambos lados usualmente requieren dos exposiciones, una para cada filete, como se presenta en la figura N°23 c.

#### 4.5. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

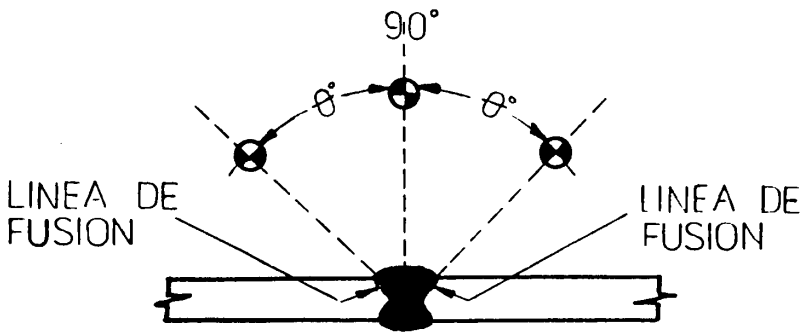
Inspección visual : Una soldadura será aceptable por inspección visual ,si muestra que (Ref.1 ):

- La soldadura no tenga fisura.
- Existe completa fusión entre las capas adyacentes del metal depositado y entre el metal depositado y el metal base.
- Los contornos de la soldadura estén de acuerdo con la figura N°24.
- Socavaciones no serán mayor que 0.01 pulg.(0.25 mm ) de profundidad cuando la soldadura es transversal a los esfuerzos tensiles primarios; y no será mayor que 1/32 pulg. (0.8 mm) de profundidad cuando la soldadura es paralela a los esfuerzos primarios.

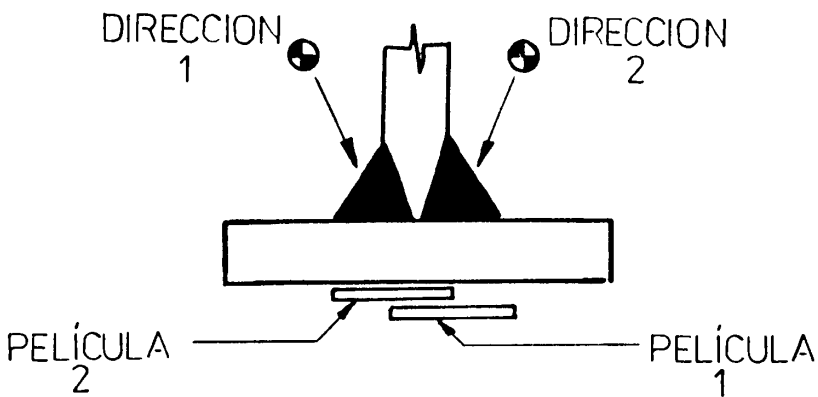




a.- A TOPE

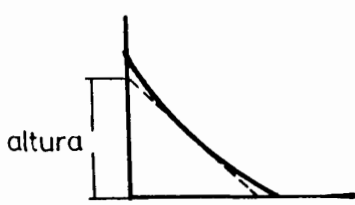


b.- EN -V

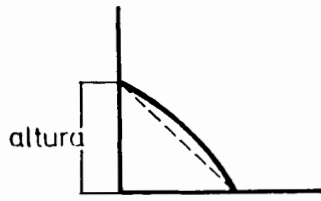


c.- EN -T

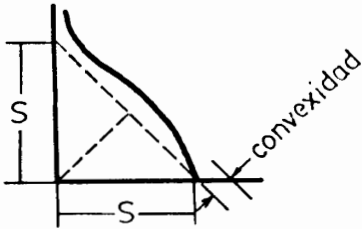
Fig.23 Inspección de uniones  
(Ref. 10)



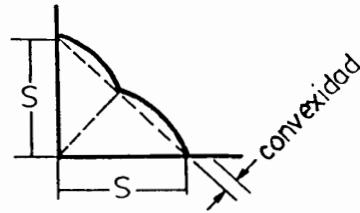
FORMAS



DESEABLES



FORMAS ACEPTABLES



garganta  
insuficiente



falta de  
fusión



mordedura  
excesiva

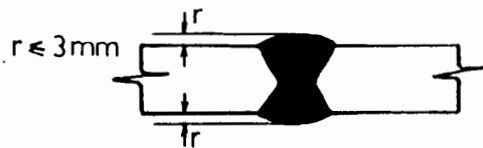


falta de  
material



convexidad  
excesiva

CORDONES DEFECTUOSOS



UNION A TOPE  
ACEPTABLE



convexidad  
excesiva



falta de  
material



mordeduras  
excesivas



falta de  
fusión

UNIONES A TOPE DEFECTUOSAS

Fig. 24 Contornos de Soldadura  
(Ref. 1)

- Soldaduras ranuradas de penetración completa en uniones a tope transversal a la dirección de los esfuerzos tensiles no tendrán porosidades. Para todas las otras soldaduras ranuradas , la frecuencia de porosidades no excederán de 1 en 4 pulg.(102 mm) de longitud y el diámetro máximo no excederá de 3/32 pulg.(2.4 mm).
- En soldadura de alas a alma sobre vigas, ningún corrimiento por debajo es permitido en los extremos por una longitud igual a dos veces el ancho de las alas.

Inspección por partículas magnéticas y radiografía : Las soldaduras que estén sujetas a ensayos por partículas magnéticas o radiografía en adición a la inspección visual no tendrán fisuras y serán inaceptables si estos ensayos muestran algunas de las siguientes discontinuidades típicas (Ref. 1 ):

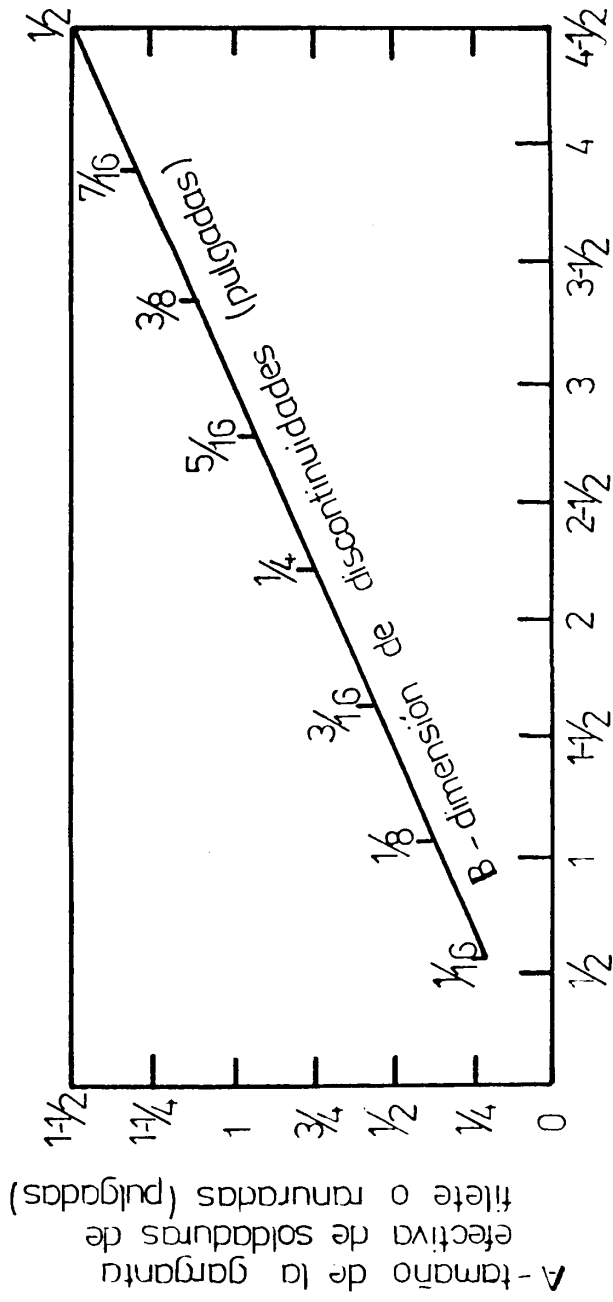
- Para soldaduras sujetas a esfuerzos tensiles bajo alguna condición de carga, las dimensiones mayores de alguna discontinuidad tipo porosidad o falta de fusión de 1/16" (1.6 mm) o mayor en sus dimensiones mayores no excederán

del tamaño B, indicado en la figura N°25 para la garganta efectiva o tamaño de la soldadura envuelto. La distancia desde alguna porosidad o fusión descrita arriba a otra discontinuidad, un borde o a la raíz de alguna intersección soldada ala-alma no será menor que los mínimos permisibles C, indicado en la figura N°25, para el tamaño de la discontinuidad bajo examinación.

- Para soldaduras sujetas a esfuerzos compresivos la mayor dimensión de porosidades y discontinuidades debido a la falta de fusión que sean de  $1/8$  " (3.2 mm) ó mayor en su dimensión más grande no excederán el tamaño B; y el espaciamiento entre discontinuidades adyacentes no serán menor que las mínimas tolerancias permisibles, C, indicadas en la figura N°26 para el tamaño de la discontinuidad bajo examinación.

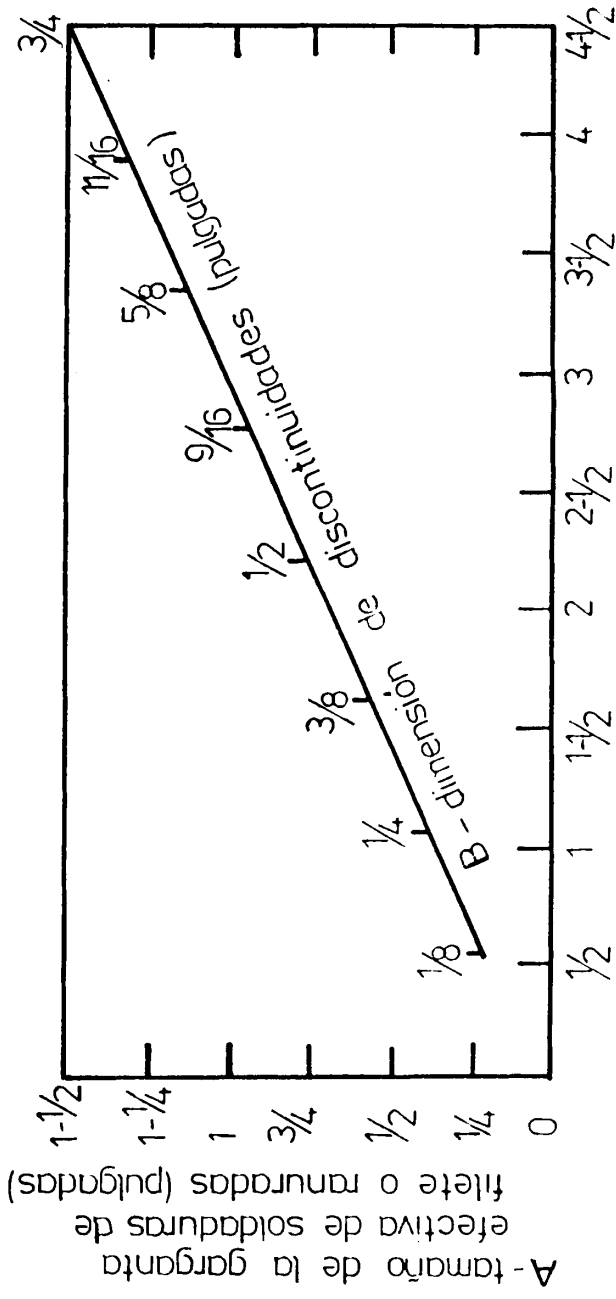
- Discontinuidades menores que  $1/16$ " (1.6 mm) serán inaceptables si la suma de las dimensiones mayores exceden de  $3/8$ " (9.5 mm) en una pulgada lineal de soldadura.

- Las limitaciones dadas por la figura N°25 y



C - mínimo espaciamiento medido a lo largo del eje longitudinal de la soldadura entre bordes de porosidades o discontinuidades tipo fusión (pulgadas)

Fig.25 Limitaciones de defectos en soldaduras a Tensión (Ref. 1)



C - mínimo espaciamiento medido a lo largo del eje longitudinal de la soldadura entre bordes de porosidades o discontinuidades tipo fusión (pulgadas)

Fig.26 Limitaciones de defectos en soldaduras a Compresión (Ref.1)

figura N° 26 para 1-1/2" (38.1 mm) de garganta efectiva serán aplicables a todas las gargantas efectivas mayores que 1-1/2" de espesor.

Inspección por ultrasonidos: soldaduras que estén sometidas a ensayos de ultrasonidos en adición a inspección visual serán aceptables si ellas cumplen con los siguientes requerimientos:

- Soldaduras sujetas a esfuerzos tensiles bajo alguna condición de carga será conforme a los requerimientos de la Tabla XXI.
  
- Soldaduras de alma a alas de completa penetración será conforme a los requerimientos de Tabla XXII.

TABLA XXI

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO POR ULTRASONIDO PARA SOLDADURAS  
SUJETAS A ESFUERZOS TENSILES (REF.1)

CLASE SEVERIDAD DEFECTO	ESPESOR DE SOLDADURA Y ANGULO UNIDAD DE EXPLORACION									
	$\frac{5}{16}$ " A $\frac{3}{4}$ "		$\frac{1}{2}$ " A $\frac{1}{2}$ "		$\frac{1}{2}$ " A $\frac{1}{2}$ "		$\frac{1}{2}$ " A $\frac{1}{2}$ "		$\frac{1}{2}$ " A $\frac{1}{2}$ "	
	70°	70°	70°	50°	45°	70°	60°	70°	60°	45°
CLASE A	+ 10	+ 8	+ 4	+ 7	+ 9	+ 1	+ 4	+ 6	+ 7	+ 8
CLASE B	+ 11	+ 9	+ 5	+ 8	+ 10	+ 2	+ 5	+ 7	+ 8	+ 9
CLASE C	+ 12	+ 10	+ 7	+ 10	+ 12	+ 4	+ 7	+ 9	+ 10	+ 11
CLASE D	+ 13	+ 11	+ 9	+ 12	+ 14	+ 6	+ 9	+ 10	+ 11	+ 12

- CLASE A ( DEFECTOS GRANDES ) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA SERA RECHAZADA ( SIN CONSIDERAR LONGITUD ).

- CLASE B ( DEFECTOS MEDIOS ) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA QUE TENGAN UNA LONGITUD  $> \frac{3}{4}$  " ( 19 MM ) SERA RECHAZADA.

- CLASE C ( DEFECTOS PEQUEÑOS ) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA TIENEN-DO UNA LONGITUD  $> 2$  " ( 51 MM ) EN LA MITAD O  $\frac{3}{4}$  " ( 19 MM ) DE LONGITUD EN LA CUARTE PARTE DE LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR DEL ESPESOR DE SOLDADURA SERA RECHAZADA.

- CLASE D ( DEFECTOS MENORES ) : TODA INDICACION SERA ACEPTADA SIN CONSIDERAR LONGITUD O LOCALIZACION EN LA SOLDADURA.



# TABLA XXII

## CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO POR ULTRASONIDO PARA SOLDADURAS DE ALMA A ALAS DE COMPLETA PENETRACION (REF. 1)

CLASE SEVERIDAD DEFECTO	ESPESOR DE SOLDADURA Y ANGULO DE UNIDAD DE EXPLORACION									
	5/16 A 3/4"		> 3/4" A 1-1/2"		> 1-1/2" A 2-1/2"		> A 4"			
	70°	70°	70°	50°	45°	70°	60°	60°	45°	45°
DEFECTO A	+ 5 &	+ 2 &	- 2 &	+ 1 &	+ 3 &	- 7 &	- 4 &	- 4 &	- 1 &	- 1 &
DEFECTO B	+ 6	+ 3	- 1	+ 2	+ 4	- 6	- 3	- 3	0	+ 1
DEFECTO C	+ 7	+ 4	+ 1	+ 4	+ 6	- 4	- 1	+ 2	+ 2	+ 3
DEFECTO D	+ 8 &	+ 5 &	+ 3	+ 6	+ 8	+ 3 &	+ 3 &	+ 3 &	+ 4 &	+ 4 &

- CLASE A (DEFECTOS GRANDES) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA SERA RECHAZADA (SIN CONSIDERAR LONGITUD).

- CLASE B (DEFECTOS MEDIOS) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA QUE TENGAN UNA LONGITUD > 3/4" (19 MM) SERA RECHAZADA.

- CLASE C (DEFECTOS PEQUEÑOS) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA TENIENDO UNA LONGITUD > 2" (51 MM) EN LA MITAD O 3/4" (19 MM) DE LONGITUD EN LA CUARTA PARTE DE LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR DEL ESPESOR DE SOLDADURA SERA RECHAZADA.

- CLASE D (DEFECTOS MENORES) : ALGUNA INDICACION EN ESTA CATEGORIA SERA ACEPTADA SIN CONSIDERAR LONGITUD O LOCALIZACION DE LA SOLDADURA.

## CAPITULO V

### ANALISIS ECONOMICO

Un análisis de costos es requerido en toda obra que involucre el uso de soldadura. Hay fórmulas matemáticas que han sido desarrolladas para la determinación de costos, además se pueden utilizar tablas y curvas obtenidas por personas o compañías que tienen experiencias en trabajos de soldadura.

#### 5.1. FACTORES CONSIDERADOS

Los factores considerados dentro del proceso de soldadura manual al arco eléctrico son:

- Amperaje ..... (amperios)
- Voltaje ..... (voltios)
- Diámetro del electrodo ..... (pulg. o mm)
- Costo de electrodo por kilogramo ..... (\$/kg)
- Velocidad de soldeo ..... (pulg/minuto)
- Eficiencia del trabajo de soldadura.... (%)
- Eficiencia de depósito..... (%)

- Salario de soldadores..... (\$)
- Gastos generales ..... (\$)
- Costos de energía eléctrica ..... (\$/kw.hora)
- Eficiencia de la máquina ..... (%)

Estas condiciones presentadas varían con cada aplicación .

## 5.2. CALCULO DE COSTOS

El costo en producir una soldadura es básicamente los costos combinados de materiales y labores.

Los costos de materiales consiste en los costos de electrodos y otros materiales consumibles. Los costos de labores incluyen la mano de obra y también se toma en cuenta un margen para gastos generales.

Dentro de los gastos generales entran: costos de supervisión, servicio de porteros y mantenimiento, amortización y reparación de equipos, costos de calentamiento y alumbrado.

Hay tres tipos de costos que son importantes calcularlos dentro de este trabajo, estos son:

- 1.- Cantidad de material depositado
- 2.- Tiempo de soldadura
- 3.- Energía utilizada

5.2.1. MATERIAL DEPOSITADO: muchos métodos de cálculo del peso del electrodo consumido por m. lineal de soldadura (WE), se basan sobre una estimación del peso del metal de aporte depositado (WW). Existen varios métodos para encontrarlo. El método más directo es seleccionar valores de (WW) de la Tabla XXIII y Tabla XXIV, para varias configuraciones de cordones.

El costo del electrodo por m. lineal de soldadura está dado por la fórmula siguiente:

$$\frac{S/.}{m} = \frac{C E * W W}{\eta_e} \quad ( 14 )$$

donde:

C E = Costo del electrodo (\$/ kg)

W W = Peso del metal depositado por m de

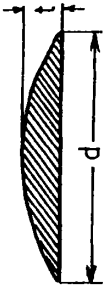
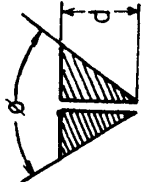
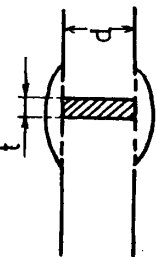



DIMENSION DE PULGADAS (MM)		ANGULO INCLUIDO $\phi$			
		60°	70°		
1/8 (3.2)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	60°	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)
3/16 (4.8)	0.040		0.046	0.055	0.079
1/4 (6.4)	0.052		0.103	0.125	0.119
			0.183	0.222	0.158
5/16 (8.0)	0.066		0.286	0.346	0.198
3/8 (9.6)	0.079	0.158	0.411	0.498	0.237
1/2 (12.7)	0.106	0.212	0.732	0.887	0.316
3/4 (19.0)	0.165	0.316	1.654	1.997	0.474

TABLA XXIV

PESO DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO PARA UNIONES  
EN FILETE (REF.6)

	<p><b>PLANA</b></p> 	<p><b>CONVEXA</b></p> 	<p><b>CONCAVA</b></p> 
<p><b>TAMANO DEL FILETE PULG (mm)</b></p>	<p><b>PESO DEL METAL (KGS/M)</b></p>		
1/8 (3.2)	0.048	0.058	0.055
3/16 (4.8)	0.107	0.130	0.124
1/4 (6.4)	0.192	0.231	0.219
5/16 (8.0)	0.299	0.361	0.343
3/8 (9.6)	0.430	0.520	0.493
7/16 (11.2)	0.587	0.708	0.672
1/2 (12.7)	0.766	0.924	0.878
9/16 (14.4)	0.970	1.170	1.110
5/8 (16.0)	1.198	1.445	1.371
3/4 (19.2)	1.728	2.086	1.967

soldadura (kg/m)

$n_d =$  Eficiencia de deposición (%)

La eficiencia de deposición es del 65% para los diferentes electrodos utilizados.

Si la geometría del cordón no está registrada en las tablas mencionadas anteriormente se puede calcular (WW) con el siguiente procedimiento:

- 1.- Hallar el área de la sección transversal del cordón de soldadura.
- 2.- Encontrar el volumen del metal requerido, multiplicando el área de la sección transversal del cordón por la longitud de soldadura.
- 3.- Calcular el peso del metal requerido, multiplicando el peso específico del hierro por el volumen del metal requerido.
- 4.- El peso de soldadura requerido lo dividimos para la eficiencia del electrodo y nos da la cantidad necesaria del electrodo a comprar



5.- Costo del metal de aporte lo hallamos multiplicando el valor de cada kilogramo de electrodo por el número de kilogramos que necesitamos.

Los costos de la cantidad de electrodos requeridos para realizar las diferentes uniones se presentan detalladamente en la Tabla XXV.

5.2.2. TIEMPO DE SOLDADURA: Valores de  $t_s$  tiempo de soldadura pueden ser encontrados por varios métodos una vez que la longitud y tamaño de las soldaduras han sido determinadas. Hay tres maneras para estimar el tiempo actual de soldadura: (Ref. 4 ):


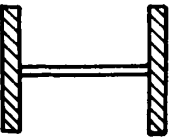
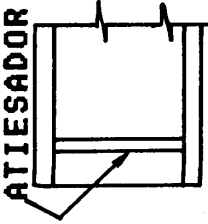
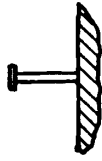
1.- Con los datos obtenidos de la geometría del cordón convertirlos en peso de metal depositado por pie lineal y total para la obra entera. Determino la velocidad de deposición dada la corriente de soldadura y con eso encuentro el tiempo del arco.





2.- Si los datos de soldadura están



TABLA XXV

CALCULO DE COSTOS DE LA CANTIDAD DE ELECTRODOS REQUERIDOS

	ALMA	VIGA METALICA	ATIESADOR	CONECTOR de CORTE
				
DIMENSION	d = 3/8 t = 1/8	w = 1/4	w = 1/4	
CARACTERISTICAS				
TABLA	XXIII	XXIV	XXIV	
PESO DEL METAL DE SOLDADURA				0.0206 1bs/perno
DEPOSITADO ( lb/pie )	0.159	0.129	0.129	
LONGITUD DE SOLDADURA (pies)	36	2976.4	1438.38	4850 pernos
SOLDADURA REQUERIDA (KGS)	4	268.5	130	70
COSTO ELECTRODO (\$/ / KG)	2293	2293	2293	2293
COSTO TOTAL DE SOLDADURA (\$/)	9172.00	615670.50	298090.00	160510.00

	ALA SUPERIOR		ALA INFERIOR	
SEGMENTO ( # )				
DIMENSION	t=1/8 d=3/8	t=1/8 d=1/2	t=1/8 d=3/4	t=1/8 d=5/16
CARACTERISTICA	0=60°	0=60°	0=60°	0=60°
TABLA	XXIII			
PESO DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO (lb/pie)	0.106	0.212	0.139	0.192
TOTAL	0.212	0.212	0.318	0.384
PESO DEL METAL DE SOLDA- DURA DEPOSITADO UNION ( lbs/pie )	0.562			
LONGITUD DE SOLDADURA (pies)	24			
SOLDADURA REQUERIDA (Kgs)	7.3			
COSTO ELECTRODO (\$/Kg)	2293			
COSTO DE SOLDADURA APROX. (\$)	18114.70			
				38063.80

disponibles en tablas, dando la velocidad de avance del arco para varios tipos y tamaños de soldadura en términos de pulgada/minuto aplicable a la longitud total de cada tipo y tamaño de la soldadura.

3.- Conociendo el tiempo real de soldadura en la obra.

El tiempo en horas/pie requerido para completar la soldadura es encontrado con la ecuación:

$$t_w = \frac{WW}{D} \quad ( 15 )$$

donde:

$t_w$  = tiempo de soldadura ( horas/pie ).

D = velocidad de deposición (Kg/hora).

El tiempo real del arco es considerado solamente durante el tiempo que el soldador está aplicando o produciendo la soldadura del metal. Mientras ensamble, posicione y punteé, el soldador está preparando la unión. Cuando remueva la

unión desde su posición o limpie una soldadura, él está ejecutando la operación necesaria para continuar.

El tiempo muerto máximo entre pases de soldadura aplicables en estos trabajos es de 6 minutos.

La Tabla XXVI estima diversos valores de tiempo empleados en la soldadura de las diferentes uniones.

5.2.3. Energía utilizada: Los costos de energía utilizada pueden ser calculados por medio de la fórmula :

$$CEU = \frac{\text{Volt} * A * (\$/ \text{kw-hora})}{V_m * n_m * 5000} \quad ( 16 )$$

donde:

Volt = voltaje (voltios)

A = amperaje (amperios)

$V_m$  = velocidad del arco (pulg./minuto)

$n_m$  = eficiencia de deposición ( % )

CEU= costo energía utilizada ( \$ )

**TABLA XXVI**

**COSTOS APROXIMADOS DEL TIEMPO A UTILIZARSE EN SOLDADURA**

<b>TIPO DE UNION SOLDADA</b>	<b>TIEMPO A UTILIZARSE (dias/viga)</b>	<b>TRABAJADORES A EMPLEARSE</b>	<b>SALARIO (\$/dia)</b>	<b>COSTOS PARCIALES</b>	<b>COSTOS TOTALES (\$/viga)</b>
<b>VIGA (TALLER)</b>	<b>3</b>	<b>2-soldadores primera</b>	<b>5000</b>	<b>30000</b>	<b>43500</b>
		<b>1-ayudante</b>	<b>2500</b>	<b>7500</b>	
		<b>1-oficial</b>	<b>2000</b>	<b>6000</b>	
<b>CONECTORES DE CORTE (OBRA)</b>	<b>3</b>	<b>3-soldadores primera</b>	<b>5000</b>	<b>45000</b>	<b>58500</b>
		<b>1-ayudante</b>	<b>2500</b>	<b>7500</b>	
		<b>1-oficial</b>	<b>2000</b>	<b>6000</b>	

La Tabla XXVII presenta cálculos aproximados de costos de la energía utilizada en la soldadura de las diferentes uniones.

### 5.3. ESTIMACION DE COSTOS DE INSPECCION

Los costos de las inspecciones no-destructivas se dividen de la siguiente forma :

- Labores
- Materiales de ensayo
- Operacionales
- Generales


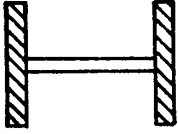
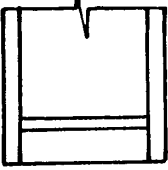
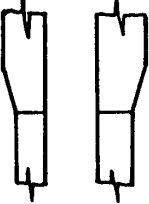
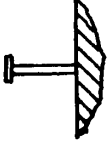
Hay varios factores que afectan estos costos, entre los principales tenemos (Ref. 10 ) :

- Cantidad de partes a ser inspeccionadas.
- Manipuleo de partes y equipos.
- Automatización del método de ensayo.
- Sensividad requerida.
- Defectividad de las partes encontradas por el ensayo.
- Personal calificado.

Los costos estimativos de los ensayos que se recomiendan efectuar a las diferentes uniones

TABLA XXVII

COSTOS APROXIMADOS DE LA ENERGIA UTILIZADA

( NUMERO DE UNION )	(1) ALMA 	(2) VIGA METALICA 	(3) ATIESADOR 	(4) ALAS 	(5) CONECTOR DE CORTE 
FORMULA	16	16	16	16	16
VOLTAJE (volt.)	28	28	28	28	28
AMPERAJE (amp.)	170	170	170	170	170
EFICIENCIA DE DISPOSICION %	65	65	65	65	65
VELOC. DEL ARCO (puls./min)	11	11	9	9	9
( \$/KW-HORA)	19	19	19	19	19
COSTO DE ENERGIA UTILIZADA (\$/PIE)	2.53	2.53	1.42	3.10	3.10

soldadas que conforman la estructura del puente  
son presentados en la Tabla XXVIII.



TABLA XXVIII

ESTIMACION DE COSTOS DE INSPECCION NO-DESTRUCTIVA

TIPO DE INSPECCION	LONG. A INSPEC. (pies)	DURACION (dias)	COSTOS PARCIALES	COSTO TOTAL ESTIMADO ( \$ )
PARTICULAS MAGNETICAS		3	100 000 (\$/DIA)	300 000
ULTRASONIDO	36	2	100 000 (\$/DIA)	240 000
RADIOGRAFIA	120	40		
<p>MATERIALES</p> <p>                     PELICULA ----- 612 000                      JGO QUIMICOS ----- 76 500                      CINTA ----- 35 700                      JGO. LETRAS ----- 9 500  <span style="float: right;">732 700</span> </p> <p>                     MANO DE OBRA                      RADIOLOGO ----- 200 000                      INSPECTOR ----- 400 000                      SECREATRIA ----- 100 000  <span style="float: right;">700 000</span> </p> <p>                     SUBTOTAL ----- 1432 000                      3% MOVILIZACION 42 960                      12% ADMINISTRACION 171 840                      25% VARIOS 353 000  <span style="float: right; border-top: 1px solid black;">2 004 800</span> </p>				

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- 1.- La construcción de un puente tipo compuesto acero-concreto es rápida, segura, económica y el puente es de fácil mantenimiento en comparación con un puente de concreto.
  
- 2.- Con este tipo de construcción se daría trabajo a nivel de mandos medios como son: ayudantes, soldadores, técnicos en montaje, topógrafos, etc., y también se requerirá de personal calificado como son: Ingenieros, Inspectores, etc.
  
- 3.- Tomando en consideración que este tipo de puente estará expuesto al medio ambiente, es necesario utilizar como material de construcción el acero ASTM A-588, que es cuatro veces más resistente a la corrosión que los aceros normales.
  
- 4.- La ejecución del control de calidad de las uniones soldadas, utilizando métodos de inspección no-destructivos como partículas magnéticas, ultrasonido y radiografía es de gran importancia para lograr que la construcción de la estructura del puente tenga mayor seguridad y confiabilidad.

5.- La aplicación de los distintos métodos de inspección recomendados originará un aumento en los costos de construcción, pero estos se justifican si se toma en consideración la inversión que demanda una obra de tal magnitud y el beneficio que prestaría.

### RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda que la construcción de este tipo de estructuras tome como referencia este trabajo y las normas y especificaciones a fin de que la integridad y calidad de los puentes estén acorde con los requerimientos de servicio.

2.- Debido a que en la actualidad las compañías constructoras extranjeras son las que ejecutan este tipo de obra, se recomienda que se fomente la ejecución de las mismas por parte de compañías nacionales utilizando personal nacional calificado, evitando de esta forma depender tecnológicamente y económicamente.

**A P E N D I C E S**

**A P E N D I C E    A**

**G L O S A R I O   D E   T E R M I N O S**

**ABERTURA DE RAIZ :** separación de la raíz de la unión entre las piezas de trabajo.

**ANGULO DE BISELADO :** el ángulo formado entre el borde preparado de un miembro y un plano perpendicular a la superficie del miembro.

**CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO :** demostración que las soldaduras hechas por un procedimiento específico pueden satisfacer normas.

**CALIFICACION DE SOLDADORES :** demostración de habilidad del soldador al producir soldaduras de acuerdo a Normas.

**CARA DE RAIZ :** porción de la cara de la ranura adyacente a la raíz de la unión.

**CARA DE LA SOLDADURA :** la superficie de una soldadura expuesta sobre el lado desde el cual la soldadura es hecha.

**CICLO DE TRABAJO :** expresado en porcentaje, indica el tiempo actual del arco comparado con el total de horas trabajadas. Usualmente referenciado a 10 minutos.



CONCAVIDAD : distancia máxima desde la cara de un filete cóncavo soldado perpendicularmente a la línea de unión de los catetos.

CORTE CON OXIGENO : proceso de corte usado para separar metales por medio de la reacción química entre el oxígeno y el metal base a elevada temperatura.

CRATER : una depresión en la terminación del cordón de soldadura.

DISCONTINUIDAD TIPO FUSION : discontinuidades asociadas con fusión como inclusión de escoria, fusión incompleta, penetración incompleta y similares.

DISCONTINUIDAD TRANSVERSAL : discontinuidad de soldadura cuya dimensión mayor es en una dirección perpendicular al eje de soldadura, x.

EFICIENCIA DE DEPOSICION : expresada en porcentaje, razón del peso del metal depositado al peso del metal de relleno consumido.

EJE DE SOLDADURA : una línea a través de la longitud de una soldadura, perpendicular al centro geométrico

de su sección transversal.

**GARGANTA DE SOLDADURA EN FILETE** : distancia que empieza en la raíz de la unión perpendicular a la hipotenusa del mayor triángulo recto que puede ser inscrito en la sección transversal de la soldadura.

**METAL BASE** : metal a ser soldado o cortado.

**METAL DE RELLENO** : metal a ser adicionado al efectuar una soldadura.

**POLARIDAD DIRECTA** : sinónimo para electrodo negativo y corriente directa.

**POLARIDAD INVERTIDA** : sinónimo para electrodo positivo y corriente inversa.

**POROSIDADES** : cavidad tipo discontinuidad formada por gases atrapados durante la solidificación.

**POSICION PLANA** : posición de soldadura usada al soldar desde la parte superior de la unión y la cara de la soldadura es aproximadamente vertical.

**POSICION SOBRECABEZA** : posición en que la soldadura



es ejecutada desde el lado debajo de la unión.

POSICION VERTICAL : posición de soldadura en que el eje de la soldadura es aproximadamente vertical.

PROCEDIMIENTO DE SOLDEO : el orden al hacer soldaduras en un elemento soldado.

SOBREMONTAS : protuberancias del metal de soldadura más allá de la raíz de la soldadura o del cateto de soldadura.

SOLDADURA CONTINUA : soldadura que se extiende continuamente desde un extremo de unión hacia el otro.

SOLDADURA A TOPE : indica una soldadura en una unión a tope.

UNION A TOPE : una unión entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.

UNION DE PENETRACION COMPLETA : penetración hecha por el metal de aporte para el espesor completo del metal base en una unión.

UNION -T : unión entre dos miembros localizados

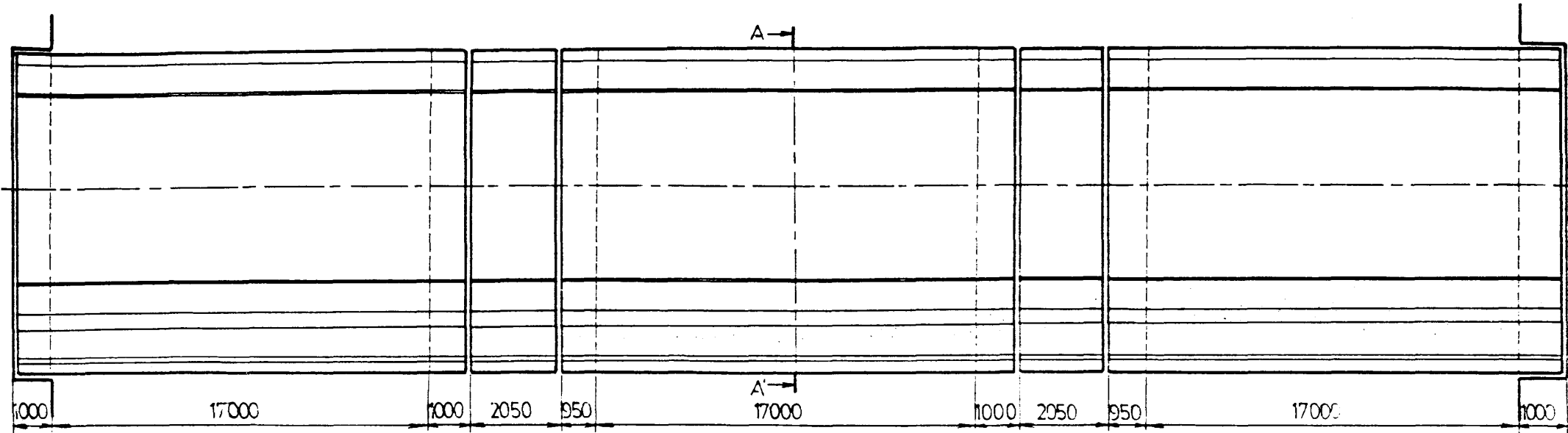
aproximadamente en ángulo recto en forma de -T.

VELOCIDAD DE DEPOSICION : peso del material depositado en una unidad de tiempo.

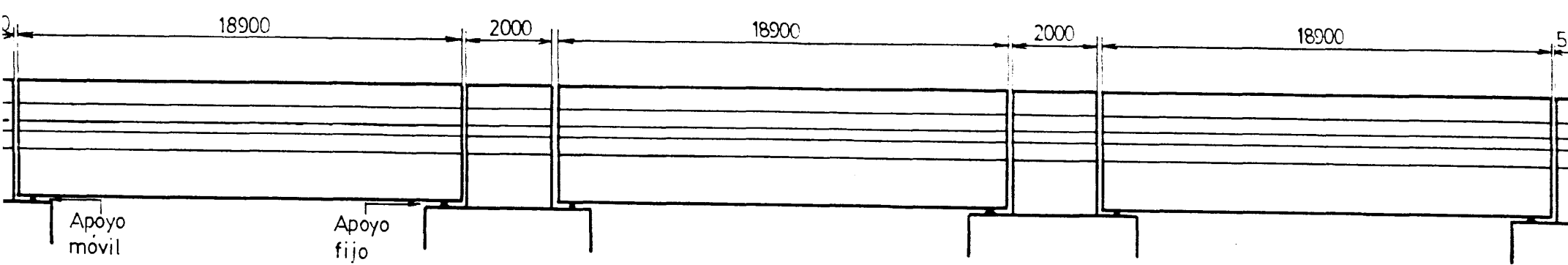
VOLTAJE CIRCUITO ABIERTO : el voltaje entre los terminales exteriores de la máquina de soldar cuándo ninguna corriente está fluyendo en el circuito de soldar.

**A P E N D I C E    B**

**P L A N O S**

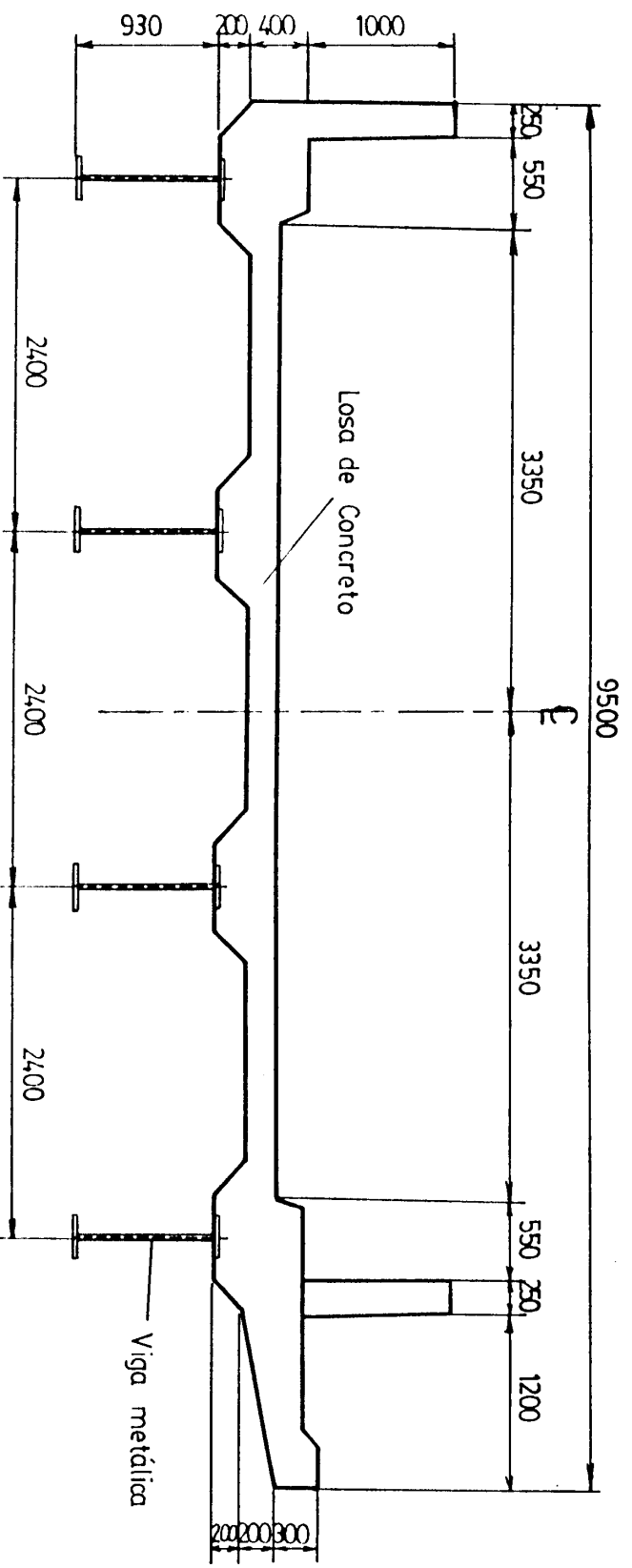


PLANTA



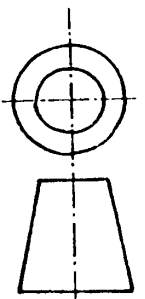
ELEVACION

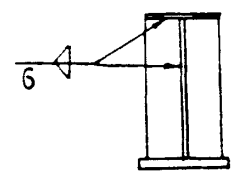
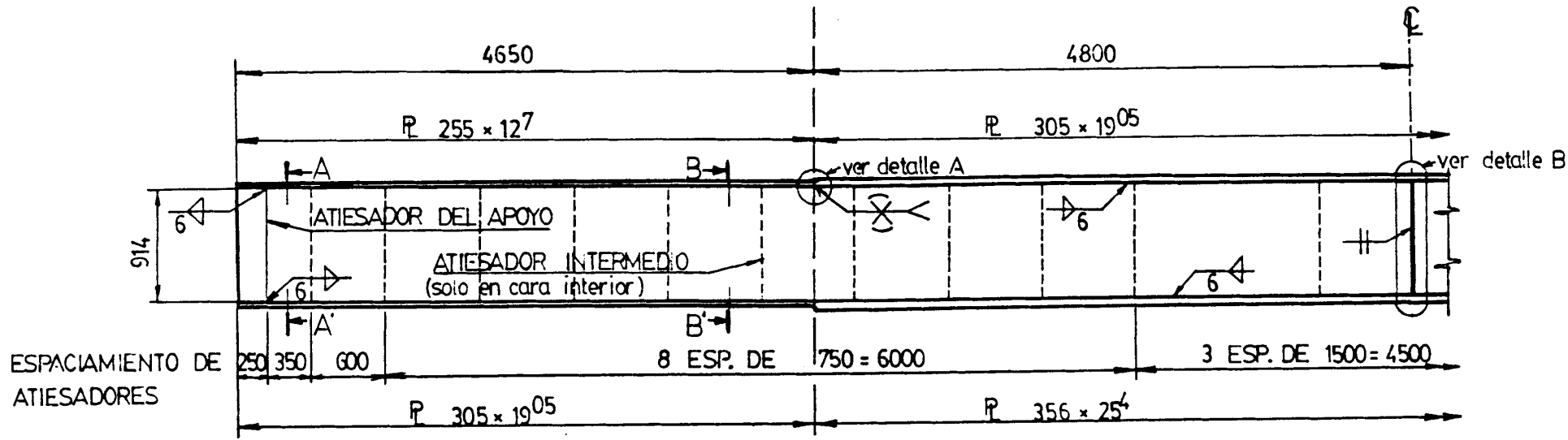
	Fecha	Nombre	FACULTAD de ING. MECANICA	ESPOL
Diseño				
Dibujó		E. Sánchez		
Revisó		O. Serrano		
Disposición general				



SECCION A-A'

Fecha	Nombre	<b>FACULTAD de ING.</b> <b>MECANICA</b>	<b>ESPOL</b>
Diseño			
Dibujó	ESánchez		
Revisó	O. Serrano		
Elevación de la unidad del Puente			
Plano			

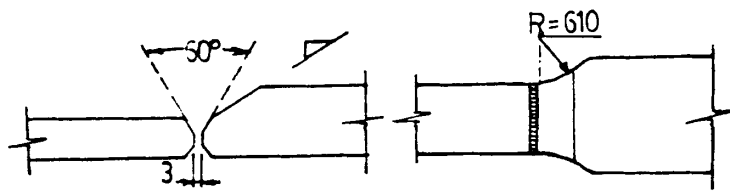




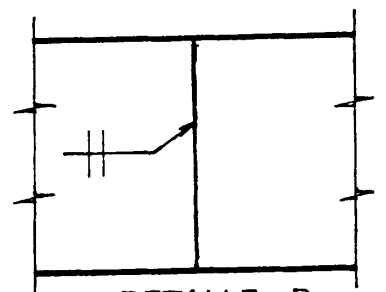
SECCION A-A'  
ATIESADOR  
DEL APOYO



SECCION B-B'  
ATIESADOR  
INTERMEDIO

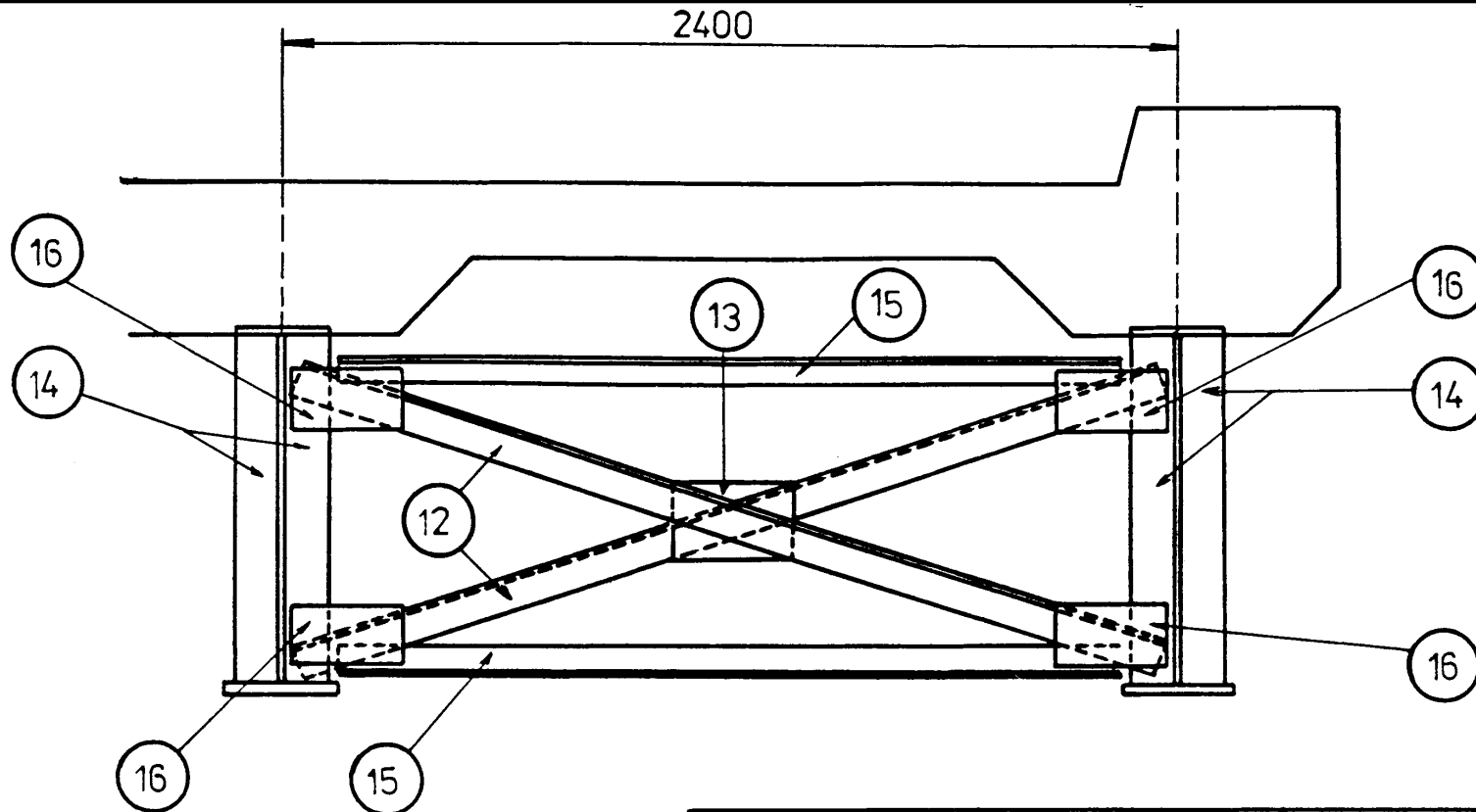


DETALLE A  
UNION TIPICA DE PLACA DE PATIN



DETALLE B  
UNION TIPICA DEL ALMA

	Fecha	Nombre	FACULTAD de ING. MECANICA	ESPOL
Diseño				
Dibujó		E. Sánchez		
Revisó		O. Serrano	Elevación típica de	

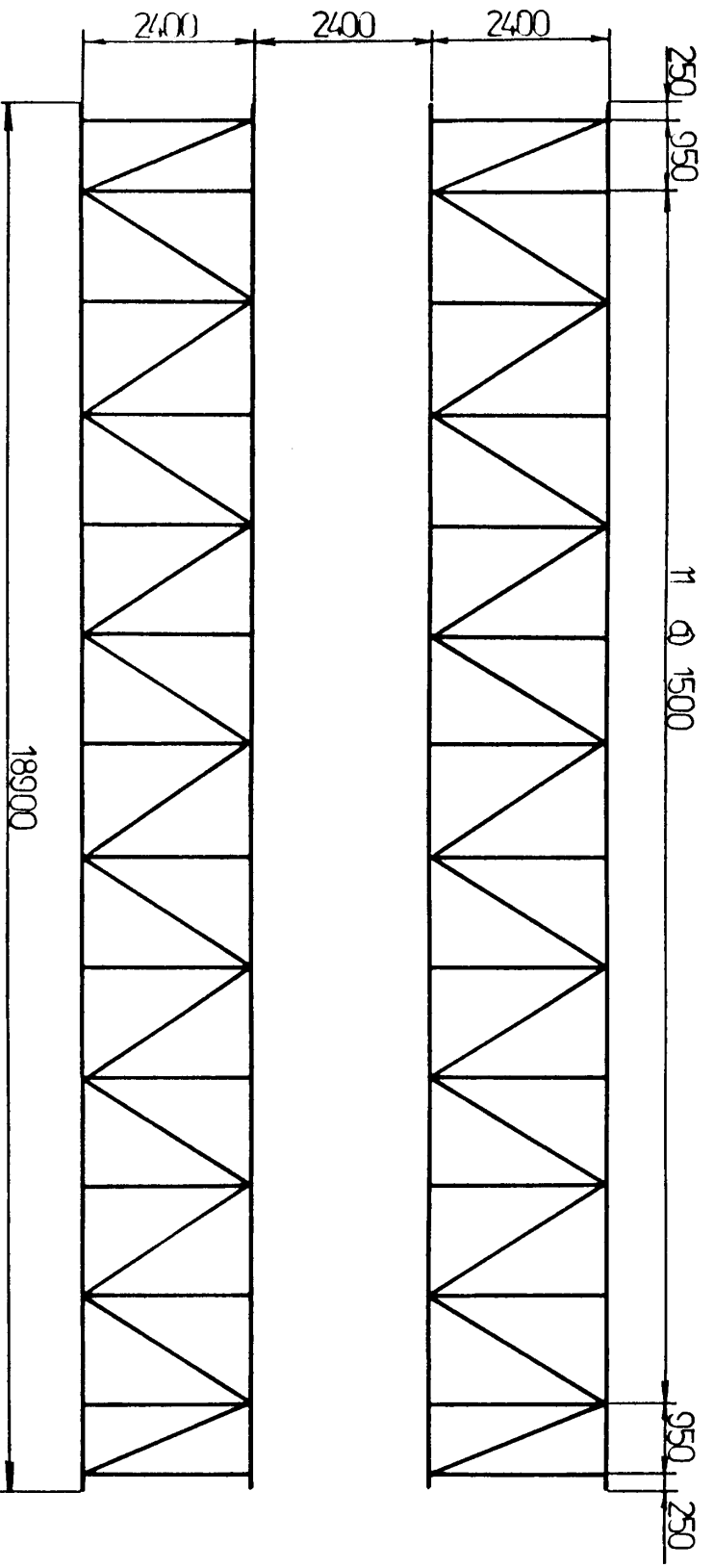


16	Placa para soldar	48	" "	P300x150 x 9 <sup>525</sup>	
15	Arriost. apoyo	24	" "	L3½x3½x½ x 2100	
14	Atiesador	48	" "	P 914 x 114 x 9 <sup>525</sup>	
13	Placa para soldar	12	" "	P 350x200 x 9 <sup>525</sup>	
12	Arriost. apoyo	24	A 588-75	L3½" x 3½" x ½" x 2420	

N:	Denominación	Cant	Material	Medidas	Notas
----	--------------	------	----------	---------	-------

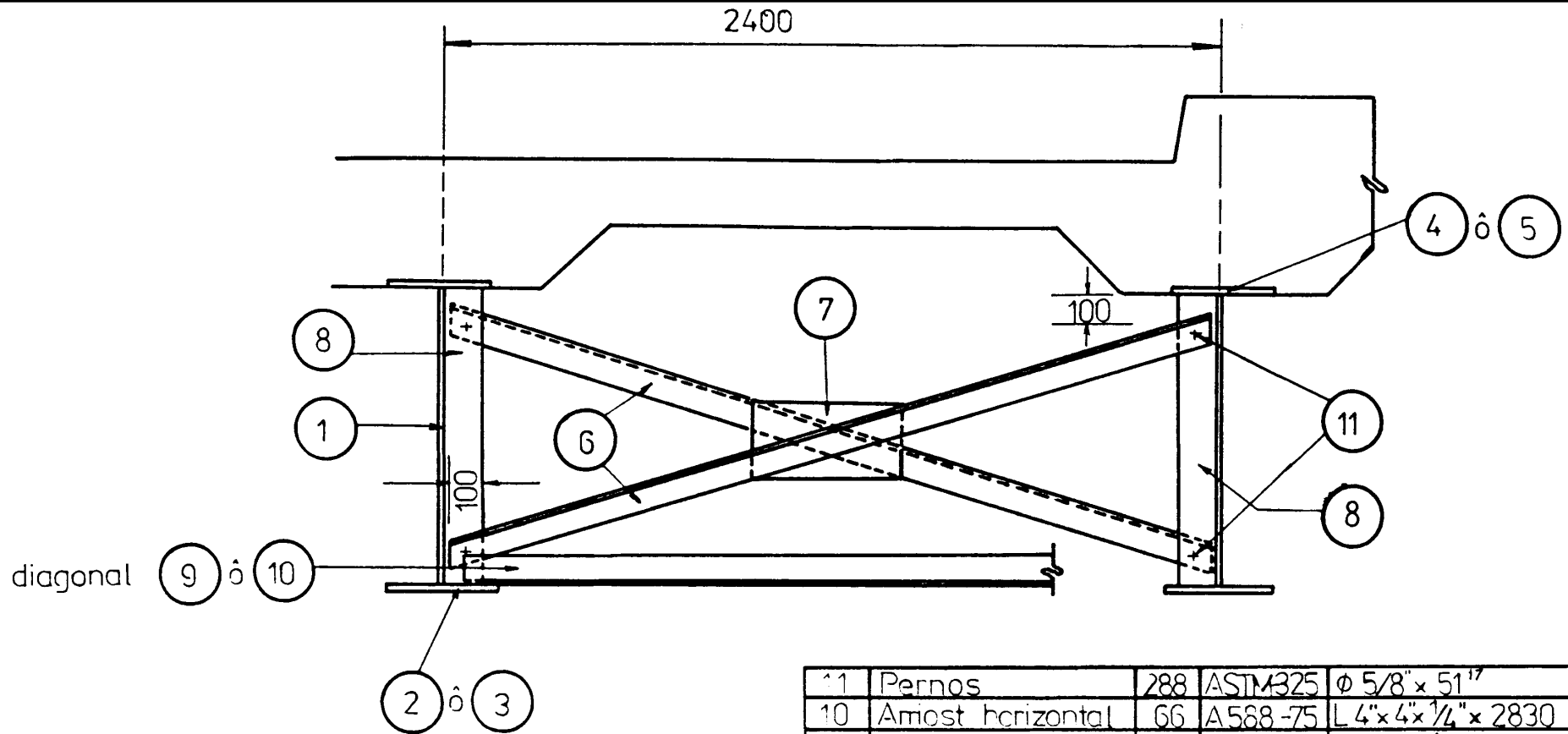
	Fecha	Nombre	FACULTAD de ING. MECANICA	ESPOL
Dibujó		E. Sánchez		
Revisó		O. Serrano		
Compro.				

E:20	Arriostramiento de	
------	--------------------	---



Fecha	Nombre	<b>FACULTAD de ING. MECANICA</b>	<b>ESPOL</b>
Dibujó	E. Sánchez		
Revisó	O. Serrano		
Compro.			
E 1:100	<b>Arriostramiento de las unidades del puente</b>		
01/2020			

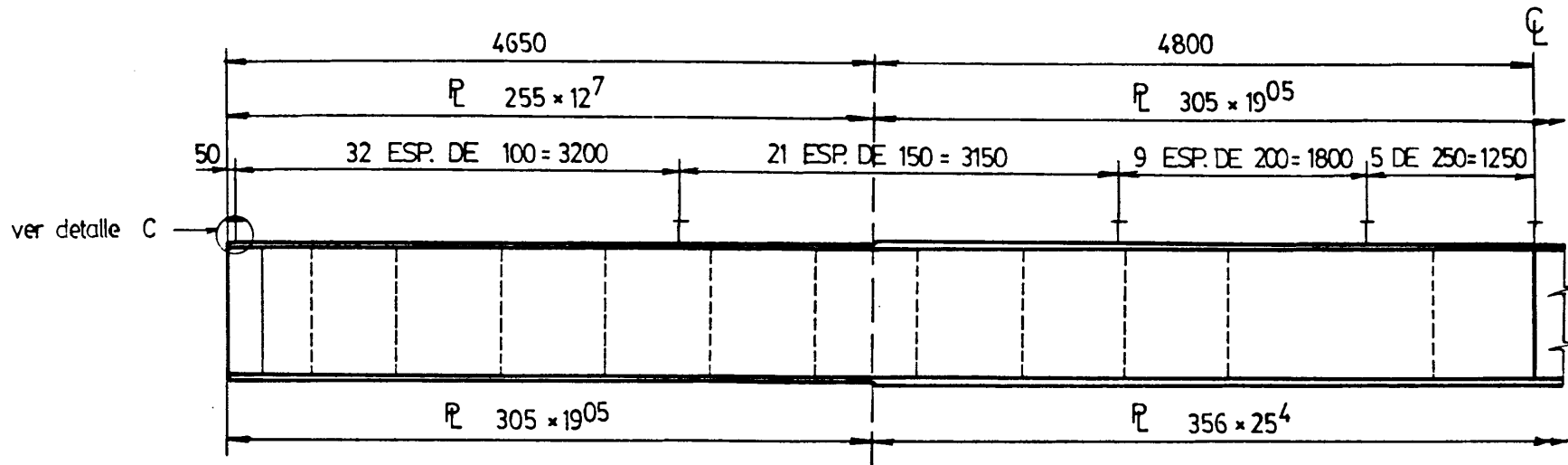




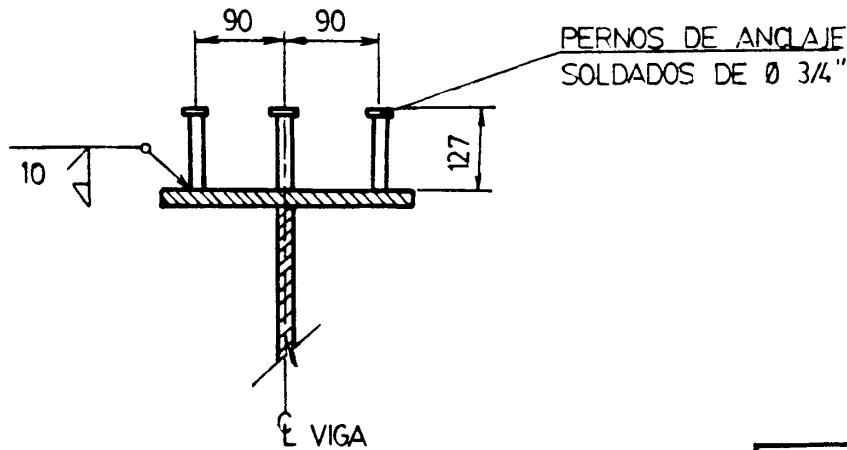
11	Pernos	288	ASTM325	$\phi$ 5/8" x 51 <sup>17</sup>	
10	Arriost horizontal	66	A588-75	L 4"x4"x 1/4" x 2830	
9	Arriost. horizontal	12	A588-75	L 4"x4"x 1/4" x 2581	
8	Atiesador	144	A588-75	P 114 x 914 x 9 <sup>525</sup>	
7	Placa para soldar	72	A588-75	P 460 x 203 x 9 <sup>525</sup>	
6	Arriost. intermedio	144	A588-75	L 3 1/2" x 3 1/2" x 1/4" x 2487 <sup>9</sup>	

N-	Denominación	Cant	Material	Medidas	Notas
	Fecha	Nombre	<b>FACULTAD de ING. ESPOL</b> <b>MECANICA</b>		
Dibujó	E. Sánchez				
Revisó	O. Serrano				
Compro.					

E 1:20	Arriostramiento inter-	
-----------	------------------------	--

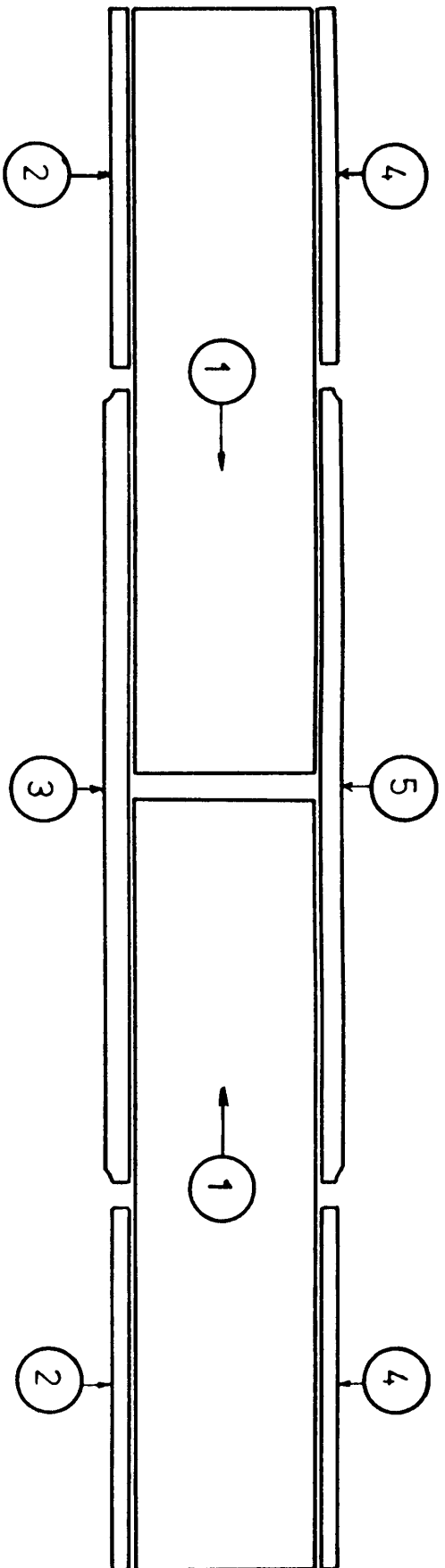


ESPACIAMIENTO DE CONECTORES DE CORTE



DETALLE C  
CONECTORES DE CORTE

	Fecha	Nombre	FACULTAD de ING. MECANICA	ESPOL
Diseño		E. Sánchez		
Dibujó		Q. Serrano		
Revisó			Elevación típica de	



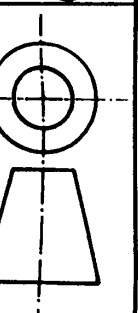
N:	Denominación	Cant:	Material	Medidas	Notas
5	Ala superior centro	12	" "	P 9597 x 305 x 19 <sup>05</sup>	
4	Ala superior ext.	24	" "	P 4654 <sup>44</sup> x 255 x 12 <sup>70</sup>	
3	Ala inferior centro	12	" "	P 9597 x 356 x 25 <sup>40</sup>	
2	Ala inferior ext.	24	" "	P 4654 <sup>44</sup> x 305 x 19 <sup>05</sup>	
1	Alma	24	A588-75	P 9454 <sup>44</sup> x 914 x 9 <sup>25</sup>	

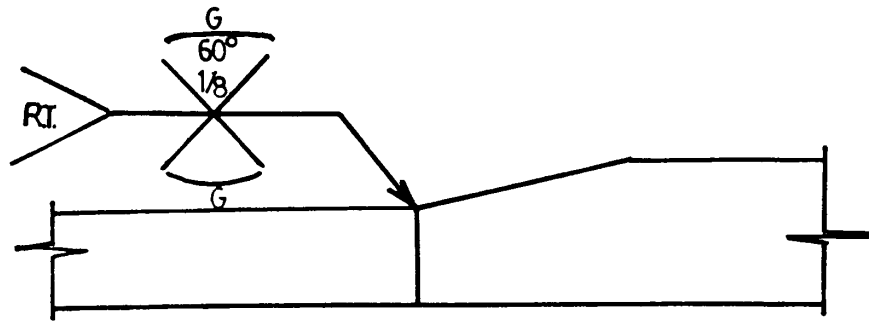
  

Fecha	Nombre	
	Dibujó	E. Sánchez
	Revisó	O. Serrano
	Compro	

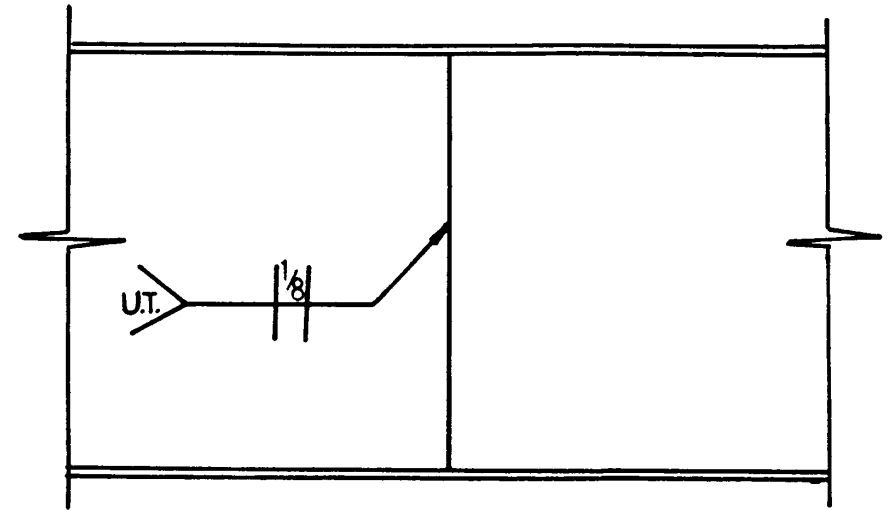
**Facultad de ING. MECANICA**  
**ESPOL**

# Esquema de armado

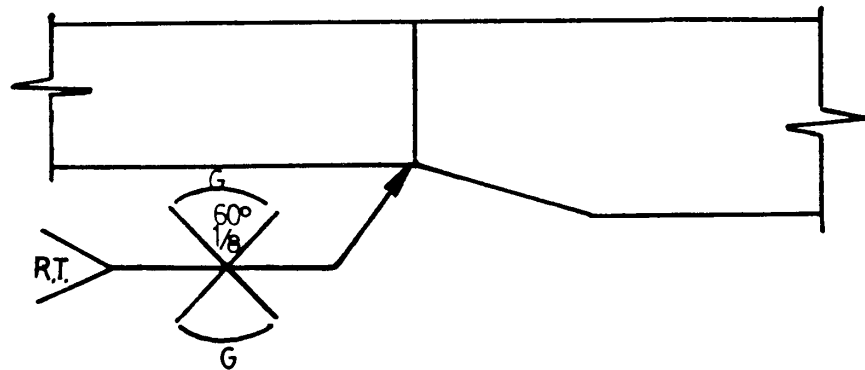




ALA SUPERIOR

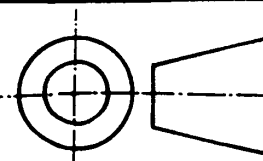


ALMA



ALA INFERIOR

NOTA : RT = Inspección Radiográfica  
 UT = Inspección por Ultrasonido

	Fecha	Nombre	FACULTAD de ING. MECANICA	ESPOL
Dibujó		E. Sánchez		
Revisó		O. Serrano		
Compro.				
	Detalles de uniones			
Plano				

9. PALACIOS, E., Inspección por Ultrasonidos de Uniones de acero Estructural Soldadas en Angulo, (Tesis de Grado) Espol, 1987.
10. METAL'S HANDBOOK, Non-Destructive Inspection and Quality Control, USA, Vol. 11, 1976.
11. ASTM, Especificación E-94 para pruebas radiográficas, USA, 1980.

