

1  
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

LA SOLDADURA ALUMINOTERMICA

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

AARON ALFEREZ RAMIREZ

ASESOR: ING. SAMUEL PEREZ DIAZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

268002



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

U. N. A. E.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES - CUAUTITLÁN



ATN: Q. María del Carmen García Mijares asesora de  
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales  
Profesionales de la F.E.S.-C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de Tesis:

" La Soldadura Aluminotérmica "

que presenta el pasante: Aarón Alférez Ramírez  
con número de cuenta: 8222944-5 para obtener el TÍTULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcallí, Edo. de México, a 11 de marzo de 199 8.

PRESIDENTE	<u>Ing. Samuel Pérez Díaz</u>	<i>Pérez</i>
VOCAL	<u>Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez</u>	<i>[Firma]</i>
SECRETARIO	<u>Ing. José Antonio López González</u>	<i>[Firma]</i>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>	<i>[Firma]</i>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Jesús García Lira</u>	<i>[Firma]</i>

"TODO LO QUE SE VE  
ESTA HECHO DE LO QUE  
NO SE VE"

*A. Einstein.*

EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ESTA  
DEDICADO A MIS PADRES, HERMANOS,  
COMPAÑEROS Y AMIGOS.

CON UN AGRADECIMIENTO MUY ESPECIAL  
PARA TODOS MIS PROFESORES Y AMIGOS  
QUE ME APOYARON PARA LA REALIZACION  
DE ESTE TRABAJO.

"TODO CONOCIMIENTO  
QUE NO SE COMPARTE  
CON OTROS, ALGUN DIA  
SE PIERDE"

# INDICE

	Pag
INTRODUCCION.....	3
<b>I.- FUNDAMENTOS DE SOLDADURA.</b>	
I.1.- ENLACES.....	5
I.2.- METALURGIA DE LA SOLDADURA.....	11
I.3.- CALOR PARA LA SOLDADURA.....	15
I.4.- PROPIEDADES DE LOS METALES.....	22
I.5.- CONSECUENCIAS DERIVADAS.....	26
<b>II.- PROCESOS DE SOLDADURA.</b>	
II.1.- SOLDADURA BLANDA.....	29
II.2.- SOLDADURA FUERTE.....	30
II.3.- SOLDADURA POR FORJA.....	32
II.4.- SOLDADURA CON GAS (AUTOGENA).....	37
II.5.- SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO.....	53
II.6.- SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	56
II.7.- SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.....	57
II.8.- SOLDADURA POR FRICCION.....	58
II.9.- SOLDADURA POR ULTRASONIDO.....	59
II.10.- SOLDADURA POR EXPLOSION.....	60
<b>III.- DISEÑO DE LA SOLDADURA.....</b>	
III.1.- SIMBOLOS DE SOLDADURA.....	63

IV.- DEFECTOS Y PRUEBAS DE LA SOLDADURA.	
IV.1.- DEFECTOS DE LA SOLDADURA.....	80
IV.2.- PRUEBAS DE LA SOLDADURA.....	84
V.- SOLDADURA EN VIAS FERREAS.	
V.1.- PRINCIPIOS.....	93
V.2.- PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCION DE LA SOLDADURA ALUMINOTERMICA EN VIAS FERREAS.....	97
V.3.- VERIFICACION.....	119
V.4.- PRUEBAS A LA SOLDADURA.....	121
VI.- CONCLUSIONES.....	123
BIBLIOGRAFIA.....	124

## INTRODUCCION :

La soldadura es un proceso de unión en el cual los cambios de forma son solo de carácter menor y locales; Lo cual en diferencia con los procesos de fundición y de formado, no ocurre ya que las formas se producen por el cambio de forma de una cantidad de material determinada.

El desarrollo de la soldadura es relativamente reciente sin embargo es al mismo tiempo un arte antiguo y también nuevo, ya que el hombre primitivo que encontro los metales en estado natural en pequeñas piezas, las cuales no fue capaz de fundirlas, pero construyo piezas más grandes calentando y soldando por medio de martilleo o forjado. Así también el desarrollo de la soldadura data de 1880 cuando se uso por primera vez el arco eléctrico y posteriormente en 1895 se utiliza el oxiacetiléno, que es una mezcla de oxígeno y acetileno.

En 1903 Thomas A. Edison que fue uno de los principales pilares para el desarrollo de la soldadura, patento la deposición electrolítica de níquel entre placas calientes en una atmosfera de hidrógeno. En 1926 Henry Ford da a conocer su máquina soldadora operada manualmente para soldar a tope por chisporroteo.

Con estos avances la soldadura dejo de considerarse un proceso menor que solamente o principalmente era utilizado como último recurso en mantenimiento y reparaciones, para pasar a ser uno de los principales procesos para producir formas junto con la forja, fundición, maquinado y otros procesos importantes.

Sabemos que la soldadura por si sola no cambia la forma de los componentes individuales de un conjunto pero si puede constituir una estructura cuyo funcionamiento tiene las propiedades de una sola pieza solida. En algunos casos, principalmente la soldadura por puntos, la soldadura puede competir con la fijación mecánica (remaches y pernos) inclusive desplazarla.

En otros casos el objetivo es proporcionar una junta que tenga la misma estructura, resistencia y otras propiedades que el metal base, de modo que el área de la misma soldadura sea indetectable.

En ocasiones las propiedades de la soldadura son mejores comparadas con las del metal base.

Este proceso debe realizarse adecuadamente para evitar costos extras en el proceso al existir la necesidad de aumentar el área de la soldadura o la aplicación de tratamientos térmicos los cuales por lo general no resultan muy económicos.

Recientemente la soldadura ha tenido un periodo mas grande de crecimiento que cualquiera de los otros procedimientos de manufactura existentes. Ya que ha reemplazado a los métodos de fijación mecánica convencionales como por ejemplo los pernos y remaches en el trabajo del acero estructural para puentes, edificios y vías férreas.

En la fabricación de automóviles y aparatos domésticos de lámina metálica, la mayoría de las uniones se hacen por soldadura y en muchos casos son indetectables en el producto terminado.



# capitulo : 1

FUNDAMENTOS DE SOLDADURA

## **I. - FUNDAMENTOS DE SOLDADURA.**

### **I.1.- ENLACES.**

#### **I.1.1.- Naturaleza del enlace.**

La mayoría de las definiciones de soldadura hacen referencia al calor y a la presión y efectivamente, en la práctica, en la mayoría de los procesos de soldadura se utiliza el calor, la presión o ambos.

Sin embargo teóricamente ninguno de los dos es necesario para lograr un enlace atómico de dos superficies.

Para que dos superficies metálicas experimenten un enlace se deben de cumplir las condiciones siguientes:

a).- Limpieza atómica.

b).- Cercanía atómica.

a).- Limpieza atómica.

Para que los átomos de una superficie puedan ser ligados se requiere que estén perfectamente limpios lo cual resulta complicado ya que al exponer la superficie a la atmósfera, casi de inmediato se forma una ligera capa de óxido o de sulfatos, esto sucede en la mayoría de los metales.

b).- Cercanía atómica.

La cercanía atómica requiere que las distancias entre los átomos puestos en contacto sean las mismas a las que los átomos están espaciados en la estructura cristalina de un metal, lo cual solamente ocurrirá en algunos puntos ya que cualquier superficie aun siendo de la mejor calidad, presenta una rugosidad finita de un orden mucho mayor que las distancias atómicas.

Para establecer estas dos condiciones de limpieza y cercanía atómica pueden utilizarse varios métodos:

### **Limpieza:**

- Puede establecerse por limpieza química (fundentes), siempre y cuando los productos utilizados en la operación de limpieza puedan ser eliminados de la superficie.
- Por fusión del área de la superficie de modo que las películas de impurezas floten a la superficie del metal fundido.
- Por fragmentación como resultado de la deformación plástica del metal base.

### **Cercanía:**

- Puede establecerse por el aporte de metal líquido, esto es, que sin fundir en realidad las superficies a unirse, por medio del metal líquido se logra la unión.
- Por deformación elástica o plástica de la superficie hasta que se establezca el contacto.
- Por la destrucción real de las superficies por fusión, permitiendo así que el metal base fundido o el material de aporte fundido se solidifique en contacto del metal base no fundido.

La soldadura puede llevarse a cabo como un resultado de cualquier combinación de condiciones que establezcan los dos elementos esenciales de limpieza y cercanía atómica.

### **I.1.2.- Tipos de enlace.**

#### **a).- Enlace por fusión.**

Los procesos más importantes de soldadura, principalmente cuando el objetivo principal es el de obtener alta resistencia, se utilizan los enlaces por fusión en los cuales la superficie de las piezas por unir (metal base) se funden completamente, asegurando con esto que el metal líquido proporcione el acercamiento atómico necesario para formar la unión de las superficies; realizandose la limpieza conforme las impurezas flotan a la superficie.

Sea entonces que el enlace por fusión de dos superficies resulta ser una fundición local del metal base, por lo que la resolidificación del metal líquido que ha sido moldeado por el metal base no fundido, causa efectos y cambios metalúrgicos similares a los que aparecen en las fundiciones, tales como:

- Variación en el tamaño de grano.
- Contracciones del metal al enfriarse.

Para que los resultados del enlace sean satisfactorios deben de cumplirse las siguientes condiciones:

- El calor debe suministrarse de forma local en el área por fundir.
- La relación de entrada de calor debe ser lo suficientemente grande para alcanzar la temperatura de fusión y al mismo tiempo evitar el sobrecalentamiento de las áreas adyacentes.

Esta última condición provoca dificultades al soldar materiales con muy alta conductividad térmica, como son el aluminio y el cobre.

En la soldadura por fusión las superficies de las piezas por soldar siempre se funden, dicho material fundido puede ser suficiente para realizar la unión; sin embargo en la mayoría de los procesos de soldadura por fusión, se suministra metal adicional fundido (metal de aporte), esto se logra fundiendo continuamente una varilla o alambre sobre el área a soldar.

El uso del metal de aporte es generalmente necesario para soldar lamina y perfiles estructurales de mas de 3 mm ( $\frac{1}{8}$ " ) de espesor.

Además permite en la mayoría de los casos mayor libertad en el diseño de la unión, ya que permite el rellenado y la acumulación en claros y cavidades.

La resistencia de la soldadura por fusión depende de:

- la composición y las estructuras metalúrgicas del metal base y del metal de aporte.

- Los cambios estructurales que se presentan en las áreas del metal adyacentes a la soldadura.
- La perfección de la geometría de la soldadura.
- Los esfuerzos residuales acumulados por el enfriamiento.
- La presencia o ausencia de impurezas en la soldadura.

Teóricamente es posible obtener el 100 % de eficiencia en una soldadura por fusión, comparada con las características del metal base sin soldar.

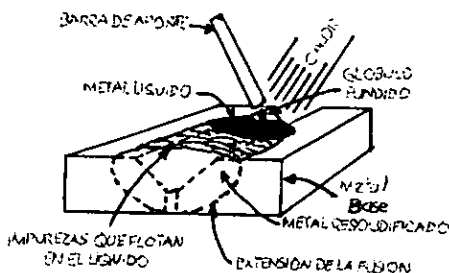


Fig.1.- ENLACE POR FUSION

#### b).- Enlace por presión.

En este tipo de enlace la intervención del calor es muy importante ya que ayuda a la limpieza y a la cercanía atómica; la unión puede realizarse únicamente con la presión, pero se utiliza el calor por dos razones principales:

- Por que la cercanía requerida se establece por el flujo plástico del material, lo cual se logra fácilmente aumentando la temperatura del metal.
- Por la dispersión de la capa de óxido.

Al aplicar la presión contra las superficies a unir la película de óxido existente se fragmenta ya que debido a su fragilidad no es capaz de mantenerse como una sola hoja sobre la superficie; cuando se le aplica el calor el efecto que se ejerce sobre esta es muy importante ya que la fragmentación del óxido se presenta en forma esférica a

medida que aumenta la temperatura, permitiendo con esto que el área de contacto entre las superficies a unir sea mayor; además la solubilidad del oxígeno aumenta con la temperatura y ocurre cierta disociación de los óxidos con el oxígeno lo cual se difunde en el metal base.

La eficiencia de la soldadura por presión puede alcanzar hasta el 95% debido a que no ocurren contracciones por solidificación como en el enlace por fusión, y el área de la unión es mayor al terminar el proceso que al inicio, sin embargo la resistencia unitaria baja un poco debido a que se presentan inclusiones de impurezas en el área de unión; no obstante las juntas soldadas a presión pueden ser más fuertes que la sección transversal original como consecuencia del aumento del área debido al flujo plástico forzado con la presión.

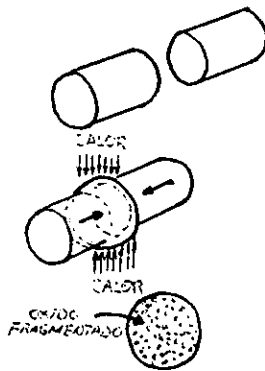


Fig.2.-ENLACE POR PRESION

c).- Enlace por flujo.

Cuando se usan materiales de aporte de composición diferente y temperatura de fusión más baja que la del metal base el mecanismo de unión se conoce como enlace por flujo; en este tipo de enlace las superficies del metal base no sufren ninguna fusión hecho que generalmente es indeseable. La cercanía atómica necesaria para el enlace se establece mediante el metal de aporte fundido que fluye sobre las superficies del metal base.

La limpieza requerida se produce por la aplicación de flujos químicos, generalmente compuestos a base de Haluros de metal o Bórax, el cual disuelve los óxidos de la superficie y los flota alejandolos de la junta.

La resistencia de la unión puede llegar a ser inclusive mayor que la del metal de aporte dependiendo del proceso que se utilice para realizarla.

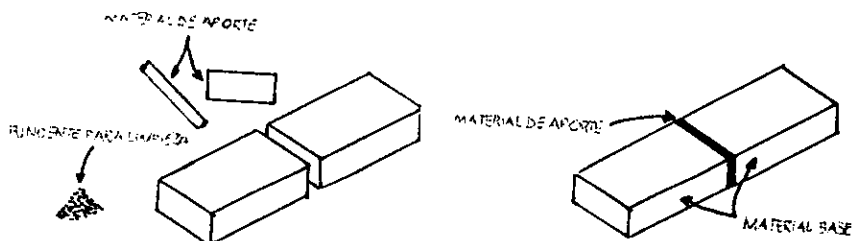


Fig.3.- ENLACE POR FLUJO

#### d).- Enlace en frío.

En los tipos de enlace que han sido mencionados hasta el momento, el calor representa un medio indispensable para lograr las condiciones de cercanía y limpieza atómica necesarias para la unión, pero el calor, no es esencial para el apropiado enlace entre superficies metálicas, ya que puede establecerse en los materiales dúctiles con cargas más grandes que las usadas en el enlace a presión y a temperatura ambiente; provocando un flujo plástico del metal capaz de fragmentar las impurezas de las superficies, de esta manera puede lograrse que cualquier metal suelde a cierto grado sometiendo dos superficies juntas a una presión perpendicular lo suficientemente fuerte. Sin embargo, los resultados pueden ser inconsistentes.

Así es pues, que la soldadura se hace comprimiendo el metal entre las caras de dos punzones que causan que el metal fluya normalmente a la dirección de la carga; conforme se aumenta el área de contacto, los óxidos frágiles de la superficie se fragmentan y cubren un menor porcentaje del área, exponiendo contactos limpios de metal a metal.

Este tipo de enlace se ha aplicado con mucho éxito en materiales dúctiles como el aluminio y el cobre.

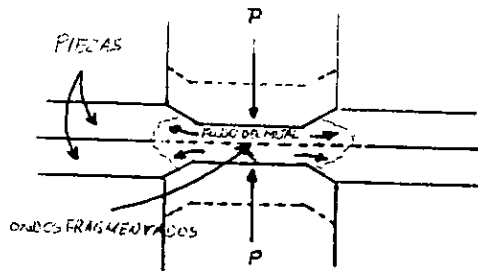


Fig.4.- ENLACE EN FRIO

## I.2.- METALURGIA DE LA SOLDADURA.

Las propiedades finales de una junta soldada o latonada varía por muchas razones, pero lo cierto es que en realidad las partes que se sueldan están expuestas a cambios tales como deformaciones y fuertes contracciones durante el enfriamiento.

Los cambios metalúrgicos en una soldadura pueden incluir todos los que tienen lugar durante cualquier clase de proceso, incluyendo fusión, aleación, solidificación, fundición, trabajo en caliente, trabajo en frío, recristalización y tratamientos térmicos; ya que la soldadura es tan variada que puede involucrar uno o varios de los procesos antes mencionados a la vez; la mayoría de los cambios son ocasionados por los gradientes térmicos tan altos que se presentan y a las relaciones tan rápidas de calentamiento y enfriamiento que surgen, dichos cambios en ocasiones no son considerados debido a que el objetivo principal de la soldadura es la unión del material.

### I.2.1.- Efectos en la composición.

Dado que las condiciones bajo las que se realiza el proceso de soldadura no son ideales, pueden conducirnos a cambios en la composición ya sea del metal base o del material de aporte. La rápida solidificación puede causar la separación de algunos elementos,



produciendo grandes poros; las entradas excesivas de energía pueden provocar sobrecalentamientos locales hasta llegar al punto de vaporización de algunos elementos lo cual conduce a la formación de compuestos indeseables; la mayoría de los gases son muy solubles en los metales en estado líquido, pero a bajas temperaturas pierden esta propiedad y quedan atrapados formando porosidades (espacios vacíos) o compuestos frágiles dentro de la estructura del metal, por ejemplo algunos de los efectos mas serios son la fragilización que resulta del hidrógeno atrapado en el acero; con la rápida solidificación los óxidos y la escoria pueden no tener tiempo para flotar quedando atrapados bajo la superficie, apareciendo como inclusiones solidas en la soldadura terminada.

Idealmente es posible obtener un material completamente homogéneo, sin defectos; en la práctica esta situación puede aproximarse pero con frecuencia requiere de un tratamiento térmico después de la unión para obtener una estructura y propiedades completamente uniformes.

Los metales de aporte de composición diferente a la del metal base, se usan para evitar las perdidas por defectos, mejorando ciertas propiedades; no para compensar dichas perdidas, por ejemplo se puede usar un metal de aporte con alto contenido de níquel en la soldadura de la fundición de hierro gris para controlar el crecimiento de grano y dar ductilidad al área soldada, o para asegurar la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable puede utilizarse un material de aporte de mayor contenido de aleación que el metal base.

La cantidad de aleación entre el metal base y el material de aporte depende principalmente de los metales reales que intervienen. La aleación no es esencial para el enlace, pero ocurriera la aleación hasta cierta distancia en ambas direcciones a partir de la interfase original.

El tipo de soldadura que presenta mas problemas es la soldadura suave la cual puede producir compuestos quebradizos intermetálicos que reducen la ductilidad y bajan la resistencia.

### I.2.2.- Efectos en la estructura y tamaño de grano.

Hay que recordar que una soldadura por fusión es una fundición, por lo que tenemos presentes todos los efectos causados por la fundición pero duplicados debido a las condiciones del proceso de soldadura. Sin embargo la solidificación y las relaciones de enfriamiento de las soldaduras son mas rápidas que en la fundición; las soldaduras por fusión están expuestas a la solidificación y por lo tanto a la contracción por enfriamiento; los efectos en el tamaño de grano no se confinan al metal fundido, ya que la temperatura es lo suficientemente alta para resultar en recocido, además la transformación alotrópica y recristalización se extienden a lo largo de cierta distancia en el metal base.

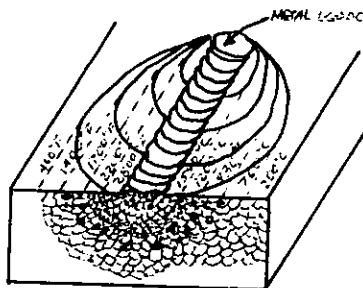


Fig.5.- ESTRUCTURA RESULTANTE

El metal fundido se enfría rápidamente debido a la alta conductividad térmica del metal que lo rodea, teniendo como resultado tamaños pequeños de grano.

Para el metal calentado cerca de su temperatura de fusión su tamaño de grano final será grande, para el metal calentado solo ligeramente arriba de la temperatura de transformación se normalizara y tendrá un tamaño de grano final pequeño, el cual puede llegar a ser mas pequeño que el del metal base no calentado.

Los resultados pueden variar con respecto a los mostrados en la fig. 5, dependiendo de la forma y tamaño de las piezas, la temperatura inicial del metal base, la relación de entrada de calor y el contenido

de aleación. Para los aceros el área que circunda el metal líquido se calentara arriba de la temperatura de transformación ocurriendo cierto grado de austenización como se muestra en el diagrama hierro-carbón de la figura 6; los resultados finales dependerán del tiempo de duración de la temperatura y de las relaciones de enfriamiento, los cuales no siempre pueden predecirse con exactitud.

Las aleaciones de aporte de diferente contenido de carbón (en el caso del acero) pueden usarse para controlar algunos de los defectos posibles como el exceso de martensita lo cual formaría una estructura mas frágil.

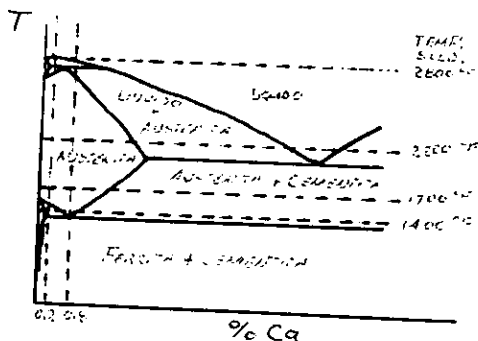


Fig.6.- DIAGRAMA HIERRO-CARBON

En la zona de fusión donde las relaciones de enfriamiento son altas, la composición sería similar a la composición del material de aporte; aun con enfriamiento rápido, la estructura esta constituida principalmente por férrita lo cual proporciona la ductilidad suficiente para contraerse sin agrietarse.

En el metal base circundante al metal líquido la relación de enfriamiento es suficientemente rápida para formar perlita fina y alguna martensita; en esta región el tamaño de grano será grande debido al tiempo mas largo al que ha sido expuesto el metal a altas temperaturas, pero la estructura será fina debido al enfriamiento rápido; a una distancia mayor de la zona líquida, pero dentro del área

con temperatura mayor a la temperatura de transformación, la relación de enfriamiento será mas cercana a la usual con el normalizado y la estructura restante será de perlita media a gruesa.

Con precalentamiento baja aun mas la relación de enfriamiento; por lo que el grano será mas grande debido a los tiempos mas largos a alta temperatura, pero la estructura será mas suave debido a las relaciones de enfriamiento reducidas.

### I.2.3.- Efectos en las propiedades.

En una soldadura ideal, la composición de la zona de soldadura puede obtenerse igual a la del metal base y con tratamiento térmico adecuado la resistencia de la soldadura no sería afectada. Sin embargo en la práctica las composiciones no pueden mantenerse iguales por lo que muchas veces las soldaduras se normalizan para obtener propiedades mas uniformes y para liberar esfuerzos.

La resistencia a la corrosión de muchos de los metales soldados esta expuesta a cambios ya que las altas temperaturas cambian las características químicas del metal; algunos aceros inoxidable están expuestos a la formación de carburos de cromo durante la soldadura y pueden perder muchas de sus cualidades de resistencia a la corrosión sin un tratamiento adecuado.

Las propiedades variables, especialmente la dureza y la tenacidad, con frecuencia causan problemas de maquinado; las estructuras mas duras pueden causar desgaste prematuro o excesivo de las herramientas, las variaciones en la estructura se hacen evidentes en el acabado de una superficie que incluye una soldadura; la eliminación de los esfuerzos por el maquinado pueden causar deformación de la soldadura.

### I.3.- CALOR PARA LA SOLDADURA.

Como ya sabemos el calor no siempre es indispensable para la soldadura, sin embargo si es parte importante en la mayoría de los procesos prácticos. Para todos los procesos donde esta involucrada la fusión de metales es necesaria la utilización de un medio de suministro de calor, ya que el calor hace que los metales sean mas plásticos y ayuda ademas

a obtener limpieza en muchos procesos; los procesos de soldadura mas importantes difieren principalmente por las fuentes de calor que se utilizan, de hecho son denominados por esta razón.

Las fuentes de energía que se usan para la soldadura se identifican por dos características muy importantes que son:

- El grado de localización permitida.
- La relación de entrada de calor que es posible.

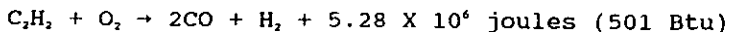
Pueden clasificarse en tres tipos, de acuerdo a su naturaleza:

- Químicas.
- Eléctricas.
- Mecánicas.

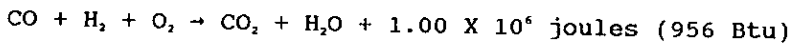
Para la elección de una fuente de calor generalmente se considera como uno de los factores mas importantes a la posible contaminación del metal base; en algunas fuentes de calor, en especial las de naturaleza química, la atmosfera en la cual se ejecuta la soldadura esta controlada por la fuente de calor, como en el caso de la soldadura aluminotermica, en los demás casos la atmosfera puede ser controlada de manera independiente a la fuente de calor; las consideraciones económicas siempre son importantes, pero la elección por lo general se basa en el costo inicial del equipo, disponibilidad, facilidad de transporte, en la clase de material que ha de soldarse y por supuesto que el equipo sea el adecuado para la ejecución de la soldadura.

#### I.3.1.- Reacciones químicas.

En este tipo de fuente de calor se ubican la aluminotermia y la de quemado de gases para producir una flama, de donde tenemos que la fuente de calor de mas uso basada en una reacción química es la combustión del acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) y oxígeno puro. La reacción química se realiza en dos etapas, por cada pie cúbico de acetileno (a 20°C y a presión atmosférica), ocurre primero una reacción en el cono interior de la flama:



Rodeando este cono interior hay una reacción en la envolvente exterior:



En la figura 7 se muestran las flamas oxiacetilénicas con diversas relaciones de oxígeno y acetileno.

Con un exceso de acetileno la flama tiene características químicas de reducción y manifiesta una pluma que se extiende mas allá del cono interior, haciendo una medición aproximada de la composición comparando la longitud de la pluma con la longitud del cono interior tenemos que una flama 2X tendría una pluma dos veces el largo del cono; a esta flama se le da el nombre de flama reductora o carburizante por que evita o reduce la descarburización y causa menos oxidación al acero.

Cuando se hace presente un exceso de oxígeno en la mezcla se produce una flama fuertemente oxidante, que solo tiene uso limitado pero que tiene un rendimiento de temperatura considerable, por ejemplo con tres partes de oxígeno y una de acetileno alcanza una temperatura hasta de 3482°C (6300°F).

La relación de 1 a 1 en la mezcla de oxígeno y acetileno corresponde a la flama llamada neutra cuyas temperaturas varían de 815°C (1500°F) en el vértice del cono interior de la flama hasta casi 3300°C (5972°F) en las partes mas calientes de la envolvente exterior.

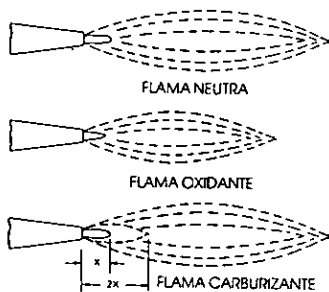


Fig.7.- FLAMAS OXIACETILENICAS

El equipo oxiacetilénico tiene la ventaja de ser portátil, de costo inicial bajo y el equipo es relativamente simple, pueden realizarse operaciones como latonado, soldado de prácticamente todos los metales y corte con flama. para instalaciones fijas y procesos de alta producción se usa mas el arco eléctrico que el oxiacetileno debido a la mayor salida de calor que puede obtenerse con el arco y al costo mas bajo de la energía eléctrica.

Pueden usarse otros gases para producir una flama capaz de alcanzar la fusión de metales aunque no son muy usuales por su restricción en los intervalos de temperatura alcanzada, pero llegan a utilizarse, entre otros tenemos al hidrógeno, gases naturales como el propano o el butano, los cuales se mezclan con oxígeno puro.

### I.3.2.- Arco eléctrico.

Prácticamente toda la producción de soldadura en la actualidad utiliza electricidad como fuente de energía. La primera aplicación fue el arco eléctrico, inventado en 1880; el arco eléctrico es una de las fuentes mas calientes disponibles, excepto por las reacciones nucleares. Las temperaturas son cercanas a  $6090^{\circ}\text{C}$  ( $11000^{\circ}\text{F}$ ) las cuales se encuentran mucho mas arriba de la temperatura de fusión de los metales comunes y aleaciones.

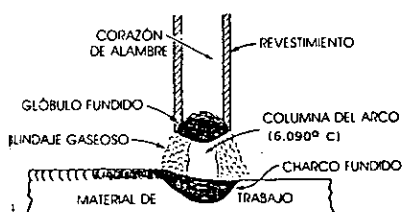


Fig.8.- ARCO ELECTRICO

En condiciones normales se utiliza un arco de 25 volts a 300 amperes, la energía total suministrada seria de 7.5 kilowatts (26000 BTU por hora) a un costo muy bajo.

La mayoría de los gases, incluyendo la atmosfera, son conductores muy pobres a la temperatura ambiente, y el voltaje necesario para mantener un arco sobre cualquier distancia práctica sería muy alto. Sin embargo, las moléculas de gas a las temperaturas de arco tienen tan alta velocidad que se ionizan (pierden electrones por colisión) lo suficiente para hacer que el gas sea altamente conductor de la corriente eléctrica. Cuando el arco se extingue, se enfría y pierde su ionización.

La temperatura del arco es constante a través de la longitud y diámetro de la columna del arco. Las características eléctricas se determinan por la composición y longitud del arco, esto quiere decir que para mantener el arco en gases altamente conductores como el hidrógeno y con arcos largos se requiere de salidas de energía mas altas.

El arco eléctrico generalmente se presenta entre el trabajo y un electrodo el cual puede fundirse progresivamente y servir como material de aporte o puede ser también no consumible. En algunos casos el arco se genera entre dos electrodos no consumibles.

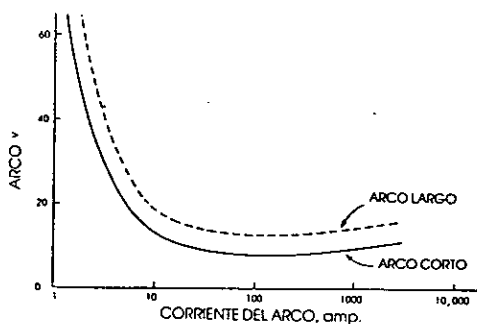


Fig.9.- TAMAÑO DEL ARCO

En la figura 9 se muestran las relaciones que existen entre el voltaje del arco, la corriente del arco y la longitud del arco. La caída total de voltaje a lo largo de la longitud del arco es la suma de las caídas de voltaje en las regiones del electrodo (constante  $\approx 15$  volts) y la



caída a lo largo de la columna del arco, la cual es proporcional a la longitud de la columna del arco. los arcos de baja corriente requieren mas voltaje que los arcos de alta corriente debido a que su diámetro mas pequeño da una relación mas alta de superficie a volumen y perdidas mas altas por radiación.

Los arcos de soldadura con electrodos consumibles transfieren este metal al trabajo en forma fundida por medio de un rocío fino, por glóbulos y por escurrimientos relativamente grandes. La relación de consumo del electrodo es casi directamente proporcional a la corriente de soldadura para un diámetro dado de varilla, en general del 10% al 30% de la varilla fundida se pierde a través de vaporización y salpicado fuera del charco fundido.

Durante la soldadura el metal fundido esta rodeado por gases protectores contra la oxidación y otras reacciones con la atmosfera del arco; estos gases pueden proporcionarse por el quemado de revestimientos en la misma varilla de soldadura, por polvos fundentes bajo los cuales arde el arco, o por un flujo de gas de blindaje de una fuente externa.

La polaridad de la varilla con respecto al trabajo ejerce una influencia preponderante en la relación de consumo y la cantidad de salpicado; la mayoría de la soldadura se hace con la varilla negativa, este arreglo se denomina polaridad directa. Cuando la varilla es positiva, el arreglo se llama polaridad inversa; por lo general el fabricante de electrodos especifica la polaridad de utilización de cada uno de los tipos de varilla para conseguir un rendimiento óptimo.

La soldadura por arco se ha desarrollado hasta ser el mas versátil de todos los procesos de soldadura ya que por este medio pueden soldarse prácticamente todos los metales para generar productos como tanques, recipientes a presión, acero estructural, cascos de barcos, tuberías de acero de grandes diámetros, bastidores para maquinaria, estructuras de aviones y muchos mas.

### I.3.3.- Calentamiento por resistencia eléctrica.

El calor para un importante número de procesos de soldadura se suministra por el paso de corriente eléctrica a través del trabajo. La relación de consumo de potencia en cualquier circuito eléctrico está dado por:

$$P = I^2R$$

Donde:

P = Potencia [Watts].

I = Corriente [Amperes].

R = Resistencia [Ohms].

En la figura 10 se muestra un circuito típico de soldadura por resistencia. Para suministrar la potencia casi siempre se utilizan transformadores con una sola o muy pocas vueltas en el secundario, capaces de alto amperaje y salida de bajo voltaje.

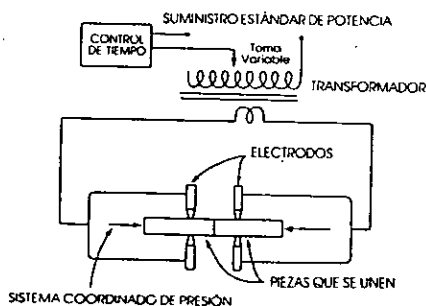


Fig.10.- CIRCUITO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA

El calor es generado a través del circuito, y los procesos de soldadura por resistencia se basan en el hecho de que la más alta resistencia se presenta en las interfases entre las superficies de metal donde el contacto está limitado a un número de puntos de área relativamente pequeña, también se presenta en los contactos con los electrodos, para los cuales el efecto de calefacción se minimiza utilizando aleaciones de cobre de alta conductividad, por enfriamiento de agua y alta presión de contacto en las superficies formadas.

La soldadura por resistencia se lleva a cabo cuando los puntos de contacto se calientan y las superficies de trabajo se vuelven plásticas, y la unión limpia de metal se expande por deformación y por fragmentación, esferoidización y difusión de los óxidos en el metal base, el área de contacto permanece en un punto máximo de calor debido a la resistencia del metal base que aumenta conforme aumenta la temperatura. La duración de la corriente se controla por un medidor de tiempo controlando el número de ciclos de corriente alterna permitidos que pasan a través del primario del transformador reductor.

#### I.3.4.- Hornos y tanques de inmersión.

Los hornos pueden calentarse por la combustión de gases o por medios eléctricos, ya sea por resistencia o por inducción. Las piezas de trabajo se calientan por inducción en la atmósfera del horno, o por radiación de las paredes. Los hornos son utilizados por lo general para proporcionar el precalentamiento necesario de algunas soldaduras para evitar las distorsiones excesivas y para aplicar tratamientos térmicos para la liberación de tensiones internas, pero también pueden utilizarse para mantener una atmósfera controlada del trabajo para casos que lo ameriten.

### I.4.- PROPIEDADES DE LOS METALES.

#### I.4.1.- Soldabilidad de los metales.

Esta propiedad de los metales es muy importante ya que corresponde a la capacidad de unirse por la fusión de sus bordes sea cual fuere la fuente del calor suministrado.

La soldabilidad depende de ciertos factores que deben conocerse bien para poder lograr una soldadura satisfactoria; además es una propiedad particular, esto es que para todos los metales y aleaciones es diferente.

Las principales propiedades de los metales que influyen para su soldabilidad son de tres tipos:

- Físicas.
- Químicas.
- Fisicoquímicas.

Entre las propiedades físicas sobresalen las siguientes:

- La temperatura de fusión del metal o aleación.
- La temperatura de ebullición.
- El calor total de fusión.
- La dilatación y contracción.
- La conductividad térmica.

Las propiedades químicas son:

- La oxidabilidad.
- La volatilización de los elementos.
- La segregación o separación.
- La carburación y descarburación de los aceros y otras mas.

Dentro de las propiedades fisicoquímicas podemos mencionar dos casos importantes como las formaciones eutécticas que en el cobre vuelve frágiles las soldaduras y el desequilibrio químico de los elementos como en la fundición o en el níquel.

#### I.4.2.- Temperatura o punto de fusión.

Se conoce como temperatura o punto de fusión de los metales y aleaciones, a la temperatura en la cual pasan del estado sólido al estado líquido a presión atmosférica; el punto de fusión es muy importante en soldadura ya que cuanto mas elevado sea este punto de fusión, mayor será la cantidad de calor que tendrá que ser suministrado.

#### I.4.3.- Temperatura o punto de ebullición.

Se llama temperatura o punto de ebullición de los metales o aleaciones a la temperatura en la cual pasa el metal del estado líquido al estado gaseoso a presión atmosférica.

En la siguiente tabla se muestran los puntos de fusión y los puntos de ebullición de algunos metales y aleaciones.

TEMPERATURAS DE FUSION DE LOS METALES  
Y ALEACIONES MAS USUALES

METALES Y ALEACIONES	punto de fusión	punto de ebullición
HIERRO (menos de 0.05 % de carbono)..	1515°	2450°
ACERO DULCE (0.30 a 0.40 % de carbono)	1480°	
ACERO DURO (0.60 a 0.70 % de carbono)	1460°	
FUNDICION (2.50 a 4 % de carbono)....	1230°	
COBRE.....	1083°	2310°
ALUMINIO.....	657°	1800°
ZINC.....	419°	918°
ESTAÑO.....	232°	2270°
PLOMO.....	326°	1525°
NIQUEL.....	1452°	
LATON (65 Cu + 35 Zn).....	940°	
LATON (60 Cu + 40 Zn).....	880°	
BRONCE MECANICO (88 Cu + 12 Sn).....	1010°	
ALEACION ALUMINIO-ZINC (10 % Zn).....	630°	
ALEACION ALUMINIO-COBRE (8 % Cu).....	1050°	

I.4.4.- Calor total de fusión.

Se conoce como calor total de fusión a la cantidad de calor necesario para fundir una masa determinada de metal.

#### I.4.5.- Dilatación y contracción de los metales.

Los metales tienen la propiedad de alargarse o de aumentar de volumen cuando se les aumenta la temperatura y de regresar a su estado original al enfriarse, propiedad que representa un problema para la soldadura debido a que la mayoría de los procesos requieren de un calentamiento determinado.

Dicha propiedad se presenta en grados diferentes para cada metal o aleación.

En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de dilatación de algunos metales.

COEFICIENTE MEDIO DE DILATACION

METALES	LIMITES DE TEMPERATURA	ALARGAMIENTO mm X 100m a 1 °C
ALUMINIO.....	0 a 610°	2.35
PLATA.....	0 a 805°	1.82
COBRE.....	0 a 625°	1.60
ESTAÑO.....	18 a 100°	2.69
HIERRO PURO.....	0 a 38°	1.14
HIERRO DULCE SUECO....	0 a 500°	1.17
ACERO DULCE.....	0 a 100°	1.21
NIQUEL.....	16 a 250°	1.25
ORO.....	16 a 100°	1.43
PLATINO.....	16 a 100°	0.88
PLOMO.....	18 a 100°	2.94
ZINC.....	10 a 100°	2.62

El coeficiente de dilatación está dado por el alargamiento en mm por 100 metros y 1°C de aumento en la temperatura, dentro de determinados límites de temperatura es decir:

$$L_0/100 \times (T_1 - T_0) \times d = E$$

Donde:

$L_0$  = Longitud inicial.

$T_1$  = Temperatura final.

$T_0$  = Temperatura inicial.

$d$  = Coeficiente de dilatación.

$E$  = Alargamiento.

Ejemplo: el alargamiento de una barra de cobre de 3 metros de longitud al calentarla desde 10°C hasta 300°C será:

$$3/100 \times (300 - 10) \times 1.60 = 13.92 \text{ mm.}$$

#### I.4.6.- Conductividad térmica.

La conductividad térmica es la propiedad que poseen los metales de propagar el calor a través de su masa.

De todos los metales la plata es la mejor conductora del calor, en seguida el cobre, mientras que el valor para el acero dulce es solo de  $\frac{1}{3}$  del valor para el cobre; debido a esta situación si se sueldan espesores iguales de cobre y de acero se requeriría la misma potencia aunque el punto de fusión del cobre es muy bajo (1083°C) y para espesores grandes ocuparíamos mayor potencia para el cobre.

#### I.4.7.- Densidad.

La densidad de los metales es muy importante ya que obedece al estado físico del material; esto quiere decir que la densidad de un metal en estado sólido tiene un valor y en estado líquido tiene otro valor muy inferior lo que representa un riesgo en algunos metales ya que requieren de mayor tiempo de enfriamiento para evitar que queden atrapados los óxidos por no tener tiempo para flotar.

### I.5.- CONSECUENCIAS DERIVADAS.

#### I.5.1.- Dilatación y contracción.

La primera consecuencia del proceso de soldadura es la deformación ocasionada por la dilatación del metal al calentarse.

Al enfriarse el metal se produce el fenómeno inverso a la dilatación, la contracción, es decir la disminución de volumen, este fenómeno es generalmente mayor que la dilatación por lo que existe la siguiente regla:

**"LA LINEA SOLDADA ES MAS CORTA QUE LA LINEA A SOLDAR"**

Por ejemplo, en el caso de un acero, si la costura a soldar tiene una longitud inicial de 100 cm, después de la soldadura no tendrá mas que 98.8 cm, o sea aproximadamente el 1.2% de diferencia; este efecto no puede evitarse pero si puede disminuirse mediante una correcta preparación de la junta.

En la figura 11 se ejemplifica la colocación y preparación de la junta para minimizar la deformación producida por el proceso de soldadura.

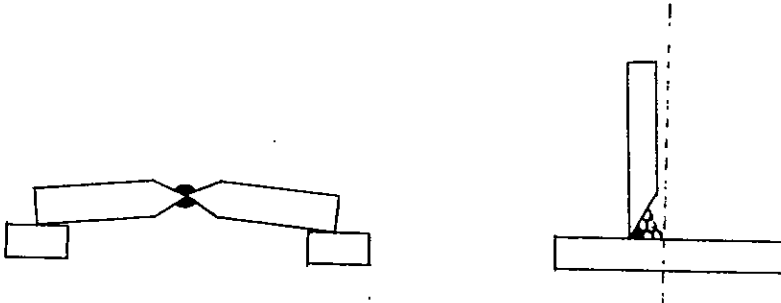


Fig. 11.- COLOCACION Y PREPARACION DE LA JUNTA

#### I.5.2.- Tensiones internas.

El calor local producido por la soldadura ocasiona fuerzas en el interior de las piezas, como las que ocurren en cualquier deformación en caliente. Estas fuerzas son conocidas con el nombre de tensiones internas y con frecuencia causan fracturas en la soldadura. Las tensiones internas pueden formarse por medio de deformaciones Mecánicas en frío o a baja temperatura.

Las tensiones internas pueden desaparecer con la aplicación de un tratamiento térmico de recocido adecuado.

En los aceros y hierros colados, las tensiones internas desaparecen inmediatamente con la fractura de la pieza; en otros metales como los latones, esta manifestación se presenta en un tiempo mucho mas largo.

#### I.5.3.- Propiedades químicas.

Otras dificultades ocasionadas por las elevadas temperaturas de la soldadura son las siguientes:

- La volatilización de un metal puro o de un metal que va aleado con otro, como por ejemplo la volatilización del zinc en los latones.
- La segregación o separación mas o menos acentuada de los elementos de una aleación, como por ejemplo la separación del estaño en los bronce.



- Las porosidades o cavernas en el interior de un metal soldado, debidas a los gases atrapados por el metal en fusión.
  
- La oxidación de los metales, es decir la capacidad que tienen los metales de absorber el oxígeno para formar su óxido, el cual carece generalmente de propiedades mecánicas; la propiedad de oxidación aumenta conforme aumenta la temperatura y particularmente cuando el metal esta en estado líquido; la oxidación puede provenir del oxígeno de la atmósfera circundante o del oxígeno de la flama en el caso de la soldadura con gas.
  
- La carbonización es el aumento de la proporción de carbono en el metal, se presenta principalmente en los aceros y es causada por una flama oxiacetilénica con exceso de acetileno llamada carburante. Este problema es exclusivo de la soldadura con gas.

# capitulo : 2

PROCESOS DE SOLDADURA

## II.- PROCESOS DE SOLDADURA.

### II.1.- SOLDADURA BLANDA.

La soldadura blanda es la unión de dos piezas de metal por medio de un metal diferente que se aplica entre ellas en estado líquido, a una temperatura que no exceda de los 430°C.

En este proceso se utilizan principalmente aleaciones de plomo y estaño aunque se les añaden ocasionalmente otros metales para bajar su punto de fusión, o para mejorar sus propiedades mecánicas, tales como el cadmio, plata, cobre o zinc; aunque los mejores soldantes se hacen de plomo y estaño puros. El punto de fusión de dichos soldantes disminuye conforme aumenta el contenido de estaño (Sn) hasta el 67%, al rebasar dicho porcentaje el punto de fusión aumenta gradualmente hasta alcanzar el valor para el estaño. En la figura 12 se muestran las temperaturas de fusión y dureza de las diferentes aleaciones de plomo-estaño.

### TEMPERATURAS DE FUSION DE LAS ALEACIONES PLOMO - ESTAÑO

% ESTAÑO	% PLOMO	TEMP. FUSION °C	DUREZA BRINELL	% ESTAÑO	% PLOMO	TEMP. FUSION °C	DUREZA BRINELL
0	100	325	3.9	60	40	188	14.6
10	90	303	10.1	66	34	180	16.7
20	80	278	12.16	70	30	185	15.8
30	70	255	14.5	80	20	198	15.2
40	60	230	15.8	90	10	216	13.3
50	50	205	15.0	100	0	230	4.1

Fig.12.- TEMPERATURAS DE FUSION Y DUREZA  
DE ALEACIONES PLOMO-ESTAÑO

Usualmente los soldantes blandos se denominan común, medio y fino según el contenido de estaño; los que contienen mas plomo son los mas baratos y tienen un punto de fusión mas alto.

El soldante "fino" se utiliza para soldar latón y artículos de hojalata, puede usarse también para soldar hierro gris, acero, cobre y otras aleaciones.

El soldante "común" es el empleado por los fontaneros para trabajar principalmente el cobre; este soldante consta de  $\frac{1}{2}$ , de plomo (Pb) por  $\frac{1}{2}$ , de estaño (Sn).

Para realizar esta soldadura puede utilizarse cualquier método de calentamiento tales como la inmersión, horno, soplete o resistencia eléctrica, pero generalmente se utiliza el caudín que proporciona el calor necesario, la soldadura que se utiliza comunmente es en forma de alambre; para este proceso es necesario aplicar un fundente que proporciona la limpieza requerida.

## II.2.- SOLDADURA FUERTE.

En este tipo de soldadura, se introduce una aleación no ferrosa en estado líquido entre las piezas a unir y se deja solidificar.

El metal de aporte fluye entre las superficies por atracción capilar en el momento en el que se efectúa la soldadura a una temperatura de fusión mayor de  $430^{\circ}\text{C}$  pero menor a la temperatura de fusión del metal base.

Para efectuar esta soldadura es necesario el uso de fundentes especiales (BORAX) para remover los óxidos superficiales y para dar al metal de aporte la fluidez necesaria para depositarse en las superficies a unir.

Se llama soldadura fuerte por que a diferencia de la soldadura blanda la temperatura para fundir el zinc es mayor que para fundir el estaño, obteniendo con esto mayor resistencia al calor sin debilitarse.

Algunas de las aleaciones mas comunes en la soldadura fuerte son:

MATERIALES.	TEMP. DE FUSION
cobre	1083 °C.
Aleaciones de cobre.	870 a 1100 °C.
Aleaciones de plata.	630 a 845 °C.
Aleaciones de aluminio.	570 a 640 °C.

Para obtener una soldadura fuerte satisfactoria es fundamental el diseño de la junta observandose tres tipos básicos: de junta de traslape, a tope y achaflanada.

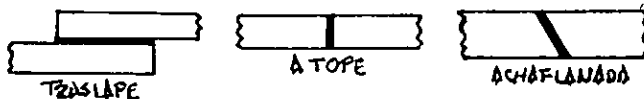


Fig. 13.- TIPOS BASICOS DE JUNTAS

Los medios de aportación del calor puede ser de las siguientes formas:

INMERSION:	-metal	ELECTRICA:	-resistencia
	-Química		-inducción
SOPLETE:	-Oxiacetilénico	HORNO:	-Gas
	-Oxihidrógeno		-Eléctrico
	-Aireacetilénico		

Siendo las mas comunes por Arco Eléctrico o por Soplete.

En la figura 14 se ilustran las temperaturas de fusión de las diferentes aleaciones cobre - zinc.

## TEMPERATURAS DE FUSION DE LAS ALEACIONES COBRE - ZINC

% COBRE	% ZINC	TEMP. FUSION °C	% COBRE	% ZINC	TEMP. FUSION	% COBRE	% ZINC	TEMP. FUSION
100	0	1082	71	29	953	41	59	840
96	4	1075	66.4	33.6	917	35	65	817
86	14	1032	63	37	908	33	67	803
80	20	1008	60	40	890	29	71	787
76	24	980	50	50	880	24	76	740
72	28	958	48	52	870	20	80	704

Fig. 14.- TEMPERATURAS DE FUSION COBRE - ZINC.

### II.3.- SOLDADURA POR FORJA.

Como sabemos la soldadura es un proceso de unión de metales logrado por calor y/o presión, idealmente la unión puede lograrse por simple presión si se cumple con los factores necesarios de cercanía y limpieza atómica, pero en la práctica es muy importante el calentamiento de las superficies a unir para ayudar a cumplir con dichos factores de limpieza y cercanía atómica.

Se conoce como soldadura autógena a la unión por fusión simultanea de las superficies a empalmar, que presenta todos los caracteres de homogeneidad, así como propiedades físicas, químicas y mecánicas idénticas a las del metal soldado, esto es, sin interponer ningún metal de aporte diferente al de base.

Dado lo anterior podemos decir que la soldadura por forja es un proceso de soldadura autógena que ha sido utilizado desde tiempos inmemoriales hasta la actualidad, sufriendo variaciones en los procedimientos pero siempre basado en el mismo principio.

La soldadura por forja se puede clasificar en dos tipos, manual y por máquina.

#### II.3.1.- Soldadura por forja manual.

La soldadura por forja manual fue la primera forma de soldadura y la única por muchos siglos. El proceso consiste en calentar el metal en una fragua hasta alcanzar un estado plástico del metal y luego se une aplicando presión.

El calentamiento se efectúa usualmente en una fragua cuyos combustibles pueden ser el coque, el carbón mineral, carbón vegetal, los aceites pesados (petroleo y derivados) y el gas, se emplean para caldear el hierro y el acero, para trabajos generales, un fuego de coque es el mejor aunque también se usa mucho el carbón mineral.

El coque y el carbón mineral deben contener la menor cantidad de azufre posible, por que el hierro poco caliente o frágil lo absorber. Para lograr una buena soldadura del hierro y el acero es necesario excluir del combustible o del fuego el azufre, el plomo, el bronce y el latón.

El proceso de soldadura por forja manual es un proceso lento y esta limitado al trabajo ligero ya que todo el formado y la soldadura se efectúa con un mazo, la preparación de las juntas deben ser del tipo "Biselado" el calentamiento de las piezas debe ser lento para que sea uniforme, una vez calentadas las piezas se llevan al yunque sujetandolas con pinzas especiales para forja y se martilla la junta del centro hacia los extremos para que de esta forma se vayan eliminando los óxidos o cualquier otra impureza que pueda encontrarse entre la junta. En este proceso se corre el riesgo de que se forme una costra de óxido en la junta lo cual puede contrarrestarse aplicando una capa de aceite grueso y cubriendo las superficies de la junta con fundente "Borax" y sal amoniaca.

Para este tipo de soldadura se recomienda la utilización de acero con bajo contenido de carbono y de hierro forjado, debido a que su rango de temperaturas de fusión es amplio ya que a mayor contenido de carbón menor es el rango en sus temperaturas de fusión.

### II.3.2.- Soldadura por forja en máquina.

Debido a que la soldadura por forja manual es un proceso muy lento y de gran desgaste físico, los volúmenes de soldadura producidos eran muy bajos y las necesidades se incrementaban tanto en cantidad como en el tamaño de las piezas a soldar, hubo necesidad de la utilización de máquinas que fueran capaces de substituir al hombre en el trabajo pesado en este caso el martillado. Dichas máquinas fueron evolucionando y modificandose al transcurrir el tiempo.

Los procesos de soldadura por forja en máquina se pueden clasificar según el tipo de medio mecánico para unir las piezas:

- Con martinete.
- Con matriz o recalado.
- Por laminado.

#### II.3.2.1.- Proceso de soldadura por martinete.

La naturaleza tosca del proceso de forjado manual no permite tener tolerancias cerradas ni hacer formas complicadas, por lo que se empezaron a utilizar grandes martinetes de madera accionados por una rueda hidráulica, la cual permitía la transformación de la energía pluvial a energía mecánica girando sobre un eje que produce un movimiento alternativo del gran martillo sobre un yunque, donde el forjador colocaría las piezas a forjar. En este tipo de martinetes no era posible controlar la velocidad del martilleo solamente se controlarían el "inicio" y el "paro" por medio de seguros colocados en forma manual, situación que no hacía seguro el manejo de esta máquina.

Con la utilización del vapor para producir energía mecánica de movimiento, los martinetes accionados con ruedas hidráulicas fueron substituidos por martillos de vapor.

Los martillos de vapor son fabricados de dos tipos diferentes dependiendo de su utilización; del tipo de bastidor sencillo o abierto para el claro de trabajo o del tipo de bastidor doble utilizado para trabajo pesado. Este tipo de martillo puede ser controlado por el operador tanto en la fuerza del golpe como en la velocidad del golpeteo, por medio de un estrangulamiento del vapor en una válvula de cierre.

Existen también martinetes por caída libre, martinetes neumáticos y martinetes hidráulicos, los cuales pueden ser controlados en su totalidad y están equipados con dispositivos de seguridad para el operador.



### II.3.2.2.- Proceso de soldadura por matrizado o recalcado.

Existen tres tipos de soldadura que pueden realizarse satisfactoriamente en una máquina de (forjado) forjar.

- soldadura de solapa.
- soldadura de pasador.
- soldadura de testa.

#### - Soldadura de solapa.

Es uno de los métodos de mayor éxito que pueden usarse en la unión de piezas en una máquina de forjar. Con este método pueden unirse dos o mas piezas formando un solo bloque, este procedimiento se lleva a cabo con prensas o troqueles los cuales pueden ser hidráulicos, neumáticos o mecánicos; los cuales constan de un pistón de apriete y matrices opuestas de agarre para sujetar las piezas a soldar.

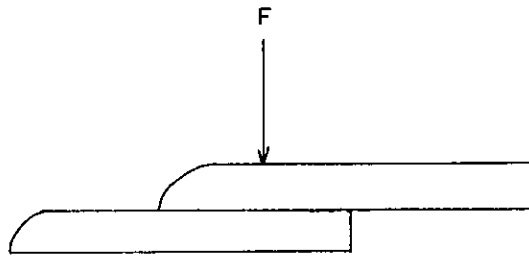


Fig. 15.- SOLDADURA DE SOLAPA.

#### - Soldadura de pasador.

Para poder ejecutar este tipo de soldadura debemos tener la situación de ensamble mostrado en la figura 16 donde la pieza numero 1 (macho), es ensamblado con la pieza numero 2 (hembra), de tal forma que el vástago del macho sobresalga de la sección de la hembra donde debe presentarse un sobreespesor para reforzar la soldadura.

Este método consiste en "remachar" el vástago del macho a la pieza hembra por medio de un pistón.

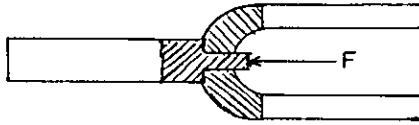


Fig. 16.- SOLDADURA DE PASADOR

- Soldadura de testa.

Este método de soldadura no es muy practicado como el de pasador pero bien aplicado proporciona una soldadura satisfactoria; para poder soldar dos piezas no es necesario preparar las juntas pero si deben ensamblar perfectamente las piezas como en la figura 17. El método consiste en punzonar la junta por medio de un pistón que tiene un punzón en un extremo, para obtener una soldadura compacta el hierro y el acero de bajo contenido de carbón pueden soldarse sin fundente basta con que las superficies estén bien limpias, para eliminar las escamas de óxido que puedan formarse se utiliza un pequeño chorro de aire comprimido dirigido contra el trabajo al momento que se van a soldar las piezas; para aceros de medio y alto contenido de carbón es necesario utilizar fundente "borax" para lograr una soldadura satisfactoria.

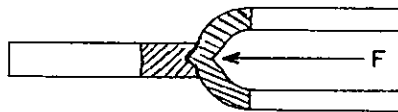


Fig. 17.- SOLDADURA DE TESTA

II.3.2.3.- PROCESO DE SOLDADURA POR LAMINADO.

El proceso de soldadura por laminado es en términos generales un método para cambiar la forma de un material a la forma deseada por medio de (rodillos) rolado, la soldadura por laminado se refiere esencialmente a las uniones que puedan resultar de este proceso por ejemplo en la manufactura de tuberías con costura esto es, soldada a tope en consecuencia del mismo proceso de laminado.

#### II.4.- SOLDADURA CON GAS.

Este tipo de soldadura incluye todos los procesos de soldadura que utilizan como medio de acercamiento atómico gases mezclados para obtener una flama que proporcione el calor necesario para efectuar la unión.

Las mezclas mas usuales son a base de acetileno, hidrógeno y de gas natural con el oxígeno o aire; a continuación se presenta una tabla comparativa de las temperaturas teóricas de las diversas mezclas para las llamas soldantes.

TEMPERATURAS DE LAS LLAMAS EN °C

COMBUSTIBLE	COMBURENTE		TEMPERATURA MAXIMA con exceso de comburente
	AIRE	OXIGENO	
METANO.....	1700°	2000°	2050°
GAS DEL ALUMBRADO	1780°	2050°	2350°
OXIDO DE CARBON	1825°	2150°	2650°
HIDROGENO.....	1900°	2350°	2800°
ACETILENO.....	2100°	3500°	3650°

NOTA: Observese la notable diferencia de temperaturas entre la llama aeroacetilénica (2100 °C) y la oxiacetilénica (3500 °C).

Tomando en cuenta la eficiencia en el aprovechamiento del poder calorífico del carburante (combustible), en las diferentes mezclas por lo general siempre se utiliza el oxígeno puro como comburente (oxidante).

Existen muchos tipos de mezclas como las mostradas en la tabla anterior; oxiacetilénica, oxibencinica etc, pero las mas utilizadas son la "oxiacetilénica" y la "oxhídrica" las demás en la actualidad han sido omitidas casi por completo.

#### II.4.1.- Oxiacetileno.

Una soldadura oxiacetilénica se produce cuando se logra un acercamiento atómico de las superficies a soldar por medio del calor producido por una flama obtenida de la combustión de la mezcla del oxígeno y el acetileno, con o sin el uso de algún material de aporte. En la mayoría de los casos la junta se calienta hasta su punto de fusión y por lo general no se requiere de la aplicación de presión.

Los usos y ventajas de la soldadura oxiacetilénica son numerosos, el equipo es barato y no requiere de mucho mantenimiento, es portátil y se puede utilizar con igual facilidad en el campo como en una fábrica.

Con una técnica adecuada se pueden soldar prácticamente todos los metales y el equipo puede ser empleado tanto para soldar como para cortar.

Como ya vimos anteriormente para la generación de una llama se necesitan dos componentes el carburante (combustible) y el comburente (oxidante); por ejemplo en una parrilla de un hogar, el comburente (combustible) es el carbón o la leña, y el comburente (oxidante) es el aire arrastrado por el tiro de la chimenea, pero si analizamos los componentes del aire tenemos que el contenido de nitrógeno es del 78% aproximadamente y el contenido aproximado de oxígeno es del 22%, siendo el primero un gas inerte y el segundo el verdadero comburente (oxidante), por esta razón el aprovechamiento del poder calorífico del carburante (combustible) no es óptimo.

Si el acetileno se hace arder mezclado con aire, como en el mechero bunsen, se obtiene una llama aeroacetilénica cuya temperatura es de  $2100^{\circ}\text{C}$  (ver tabla anterior); pero si en vez del aire se utiliza como comburente el oxígeno puro, se obtiene una llama mas viva y mas caliente con una temperatura de  $3500^{\circ}\text{C}$  (llama oxiacetilénica), lo que demuestra la importancia de la utilización de un comburente como el oxígeno.

#### II.4.1.1.- Oxígeno.

El oxígeno es un gas cuya densidad es ligeramente superior a la del aire ( $D= 1.105$ ), y tiene la propiedad de convertir a los metales en óxidos, desde la temperatura ambiente los ataca lentamente pero conforme aumenta la temperatura esta oxidación es mas rápida y mas pronunciada y particularmente cuando alcanza el punto de fusión de un metal, este fenómeno es de gran importancia para la soldadura autógena ya que ocasiona el corte del metal en cuestión.

Dado que el oxígeno es un elemento abundante en la naturaleza y particularmente en el agua y en el aire, de donde puede ser obtenido con facilidad.

Si se pretende utilizar el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) para obtener el oxígeno se emplea el procedimiento de electrólisis que consiste en hacer pasar una corriente eléctrica atravez de ésta descomponiendola en hidrógeno ( $2\text{H}$ ) y oxígeno ( $\text{O}$ ) almacenandolos separadamente, este método es un poco caro, por lo que solo se utiliza para la producción de hidrógeno.

Actualmente el oxígeno se obtiene licuando el aire y separando el oxígeno del nitrógeno por medio de una destilación fraccionada, quedando residuos de otros gases en el oxígeno por lo que se requiere de una depuración con aparatos apropiados.

Cuando el oxígeno es extraído del aire contiene residuos principalmente de nitrógeno y cuando es extraído del agua contiene principalmente hidrógeno, de donde que de acuerdo al contenido de cualquiera de estos gases se dice que se tiene un título de pureza, esto es, por ejemplo, si el título de pureza del oxígeno es del 98% entonces el contenido de

hidrógeno o de nitrógeno es del 2%, en el caso del nitrógeno no existe ningún problema por el contenido en la mezcla por ser un gas inerte pero con el hidrógeno si lo hay, ya que puede llegar a formar una mezcla altamente explosiva.

En la actualidad se considera que el título de pureza del oxígeno no es relevante en la soldadura pero en el corte si, aunque el oxígeno se obtiene casi puro ya que presenta un título de pureza del 99 al 97%.

#### - Cilindros de oxígeno.

El oxígeno es almacenado en cilindros, comprimido a una presión de 150 kg/cm<sup>2</sup> por lo que dichos cilindros deben ser de acero muy resistente sin costura y además deben ser probados a una presión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, se fabrican para diferentes capacidades, desde 500 litros hasta 7500 litros; los dos tamaños mas comunes para los equipos de soldadura son los de 5000 y los de 7000 litros.

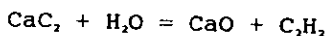
Por medio de un calculo muy simple podemos conocer en cualquier momento el volumen de oxígeno que queda en el cilindro, basta con multiplicar el volumen del cilindro en litros que representa su volumen efectivo en agua, por la presión del gas, en kg/cm<sup>2</sup>, indicada en ese momento por el manómetro.

$$V_c \times P = V_o$$

NOTA: Esta es una aplicación de la ley de Mariotte y es solamente aproximada por lo que para un calculo mas exacto debe aplicarse la ley de Van Der Walls.

#### II.4.1.2.- Acetileno.

Es el carburante (combustible) mas empleado para la soldadura con gas. El acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) se forma por la acción del agua sobre el carburo de calcio (Ca<sub>2</sub>C<sub>2</sub>).



El residuo CaO es conocido como cal.

El carburo de calcio se obtiene por fusión en hornos eléctricos, a una temperatura aproximada a los 4000°C de una mezcla de calcio y carbón a una proporción de 56% de calcio por 36% de carbón.

El carburo de calcio es un material sólido rocoso, de color variable desde gris terroso hasta un negro brillante, su dureza es comparable a la de una piedra; el carburo de calcio seco no es flamable y su punto de fusión es de 3000°C; tiene un rendimiento medio de 310 litros de acetileno por kilogramo de carburo de calcio.

La masa de carburo solidificada después de su salida del horno, es introducida a un molino para ser triturada, después se hace pasar por cribas (mallas) para su clasificación la cual se efectúa en tres grupos, según su tamaño:

1.- triturado corriente, con tamaño de grano de:

20 a 80 mm

2.- triturado especial o cribado, dividido en cuatro tamaños:

15 a 20 mm

20 a 40 mm

40 a 60 mm

60 a 80 mm

3.- granulado, correspondiente a los que quedan entre las cribas siguientes:

MIN. - MAX. [mm]

1 a 2

2 a 4

4 a 7

7 a 10

10 a 15

- **Propiedades del acetileno.**

El acetileno es un gas que se obtiene de la reacción del carburo de calcio con el agua, es incoloro, con olor fuerte, la composición es de 92.3% de carbono y 7.7% de hidrógeno, su densidad con relación al aire es de 0.91, el peso de un litro a 0°C es de 1.176 gr.

El acetileno es soluble en gran número de líquidos por ejemplo en un litro de agua pueden disolverse 1.73 litros de acetileno a 0°C y a presión atmosférica, pero a 22°C no se puede disolver mas de un litro. Tomando como base la experiencia se considera como el mejor disolvente a la acetona ya que disuelve hasta 25 veces su volumen de acetileno.

El acetileno no puede comprimirse ya que a la presión de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> se descompone en carbono e hidrógeno y con cualquier flama, choque o calentamiento puede reaccionar instantáneamente con una potente explosión, por lo que es conveniente disolverlo ya que de esta forma no es explosivo.

El acetileno se polimeriza aproximadamente a los 120°C, esto quiere decir que comienzan a aparecer diversos productos de condensación como benceno, estireno, naftaleno y otros.

Berthelot y Vieille establecieron en base a su experimentación que a 1 Kg/cm<sup>2</sup> de presión el acetileno puede descomponerse con violencia y provocar una fuerte explosión sin embargo este gas disuelto tolera hasta una presión de 15 a 20 Kg/cm<sup>2</sup> sin peligro alguno, aunque, en determinadas circunstancias, tanto el acetileno como la acetona pueden descomponerse al llegar a los 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

Al momento de su utilización debe separarse el acetileno de su disolvente, la acetona, para hacer esto se requiere elevar la temperatura de la mezcla o bien agitar el recipiente que contiene el gas disuelto, pero el primer método resulta un tanto peligroso y el segundo poco práctico.

La compañía francesa del acetileno disuelto, evitó esta dificultad utilizando el siguiente método:



Se absorbe la acetona por medio de un material poroso, y en seguida se disuelve el acetileno en la acetona; con este método se ha logrado que incluso a los 20 Kg/cm<sup>2</sup>, ni el gas libre reunido encima del material poroso, ni el gas todavía disuelto, sean explosivos.

Las pruebas efectuadas para la determinación del material absorbente mas conveniente han arrojado los siguientes materiales:

- a).- Materiales cerámicos: hechos a base de cemento, carbón vegetal, tierra, oxiclорuro de zinc etc. Que se introducen en los cilindros y se secan lentamente en un horno.
- b).- Materiales filamentosos: como la borra de ceda y otros.
- c).- Materiales granulados: carbón vegetal triturado en granos finos y regulares o aserrín exento de resina.

#### II.4.2.- Equipos de soldadura.

Un equipo de soldadura con gas involucra desde los aparatos que suministran los gases, hasta los accesorios necesarios para la utilización de los mismos.

Los equipos oxiacetilénicos se clasifican en dos tipos:

- Equipos de baja presión.
- Equipos de alta presión.

##### II.4.2.1.- Equipos de baja presión.

El equipo de baja presión consta de los siguientes elementos:

- Un gasógeno.
- Un depurador del acetileno.
- La canalización distribuidora del gas.
- Una válvula hidráulica de seguridad.
- Cilindro de oxígeno.
- Soplete.

- Gasógeno de acetileno.

Un gasógeno de acetileno es, como su nombre lo indica, un aparato destinado a la producción y almacenamiento del gas obtenido por la acción del agua sobre el carburo de calcio.

Los gasógenos se clasifican en tres tipos según su modo de alimentación:

- a).- Tipo de caída de carburo en el agua, (fig. 18) empleado en las grandes instalaciones para las cuales se necesita una producción considerable de gas.
- b).- Tipo de caída del agua sobre el carburo.
- c).- Gasógeno de contacto, que se utiliza en instalaciones portátiles como las de las obras, es entonces un aparato de baja producción de gas.

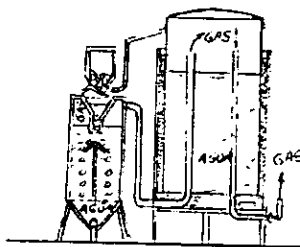


Fig 18.- GASOGENO DE ACETILENO.

- Depurador del acetileno.

El acetileno, como todos los productos industriales, no es químicamente puro; contiene principalmente hidrógeno fosfatado (PH<sub>3</sub>), pequeñas cantidades de amoniaco y vapor de agua, así como cal en estado de polvo fino.

Estas impurezas por pequeñas que sean las cantidades disueltas en el gas, pueden perjudicar a los materiales en la soldadura ya que el amoniaco ataca principalmente a las piezas de latón, el vapor de agua actúa como oxidante y el polvo de cal obstruye los orificios y tuberías de distribución.

Debido a esto es indispensable eliminar todos estos elementos ajenos al gas antes de su ingreso a la tubería de distribución; de ahí que el depurador se localice entre el gasógeno y la distribución.

El depurador utiliza como material depurante CATALISOL que es un polvo de aspecto rojizo, compuesto a base de óxido férrico catalizado y que tiene como soporte tierra absorbente.

El catalisol cuando se satura debe exponerse al aire de 24 a 48 horas para volver a adquirir sus propiedades depurantes, este procedimiento puede repetirse hasta tres veces sucesivas, aunque el poder depurante disminuye en cada reoxidación del 15 al 20%.

Los depuradores son recipientes cilíndricos en los cuales el acetileno que se produce en el gasógeno es separado de los elementos ajenos al gas; pasando primeramente por una rejilla de mallas apretadas, después por una capa de fieltro y por último por el catalisol.

#### - Distribución.

Las tuberías, destinadas a la conducción del acetileno desde el gasógeno hasta el equipo de soldadura en el taller, deben ser instaladas de forma definitiva y su diámetro se calcula en función del gasto horario previsto y de la longitud de tubería.

Las tuberías para acetileno serán preferentemente de acero, ya que este material es atacado mas lentamente por el gas, que al cobre y al latón.

#### - gasto horario de las tuberías.

Se conoce como gasto horario al número de litros de acetileno que pueden circular por una tubería de diámetro y longitud dados, para una pérdida de presión de 10 mm columna de agua en el recorrido de la tubería.

En la siguiente tabla se muestran los diámetros de tubería convenientes para distintas longitudes y consumos horarios.

## TUBERIA DE CONDUCCION DE ACETILENO

LONG. (Mt)	DIAMETRO DE TUBERIA EN (mm)							
	10	13	16	18	20	25	30	35
	<b>GASTO EN LITROS POR HORA</b>							
10	780	1500	2350	3140	4300	-----	-----	-----
15	580	1140	1910	2590	3360	-----	-----	-----
20	520	980	1650	2240	2900	5060	-----	-----
25	460	880	1480	1930	2580	4540	-----	-----
30	420	800	1350	1830	2360	4120	7060	-----
40	360	700	1170	1580	2060	3580	6180	-----
50	320	620	1040	1420	1820	3180	5460	7420
60	300	580	950	1300	1680	2940	5010	6810
70	280	520	880	1190	1540	2680	4600	6270
80	260	500	820	1110	1440	2540	4340	5680
90	240	460	770	1050	1360	2380	4060	5530
100	220	440	730	1000	1280	2260	3560	5245

### EJEMPLO:

Supongamos que queremos instalar una tubería en un taller que consume 5000 litros de acetileno en 4 horas y la longitud total es de 60 m. Localizamos la cantidad inmediata superior en la tabla en este caso el valor es 5010 que corresponde a una tubería de 30 mm de diámetro.

### - Valvula hidráulica de seguridad.

Debido a que el oxígeno se utiliza a una presión superior a la del acetileno (de 8 a 10 cm H<sub>2</sub>O) de 1 a 2 Kg/cm<sup>2</sup>, existe el peligro de que se detenga la circulación normal de los gases y el oxígeno retroceda hacia el gasógeno por la tubería del acetileno formando una mezcla altamente explosiva y peligrosa.

Por esto es necesario utilizar una válvula de seguridad que impida que dicha mezcla peligrosa se llegue a formar; evacuando inmediatamente (en caso de retroceso) en su totalidad al oxígeno al aire libre.

### NOTA:

La utilización de la válvula de seguridad hidráulica es obligatoria en todos los equipos de baja presión.

La válvula de seguridad esta constituida por un cilindro de 80 a 100 mm de diámetro y 250 a 300 mm de altura, que lleva en su eje la llegada de acetileno provisto de una llave exterior que enlaza la válvula con la distribución; tiene ademas un tubo de desprendimiento, una llave de comprobación del nivel del agua y una llave de salida del gas.

En las siguientes figuras se muestra la válvula hidráulica y su funcionamiento normal (a) y en retroceso (b).



Fig. 19.- VALVULA DE SEGURIDAD

- Regulador de oxígeno.

El oxígeno es suministrado en cilindros con una presión de 150 Kg/cm<sup>2</sup> por lo que es necesario bajar dicha presión para poder ser utilizado el gas; la presión de utilización esta entre 1 y 2.5 Kg/cm<sup>2</sup> por lo que es necesaria la utilización de un regulador o "monodetensor" el cual es un aparato delicado, que esta expuesto a sufrir inflamaciones capaces de destruirlo aunque esto sucede solo raras veces.

- Soplete oxiacetilénico.

El soplete oxiacetilénico se compone de un inyector de oxígeno envuelto por la cámara de aspiración del acetileno; dicha cámara termina en un convergente, donde comienza la mezcla de los dos gases, atravezando en seguida un divergente para llegar a la cámara de mezcla donde termina de efectuarse la mezcla de dichos gases; la cámara de mezcla termina con una reducción del área transversal que conduce la mezcla a la boquilla donde se efectúa la combustión y por consiguiente la llama oxiacetilénica.

El oxígeno llega en general a una presión que varía entre 1 y 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>, según la potencia del soplete, mientras que el acetileno es aspirado por el vacío originado por la circulación rápida del oxígeno, ya que la velocidad del gas excede los 200 m/s y por lo tanto la presión disminuye obligando entonces al acetileno a desplazarse hacia el lugar de mas baja presión; para que la mezcla sea satisfactoria es necesario un contacto prolongado entre los dos gases por lo que se requiere de una cámara de mezcla con una longitud relativamente grande. Si la mezcla de oxígeno y acetileno no es perfecta a la salida de la boquilla puede presentarse un retroceso de llama en el soplete; para evitarlos basta con aumentar la velocidad de salida del gas, esto es aumentar la presión del oxígeno.



**Fig 20.- SOPLETE OXIACETILENICO**

Los sopletes utilizados en la soldadura se clasifican según el régimen de presión de funcionamiento del acetileno.

**a).- Soplete de alta presión.**

Este tipo de soplete se utiliza casi exclusivamente para equipos con acetileno disuelto (equipos alta presión) donde los dos gases llegan a la misma presión, aproximadamente a 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>, y puede variarse la potencia cambiando la boquilla tobera por otra de diferente diámetro la boquilla que debe emplearse para la soldadura depende del grueso del metal y de la proporción de calor que se disipa.

Es aconsejable utilizar una boquilla tan grande como sea posible sin llegar a sobrecalentar el metal con el fin de soldar mas rápidamente y de gastar menos gas. Si la llama es demasiado pequeña para el grueso del metal que ha de soldarse, el calor se irradiara demasiado rápido y por lo tanto se gasta mas gas para llegar a la temperatura de soldadura.

**b).- Sopletes de media presión.**

Funcionan a una presión de acetileno de 100 a 250 cm H<sub>2</sub>O y no son muy empleados ya que solo se utilizan con equipos de soldadura que contienen gasógenos de mediana presión los cuales son de fabricación especial y únicamente los hay en Alemania; además son poco usuales.

**c).- Sopletes de baja presión.**

Los sopletes de baja presión funcionan a una presión de acetileno de 15 a 25 cm H<sub>2</sub>O estos son utilizados en instalaciones para soldadura donde se utilizan gasógenos convencionales de baja presión y los hay de gasto fijo y de gasto variable.

**- Potencia de un soplete.**

Se llama potencia de un soplete a la cantidad de acetileno en litros, que el soplete es capaz de consumir por hora; generalmente la potencia o consumo esta marcado en las boquillas o en el soplete si es de consumo fijo.

El gasto de oxígeno es teóricamente igual que el de acetileno o sea:

$$\frac{\text{OXIGENO}}{\text{ACETILENO}} = 1$$

Aunque esta relación puede variar hasta 1.1, 1.3 pero si llega hasta 1.6 ó 2.0 es indicio que existen perdidas de oxígeno fuera del soplete por lo que se recomienda revisar los equipos periódicamente para evitar fugas.

**II.4.2.2.- Equipos de alta presión.**

Un equipo de alta presión esta caracterizado por la utilización del acetileno disuelto, casi a la presión del oxígeno; estos equipos están compuestos por:

- Cilindro de acetileno disuelto.
- Reguladores para oxígeno y para acetileno.
- Cilindro de oxígeno.
- Soplete.

Este tipo de equipo en la actualidad es el mas usado debido a su seguridad ya que es un equipo portátil, ademas no requiere de tubería ni de componentes voluminosos.

#### II.4.3.- Métodos de soldadura con gas.

Como ya lo vimos anteriormente, para lograr que las superficies a soldar presenten una unión satisfactoria es necesario que dicha junta reciba una preparación previa, la preparación de las juntas mas usuales es el achaflanado y se practica cuando el espesor de las piezas se opone a la penetración suficiente de la acción de la llama; el espesor a partir del cual es recomendable que la preparación de la junta con achaflanado se efectúe, varía dependiendo del material que ha de soldarse, por ejemplo para los hierros y aceros, se achaflana a una cara (achaflanado sencillo), desde 5 hasta 20 mm de espesor, para mayores espesores es recomendable practicar un doble achaflanado en "X".

Fig 21.- ACHAFLANADO a) SENCILLO; b).- DOBLE



(a)



(b)

Para el Aluminio, el Cobre y sus aleaciones, se achaflanar las piezas a partir de un espesor de 3 a 4 mm.

El ángulo del claro entre las superficies varía con el método de soldadura a utilizar; para la soldadura clásica es de 90° y ligeramente menor para la soldadura "ATRAS".

Para aumentar la solidez de la costura soldada es recomendable repasar las soldaduras por el revers, lo que tiende a eliminar iniciaciones de fractura.



Los seis métodos básicos de soldadura con gas se enlistan a continuación:

- 1.- Soldadura clásica.
- 2.- Soldadura a la derecha o "atras".
- 3.- Soldadura al baño.
- 4.- Soldadura a la gota.
- 5.- Soldadura ascendente.
- 6.- Soldadura semiascendente.

#### II.4.3.1.- Soldadura clásica.

Se llama soldadura clásica por que puede ser utilizada para todos los metales, se le conoce también como soldadura "a la izquierda" o soldadura "avante"; la dirección general del soplete es perpendicular a la dirección de la junta a soldar, y el cono de la flama se inclina aproximadamente  $20^\circ$  hacia la izquierda dependiendo del espesor del material.

El movimiento del soplete depende del espesor del material a soldar; para un espesor máximo de 4 mm, el movimiento del soplete es giratorio, la boquilla describe elipses ligeramente descentradas; para espesores mayores de 4 mm, el soplete describe semicírculos alrededor de la varilla de soldadura, la cual debe moverse de igual forma que el soplete pero en sentido contrario.

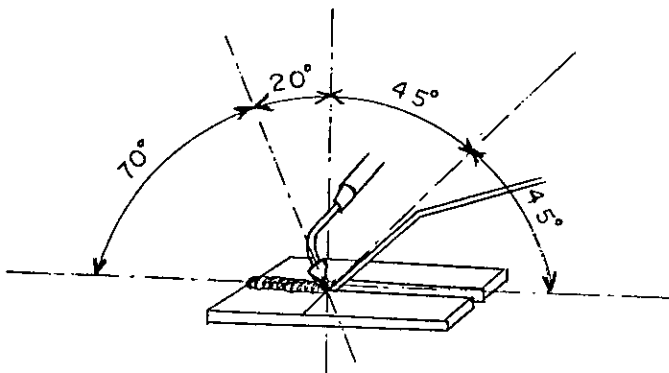


Fig. 22.- SOLDADURA CLASICA

#### II.4.3.2.- Soldadura "a la derecha" o "atras".

Esta soldadura se ejecuta de forma horizontal, avanzando de izquierda a derecha, este método de soldadura es el mas económico para espesores comprendidos entre 6 y 15 mm; la posición del soplete y de la varilla se indican en la figura 23; la abertura del chaflán debe ser de 60° a 80°.

En este método, la línea fundida es menos ancha que en el método clásico, lo que permite ejecutar la soldadura mas rápidamente y por lo tanto un consumo de gas menor. La soldadura "atras" puede ser ejecutada hasta un 25% mas rápidamente que la clásica.

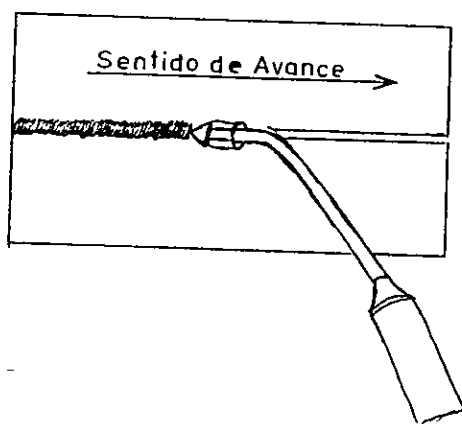


Fig. 2 .- SOLDADURA A LA DERECHA O "ATRÁS"

#### II.4.3.3.- Soldadura al baño.

La soldadura al baño es una soldadura a la izquierda, la cual es producida por la formación sucesiva de baños de fusión que se enlazan; este método no conviene utilizarlo industrialmente con espesores menores a los 10 mm.

#### II.4.3.4.- Soldadura a la gota

La soldadura a la gota es una soldadura a la izquierda, que se ejecuta por fusión rápida; sobre una pequeña porción del borde a soldar, se hace actuar el cono del soplete y se deposita en ella una gota de metal fundido del material de aporte; en cuanto ha caído la gota, se levanta el soplete y se pasa a la siguiente porción del borde, recubriendo cada gota de metal una parte de la gota anterior.

Este método proporciona un acabado magnífico, sin embargo es una soldadura que ofrece poca resistencia mecánica por lo que no es conveniente su utilización.

#### II.4.3.5.- Soldadura ascendente.

La soldadura ascendente se ejecuta en un plano vertical y moviendo el soplete de abajo hacia arriba; puede utilizarse para placas de hasta 10 mm de espesor; este método es utilizado con frecuencia para soldar piezas fijas o difíciles de mover; la soldadura ascendente permite obtener las mismas velocidades de ejecución que en la soldadura horizontal, pero con la ventaja de utilizar un soplete de menor potencia, logrando una penetración de la soldadura perfecta, ya que la flama ahueca los bordes o el fondo del chaflán formando un agujero que se va formando a medida que va subiendo el soplete y se va rellenando con el metal de aporte.

#### II.4.3.6.- Soldadura semiascendente.

Este tipo de soldadura se encuentra clasificada entre la soldadura horizontal y la soldadura vertical; se ejecuta como la ascendente de abajo hacia arriba pero sin llegar a perforar el chaflán y resulta ser un método bastante cómodo y rápido.

#### II.5.- SOLDADURA ELECTRICA:

Se usa el procedimiento de soldar electricamente, en gran manera, para unir metales tanto férreos como no ferrosos, es muy utilizado para el montaje de piezas en la fabricación produciendo uniones del tipo deseado, y para una gran variedad de operaciones. El siguiente resumen trata del importante desarrollo en los procedimientos de soldadura eléctrica, de sus disposiciones características y de las aplicaciones generales.

La soldadura al arco es un proceso de fusión en la que no se requiere presión alguna. En la soldadura al arco se establece un arco voltaico entre las piezas que se sueldan, y el electrodo se funde, que derrite los cantos adyacentes del metal base y suministra el metal de aportación. Se mantiene el arco por movimiento o por alimentación del electrodo fundente hacia la base del metal esto puede hacerse a mano o automáticamente. El metal de aporte consta de una mezcla de los metales de base y de relleno o solo metal de relleno. En la soldadura con arco de carbon e hidrógeno atómico, el metal de aportación (en forma de alambre o de varilla) puede, o no, tener el movimiento alimentador a mano o automático y soldar simultáneamente con el metal base. Si no se emplea material de aporte, el metal de soldadura consta solamente del metal de base.

#### II.5.1.- Procedimientos de soldadura descubierta y protegida.

Si el metal fundido de una soldadura no se protege de alguna manera, la oxidación y la absorción de nitrógeno del aire puede comprometer seriamente las propiedades físicas de la soldadura; por esto, se han creado algunos métodos para proteger el metal fundido. Cuando así se hace, la soldadura se llama "protegida". La principal razón para esta protección es la de obtener metal de soldadura que tenga las mismas propiedades físicas que las del metal de base. Si no hay protección o esta solo es parcial, se la llama soldadura "descubierta". La diferencia real entre las soldaduras protegida y descubierta está en las propiedades físicas de la misma soldadura. El procedimiento descubierta es útil para muchas aplicaciones, pero no debe aplicarse en uniones por testa o para piezas sujetas a elevadas tensiones residuales o de otra clase, o para esfuerzos de fatiga o de impacto. Las soldaduras obtenidas por el procedimiento descubierta pueden tener la adecuada resistencia a la tracción, pero carece de la ductilidad y de la resistencia a la fatiga y al impacto requerido. Los términos siguientes se refieren a los diferentes procedimientos protegidos.

#### II.5.2.- Soldadura con electrodo recubierto.

Esta denominación incluye todos los procedimientos en los cuales la protección es el resultado de la combustión, vaporización y fusión de diferentes materiales que se aplican, recubriendolo, sobre el alambre

del electrodo.

**II.5.3.- Soldadura protegida por protección independiente.**

Esta denominación abarca todos los procesos que utilizan una cinta o cordón que se alimenta independiente y automáticamente dentro de la zona del arco. El funcionamiento es parecido al de los electrodos recubiertos.

**II.5.4.- Soldadura protegida por gases.**

La zona del arco, en estos procedimientos de protección por gas, esta envuelta por un gas reductor o inerte que se suministra por una procedencia independiente.

**II.5.5.- Soldadura protegida por un fundente.**

Estos procedimientos como su nombre lo indica, utilizan un fundente (en forma de polvo o pasta) que se coloca en la unión frente al arco, y es total o parcialmente derretido o vaporizado mientras se realiza la soldadura.

**II.5.6.- El equipo para la soldadura con arco.**

Al elegir un equipo, el tipo, el tamaño y la clasificación deben basarse en el carácter del trabajo. Los siguientes tipos son aplicables en un ancho campo de la soldadura por arco:

Voltaje constante o variable; generadores de corriente continua o generadores a motor; rectificadores de arco de corriente continua; transformadores de corriente alterna a voltaje variable; generadores rotatorios a motor para corriente alterna a voltaje variable, cambios de frecuencia, cambios de fase, o combinaciones. El equipo de corriente continua a voltaje constante puede estar diseñado para operación simple o múltiple.

**a).- Voltaje variable.**

El equipo de corriente alterna y continua a voltaje variable o a energía constante esta dispuesto para evitar el chisporroteo y la extinción del arco cuando el soldador no tiene experiencia, y También ayuda al soldador experimentado. La energía eléctrica suministrada

permanece aproximadamente constante dentro del alcance de la variación del voltaje, como ocurre en la soldadura a mano.

**b).- Voltaje constante.**

El equipo de corriente continua de este tipo se proyecta para suministrar un voltaje constante al sistema de soldadura. Así, puede obtenerse de este sistema corriente para varios soldadores. La cantidad de corriente en el arco puede regularse con una resistencia variable. Cuando se agrupan, en un área limitada, un número de arcos con poco amperaje, la operación múltiple es ventajosa.

**II.6.- SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

En la soldadura de metales por el método de resistencia, se produce el calor necesario dentro de los metales por su resistencia ejercida contra el paso de una corriente eléctrica. Esta corriente puede variar de unos pocos millares a varios cientos de millares de amperes , según del grueso de las piezas a soldar. El transformador de las máquinas de soldar por resistencia convierte el voltaje comercial a otro muy bajo que usualmente es menor de 30 Volts y a una cantidad grande de corriente.

El amperaje requerido para la soldadura disminuye a medida que aumenta la resistencia eléctrica del metal. El acero inoxidable, el metal monel y los bronce siliciosos requieren de menor cantidad de corriente que los aceros ordinarios por su elevada resistencia. El cobre y la plata se soldan dificultosamente debido a su pequeña resistencia, ya que no es fácil conseguir electrodos para conducir tan gran cantidad de corriente. El aluminio, que tiene dos tercios de la conductibilidad, puede soldarse bien aunque requiere elevado amperaje. Existen siete métodos generales de soldadura por resistencia:

- Por puntos.
- Por resaltes.
- Por costura.
- A tope.
- Por chisporroteo.
- Por percusión.
- Por inducción.

## II.7.- SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.

En la soldadura por haz de electrones, la coalecencia se produce por el bombardeo de la pieza de trabajo con un denso haz de electrones a alta velocidad. El metal se une al fundirse los bordes de la pieza, o por penetración atravez del material, y no se añade metal de aporte usualmente. Este proceso se puede usar no solo para unir metales comunes, sino para metales refractarios, metales altamente oxidantes y diversas superaleaciones que han sido imposibles de soldar anteriormente.

El equipo necesario para ejecutar la soldadura por haz de elctrones es un cañón que esta colocado dentro de una cámara de vacio, dicho cañón esta dispuesto de tal forma que pueda moverse en un plano horizontal, subirse o bajarse.

El cañón puede ser posicionado mientras se vacia la cámara antes de la ejecución de la soldadura. Después que la cámara ha sido puesta en vacio a una presión de aproximadamente  $10^{-4}$  mm de mercurio, se energiza el circuito del haz de electrones y se dirige al punto deseado en la soldadura; generalmente en este proceso el haz permanece estático mientras las piezas a soldar pasan atravez del haz a la velocidad que el usuario acostumbre.

El rango de temperaturas de este cañón de electrones es suficiente para vaporizar tungsteno o cualquier otro material conocido.

En este proceso se aplica energía calorífica a las soldaduras a una velocidad aproximada con relación a los metodos convencionales de 20 a 1 por lo que se alcanzan producciones de soldadura mucho mas elevadas; por ejemplo una placa de aluminio de 12 mm de espesor se soldo a 800 mm/min y una placa de 75 mm de espesor de aluminio aleado 5083 se ha soldado a 30 Kv, 500 mA y 380 mm/min.

Es importante mencionar que el metal soldado por este método puede ser afectado térmicamente debido a las altas velocidades de soldadura y al calor extremo aplicado.

La soldadura por haz de electrones puede ejecutarse al aire ambiente o bajo una cubierta de gas inerte, pero con algunas limitaciones. El haz de electrones se forma dentro de una cámara similar a la cámara convencional de vacío, luego pasa a través de un orificio especial y finalmente a través de argón o helio hacia la pieza de trabajo. La efectividad máxima del haz es de 25 mm con una limitación en la pieza de trabajo de 13 mm. Mientras se aumenta la velocidad de la soldadura, las juntas no están libres de contaminación y el tamaño de la soldadura es mucho menor del que se obtiene por el método de vacío. La unidad sin vacío suplementa el proceso de soldadura al vacío convencional y aumenta el rango de soldaduras que se pueden hacer por medio del haz de electrones.

#### II.8.- SOLDADURA POR FRICCIÓN.

En la soldadura por fricción, la unión se logra mediante el calor generado por la fricción producida por la rotación de una pieza sobre otra bajo una presión axial controlada. Las dos superficies en contacto se calientan a una temperatura de fusión; el material adyacente se hace plástico. El movimiento relativo entre las dos piezas se suspende y se aplica una presión de forja que recalca ligeramente a la junta. Esta presión puede ser igual o mayor a la presión que predomina durante el calentamiento, dependiendo de su valor y del material que se está soldando. La rebaba producida durante el proceso tiende a separar de la junta las impurezas y óxidos superficiales.

En este proceso no se necesita de una preparación especial de la junta, solamente mantener las superficies limpias y lisas.

El equipo empleado debe ser capaz de mantener firmemente sujeta la pieza mientras la otra está girando y de suspender rápidamente la rotación cuando se alcanza la temperatura adecuada.

Las velocidades de rotación y la presión de contacto dependen del tamaño de la pieza y del tipo de material por ejemplo para una barra de acero al carbón de 25 mm, se recomienda una velocidad relativa de rotación de 1500 rpm y una presión axial de 10 MPa, mientras que para una barra del mismo tamaño de acero inoxidable se requieren 3000 rpm y 85 MPa.



Este proceso tiene la limitación de que solamente se pueden soldar perfiles redondos o tubos entre si y redondos con superficies planas. Las ventajas atribuidas al proceso son: equipo simple, producción rápida de soldaduras, se requiere de poca preparación de la junta y bajo consumo de energía.

Con este proceso pueden soldarse materiales no similares pero encuentra su mayor utilidad en la soldadura de plásticos.

En la figura 24 se muestra gráficamente el proceso de soldadura por fricción.

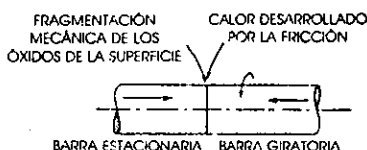


Fig. 24.- SOLDADURA POR FRICCIÓN

## II.9.- SOLDADURA POR ULTRASONIDO.

La soldadura por ultrasonido es un proceso de unión en estado sólido para el enlace de metales similares o distintos, generalmente con una junta de tipo en traslape.

Se introduce una energía de tipo vibratorio con alta frecuencia en el área de soldadura, en un plano paralelo a la superficie del ensamble. Las fuerzas involucradas establecen esfuerzos de corte oscilante en la interfaz de la soldadura, que rompen y eliminan a los óxidos de la superficie. Este deslizamiento interfacial da como resultado el contacto metal con metal y la formación de una lenteja de soldadura. En este proceso no se aplica calor externo, aunque el metal de soldadura experimenta una ligera elevación de temperatura.

En la figura 25 se muestra un esquema de un sistema de soldadura por punto simple.

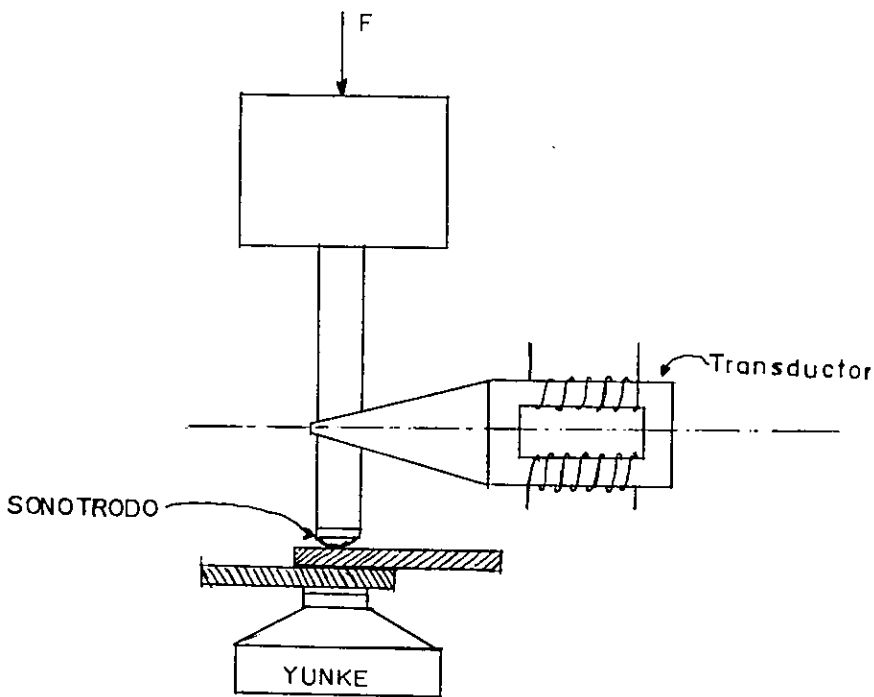


Fig. 25.- SOLDADURA POR ULTRASONIDO

Antes de efectuar la soldadura se prepara la máquina para la fuerza de apriete, tiempo, potencia y las piezas a unir se colocan sobre el yunque o soporte. En cuanto se inicia el ciclo de soldadura se aproxima el sonotrodo (generador de ultrasonido) hacia la junta a soldar y se produce la fuerza de apriete deseada, entonces se produce por medio del sonotrodo, por un tiempo predeterminado, la potencia ultrasonica con la suficiente intensidad para realizar la soldadura.

Este proceso es utilizado principalmente en la unión de láminas delgadas hasta de 3 mm de espesor, pero puede utilizarse para materiales mas gruesos con un gasto de energía muy elevado, que puede llegar a varios miles de Watts y varios cientos de Newtones.

#### II.10.- SOLDADURA POR EXPLOSION.

La soldadura por explosión o de recubrimiento, como se le llama frecuentemente, es la conjunción de dos superficies metálicas con un impacto y presión suficiente para producir su enlace. La presión se desarrolla por medio de un impacto explosivo colocado en contacto con, o en la proximidad cercana a los metales. En algunos casos se coloca

un material protector tal como goma sobre la plancha superior para prevenir daño a la superficie. El ensamble completo se coloca sobre una placa de choque o yunque que absorbe la energía generada durante la operación de enlace. De las dos disposiciones mostradas del recubrimiento o laminado de metales se prefiere la de arriba.

Para obtener el enlace metalúrgico, los átomos de ambas superficies se deben poner en contacto íntimo. Los diversos óxidos y películas siempre presentes en las superficies de los metales, se rompen o dispersan por la alta presión o bien se disuelven en la zona de unión. La fuerza explosiva conjunta a las superficies limpias, es suficiente para producir el enlace.

El uso principal de la soldadura por recubrimiento explosivo, es la unión de láminas de superficies grandes. Se han unido áreas por encima de 0.7 a 2.0 m<sup>2</sup>. También pueden ejecutarse las de costura, de puntos en traslape y de canto. Puede utilizarse para el recubrimiento interno de tubos y recipientes a presión.

Las ventajas de este proceso son la rapidez, simplicidad, tolerancia de espesor restringido que se puede mantener y la capacidad de unir metales no similares. Los metales con bajos puntos de fusión y baja resistencia al impacto no se pueden unir eficientemente.

# capitulo : 3

DISEÑO DE LA SOLDADURA

### III.- DISEÑO DE LA SOLDADURA.

La soldadura es considerada un medio básico para producir formas, para tal efecto existen dos conceptos básicos de diseño de soldadura esencialmente diferentes.

En el primer concepto se considera el conjunto soldado terminado como una estructura homogénea equivalente a una sola pieza; aunque efectivamente la eficiencia de la junta no es del 100%, este concepto de pieza única puede usarse en el diseño de soldadura si se consideran los esfuerzos máximos permisibles y se aumenta el área de la junta donde sea necesario.

El segundo concepto básico consiste en considerar la soldadura como un medio de ensamble, por esto el proceso de soldadura puede competir con los medios de fijación mecánica tradicionales, sin embargo existe el inconveniente de que los ensambles soldados siempre son permanentes pero las partes individuales conservan su forma original y la resistencia de la estructura esta sujeta a la resistencia de la junta.

cabe mencionar que la soldadura es inaplicable cuando se requiere que la pieza sea desmontada o retirada para uso o mantenimiento.

El diseñador de soldadura debe tomar en cuenta las propiedades de los metales y las posibles fallas o restricciones del proceso, así como tener presentes los principios básicos y los procedimientos diversos existentes, para lograr que llegue a buen fin la junta que se pretenda realizar.

A continuación se muestra en la figura 27 la soldabilidad de varios metales entre si mediante el proceso de soldadura con gas.



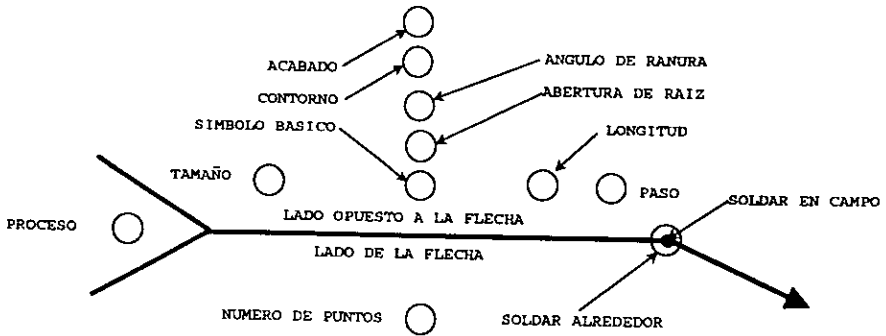


Fig. 28 SIMBOLO DE SOLDADURA

### III.1.1.- Localización de la flecha.

1.- Para los símbolos de soldadura de filete y bisel la flecha deberá señalar hacia un lado de la unión; este lado se denomina lado de la flecha o lado cercano. El lado opuesto al lado de la flecha, se considera el otro lado de la unión o lado lejano.

2.- Para el caso de los símbolos de soldadura de tapón, punto de arco, costura de arco, costura por resistencia y proyección, la flecha deberá conectar la línea de referencia del símbolo de soldadura con la superficie exterior de uno de los miembros de la unión; esta conexión se hará sobre la línea central de la soldadura deseada. El miembro hacia el que apunta la flecha se considera como el miembro del lado de la flecha o el miembro cercano y el otro será el miembro lejano.

### III.1.2.- Localización del símbolo con respecto a la unión.

- Las soldaduras del lado de la flecha, se mostraran en el dibujo colocando el símbolo de soldadura en la parte superior de la línea de referencia.
- Las soldaduras del otro lado de la unión se mostraran colocando el símbolo de soldadura en la parte superior de la línea de referencia.
- Las soldaduras que deban aplicarse en los dos lados de la unión, se mostraran colocando el símbolo de soldadura en los dos lados de la línea de referencia.

- Las soldaduras de punto y de costura por resistencia, no tienen significado por si mismas en cuanto al lado de la flecha y al otro lado; sin embargo, se emplean otros simbolos suplementarios para definir tales ubicaciones. Los simbolos para estos procesos, deberan centrarse sobre la línea de referencia.

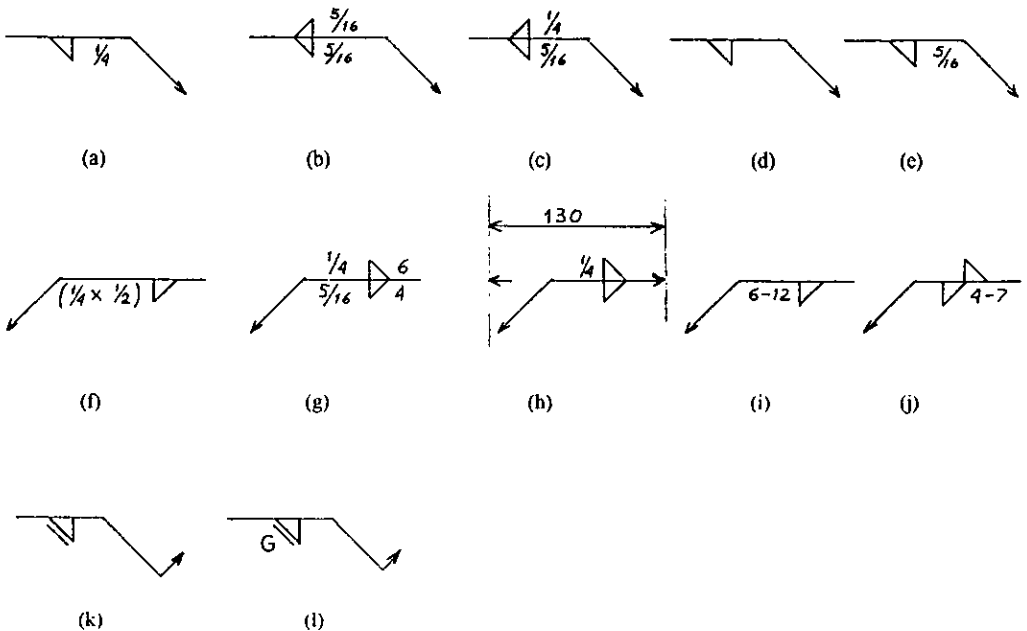
### III.1.3.- Interpretación de los simbolos para soldadura en filete.

- a).- Las dimensiones de las soldaduras en filete se muestran del mismo lado de la línea de referencia que el símbolo de soldadura.
- b).- Cuando los dos lados de una unión tienen soldadura en filete de igual tamaño puede dimensionarse solamente una o las dos soldaduras.
- c).- Cuando en los dos lados de una unión hay soldaduras de tamaños diferentes, las dos deberán dimensionarse.
- d).- Cuando en un dibujo aparece una nota general que cubre las dimensiones de las soldaduras en filete, como por ejemplo: TODAS LAS SOLDADURAS EN FILETE SERAN DE  $\frac{3}{16}$ , SALVO INDICACIONES CONTRARIAS; entonces todas las soldaduras en filete obedecen esta nota general, y no es necesario indicar el dimensionamiento en el dibujo, salvo aquellas soldaduras que no obedezcan esta nota.
- e).- El tamaño de la soldadura en filete deberá indicarse a la izquierda del símbolo de soldadura.
- f).- El tamaño de una soldadura en filete con catetos de diferentes longitudes, se indica entre paréntesis a la izquierda del símbolo de soldadura. La orientación de la soldadura no se muestra en el símbolo, si no que se indica en el dibujo siempre que sea necesario hacerlo.
- g).- La longitud de una soldadura en filete se muestra a la derecha del símbolo de soldadura.
- h).- Las longitudes especificadas de las soldaduras en filete, pueden indicarse utilizando simbolos conjuntamente con las líneas de



dimensionamiento.

- i).- El paso (espaciamiento de centro a centro) de soldaduras intermitentes en filete se muestra como la distancia entre centros de los incrementos a un lado de la unión. Debe aparecer a la derecha de la dimensión de longitud.
- j).- Las soldaduras intermitentes en filete, que además se alternan a uno y otro lado de la unión, se muestran alternando los símbolos de soldadura.
- k).- Las soldaduras en filete que deberán ejecutarse de tal forma que se logre obtener una superficie lo más plana posible, se muestra agregando el símbolo de contorno parejo.
- l).- Las soldaduras en filete, para las cuales se requiera una superficie plana terminada a máquina, se indican mostrando el símbolo de acabado acostumbrado por el fabricante.



### III.1.4.- Interpretación de los símbolos para la soldadura en ranura.

- a).- Las dimensiones de las soldaduras en ranura deben indicarse al mismo lado de la línea de referencia en que esta el símbolo de la soldadura.
- b).- Cuando los dos lados de una soldadura en ranura tienen las mismas dimensiones, uno de los dos lados puede dimensionarse.
- c).- Cuando los dos lados de una soldadura de doble ranura tiene dimensiones diferentes, los dos deberán dimensionarse.
- d).- Cuando en el dibujo aparezca una nota general que defina las dimensiones de las soldaduras en ranura, tal como, **TODAS LAS SOLDADURAS DE RANURA EN "V" TENDRAN UN ANGULO DE 60°, SALVO ESPECIFICACION CONTRARIA**, las soldaduras que deban cumplir con la nota general no requerirán dimensionamiento.
- e).- Cuando las dimensiones de una o varias de las soldaduras difieran de las indicaciones de la nota general deberán indicarse según sea necesario para uno o los dos lados de la soldadura.
- f).- El tamaño de las soldaduras en ranura se muestra a la izquierda del símbolo de soldadura.
- g).- Cuando las soldaduras de ranura simple y de ranura doble simétrica se extienden a lo largo de la totalidad de la pieza que se va a unir, no es necesario mostrar el tamaño de la soldadura en el símbolo correspondiente.
- h).- Cuando las soldaduras en ranura se prolongan parcialmente a lo largo de las piezas a unir, el tamaño de ésta se indica en el símbolo de la soldadura.
- i).- Excepto para las soldaduras de ranura cuadrada, el tamaño de la soldadura en ranura que tengan una penetración de raíz especificada, se indica mostrando la profundidad del achaflanado y de la raíz; estas dimensiones se separan mediante el signo más, y se colocarán

a la izquierda del símbolo de soldadura. El tamaño de la soldadura en ranura cuadrada, se indica mostrando únicamente la magnitud de la penetración de la raíz. La profundidad del achaflanado y la penetración de la raíz se leen en este orden y de izquierda a derecha sobre la línea de referencia.

j).- El tamaño de las soldaduras en ranura abocardada se considera comprendida entre los puntos tangenciales. Cualquier prolongación que rebase los puntos de tangencia, se considera como un borde o una unión traslapada.

k).- La apertura de la raíz de la soldadura en ranura, es la acostumbrada por el usuario salvo indicación contraria. Cuando esta dimensión no sea la acostumbrada por el usuario, su magnitud deberá indicarse dentro del símbolo de soldadura.

l).- El ángulo de las soldaduras en ranura, será el acostumbrado por el usuario salvo indicación contraria, en dicho caso se indicará en el dibujo.

m).- Los radios de las ranuras y las superficies de las raíces serán los acostumbrados por el usuario, salvo indicación contraria, en dicho caso la soldadura se mostrará mediante secciones, detalles y demás información que estime importante.

n).- Las soldaduras acordonadas y posteriores de soldaduras en ranura simple, se indican mediante el símbolo de soldadura espaldar.

o).- Las soldaduras en ranura ejecutadas de forma mas o menos pareja y sin recurrir a ningún método especial de acabado, se indican agregando el símbolo de contorno parejo al símbolo de soldadura.

p).- Las soldaduras que requieren ser emparejadas mediante la utilización de sistemas mecánicos de acabado, se indican agregando al símbolo de soldadura, el símbolo de contorno parejo y además el símbolo de acabado utilizado por el usuario, observando el significado usual de la localización con relación al símbolo de soldadura.

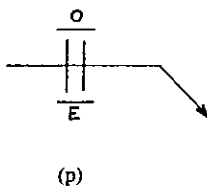
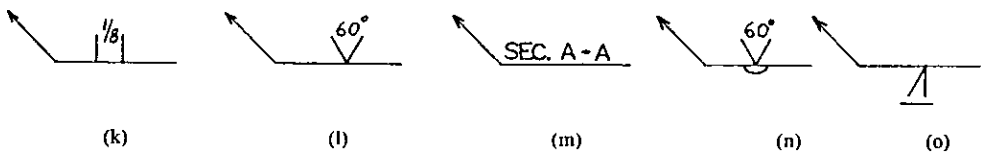
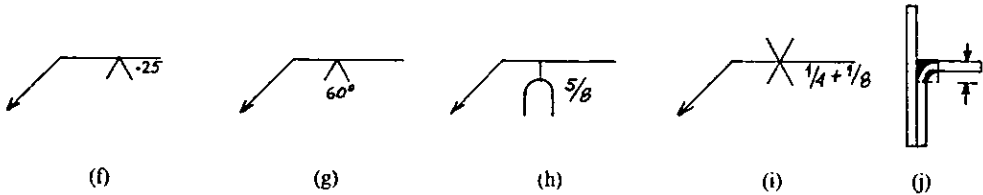
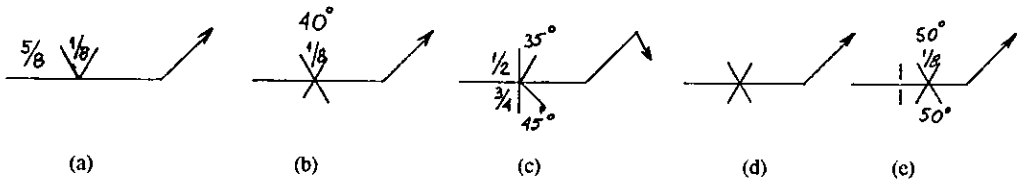
D = Desbardado.

E = Esmerilado.

M = Máquinado.

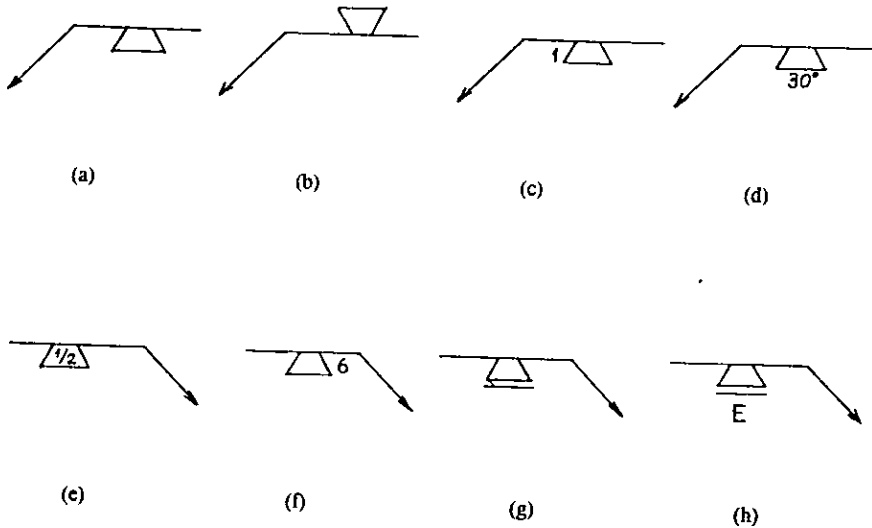
R = Terminado con rodillos.

I = Martillado.



### III.1.5.- Soldaduras de tapón.

- a).- Las perforaciones en la pieza del lado de la flecha, que se emplean para la soldadura de tapón, se indican colocando el símbolo de soldadura sobre el lado de la línea de referencia que queda hacia el lector.
- b).- Las perforaciones en la pieza del otro lado de una junta para soldadura de tapón, se indican colocando el símbolo de soldadura sobre el lado de la línea de referencia que queda alejado del lector.
- c).- El tamaño de una soldadura de tapón se muestra sobre el mismo lado y a la izquierda del símbolo de soldadura.
- d).- El ángulo incluido del avellanado de los tapones de soldadura, es el acostumbrado por el usuario salvo especificación contraria, en este caso se indica el ángulo incluido según se ilustra.
- e).- La profundidad del relleno para las soldaduras de tapón, es total salvo indicación contraria, en tal caso se especificará la profundidad del relleno, en pulgadas, dentro del símbolo de soldadura.
- f).- El paso (espaciamiento de centro a centro) de las soldaduras de tapón se muestra a la derecha del símbolo de soldadura.
- g).- Las soldaduras de tapón que requieran de un acabado mas o menos parejo sin necesidad de emplear medios mecánicos, se indican agregando el símbolo de acabado parejo al de soldadura.
- h).- Las soldaduras de tapón que requieran ser emparejadas utilizando medios mecánicos de acabado, se indican agregando al símbolo de soldadura, el símbolo de acabado parejo y el de acabado especial utilizado por el usuario.

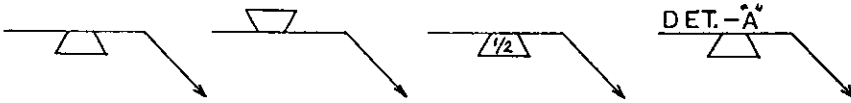


### III.1.6.- Soldaduras de pie de agujero.

- a).- Las muescas o ranuras de la pieza del lado de la flecha para una junta de soldadura de pie de agujero o ranura, se indican colocando el símbolo de soldadura sobre el lado de la línea de referencia que queda hacia el lector.
- b).- Las muescas o ranuras de la pieza del otro lado de una junta para soldadura de este tipo, se indican colocando el símbolo de soldadura sobre el lado de la línea de referencia que queda opuesto al lector.
- c).- La profundidad del relleno de las muescas es total, salvo indicación contraria, en tal caso se indicará la profundidad del relleno, en pulgadas, dentro del símbolo de soldadura.
- d).- La longitud, la anchura, el espaciamiento, el ángulo incluido del avellanado, la orientación y la localización de las soldaduras de pie de agujero, deberán indicarse en el dibujo, o mediante detalles referenciados en el símbolo de soldadura, observando el significado corriente de la localización con relación al símbolo.

e).- Las soldaduras que deban elaborarse de tal forma que resulte un acabado mas o menos parejo sin necesidad de utilizar medios mecánicos, se indican agregando el símbolo de contorno parejo al símbolo de soldadura.

f).- Las soldaduras que deban emparejarse utilizando medios mecánicos, se indican agregando al símbolo de soldadura el símbolo de contorno parejo, y el símbolo de acabado utilizado comunmente por el usuario.

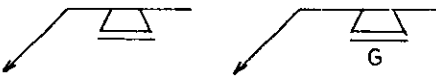


(a)

(b)

(c)

(d)

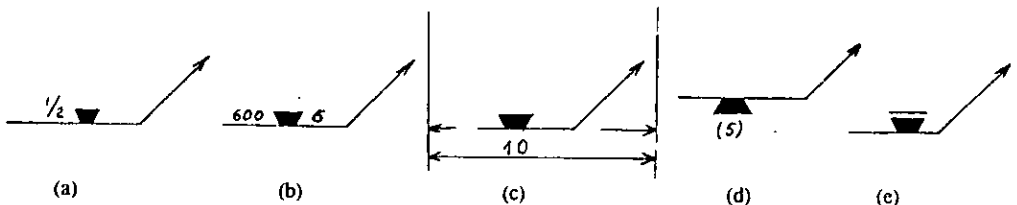


(e)

(f)

### III.1.7.- Soldadura de arco de puntos.

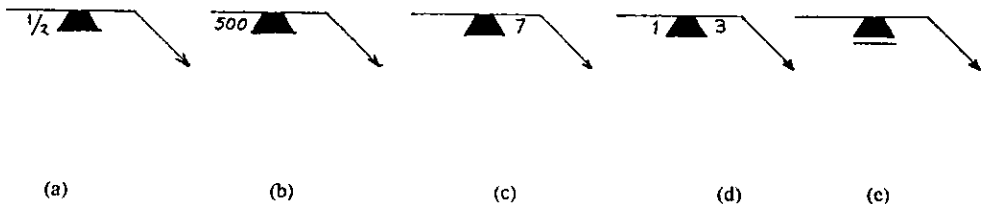
- a).- Las dimensiones de los puntos de soldadura de arco se muestran del mismo lado de la línea de referencia que muestra el símbolo de soldadura. Se dimensiona de acuerdo con su tamaño o con su resistencia. El tamaño se indica de acuerdo con el diámetro de la soldadura expresado en fracciones o en centésimos de pulgada; se muestra a la derecha del símbolo de soldadura. No es necesario expresar el símbolo de pulgadas.
- b).- La resistencia de los puntos de soldadura de arco se define como la resistencia mínima aceptable al cizallamiento, en libras por punto de soldadura, y se muestra a la izquierda del símbolo. El paso (espaciamiento de centro a centro), se muestra a la derecha del símbolo.
- c).- La extensión de las soldaduras debe dimensionarse, cuando es inferior a la distancia comprendida entre cambios abruptos de la dirección de la soldadura o cuando es menor que la longitud total de la junta.
- d).- Cuando para una junta se desea un número definido de puntos de soldadura de arco, se indicará entre paréntesis en la parte superior o en la inferior del símbolo de soldadura.
- e).- Cuando la superficie a la vista de una de las piezas de la junta, deba ser emparejada, se indicará tal superficie agregando el símbolo de contorno emparejado al símbolo de soldadura. Esto se hará observando el significado corriente de la localización con relación al símbolo.





### III.1.8.- Soldaduras de arco en costura.

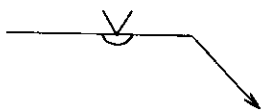
- a).- Las dimensiones de este tipo de soldadura se muestran del mismo lado de la línea de referencia que muestra el símbolo de soldadura. Se dimensionan ya sea por su tamaño o por su resistencia. El tamaño de la soldadura se identifica como la anchura de la costura, expresado en fracciones, o decimalmente, en centésimas de pulgada. Se muestra a la izquierda del símbolo de soldadura, sin que sea indispensable utilizar el símbolo de pulgadas.
- b).- La resistencia se especifica como el cizallamiento mínimo aceptable, en libras por pulgada lineal de soldadura, y se muestra a la izquierda del símbolo de soldadura.
- c).- La longitud de las costuras, cuando se muestra en el símbolo de soldadura, se indica a su derecha. Cuando éstas se extienden a todo lo largo de la distancia entre cambios abruptos de la dirección de la soldadura, no es necesario indicar su dimensionamiento.
- d).- El espaciamiento la extensión, la localización y la orientación de las costuras, no se muestra en el símbolo de soldadura. Estos datos se indican en el dibujo.
- e).- Cuando la superficie a la vista de una de las piezas de la junta soldada con costura de arco, deba ser emparejada, tal superficie se indica agregando el símbolo de contorno emparejado al símbolo de soldadura. Esto, observando el significado corriente de la localización con respecto al símbolo.



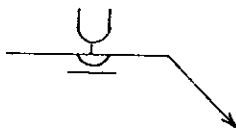
### III.1.9.- Soldadura espaldar.

El símbolo de soldadura espaldar se usa para indicar espaldares acordonados de soldadura en una ranura simple.

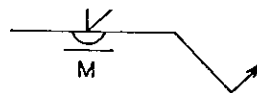
- a).- Estas soldaduras se indican colocando el símbolo de soldadura espaldar sobre el lado de la línea de referencia opuesto al símbolo de soldadura en ranura. No se muestran las dimensiones de éste tipo, si se desea mostrar las dimensiones, esto debe hacerse en el dibujo.
- b).- Las soldaduras de espaldar que deban quedar mas o menos parejas sin necesidad de emplear medios mecánicos, se indicarán agregando el símbolo de contorno parejo al símbolo de soldadura de espaldar.
- c).- Cuando la soldadura deba emparejarse con la utilización de medios mecánicos, se agregarán al símbolo de soldadura de espaldar, el símbolo de contorno parejo y el símbolo de acabado que utiliza normalmente el usuario.



(a)



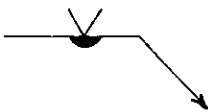
(b)



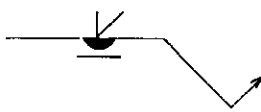
(c)

### III.1.10.- Soldaduras por fusión completa.

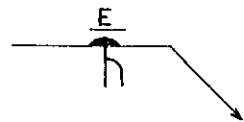
- a).- Los simbolos de fusión completa se emplean cuando se requiere el 100% de penetración de la soldadura atravez del material, para soldaduras ejecutadas por un solo lado de la pieza a unir. Se indican colocando el símbolo de soldadura por fusión completa, sobre el lado de la línea de referencia opuesto el símbolo de soldadura en ranura.
- b).- Las soldaduras que deban quedar mas o menos parejas, sin necesidad de emplear algún medio mecánico, se indicarán agregando al símbolo de soldadura, el símbolo de contorno parejo.
- c).- Las soldaduras que deban emparejarse empleando algún medio mecánico, se indicarán agregando al símbolo de soldadura el símbolo de contorno parejo, y el símbolo que usa generalmente el usuario.



(a)



(b)



(c)

### III.1.11.- Soldadura de superficie lenticular.

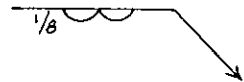
- a).- El símbolo de soldadura de superficie o lenticular se usará para indicar superficies formadas en soldadura, las cuales se muestran siempre con el mismo símbolo, sin importar el número de pases de soldadura que hayan sido necesarios para su conformación. El símbolo de éste tipo de soldaduras no indica que se haya soldado una unión, y por consiguiente carece de significado en cuanto a ubicación referente a la flecha o al otro lado. Este símbolo (soldadura de superficie) se dibuja del lado de la línea de referencia que queda hacia el lector, y la flecha debe indicar claramente la superficie sobre la cual habrá de depositarse la soldadura.
- b).- las dimensiones empleadas conjuntamente con el símbolo de soldadura de superficie, se muestran del mismo lado de la línea de referencia donde aparece el símbolo de soldadura. El tamaño o altura de la superficie formada con soldadura, se indica mostrando la altura mínima de la soldadura depositada, a la derecha del símbolo de soldadura. Cuando no se requiera una altura específica, no será necesario mostrar las dimensiones de tamaño en el símbolo de soldadura.
- c).- Cuando la totalidad del área de una superficie plana o curva deba conformarse con soldadura, no es necesario mostrar ninguna dimensión, aparte de la correspondiente al tamaño (altura de la soldadura depositada) de la soldadura.



(a)



(b)

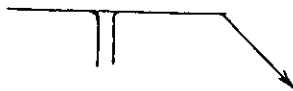


(c)

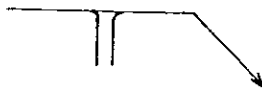
### III.1.12.- Soldaduras rebordeadas.

Los siguientes simbolos de soldadura deberán usarse para uniones de metales de calibre liviano, para los cuales sea necesario el abocardado o rebordeado de las superficies a unirse.

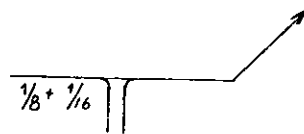
- a).- Las soldaduras de borde abocardado deberán mostrarse mediante el símbolo del mismo nombre. Este símbolo no tiene significado en cuanto a los dos lados se refiere.
- b).- Las soldaduras de esquina rebordeada deberán indicarse mediante el símbolo del mismo nombre, el cual no tiene significado desde el punto de vista de los dos lados.
- c).- Las dimensiones de las soldaduras rebordeadas o abocardadas deberán aparecer del mismo lado de la línea de referencia que muestra el símbolo de soldadura. El radio y la altura por encima del punto tangencial, deberán indicarse mostrando sus dimensiones separadas por un signo más y colocadas al lado izquierdo del símbolo de soldadura. El radio y la altura deberán leerse en el mismo orden, de derecha a izquierda, a lo largo de la línea de referencia.
- d).- El tamaño de las soldaduras rebordeadas será indicado colocando su dimensión hacia afuera de las dimensiones rebordeadas.
- e).- La apertura de la raíz no se indicará en el símbolo de soldadura. En caso de que sea necesario especificar esta dimensión, deberá mostrarse en el dibujo.
- f).- Cuando se inserten una o mas piezas entre las piezas exteriores, se empleará el mismo símbolo de soldadura requerido para las piezas exteriores, sin tener en cuenta el número de piezas insertadas.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# capitulo : 4

DEFECTOS Y PRUEBAS DE LA SOLDADURA

## IV. - DEFECTOS Y PRUEBAS A SOLDADURA.

### IV.1.- DEFECTOS DE LA SOLDADURA.

En los procesos de soldadura están involucrados generalmente dos factores importantes, calor y presión; que se manifiestan en la dilatación y contracción, a un grado que no es predecible ni medible.

Las numerosas variables que intervienen en las soldaduras dan lugar a que existan discontinuidades en los materiales tales como espacios vacíos, inclusiones, grietas y variaciones químicas, además de los cambios metalúrgicos que puedan presentarse.

Por esto el diseñador de soldadura debe tener en conocimiento los posibles defectos, sus efectos y las posibilidades y probabilidades de su detección antes de la utilización del producto.

La American Welding Society clasifica los defectos en tres clases asociadas a :

- 1.- Los requisitos dimensionales o de dibujo.
- 2.- Las discontinuidades estructurales en la misma soldadura.
- 3.- El metal o junta soldada.

#### IV.1.1.- Distorsiones.

Las distorsiones o alabeos son los defectos mas comunes en un conjunto o en una junta soldada, las cuales son provocadas por los esfuerzos desiguales existentes en la zona de soldadura, los cuales son provocados por los cambios calentamiento - enfriamiento tan variables durante el proceso.

La eliminación de la deformación durante el proceso de soldadura es una tarea poco menos que imposible, ya que solamente tratarla de controlar representa un trabajo difícil. Los mejores resultados se obtienen si se utiliza el mejor diseño posible de la soldadura, para cada caso en particular.

En muchos casos los niveles de esfuerzos se disminuyen por alguna acción externa, como tratamientos térmicos aplicados después de la ejecución de la soldadura lo cual no resulta nada económico.



Las distorsiones se presentan en niveles diferentes dependiendo de las condiciones particulares de cada soldadura y puede suceder de manera imperceptible a simple vista o bien ser tan severa que pueda llegar a causar fracturas.

#### IV.1.2.- Discontinuidades estructurales.

En casi todos los procesos de soldadura la mayoría de discontinuidades estructurales tales como: porosidades, inclusiones, fusión incompleta, muecas y grietas, es muy probable que se deban, ya sea a la mala elección de los materiales o a una técnica deficiente del operador al ejecutar la soldadura.

#### IV.1.3.- Porosidad.

Las porosidades son bolsas o vacíos creados en el metal durante la solidificación, causados por el reemplazo inadecuado del metal líquido durante la contracción por la presencia de gases que evitan el llenado completo de la zona de fusión o por la rápida solidificación del metal dejando atrapados gases bajo la superficie.

Las porosidades rara vez pueden eliminarse completamente, sin embargo los tamaños de poro y su localización pueden controlarse en cierto grado seleccionando correctamente el material, el proceso y la técnica a utilizarse para cada caso.

En la figura 29 observamos como pueden presentarse los poros en la soldadura, los poros pueden detectarse por varios métodos entre ellos tenemos el método radiográfica, macrográfico, por corte transversal, por pulido de la soldadura etc.

El grado de seriedad de los poros depende de su tamaño, su distribución y localización.

Los poros mas peligrosos son los que se encuentran concentrados en áreas de alto esfuerzo.

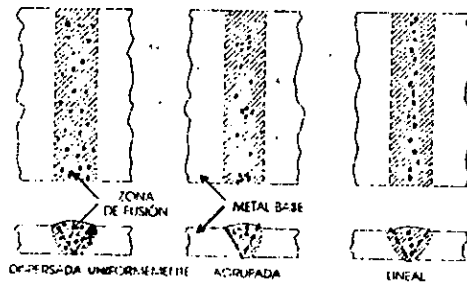


Fig. 29 POROS EN SOLDADURA

#### IV.1.4.- Inclusiones.

Las inclusiones son partículas de escoria, formadas por óxidos de metal y sólidos no metálicos.

Estos defectos son resultado de una mala ejecución del método de soldadura, como por ejemplo el uso de una temperatura de soldadura demasiado baja, soldadura sobre materiales ajenos a la junta y soldadura en metal sucio.

Este efecto aparece con frecuencia en soldaduras de varios pasos o también en soldaduras interrumpidas; produciendo debilidad en la junta o fallas posteriores.

#### IV.1.5.- Fusión incompleta.

Este tipo de defecto aparece cuando la preparación de la junta no es la requerida o no ha sido bien ejecutada, otra causa por la cual en ocasiones se presenta es por que el espaciamiento de la junta es muy estrecho o simplemente por una mala ejecución por parte del operador, ya que muchas veces se utiliza muy poco calor para fundir el metal base.

La fusión incompleta se manifiesta por la falta de penetración o penetración inadecuada llamada también "cortes bajos", esto es, que ocurre una fusión parcial pero no alcanza a completarse la junta.

En la figura 30 se muestran algunos ejemplos de falta de penetración de la soldadura.

Estos defectos son muy frecuentes al soldar, y deben ser reparados ya que tienden a disminuir la resistencia de la junta y puede resultar una pieza no muy segura.

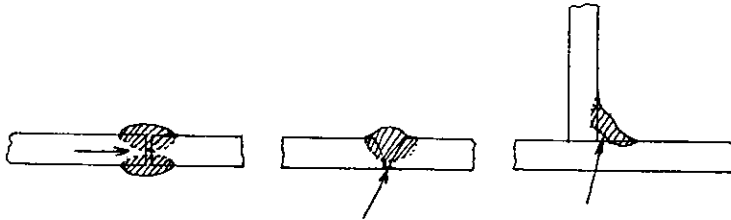


Fig. 30 DEFECTOS DE PENETRACION

#### IV.1.6.- Grietas.

Las grietas son producidas por los esfuerzos causados por los cambios dimensionales locales que ocurren durante el calentamiento y enfriamiento de la soldadura.

Las grietas pueden aparecer en el metal de aporte o en el metal base, aunque por lo general el metal base no se agrieta a menos que sea algún metal que previamente haya sido endurecido térmicamente.

La probabilidad de que ocurra alguna grieta es mayor cuando se soldan secciones grandes debido a que a mayor masa mas rápido es el proceso de enfriamiento.

Algunas grietas son difíciles de detectar a simple vista por su colocación y pueden ser también muy estrechas o discontinuas; En la figura 31 observamos algunos tipos y localizaciones posibles de grietas, tanto en el metal base como en el metal de aporte.

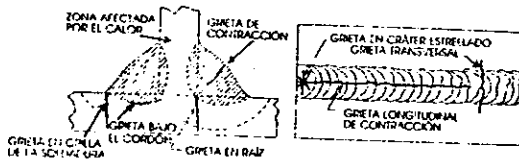


Fig. 31 GRIETAS EN SOLDADURAS

#### IV.1.7.- Irregularidades de la superficie.

Con frecuencia las soldaduras presentan en su superficie pequeñas burbujas, agujeros y otras irregularidades que afectan a la apariencia, si llegasen a depositarse capas de soldadura adicionales, estas irregularidades deben ser picadas o esmeriladas para remover la escoria y así evitar que se presenten mayores problemas.

La mayoría de las soldaduras por fusión presentan variaciones en la altura del refuerzo del cordón, ancho de la ondulación y la cantidad de salpicado.

Por lo general estos defectos no afectan a la resistencia de la soldadura, pero como afectan a la apariencia pueden requerir de algún picado, cepillado con alambre, esmerilado u otro tipo de limpieza.

#### IV.1.8.- Propiedades adversas del metal.

En ocasiones las fallas causadas por el hecho de incompatibilidad entre el material de aporte y el metal base, por la mala elección de los electrodos, o por la incorrecta selección del proceso a utilizar para cada caso y para cada material.

#### IV.2.- PRUEBAS DE LA SOLDADURA.

La soldadura como ya vimos anteriormente no es precisamente un proceso perfecto ya que esta expuesto a muchos tipos de fallas, producto de errores cometidos durante todo el proceso, pero también existen fallas inevitables, intrínsecas del proceso mismo.

Para poder calificar el grado de calidad de la soldadura es necesario realizar una inspección que puede ser muy rigurosa o no, dependiendo de la utilidad o de la naturaleza de la pieza soldada; para este efecto se cuenta con una serie de pruebas debidamente estructuradas para tal fin.

Por su naturaleza podemos clasificar las pruebas de la soldadura en dos grupos.

- 1.- Pruebas destructivas.
- 2.- Pruebas no destructivas.

#### IV.2.1.- Pruebas destructivas.

Una prueba destructiva es cualquier prueba que daña el material o afecta el funcionamiento de la pieza soldada.

Las pruebas destructivas se efectúan raramente sobre el conjunto soldado completo, excepto cuando toda la estructura es considerada una muestra. Las pruebas destructivas tienen que realizarse con muestras que se suponen representativas de un lote.

#### a).- Pruebas destructivas para soldaduras a tope.

##### a.1).- Prueba de dureza.

La prueba de dureza consiste en aplicar punciones alineadas a lo largo de segmentos paralelos entre si y transversales al cordón de soldadura, la longitud de dichos segmentos debe ser tal que las primeras mediciones se efectúen sobre el metal base, después sobre la zona térmicamente afectada, a continuación sobre el metal de aporte y así sucesivamente hasta el metal base del otro extremo del cordón.

##### a.2).- Prueba de rotura.

Esta prueba se realiza tomando una probeta de la soldadura a tope y colocandola en una prensa sujetadora, cuidando que la línea de la soldadura quede justamente encima del borde de la prensa, para someter la probeta a una flexión por la línea de la soldadura, ya sea aplicando una tensión o por impacto, la soldadura debe resistir un doble considerable antes de agrietarse o fracturarse.

**a.3).- Prueba de corte.**

La prueba de corte consiste en efectuar un corte transversal a la sección de la junta o a lo largo de la soldadura, una vez realizado el corte se procede a examinarlo de forma visual para comprobar si existe alguna falla o no, con esta prueba podemos localizar toda clase de defectos que pudieran ocurrir.

**a.4).- Prueba macrográfica o por corrosión.**

La prueba macrográfica también conocida como prueba por corrosión es un ensayo de laboratorio que consiste en preparar una muestra soldada que se pule cuidadosamente con lija de menor a mayor grado de finura, la cual es atacada químicamente con un reactivo hecho a base de yodo cuya composición es la siguiente:

YODO SUBLIMADO	10 grs.
YODO POTASICO	20 grs.
AGUA	100 grs.

Este reactivo se aplica a la muestra con un pincel sobre la muestra preparada y se verá aparecer la zona soldada con todos sus defectos si llegaran a existir, en caso de una soldadura perfecta, la soldadura y la transición con el metal base aparecerán teñidas uniformemente sin manchas ni rayas.

Esta prueba permite una comprobación rápida y segura del trabajo realizado, sin embargo como todas las pruebas destructivas tiene el inconveniente de sacrificar una o el número de piezas que nos marque los estandares de inspección para que sea representativo del lote.

**b).- Prueba de soldadura en ángulo.**

Un extremo de la probeta en ángulo se introduce en una prensa sujetadora y al otro extremo se le somete a tracción en dirección de plegar el ángulo. Después de que la soldadura se rompe o queda plana se examina la superficie de la fractura la cual debe ajustarse a las siguientes condiciones.

- 1.- la soldadura debe presentar penetración en las dos placas.
- 2.- No deben existir señales de grietas, fusión incompleta, poros o cabernas.

- 3.- Los extremos de la soldadura en ángulo deben ser de longitud igual o con una variación menor que 1.6 mm.
- 4.- No deben existir mordeduras.
- 5.- La concavidad o convexidad no debe ser mayor que 1.6 mm.

#### IV.2.2.- Pruebas no destructivas de soldadura.

Las pruebas no destructivas se caracterizan por no dañar ni afectar el funcionamiento de la pieza soldada.

Hoy en día podemos darnos cuenta exacta de las condiciones en las que se encuentra una soldadura, sin recurrir a la destrucción de ésta, utilizando las técnicas no destructivas de inspección.

Existe una gran gama de pruebas no destructivas, desde una simple inspección visual hasta los completos exámenes realizados con la mas avanzada tecnología, en este capítulo solamente tocaremos algunas de las mas importantes técnicas.

##### a).- Inspección visual.

La inspección visual consta de un reconocimiento minucioso de una soldadura previamente realizada, esto es, que nosotros podemos detectar fallas en la soldadura solamente con observar el frente y el revers del cordón; Al observar el frente obtendremos información sobre la apariencia, la existencia de porosidad, de grietas, de la regularidad de la soldadura, del sobreespesor, del adelgazamiento de los bordes y de la anchura de la soldadura.

Para que el examen visual sea completo es necesario examinar el revers en el que encontraremos información como la penetración de la soldadura en cuyo caso se hace indispensable la plena identificación del óxido y del metal.

La técnica visual es reforzada en ocasiones por algunos aparatos como microscopios, televisores en circuito cerrado, animascopios que son dispositivos especiales de pequeño diámetro a fin de ser introducidos en largos tubos estrechos para inspeccionar sus superficies internas, cámaras de video, etc.

**b).- Prueba de líquidos penetrantes.**

El examen a la soldadura por medio de líquidos penetrantes se utiliza principalmente para la detección de grietas, cavernas o poros pequeños que puedan localizarse a lo largo de toda la junta.

El procedimiento para la realización de la prueba de líquidos penetrantes debe seguir la secuencia que a continuación se enumera:

**1.- Limpiar la superficie.**

La limpieza de la superficie a ensayar debe realizarse correctamente ya que la grasa, los aceites y la suciedad impiden que el penetrante entre en los huecos, por lo que la superficie debe ser limpiada con un solvente, dejándolo trabajar unos momentos para que logre disolver todo elemento extraño a la superficie para después retirarlo con un paño limpio, el cepillado con cepillo de alambre y el bruñido no deben utilizarse por que estos procesos tienden a tapar los poros pequeños que puedan existir.

**2.- Aplicar el líquido penetrante.**

El penetrante se distribuye en toda la superficie para que entre en las grietas, poros o huecos por capilaridad, la penetración es mejor si se calienta la superficie, aunque no es muy recomendable debido a que algunos penetrantes tienen un punto de inflamación bajo.

Una vez que el líquido a permanecido un lapso de tiempo suficiente para que ocurra una buena penetración, es retirado de la superficie de acuerdo con las indicaciones del fabricante, o si se utiliza keroseno se retira con un paño limpio, dejando solamente el líquido penetrado en poros y grietas.

Los tiempos clásicos de penetración son de 2 a 5 minutos, cuando la temperatura es baja el tiempo tiende a ser mayor.

Al retirar el líquido de la superficie es necesario que sea total para evitar resultados erróneos.

**3.- Aplicación del revelador.**

El revelador debe ser aplicado uniformemente sobre la superficie sin apelmazamientos puesto que estos pueden ocultar resultados.

El revelador que es de color blanco extrae por fuerzas capilares el líquido alojado en grietas y poros coloreando el polvo depositado sobre



él. El calentamiento de la zona ayuda a la extracción del penetrante por el revelador.

Para la realización de esta prueba se utilizan penetrantes, reveladores y limpiadores patentados pero puede utilizarse como penetrante el keroseno con tinte de alizarina para la coloración o solo, y como revelador talco o gis en polvo, obteniendo con esto resultados confiables.

Una variante de este método es el uso de penetrantes fluorescentes, donde la detección de fallas se hace por medio de luz negra la que revela los poros y fisuras con coloración ámbar.

#### c).- Prueba de partículas magnéticas.

La utilización de esta prueba se limita solo a materiales ferromagnéticos, es decir principalmente aceros y fundiciones.

La prueba de partículas magnéticas consiste en magnetizar la pieza de trabajo con un potente campo magnético de mas de 1000 Ampere/vueltas, esto se logra con un aparato especial llamado magnaflux el cual no es otra cosa que un electroimán que conectado a la pieza la magnetiza con su campo.

Una vez magnetizada la pieza se cubre la superficie con una capa delgada de polvo magnético, magnetita ( $Fe_3O_4$ ) también llamada óxido negro o bien hematites ( $Fe_2O_3$ ) también llamada óxido rojo o también puede utilizarse una sustancia fluorescente. Si hay una grieta, el potente campo magnético de la pieza establece un polo norte magnético en un extremo de la grieta y un polo sur en otro extremo, de tal suerte que el polvo magnético es atraído por estos polos marcando así la grieta. El polvo restante puede ser soplado de la superficie.

#### d).- Prueba de ultrasonido.

La prueba de ultrasonografía requiere de una gran destreza en sus técnicas y en la interpretación de los ecos que aparecen en la pantalla del osciloscopio dado que la interpretación y las decisiones resultantes sobre la calidad de una soldadura dependen de la destreza y de la experiencia del operador.

El instrumento que se utiliza para la prueba de ultrasonido consiste básicamente en un amplificador de alta fidelidad de la mejor calidad, ya que la exactitud de interpretación de las señales depende en gran medida de la fidelidad con la que el instrumento reproduce los ecos que se reciben del transductor.

Los transductores utilizados en las pruebas con ultrasonido contienen cristales de un metal capaz de producir la acción piezoeléctrica mas intensa tales como el cuarzo, titanato de bario, circonato de plomo, sulfato de litio y otros. El espesor del material se hace aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda del ultrasonido producido. El cristal va montado en un soporte de plástico y recubierto con óxido de aluminio que le protege de la abrasión por las superficies metálicas examinadas.

Para entender mejor el proceso vamos a suponer que se va a inspeccionar una soldadura a tope en una placa de un espesor considerable, por el método de ondas perpendiculares. Como veremos mas adelante este procedimiento solo requiere de un transductor para la transmisión y recepción. después de que el instrumento se haya calentado y ajustado aparece una señal de referencia en la pantalla que permanece mientras el transductor se mantiene sobre la placa de acero, esta señal de referencia es en realidad el eco de la superficie de contacto del transductor, un eco también será devuelto por la superficie inferior del material.

El transductor se mueve sobre el área soldada examinando la posible presencia de ecos de grietas.

Los ecos procedentes de las dos superficies de la placa permanecerán en la pantalla y cuando se detecta un defecto se produce una tercera señal la cual aparecerá en la pantalla situada entre los dos ecos de las superficies inferior y superior, puesto que la pantalla del osciloscopio cuenta con graduaciones que se pueden utilizar como coordenadas, podemos entonces con una gran exactitud localizar los defectos, aun estando bajo la superficie manteniendose ocultos a la vista.

Este procedimiento de inspección tiene un alto grado de confiabilidad pero en algunas ocasiones suelen darse casos que resultan dudosos, en los que puede utilizarse después de la ultrasonografía un ensayo de radiografía para estar totalmente seguros de la calidad de la soldadura.

Cabe mencionar que un ultrasonido recorre en el metal aproximadamente 8 mm en 1 millonésima de segundo.

Los diversos métodos de prueba con ultrasonido pueden clasificarse como se enlista a continuación:

1.- Haz recto.

Es el método mas común y sencillo donde el mismo cristal sirve como transmisor y receptor.

2.- Transmisión completa.

Son utilizados dos transductores, uno en la superficie inferior y otro en la superficie superior de la pieza de trabajo; el cristal receptor recoge la energía emitida por el cristal transmisor.

3.- Haz de ángulo.

Normalmente utiliza una onda transversal. Con este método es posible buscar defectos alrededor de la periferia de una tubería a través de ecos repetidos producidos por las superficies interior y exterior.

4.- Onda superficial.

Las ondas superficiales son proyectadas sobre la superficie de la pieza de trabajo a fin de detectar defectos superficiales o poco profundos, especialmente en materiales delgados.

5.- Inmersión.

La pieza es sumergida en un baño de aceite o de agua. La onda acústica es proyectada a través del líquido sobre la pieza. Un eco fuerte se recibe siempre procedente de la superficie de la pieza.

6.- Transductor de rueda.

Una rueda llena de líquido que contiene dentro el transductor se hace rodar sobre la superficie de trabajo.

## 7.- Resonancia.

En este método se utiliza un osciloscopio de frecuencia variable sintonizable. La frecuencia se ajusta a fin de que proporcione la respuesta máxima de la pieza examinada.

### e).- Prueba radiográfica.

Este es el método no destructivo mas eficaz de todos, este procedimiento no es otra cosa que un proceso de fotografía solo que en vez de usar luz visible se utilizan radiaciones de onda electromagnética localizada dentro del rango de las radiaciones "X". La primera utilización de los rayos "X" para la inspección de soldadura fue en los estados unidos de Norteamérica en el año de 1925.

La película se coloca debajo del metal y se proyectan sobre la soldadura los rayos "X" o rayos "Gama" procedentes de alguna fuente, los cuales atraviesan el metal y alcanzan la película, formando una imagen de la pieza en la misma. Sabemos que cada material absorbe una cantidad determinada de radiación, supongamos que la soldadura tiene una inclusión de escoria. La escoria absorbe menos radiación que el acero y por lo tanto deja pasar mayor cantidad de radiación que el resto de la pieza a la placa, cuyo negativo mostrara una zona mas oscura, indicando un defecto de la soldadura.

A la fotografía que se obtiene de este proceso se le llama radiografía. En la fotografía el negativo se consigue a partir de una impresión del positivo y en radiografía solo se produce el negativo.

Para poder realizar esta prueba de radiografía es necesario que el operador sea una persona especializada y que haya obtenido el permiso correspondiente para tal fin. El operador deberá usar toda la protección necesaria ya que los niveles de radiación que puede recibir le causarían serios daños a su salud.

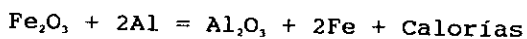
# capitulo : 5

SOLDADURA EN VIAS FERREAS

## V.- LA SOLDADURA EN VIAS FERREAS.

### V.1.- PRINCIPIOS:

La soldadura de rieles, por aluminotermia, utiliza el fenómeno, fuertemente exotérmico, de la reducción del óxido de hierro ocasionada por el aluminio, según la siguiente fórmula:



La mezcla de polvos de aluminio y óxido de hierro, a la cual son añadidos algunos productos de adición que permiten obtener un acero con las características deseadas, se llama carga de soldadura.

El acero y el óxido de aluminio que resultan de la reacción, iniciada con el encendido de la carga, son llevados a su estado líquido por el fuerte calor desprendido durante dicha reacción, separándose por decantación dentro del crisol en que se efectúa.

El contenido líquido del crisol es colado en el interior de un molde que envuelve los extremos de los rieles a soldar.

El interior del molde ha sido ligeramente precalentado mediante un quemador de propano y aire inducido durante un tiempo prefijado.

La reacción se realiza por medio de adiciones de calor aplicadas a la mezcla inicial, llamadas "calor de base".

El calor aportado por el acero líquido a alta temperatura, provoca la fusión de los extremos de los rieles, formando una masa homogénea (metal de aporte y metal base) que por solidificación, asegura, después del enfriamiento completo, la unión de los rieles.

La soldadura aluminotérmica encuentra su aplicación principal para la realización de barras largas; ya sea en el taller de habilitación de rieles, o ya sea para la construcción de tramos largos soldados en la vía, a partir de rieles de 18 metros, o bien en el mantenimiento para la reparación de los daños en los rieles o de las soldaduras.

El mejoramiento incesante aportado al procedimiento desde su origen, tanto desde el punto de vista metalúrgico como del mecánico, han permitido:

- La utilización de moldes prefabricados.
- La ejecución de reparaciones a rieles, sobre espacios de 50 mm ó más.
- La obtención de ajustes mecánicos de rieles precisos y rápidos.
- la unión de rieles tratados térmicamente, así como de corazones de aparatos de vía (desvíos).

Todas estas soluciones han adaptado la soldadura aluminotérmica a las nuevas exigencias de la obra de la vía, teniendo en cuenta su importancia, su cadencia de avance y su rapidez de ejecución.

Actualmente son utilizados tres métodos de soldadura:

- 1.- Soldadura con precalentamiento (AP)
- 2.- Soldadura con ligero precalentamiento (PL) aire pulsado.
- 3.- Soldadura con ligero precalentamiento (PL) aire inducido.

La diferencia de estos tres métodos se resume en la tabla siguiente:

PROCEDIMIENTO O° EXTREMOS	CON PRECALENTAMIENTO 900 °C	LIGERO PRECALENTAMIENTO 650 °C	LIGERO PRECALENTAMIENTO 850 °C
MOLDE	PREFABRICADO	PREFABRICADO	PREFABRICADO
TIPO DE PRECALENTAMIENTO	AIRE FORZADO	AIRE FORZADO	AIRE INDUCIDO
TIEMPO BASE DEL TIPO DE RIEL.	10 a 20 min. SEGÚN LOS RIELES.	DE 2 a 4 min. PARA TODOS LOS RIELES	5 minutos PARA TODOS LOS RIELES.
FLUIDO	AIRE GASOLINA AIRE PROPANO OXI-PROPANO	AIRE GASOLINA AIRE PROPANO OXI-PROPANO	AIRE PROPANO AIRE BUTANO
VENTAJA	OXI-PROPANO ECONOMIA	RAPIDEZ Y SEGURIDAD	RAPIDEZ / FIABILIDAD CONSTRUCCION EN COMPAS
DOMINIO DE APLICACION	RIEL DE: -FERROCARRIL. -GARGANTA PARA (TRANVIA). -PORTICO. -PERFILES DEL METRO.	RIEL DE: -FERROCARRIL. -GARGANTA PARA (TRANVIA). -PERFILES DEL METRO.	RIEL DE: -FERROCARRIL. -GARGANTA PARA (TRANVIA). -PERFILES DEL METRO.

**V.1.1.-Tipos de soldadura en función de la aleación de los rieles a soldar.**

En función de las distintas composiciones de los rieles a soldar, la soldadura acabada, tendrá una dureza igual o ligeramente superior a la del riel o perfil soldado.

De forma general, los rieles se pueden clasificar por su aleación:

Calidad 80

Riel de bajo contenido de carbono (riel normal)  
Dureza  $\approx$  223 Brinell, equivalente a 76 Kg/mm<sup>2</sup>

Calidad 100

Riel alto contenido de carbono (riel naturalmente duro)  
Dureza  $\approx$  285 Brinell, equivalente a 97 Kg/mm<sup>2</sup>

Calidad 120

Riel aleado (cromo - vanadio, cromo-molibdeno)  
Dureza  $\approx$  321 Brinell, equivalente a 109 Kg/mm<sup>2</sup>

Existen perfiles de otras durezas inferiores, para los cuales es posible fabricar la soldadura mas adecuada para las necesidades.



V.1.2.- Composición de un "KIT" de soldadura.



- 1 Carga de soldadura (incluye 1 paquete de obturación).
- 1 Fósforo de encendido (siempre en empaque aparte).
- 1 juegos de moldes refractarios.
- 1 paquete de pasta refractaria, para el sellado de los moldes.
- 1 Boquilla de destape automático.

V.1.3.- Precauciones de empleo.

- En caso de proyección a los ojos:  
Lavar abundantemente con agua por 10 o 15 minutos.
  
- En caso de ingestión:  
NO PROVOCAR EL VOMITO.  
Beber lo más posible de agua e ir al hospital para un lavado gástrico.

## V.2.- PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA ALUMINOTERMICA EN VIAS FERREAS.

El presente capítulo esta enfocado solamente al procedimiento con ligero precalentamiento ya que éste es el que por sus ventajas se utiliza en la implantacion de vias ferreas.

El procedimiento con precalentamiento límite (PL) se caracteriza esencialmente por:

- La aplicación de un precalentamiento rápido (5 min), cualquiera que sea el tipo de riel.
- Proporciona mucha facilidad y confiabilidad máxima de ejecución.

Este procedimiento permite actualmente con la ayuda del molde "junta en seco" aproximarse al objetivo de "cero defectos" y rendimiento de trabajo de 4 soldaduras por hora por equipo.

Aplicable a todos los rieles, el precalentamiento límite es también utilizado para la unión de rieles de garganta, de ferrocarril, perfiles del metro y de ciertos perfiles especiales.

### V.2.1.- Preparación de la junta.

#### a).- Inspección de los extremos de los perfiles a soldar.

Toda fisura que se detecte, así como deformaciones deben ser eliminadas por corte.

Debe tenerse en cuenta , que el agujero más cercano al extremo a soldar, debe quedar fuera del molde.

Todo resalto o rebaba del perfil que pueda entorpecer la colocación de los moldes, deben ser eliminados, por esmerilado.

#### b).- Espacio entre rieles a soldar.

El espacio entre rieles es indicado por el fabricante de la soldadura; para el caso de la soldadura de rieles el espacio debe ser de 25 mm con una tolerancia de  $\pm 2$  mm.

Este espacio debe ser medido, preferentemente con una galga triangular graduada, en los dos extremos tanto del hongo como del patin del riel; las cuatro medidas deben estar dentro de las tolerancias que se mencionaron anteriormente.

El espaciamiento entre los rieles puede conseguirse mediante el alejamiento o aproximación de los perfiles a unir o por corte de los extremos.

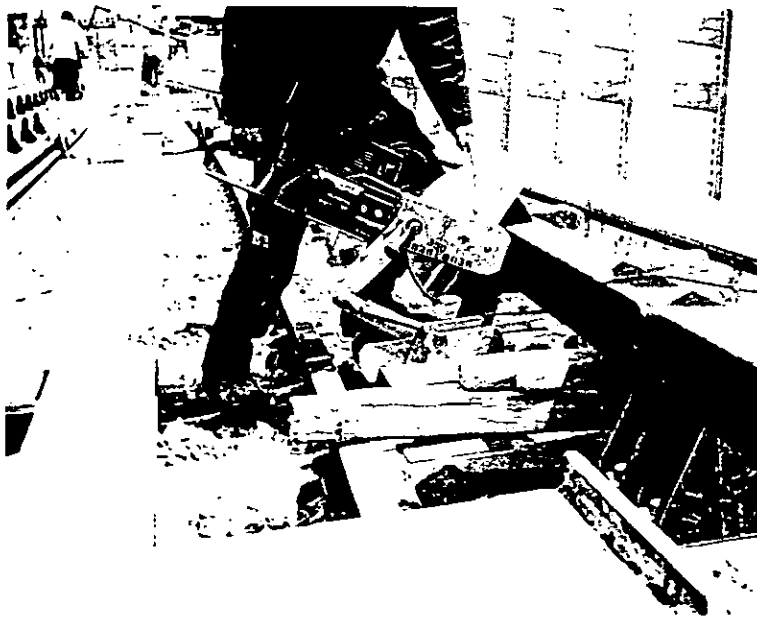


**c).- Corte de los rieles - Limpieza de los extremos a soldar.**

Si para obtener el espaciamiento entre los rieles es necesario cortar los extremos de los mismos, debe hacerse preferentemente con una sierra de disco abrasivo o alternativa.

El corte con soplete debe utilizarse solamente en caso de emergencia; solamente debe utilizarse un soplete que cuente con guía de corte y debe ejecutarse la soldadura inmediatamente después de efectuado el corte.

Una vez efectuado el corte, los extremos de los rieles deben ser cuidadosamente limpiados con la ayuda de un cepillo de alambre, de una piqueta, lima o buril; a fin de eliminar todas las rebabas y trazas de óxido, suciedad o grasas, que pudieran perjudicar a la soldadura.



**d).- Movimiento del balasto y elementos de fijación.**

En principio no debe removerse más balasto que el necesario para poder colocar los moldes en la junta.

Deben soltarse cuatro o cinco fijaciones de cada lado de la junta, para permitir el alineamiento de los rieles.

En el caso de que los rieles fueran montados sobre durmientes de concreto, en los que el calor o eventuales proyecciones de metal líquido pudieran dañar las suelas o apoyos de hule. estos se retirarán en tanto se efectúe la soldadura.

**e).- Alineamiento.**

El alineamiento tiene por objeto posicionar en planta y en perfil los extremos de los rieles a soldar.

El alineamiento se realiza con la ayuda de una regla de 1 metro de longitud y de elementos o dispositivos que permitan modificar la posición de los rieles (cuñas de madera, gatos, regla, etc.).

En el transcurso de la operación de alineamiento es importante tener mucho cuidado de no maltratar los extremos de los rieles ya que esto podría causarnos problemas al momento de colocar los moldes en la junta.

Para facilitar el trabajo de alineamiento deben soltarse cuatro o cinco fijaciones de cada lado de la junta y efectuar un alineamiento a groso modo (visual), colocándose a unos tres metros de cada lado de la junta.

**- Alineamiento en planta.**

Sea cual sea el trazo de la vía, las caras interiores del hongo de los dos perfiles deben estar perfectamente alineados en por lo menos un metro de longitud.

La posición de la parte baja de los rieles, debe ser igualmente alineada, a nivel de la unión del alma con el patín, a fin de que los extremos de los rieles a soldar queden con la misma inclinación.

En curva este alineamiento se logra con la utilización de tirantes.

**- Alineamiento en perfil.**

La superficie de rodamiento de los dos rieles a soldar, deben alinearse a una flecha cuyo vértice coincide con el punto de soldadura.

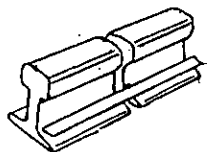
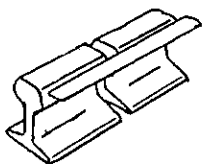
El valor de la flecha se mide colocando la regla de alineamiento centrada con respecto a la junta y debe tener en cada extremo, un claro entre regla y riel de entre 0.5 y 1.5 mm.

Esta flecha es necesaria para eliminar o disminuir los efectos que puedan causar las contracciones por enfriamiento, para que una vez efectuado el esmerilado de terminación, la junta quede alineada con la regla.

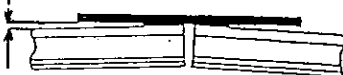
El valor de la flecha puede variar de acuerdo al perfil del riel, al espacio entre durmientes, al balasto y al método de corte.

Al iniciar un frente de trabajo, el soldador debe examinar las primeras soldaduras para verificar el alineamiento de la junta y así poder determinar si es necesario hacer modificaciones en la preparación de la junta o no.

Tanto el alineamiento en planta como en perfil se efectúa colocando cuñas de madera, entre la cabeza del durmiente y el patín del riel. Es importante mencionar que si se colocan las calzas entre el durmiente y el balasto no se garantiza una ejecución satisfactoria de la soldadura ya que toda la preparación queda expuesta a sufrir movimientos indeseables.



0.5 a 1.5mm



**NOTA:**

Todas estas nivelaciones a los rieles antes de ejecutar la soldadura, son necesarias para compensar el hundimiento, disminución o contracción de la soldadura durante la solidificación.

### V.2.2.- Colocación de los moldes.

El molde debe colocarse de manera que el eje de la cámara de soldadura, corresponda con el de la junta, debe tenerse cuidado también que dicho eje quede perpendicular al eje longitudinal del riel.

Puede verificarse el centrado del molde por la abertura superior de éste, pudiendose observar el centrado respecto al hongo del riel y el centrado respecto a los patines.

Los moldes se sujetan sobre el riel mediante una pieza llamada prensa portamoldes.

La presión ejercida por la prensa portamoldes sobre los moldes debe ser ligera ya que si ésta fuera muy grande, los moldes sufrirían deterioros.



Una vez colocados los dos medios moldes, se presenta la pieza inferior sobre la placa de fondo y se procede a un presellado, colocando un bordón de pasta refractaria en todo su alrededor, al mismo nivel que la pieza refractaria, después se suspende de las anillas inferiores de la prensa porta moldes y mediante un dispositivo de sujeción la placa de fondo queda presionada con la parte inferior de los medios moldes. Antes de colocar los medios moldes se debe realizar una escotadura en las dos mitades, en la parte superior del lado opuesto al que se va a colocar la prensa portamoldes, con la finalidad de crear un rebosadero por donde pasará la escoria al recipiente llamado cubeta para corindón. Finalmente se coloca sobre el riel y se sella la unión de todas las piezas con pasta refractaria.



Es importante que el soldador antes de colocar los moldes verifique que todos los orificios no estén obstruidos, si llegaran a estar obstruidos debe proceder a su limpieza.

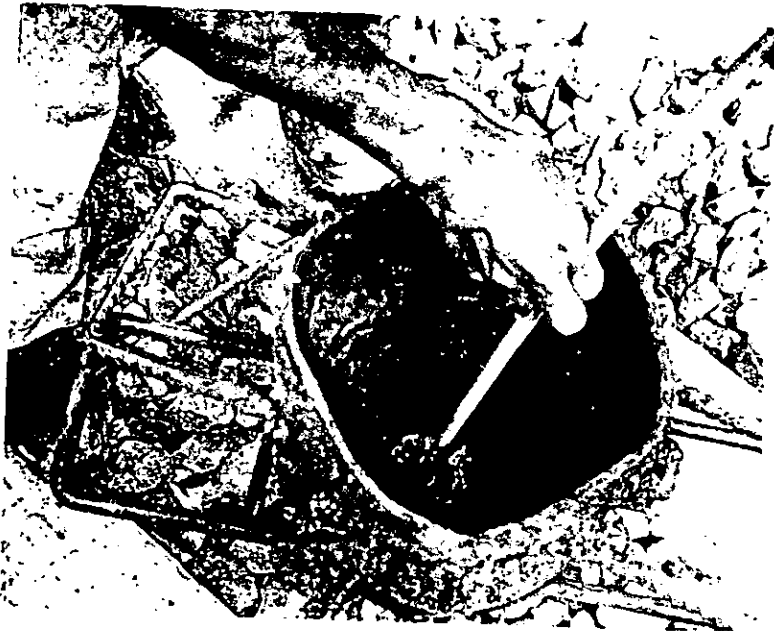


### V.2.3.- Preparación del crisol.

Antes de empezar la jornada de trabajo el soldador debe calentar el crisol para hacer desaparecer toda posible humedad.

Para colocar la boquilla de abertura automática, debe eliminarse cuidadosamente del fondo del crisol, la escoria depositada por las reacciones anteriores, alrededor del alojamiento de la boquilla; esta operación se efectúa con la parte puntiaguda de la varilla especial para boquilla de apertura automática, después se coloca la boquilla automática en su alojamiento y se acopla con el extremo de la varilla que tiene un casquillo; y finalmente se vierte el polvo refractario que acompaña a la boquilla, en la unión de la boquilla con el crisol.



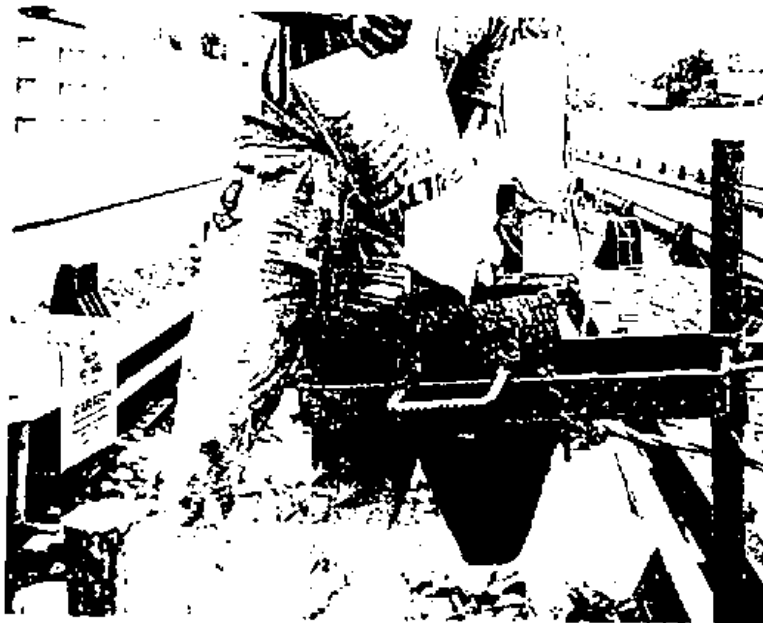


La capa de escoria que se va formando con cada reacción, debe romperse antes de que se acumule demasiado disminuyendo la capacidad del crisol. Esta operación se efectúa con la parte puntiaguda de la varilla y debe ejecutarse cada 8 ó 10 soldaduras.

Para extraer los residuos de la colada debe voltearse el crisol, no debe intentarse desalojarlos por el alojamiento de la boquilla ya que ocurriría un desgaste innecesario.

Una vez que la boquilla de apertura automática esta colocada en su alojamiento y ha sido sellada con el polvo refractario, el soldador procederá a homogeneizar la carga agitandola dentro de la bolsa que la contiene para después vertir la carga de soldadura en el interior del crisol.

El crisol que con anterioridad ha sido montado en su soporte basculante ha quedado preparado para la colada y solo nos restaría verificar que el crisol quede centrado con el molde al momento de la colada; de no suceder así deben efectuarse todos los ajustes necesarios para tal fin.





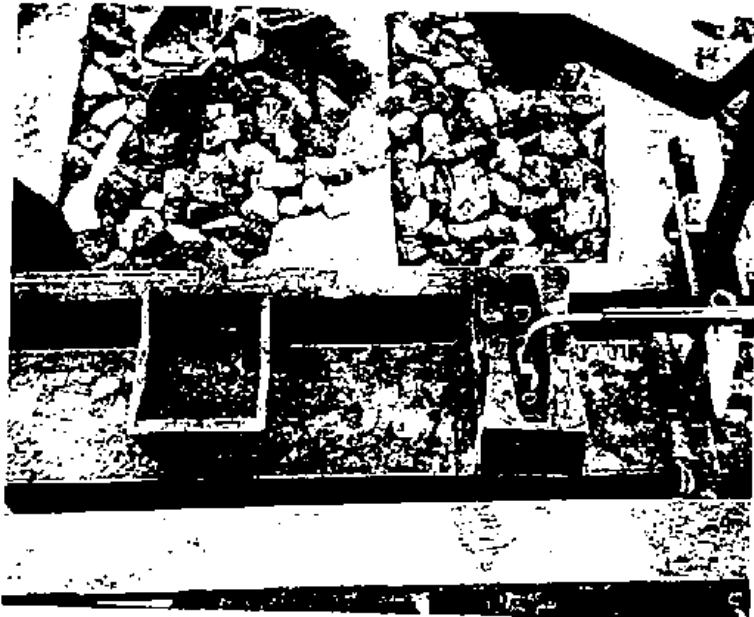
#### V.2.4.- Precalentamiento ligero.

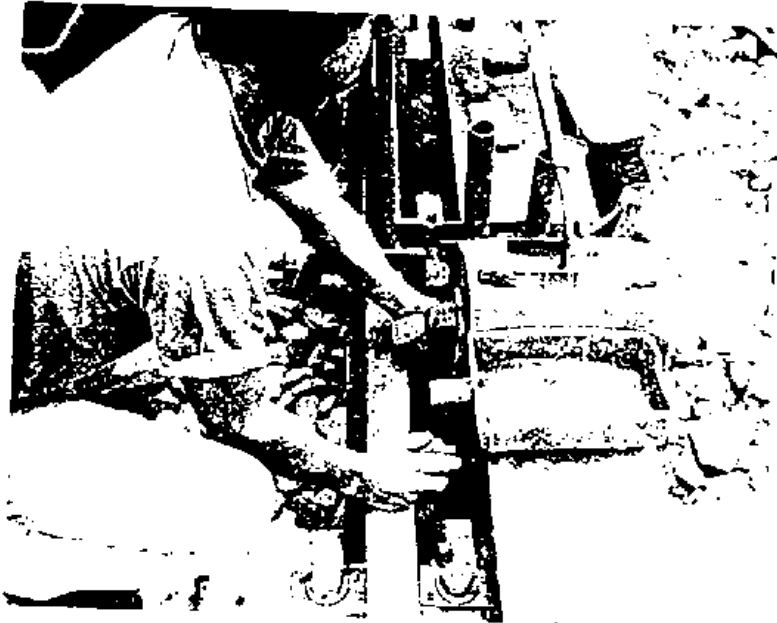
El precalentamiento tradicional (850°C), en este tipo de soldadura queda sustituido por un ligero precalentamiento que tiene por objeto secar toda traza de humedad en el riel y los moldes y elevar ligeramente la temperatura de los rieles; el calor necesario para efectuar la fusión de la junta lo aporta la carga de soldadura.

Este ligero precalentamiento se efectúa con un calentador de propano-aire inducido, que se coloca directamente dentro del molde y que una vez prendido se mantendrá dentro de él por un tiempo de cinco minutos.

El calentador es alimentado por un tanque de propano equipado con un monoreductor (regulador) regulado a 1.8 bar.

Una vez terminado el precalentamiento se levanta el calentador y se coloca el tapón obturador en su alojamiento del molde y se procede a la reacción y colada.





V.2.5.- Reacción y colada.

Terminado el ligero precalentamiento y colocado el tapón, se da un giro al crisol, hasta que quede centrado con el molde.

Se prende el Fósforo de encendido, acercandolo al interior del molde que está incandescente o al calentador.

y se introduce el fósforo de encendido en la carga de soldadura contenida en el crisol colocando inmediatamente la tapa.



Al incendiarse la carga se inicia la reacción.

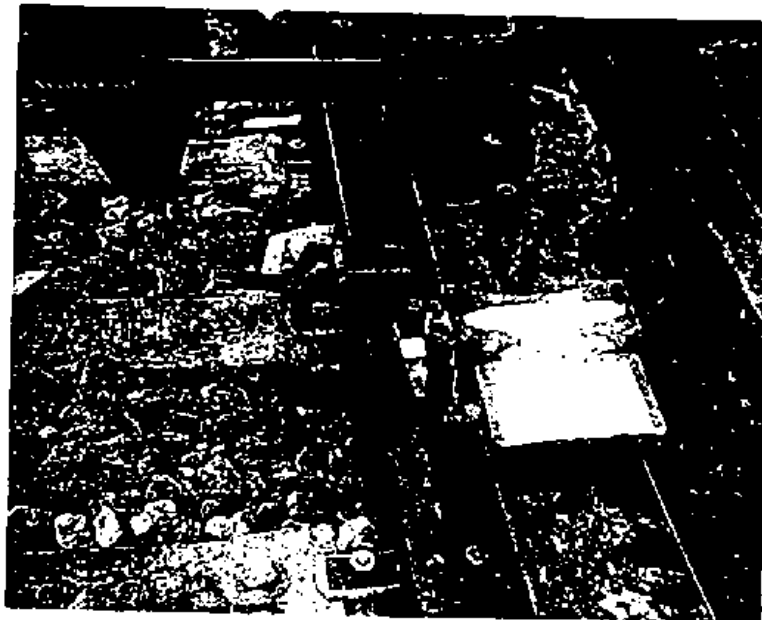
El crisol se destapará de forma automática al transcurrir el tiempo necesario para que se efectúe la reacción y decantación de los elementos en fusión.

El acero fluye por la parte inferior del crisol al fundirse el bastago de la boquilla de apertura automática, depositando la colada en el interior del molde para que el acero continúe por los canales laterales del molde, llenandose el interior de la zona a ocupar, primeramente de la parte inferior hacia la parte superior, por la sección central del perfil hasta desplazar el tapón obturador que se colocó dentro del molde, asegurandose así que el llenado del molde sea completo; y posteriormente el corindón que al encontrar el molde lleno, rebosará por la escotadura efectuada previamente al molde, a la cubeta para corindón.









V.2.6.- Desmoldeo.

Una vez terminada la colada se procede a retirar los herrajes, efectuando esta operación sin prisa pero seguidamente en el siguiente orden:

- Cubeta para corindón.
- Crisol con su soporte.
- Placas porta moldes y placa inferior.



En esta operación habrán transcurrido de 2 a 3 minutos.

Después de comprobar que el metal colado se ha consolidado suficientemente, el soldador procede a romper el molde por su parte superior, a unos 5 cm, aproximadamente por encima de la superficie del riel, con la ayuda de un cortador de excesos (tajadera).

#### V.2.7.- Corte.

El corte puede ser efectuado con:

- Cortador de excesos (tajadera) y marro.
- Cortamazarotas hidráulico.

##### a).- Corte con cortador de excesos (tajadera).

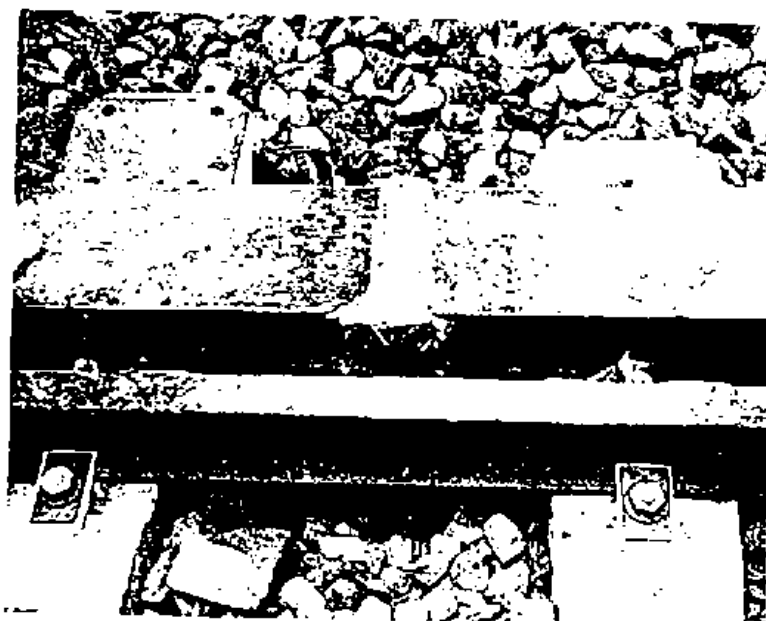
Se inicia el corte por el exceso superior del hongo, la mitad en un sentido y la otra mitad en el otro sentido, para evitar arrancamiento del metal.

A continuación se recortará el lateral del hongo, por la parte interior de la vía y después el lateral por la parte exterior de la vía.

La base de la colada tiene una reducción de sección, para que una vez fría la soldadura, con un golpe de martillo se rompan las coladas al ras del refuerzo de la soldadura.

##### b).- Corte con cortamazarotas hidráulico.

El cortamazarotas es una prensa hidráulica que está equipada con unas cuchillas que recortan los excesos del hongo, asegurando una mejor geometría de la vía y evitando el riesgo de deteriorar la soldadura.



#### V.2.8.- Limpieza.

Una vez Fría la soldadura se rompen las coladas y se procede a una cuidadosa limpieza de la soldadura eliminando todo resto de arena del molde, mediante una piqueta y un cepillo de alambre.

##### a).- Esmerilado.

El esmerilado tiene por objeto reproducir la forma del perfil del hongo, este paso se debe ejecutar con una nucla lapidaria.

El esmerilado se efectúa en dos fases.

- Esmerilado de desbaste.
- Esmerilado de terminación.

##### b).- Esmerilado de desbaste.

Consiste en suprimir la mayor parte de los excedentes de soldadura que queden después del corte.

Esta operación se puede efectuar con la soldadura aún caliente.

En vías principales, el esmerilado de desbaste no debe dejar sobreespesores superiores a 0.5 mm, sobre el hongo y la cara lateral de éste, por el lado interior de la vía.

##### c).- Esmerilado de terminación.

Con este esmerilado debe reproducirse lo más perfectamente posible la continuidad del perfil del hongo.

Debe ser efectuado cuando la soldadura está completamente fría.

Idealmente debería hacerse el esmerilado de terminación con el riel ya sujeto a sus fijaciones, la vía alineada perfectamente y después del paso de un par de circulaciones.

Los restos de la colada y las rebabas en el patín deben ser esmeriladas, evitando dejar aristas vivas.

En principio en una soldadura alineada correctamente éste esmerilado afectará unos 10 cm a cada lado de la soldadura para quedar ésta de acuerdo con las tolerancias geométricas exigidas. sin embargo este esmerilado se puede prolongar hasta desvanecer en toda la longitud de la regla de 1 metro centrada con la soldadura, siempre y cuando no se translade un defecto de exceso de flecha a 50 cm del centro de la soldadura.



### V.3.- VERIFICACION.

La verificación de la soldadura, solo puede hacerse cuando ésta, esté totalmente acabada, es decir, limpia y con el esmerilado de terminación.

La verificación está dividida en dos parte:

- Verificación de aspecto.
- Verificación de geometría.

#### V.3.1.- Verificación de aspecto.

En una soldadura no deben aparecer:

- Discontinuidades en la superficie de rodamiento, tales como: porosidades, defectos de fundición, grietas o fracturas.
- Defectos importantes tales como:  
Inclusiones de corindón o arena, rechupes.
- Ningún tipo de deformaciones.

#### V.3.2.- Verificación de la geometría.

El control de la geometría está destinado a verificar la calidad del alineamiento y del esmerilado de terminación.

Se efectúa con la ayuda de una regla de un metro y con un juego de galgas o laines de mecánico y controla la rectitud del hongo, en plano y en perfil y la inclinación de los rieles.

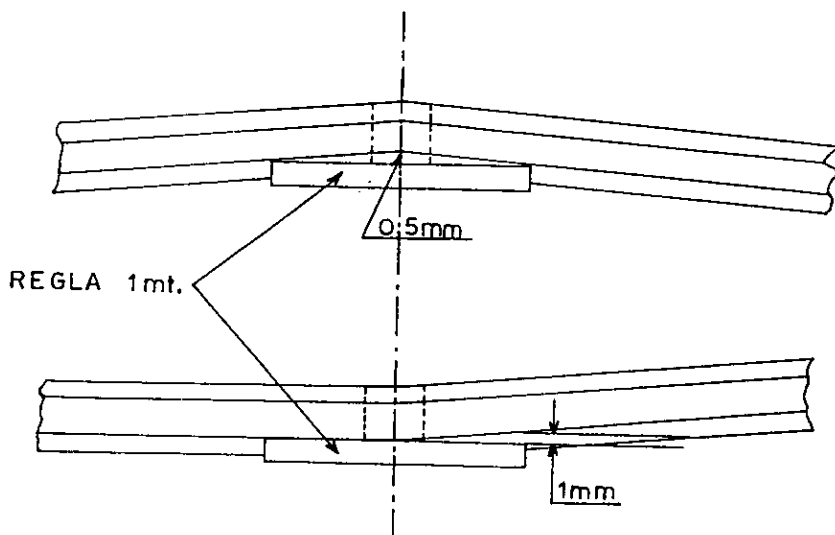
La precisión en el alineamiento está en función de la velocidad a la que se utilizará la vía en construcción.

#### - Verificación en plano.

La verificación se efectúa sobre la cara lateral activa del hongo y una vez colocada la regla de un metro, centrada con la soldadura las tolerancias admisibles son las indicadas en la figura.



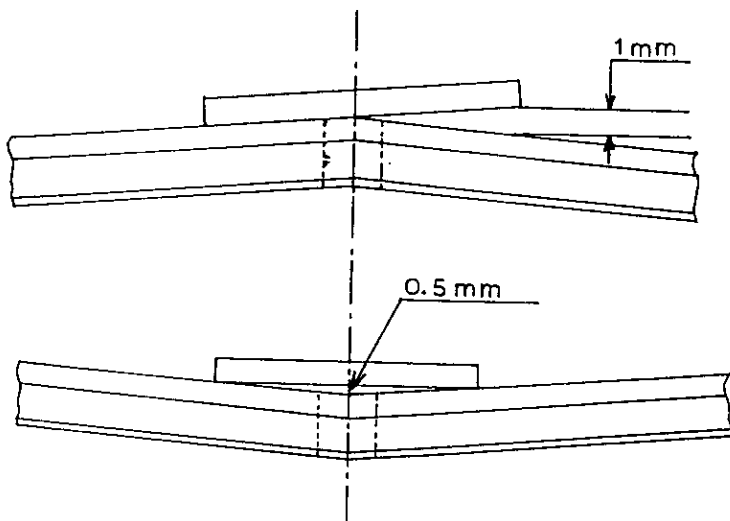
PARA VELOCIDADES SUPERIORES E INFERIORES A 160 Km/Hr.



- Verificación en perfil.

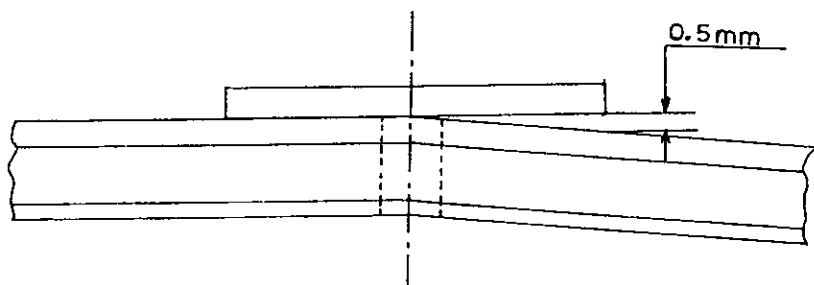
Colocada la regla de un metro, sobre la superficie de la rodadura del riel y centrada con la soldadura las tolerancias admisibles son las representadas en la figura.

PARA VELOCIDADES INFERIORES A 160 Km/Hr.



PARA VELOCIDADES SUPERIORES A 160 Km/Hr.

Las tolerancias admisibles son las representadas en la figura.



- Verificación de la inclinación.

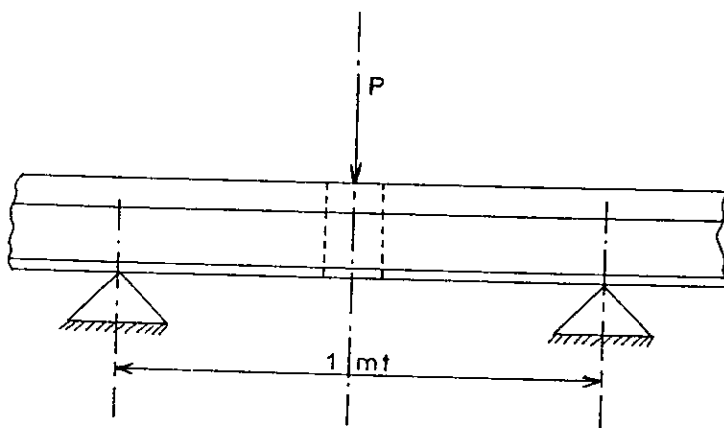
Habiendo verificado el buen alineamiento del hongo, los patines no deben tener un decaje mayor que la diferencia existente entre las medidas de los perfiles soldados.

V.4.- PRUEBAS A LA SOLDADURA.

V.4.1.- Prueba de flexión.

Se ejecutan dos pruebas de flexión por cada lote de 500 soldaduras aplicadas.

La prueba de resistencia mínima a la flexión, se debe realizar en un claro de 1.0 m de longitud, en cuyos extremos es necesario colocar apoyos, es indispensable que la unión soldada quede justamente en el centro del claro; y se aplica una carga variable hasta su ruptura total, como se ilustra en la figura.



A continuación se ilustran las cargas mínimas requeridas y las cargas promedio.

PERFIL Lbs/yd.	CARGA MÍNIMA REQUERIDA TONELADAS	CARGA PROMEDIO DE SUMINISTRO TONELADAS
80	48.0	59.0
100	75.0	94.0
115	90.0	112.0
136	120.0	150.0

#### V.4.2.- Prueba de dureza.

Se realizarán tres pruebas de dureza Brinell (3000/10/30) a cada una de las soldaduras ejecutadas.

En la prueba de dureza Brinell se aplicará una carga constante de 3000 Kg con un penetrador de acero endurecido de 10 milímetros durante un tiempo de 30 segundos.

#### V.4.3.- Inspección visual.

La inspección visual debe practicarse al 100% de las soldaduras aplicadas en vías férreas y debe ser de carácter muy estricto, dedicando especial cuidado en que las soldaduras no presenten ningún tipo de fisura en su superficie y debe contar con una apariencia en términos generales buena.

Esta inspección visual debe practicarse cuando la soldadura ya ha sido esmerilada y esta completamente terminada.

## VI. - CONCLUSIONES.

El uso del proceso de soldadura se ha venido incrementando a través del tiempo, debido a que el desarrollo en las técnicas utilizadas han logrado avances considerables aumentando con esto también las aplicaciones posibles en el que hacer humano.

En épocas anteriores la soldadura solo se consideraba como un medio de reparación de uso restringido (es decir, solo como emergencia); en la actualidad se ha convertido en uno de los procesos mas importantes para el formado de materiales. Es utilizado tanto para uniones muy pequeñas como para unir piezas gigantes. el campo de acción de la soldadura es tan extenso que pueden lograrse uniones con una exactitud casi ideal; por ejemplo en la elaboración de partes electrónicas ó materiales quirúrgicos, también existen uniones tan importantes como por ejemplo partes de naves espaciales.

Este proceso posee importantes características que son notables y de considerar, ya que al efectuar una junta la resistencia y todas las características mecánicas pueden ser mejoradas con respecto al material base a unir. Esto quiere decir que no solamente es capaz de obtener uniones, sino que también puede mejorarlas.

La soldadura aluminotermica se ha destacado principalmente en la unión de grandes piezas, aunque no es un proceso que excluya uniones de pequeñas dimensiones, sin embargo, no es muy común que se utilice ya que existen otros procesos de soldadura que son mas eficientes para estas utilidades (autógena, arco eléctrico, etc.).

La utilización de la soldadura aluminotermica se ha considerado por su eficiencia, ahorro de energía, rapidez de ejecución, simplicidad del equipo utilizado y la facilidad para transportarlo (portátil), como el mas adecuado para los trabajos de tendido de vías férreas, perfiles para metro, estructuras constructivas para puentes y edificios, y muchas otras mas.

Es importante considerar que la principal restricción para el uso de esta técnica es que por sus características el manejo de piezas pequeñas y laminados se torna un tanto ineficiente desde el punto de vista de funcionalidad, situación que con perfiles de gran tamaño o robustos es totalmente contraria.

Actualmente es indiscutible que la soldadura aluminotermica es el proceso mas idóneo para su utilidad particular, sin embargo, con los avances en la tecnología actual es muy probable que ésta sea superada por otros procesos como la tecnología láser o procesos ultrasónicos, áreas que están en proceso de investigación.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **MANUAL UNIVERSAL DE LA TÉCNICA MECANICA**

Erik Oberg.  
F.D. Jones  
5ª Reimpresión 1968  
Editorial Labor

### **MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION**

Harry D. Moore  
Donald R. Kibbey  
1ª Edición 1987  
Editorial LIMUSA

### **PROCESOS DE MANUFACTURA Versión S.I.**

B.H. Amstead  
Phillip F. Ostwald  
Myron L. Begeman  
2ª Impresión 1982  
Cia. Editorial Continental S.A. de C.V.

### **MANUAL PRACTICO DEL SOLDADOR ELECTRICO**

Florentino González Blanco  
6ª Edición 1987  
Editorial Gustavo Gili, S.A.

### **DIBUJO Y DISEÑO DE INGENIERIA INDUSTRIAL MECANICA Y ELECTRICA.**

C.H. Jensen  
Edición 1973  
Editorial Mc. Graw Hill.

### **DIBUJO INDUSTRIAL**

A. Chevaliere.  
Edición 1979  
Editorial Montaner y Simón S.A.

## **FUNDAMENTOS DE DIBUJO MECANICO**

C.H. Jensen

F.H.S. Mason

Edición 1971

Editorial Mc. Graw Hill

## **PRACTICA DE LA SOLDADURA AUTOGENA**

G. Franche

D. Seferian

5ª Edición 1985

Editorial Gustavo Gili, S.A.

## **MANUAL DEL INGENIERO MECANICO (MARKS)**

Theodore Baumeister

Eugene A. Aullone

8ª Edición

Editorial Mc. Graw Hill.

## **ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

Especificaciones COVITUR (1991)

Especificaciones F.F.C.C. (1982)

Especificaciones CALOMEX.

Especificaciones Reseaux de Chemins de Fer. (Francia).

Especificaciones Transports Urbains. (Francia)