

126  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**LA SOLDADURA EN LA  
CONSTRUCCION CIVIL**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**JUAN CARLOS RAMIREZ MONTIEL**

**1988**



## **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 está 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.

## INDICE

### I INTRODUCCION

- I.1 HISTORIA
- I.2 IMPORTANCIA

### II IDENTIFICACION DE LOS METALES

#### II.1 PROPIEDADES

- II.1.1 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS
- II.1.2 PROPIEDADES MECANICAS
- II.1.3 ENSAYOS MECANICOS DE LOS METALES

#### II.2 CLASIFICACION DE LOS METALES

- II.2.1 METALES FERROSOS
- II.2.2 METALES NO FERROSOS

### III COMPOSICION DE LOS METALES

#### III.1 ESTRUCTURA DE LOS METALES

- III.1.1 COMPORTAMIENTO DE LOS CRISTALES
  - III.1.1.1 TENSION
  - III.1.1.2 TRABAJO EN CALIENTE

### IV METALURGIA

- IV.1 OBTENCION DEL HIERRO FUNDIDO
- IV.2 FABRICACION DEL ACERO

### V SOLDADURA Y METALURGIA

- V.1 FENOMENOS DENTRO DEL PROCESO DE SOLDADURA
  - V.1.1 EFECTOS DE TEMPERATURA
  - V.1.2 CONTAMINACION CON EL AIRE
  - V.1.3 CRATERES Y GRIETAS
  - V.1.4 BOLSAS DE GAS E IMPUREZAS

- VI EQUIPO, MATERIALES Y TECNICAS PARA SOLDAR Y CORTAR
  - VI.1 SOLDADURA Y CORTE CON EQUIPO DE GAS
    - VI.1.1 EQUIPO Y MATERIAL
    - VI.1.2 TECNICAS DE SOLDADURA Y CORTE CON GAS
      - VI.1.2.1 SOLDADURA CON GAS
      - VI.1.2.2 CORTE CON GAS
  - VI.2 SOLDADURA Y CORTE AL ARCO ELECTRICO
    - VI.2.1 EQUIPO
    - VI.2.2 MATERIAL
    - VI.2.3 TECNICAS DE SOLDADURA Y CORTE AL ARCO ELECTRICO
      - VI.2.3.1 SOLDADURA AL ARCO
        - VI.2.3.1.1 FACTORES DE OPERACION
      - VI.2.3.2 CORTE AL ARCO ELECTRICO
- VII DIFERENTES METODOS DE SOLDADURA AL ARCO
  - VII.1 SOLDADURA CON ARCO DE CARBONO
  - VII.2 SOLDADURA CON GAS INERTE
    - VII.2.1 SOLDADURA "TIG"
    - VII.2.2 SOLDADURA "MIG"
  - VII.3 SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO
  - VII.4 SOLDADURA CON ARCO PROTEGIDO CON VAPOR
- VIII JUNTAS Y SIMBOLOGIA EN SOLDADURA
  - VIII.1 JUNTAS Y PREPARACIONES PARA PROCEDER A SOLDAR
    - VIII.1.1 SELECCION DE LA JUNTA APROPIADA
      - VIII.1.1.1 DESEMPEÑO DE LA CARGA
      - VIII.1.1.2 COSTO
      - VIII.1.1.3 ACCESO A LA JUNTA
    - VIII.1.2 PREPARACION DE LAS JUNTAS
      - VIII.1.2.1 ACANALADURA CUADRADA
      - VIII.1.2.2 ACANALADURA EN "V"
      - VIII.1.2.3 ACANALADURA EN "U"
      - VIII.1.2.4 ACANALADURA EN "J"
  - VIII.2 SIMBOLOGIA DE LA SOLDADURA
    - VIII.2.1 SIMBOLOS CARACTERISTICOS
      - VIII.2.1.1 SOLDADURAS DE FILETE
      - VIII.2.1.2 SOLDADURAS DE TAPON O RANURA
      - VIII.2.1.3 SOLDADURAS DE ACANALADURA
      - VIII.2.1.4 SOLDADURAS DE REVESTIMIENTO
      - VIII.2.1.5 INFORMACION COMPLEMENTARIA

IX CONTROL DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS REALIZADOS CON SOLDADURA

IX.1 CONTROL DE MATERIALES

IX.2 CONTROL DE PROCEDIMIENTOS

IX.3 CALIFICACION DEL SOLDADOR

IX.3.1 APARIENCIA

IX.3.2 GRIETAS INTERNAS (OJEADURAS)

IX.3.3 PENETRACION INCOMPLETA Y FUSION POBRE

IX.3.4 DISTORSION (ALABEO)

IX.3.5 TORCEDURAS

IX.3.6 AGRIETAMIENTO

IX.3.7 POROSIDAD

IX.3.8 CRISTALIZACION

IX.3.9 CORROSION

IX.4 PRUEBAS DE INSPECCION DE LA SOLDADURA

IX.4.1 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

IX.4.1.1 PRUEBAS DE TENSION

IX.4.1.2 PRUEBAS DE DOBLADO

IX.4.1.3 PRUEBAS DE IMPACTO

IX.4.1.4 PRUEBA "NICK-BREAK" (ROTURA CRITICA)

IX.4.1.5 PRUEBAS DE DUREZA

IX.4.2 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

IX.4.2.1 PRUEBAS DE RADIOGRAFIA

IX.4.2.2 PRUEBA ULTRASONICA

IX.4.2.3 PRUEBAS DE DETECCION DE GRIETAS

X RIESGOS Y PRECAUCIONES

X.1 GASES Y POLVO

X.2 CHOQUE ELECTRICO

X.3 RADIACION

X.4 GOLPES Y RASPONES

X.5 RUIDO

CONCLUSIONES

## I INTRODUCCION

### I.1 HISTORIA

Desde el inicio de la historia del hombre los procedimientos de unir diferentes tipos de objetos ya se habían puesto en práctica de manera muy elemental, ya que en realidad la gran mayoría de los procesos de unión de objetos, y en especial de metales han sido desarrollados en los últimos años. De esta forma se tiene conocimiento de procedimientos con corta y otros con larga historia; dentro de las técnicas desarrolladas con larga historia se encuentran las soldaduras de forja, fuerte y blanda, conocidas durante la Edad de Bronce.

La Soldadura evolucionó primeramente como técnica de principal importancia económica cuando se extendió el uso del hierro, siendo necesaria no sólo para poder hacer el acabado de productos, sino también como parte del proceso mismo de la fabricación del hierro. Se tienen antecedentes que datan de 1400 años A.C. de utensilios soldados; así mismo en el antiguo testamento se hace referencia al conocimiento que se tenía de la soldadura.

Mediante el conocimiento de la estructura y comportamiento de los distintos metales que el hombre fue descubriendo, los fue configurando para adaptarlos convenientemente a sus necesidades. De esta manera aprendió a moldear y diseñar utensilios y armas, siendo así como surgió la Era de los metales.

TABLA I-: HISTORIA PRIMITIVA DE LOS METALES Y LA SOLDADURA

Periodo Cronológico	Ubicación	Tipo de Metal	Capacidad de Proceso
7 000 años A.C.	Babilonia	Bronce	Colado y remachado
3 000 años A.C.	Egipto	Bronce	Colado y remachado
2 000 años A.C.	Mediterraneo	Bronce	Colado y remachado
1 500 años A.C.	Montañas del Caucaso	Hierro	Fundición y forjado
1 300 años A.C.	Siria	Acero	Fundición, forjado y soldadura

Dentro de los primeros metales que se trabajaron fueron el oro y la plata, a los cuales se les dió forma de ornamentos. El cobre, debido a las grandes cantidades encontradas en la superficie terrestre se convirtió en herramientas y armas. Varios métodos prácticos para endurecer el cobre lo hicieron más útil. El método más antiguo que se utilizó fue el martillado. Posteriormente tuvo lugar el proceso de aleaciones. El cobre y otro metal se colocaban en un lecho de carbones al rojo vivo y se fundían. La mezcla que resultaba de los dos metales era un compuesto (aleación) mucho más duro que ambos por separado. En el caso del hierro, su utilización tardó un poco más ya que su abundancia en el globo terráqueo es mucho menor y además de las dificultades que existen para trabajarlo.

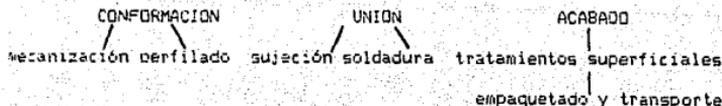
Algunos pueblos ya conocían extensamente las conveniencias de la soldadura mientras que otros las ignoraban por completo. Durante la Edad Media el uso de la soldadura fue fortalecido enormemente para la fabricación de armas tal fue el caso de las preparaciones para las pesadas armaduras, dardos con puntas de acero, etc. En realidad la soldadura representaba una importancia relativa durante dicho período debido al elevado costo del acero y el hecho de que los "blooms", pequeñas masas de hierro fundido, sólo se podían fabricar en tamaños pequeños, por lo que para fabricar una pieza grande era necesario unir varias piezas de "blooms" entre sí. Posteriormente, ya en el siglo XV, fue inventado el alto horno y fueron adoptados los procesos indirectos de fabricación de acero. Un resultado de este desarrollo fue la disponibilidad de un material de fundición económico. Las fundiciones de hierro fueron utilizadas para un determinado número de productos prefabricados de hierro forjado y soldado, siendo un ejemplo importante el cañón que con tanto éxito fue fabricado por los talleres de fundición de aquella época.

Pero apesar de lo anterior las inconveniencias de la utilización de la soldadura eran todavía muy grandes, puesto que durante este período el procedimiento de unión es considerado como un proceso de fase sólida, en el cual las dos piezas de hierro o acero que se deseaban unir eran sometidas a un calentamiento de color blanco en el fuego de la forja. Al martillar la unión se empujaba el óxido o la escoria del líquido y se acercaban las superficies limpias del metal entre sí suficientemente hasta que formaban un lazo metálico. Es obvio que el éxito de esta operación dependía de la habilidad del herrero para mantener las superficies de la unión a una temperatura razonablemente uniforme antes y durante la operación de martillado. Por circunstancias de la época la unión tenía que ser de dimensiones que permitieran, tanto al herrero como al fuego de la forja, ser capaces de tener una maniobrabilidad; por consiguiente, las placas de grandes dimensiones no podían unirse entre sí por este procedimiento.

Esta situación de imposibilidad ante las grandes dimensiones de las piezas continuó por un prolongado período hasta que fue superado el problema gracias a la soldadura por fusión, en el cual una fuente de calor lo suficientemente intensa para fundir los bordes, atravesaba la unión a lo largo. Se dispuso primeramente de fuentes de calor de suficiente intensidad disponibles a escala industrial a finales del siglo XIX, cuando la soldadura por gas, soldadura por arco y soldadura por resistencia hicieron su aparición. La soldadura por gas fue posible gracias al abastecimiento de oxígeno, hidrógeno y acetileno a un precio accesible y a la invención de sopletes apropiados y técnicas de conservación de gas. En el año de 1916, la soldadura oxiacetilénica fue un proceso completamente desarrollado capaz de producir soldaduras por fusión de alta calidad en placa de acero fina, aluminio y cobre desoxidado y que solamente difiere en detalle del procedimiento actual. La soldadura por arco con electrodo fundible tuvo un desarrollo lento debido a su complejidad en carácter.

## I.2 IMPORTANCIA

Prácticamente todos los procesos de fabricación por los que pasan las materias primas para convertirse en productos acabados, y que constituyen la Tecnología de la Producción, pueden dividirse en tres grandes grupos: Conformación, Unión y Acabado. Cada uno de estos tres grupos pueda, a su vez, ser subdividido en dos grandes grupos:



El mecanizado es una operación mediante la cual se le da a una pieza en bruto una idea primaria. Para lo que nos interesa sería la utilización de un torno, una fresa, etc. El perfilado vendría a ser un afine de las piezas originalmente generadas. La conformación es necesariamente un paso previo a la unión, ya que de un buen perfilado depende una buena unión.

En el procedimiento de unir piezas se tienen dos maneras de llevar a cabo esta operación: la sujeción y la soldadura. Los dos tipos de uniones son complementarias entre sí. La sujeción es la unión de materiales por medios mecánicos tales como tornillos, espárragos, pasadores, arandelas, chavetas, bulones, remaches y ganchos. Este tipo de unión es muy conveniente cuando existe la necesidad de desarmar el conjunto por diversas causas como mantenimiento, ajuste, o por otras razones. La soldadura, no obstante, es algo más que un proceso de producción; es también un proceso muy importante de mantenimiento. Algunos de los problemas más difíciles de soldadura se presentan en el mantenimiento, por lo cual un buen soldador de mantenimiento debe tener un amplio conocimiento de la soldadura. De una perfecta o deficiente unión depende no sólo la vida de una maquinaria o un equipo sino que también la vida de numerosas personas.

Finalmente tenemos, dentro del proceso de producción, el Acabado que no es sino una diversidad de protecciones tanto superficiales como de transporte, en las cuales un producto debe de ser aprobado por su adquirente, no sólo en el lugar de producción sino también en cualquier parte en el que se requiera, cumpliendo con las características de los distintos controles de calidad.

Las técnicas de la soldadura han llegado a ser tan variadas que resulta difícil hoy en día definir con exactitud que es una soldadura. Inicialmente se definía a la soldadura como la unión de metales por fusión; pero hoy en día esta definición no es completa, no sólo los metales pueden ser soldados, sino también una gran variedad de plásticos. Además, existen procedimientos de soldadura en los cuales no es preciso aportar calor. En todos los mecanizados es usual la producción de soldadura sin calentamiento. Cuando un pedazo de metal se desliza con presión sobre una herramienta de corte de un torno, a menudo quedan pequeñas porciones soldadas en el borde de la herramienta. Este tipo de soldadura, conocida por soldadura fría bajo presión, es entre otros casos un método rutinario de soldadura. Además de este tipo de soldadura por presión, se utiliza hoy la soldadura por sonido y con la luz producida por el famoso laser. En vista de que la diversidad de los procedimientos de soldadura aumenta de año en año, diremos que la soldadura es la unión de materiales por métodos que no precisan dispositivos de sujeción.

Como se mencionó anteriormente, la soldadura a través de los años fue desarrollándose cobrando importancia cada vez mayor dentro del ámbito tecnológico del desarrollo de la humanidad. Su utilización fue vital dentro de la II Guerra mundial, cuando se implantó el método de examinación por medio de Rayos X, en el que dio lugar a una mayor confianza en las uniones soldadas. Dentro de este período, como es sabido, el desarrollo de la tecnología fue sorprendente de tal forma que los procedimientos de unión por soldadura se perfeccionaron dando

lugar a métodos como el de soldadura bajo atmósfera de gas inerte. De entonces acá, la soldadura ha crecido a velocidades prodigiosas, hasta el punto de que no existe otra técnica que haya progresado tan vertiginosamente, ni siquiera la electrónica (que debe su privilegiada posición al desarrollo de la soldadura).

Aunque la soldadura no ocupe los titulares de los periódicos, su tecnología abarca un amplio campo, ya que está relacionada con las más diversas técnicas. Aunque la electrónica debe muchos de sus avances a las técnicas de unión de metales desarrolladas por los soldadores, al mismo tiempo, las máquinas de soldar complicadas son controladas por muchos circuitos electrónicos. Tienen también aplicación para la soldadura las altas frecuencias de radio, concretamente en la soldadura por inducción y en los ensayos de las soldaduras por ultrasonidos. La fotografía es otro campo que atañe a la soldadura, donde se emplea mucho más material fotográfico en el gammagrafiado y radiografiado de las soldaduras, que en fotografías propiamente dichas. Se pueden emplear 1600 m de película de rayos X para analizar una soldadura. Finalmente diré que la soldadura ha tenido gran importancia en las dos creaciones más destacadas de nuestra época: el reactor nuclear y el cohete aeroespacial; es más ni los reactores ni los cohetes podrían haber sido construidos sin la ayuda de la soldadura. Por otro lado, los productos de los reactores nucleares, los radioisótopos, son utilizados por los soldadores para realizar ensayos de control de calidad de las soldaduras.

De esta forma hago notar que existe una amplia gama de métodos de soldadura, en el que se precisa una mutua ayuda entre los diversos inventos y descubrimientos que se van generando y realizando de tal forma que uno sirve de escalón al otro; dicha diversidad de métodos y procedimientos abarca desde uniones de dimensiones considerables en las circunstancias ambientales más desfavorables hasta las técnicas de microsoldadura, en la cual el operario se hace ayuda de microscopios para observar los más mínimos detalles que pudieran implicar imperfecciones trascendentales. Aproximadamente esta gran variedad de técnicas que comprende los conceptos de volumen y capacidad de soldadura, contempla unos sesenta métodos, de los cuales bastantes de ellos tienen una relación, aunque indirectamente, con la construcción civil por lo que optaré en seleccionar las técnicas más afines a manera de no caer en objetivos ajenos a nuestros intereses.

Todo esto se ha desarrollado en unos sesenta años del siglo XX. Si acabo de mencionar que existen por lo menos sesenta métodos diferentes, obtendremos una media de un método nuevo por año. Esta sencilla estadística es quizá la mejor medida de las posibilidades de los procesos de soldadura en el futuro.

## II IDENTIFICACION DE LOS METALES

### II.1 PROPIEDADES

De acuerdo a la clasificación de la Tabla Periódica de los Elementos, las sustancias que hasta ahora se conocen se clasifican en tres grandes grupos que son los siguientes: metales, no metales y metaloides. Los metales son elementos químicos de aspecto brillante que por lo general son buenos conductores tanto del calor como de la electricidad; podemos mencionar a manera de ejemplo al cobre, hierro, plata, zinc, etc. En cuanto a los no metales se distinguen por poseer características totalmente contrarias a los metales, son malos conductores tanto del calor como de la electricidad; podemos mencionar como dignos representantes de dicho grupo al azufre, al oxígeno, etc. Finalmente encontramos a los metaloides que como su nombre lo indica, se parecen a los metales, y por lo tanto tienen un comportamiento similar a los metales; tenemos como ejemplo al carbono, silicio, antimonio, etc.

Conforme a lo anterior podríamos decir que estos grupos son con los que el hombre cuenta para desarrollarse dentro de este mundo, pero existe un cuarto grupo el cual nace a consecuencia de los tres anteriores, a este grupo se le ha denominado aleaciones. En este grupo se contempla una complementación de propiedades entre dos o más sustancias que se logren unir, lográndose compuestos con características superiores a los elementos base. Las aleaciones pueden llevarse a cabo entre metales, no metales, metaloides o entre elementos que pertenezcan a grupos diferentes. Por ejemplo una aleación que se compone de dos metales es el latón, que está formado por cobre y zinc; una aleación entre metal y metaloide puede ser el acero, el cual es el resultado de la unión entre el hierro (metal) y el carbono (metaloide).

Todos los materiales poseen diversas Propiedades que hacen diferentes unos de otros, y que, la importancia en conocer el comportamiento de los mismos hace que el ser humano utilice al máximo y obtenga beneficios satisfactorios; de otra manera, si ignoramos las propiedades de los elementos o sustancias podríamos obtener resultados contraproducente; de ahí la importancia de saber a detalle o por lo menos tener nociones de los elementos con los que contamos para desarrollar nuestra vida diaria. Para nuestro estudio me referiré a las

propiedades que resultan de vital importancia para un desenvolvimiento satisfactorio dentro del campo de la soldadura.

Las propiedades de los metales se clasifican como a continuación se presentan:

- Propiedades físicas y químicas

- a) Conductibilidad térmica y eléctrica
- b) Peso específico
- c) Resistencia a la corrosión

- Propiedades mecánicas

- a) Ductibilidad
- b) Maleabilidad
- c) Fusibilidad
- d) Soldabilidad
- e) Temple

- Ensayos mecánicos

- a) Dureza
- b) Elasticidad
- c) Resistencia
- d) Resistencia mecánica

A continuación explicaré en breve cada una de las propiedades antes mencionadas.

### II.1.1 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

#### a) Conductibilidad térmica y eléctrica

Es la propiedad que los metales poseen de dejarse atravesar por el calor y la corriente eléctrica. En realidad todos los cuerpos y sustancias en un grado o en otro poseen esta característica; en cuanto a los metales se refiere son los que desarrollan mejor estas cualidades, en particular el cobre, el bronce silicioso y el aluminio son buenos conductores de electricidad. Por ello son los metales que más se usan en la industria eléctrica. El hierro colado y el hierro son buenos conductores del calor.

#### b) Peso atómico

Se define como peso atómico absoluto a la relación entre el peso de un cuerpo y su propio volumen. Así, se puede decir que el peso atómico es el peso de la unidad de volumen. El peso atómico de un cuerpo normalmente se mide en  $\text{kg/dm}^3$ , pero también se puede medir en  $\text{Ton/m}^3$  o en  $\text{g/cm}^3$ .

#### c) Resistencia a la corrosión

Es la característica que los metales poseen de resistir más o menos a la contaminación atmosférica, química o de los ácidos. Entre los metales que resisten menos a esta acción encontramos al hierro, que al contacto con la intemperie se combina con el oxígeno (se oxida) formando una capa de herrumbre que lo corroe hasta consumirlo. Por otro lado se encuentra el cobre, el aluminio y el plomo que son elementos que resisten bastante a la acción de la corrosión. Para prevenir o evitar la corrosión se cubren las superficies de contacto de los metales con capas especiales de pintura antioxidante o anticorrosiva o sustancias epóxicas que alargan la vida útil de los mismos.

### II.1.2 PROPIEDADES MECANICAS

#### a) Ductilidad

Es la cualidad que poseen los metales de dejarse convertir en hilos (alambres) de dimensiones capilares. Dentro de los elementos más dúctiles se encuentran el platino, el cobre, el oro, la plata, el hierro, etc. La ductilidad es particularmente significativa en la operación de estirar. Por medio de este proceso se producen hilos (alambres), perfiles de formas variadas (fig. II.1). Este proceso se puede aplicar también a los aceros aleados especiales como el níquel-cromo, el cromo, el manganeso.

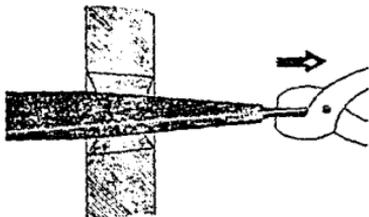


FIG. II.1

#### b) Maleabilidad

La maleabilidad es la propiedad que consiste en que los metales se puedan reducir a láminas de espesores milimétricos sin romperse o agrietarse. La maleabilidad es particularmente significativa en la operación del laminado, dicha operación se realiza cuando se hace pasar un material cualquiera entre dos cilindros que giran en sentido contrario (fig. II.2) dándole forma y espesor requerido.

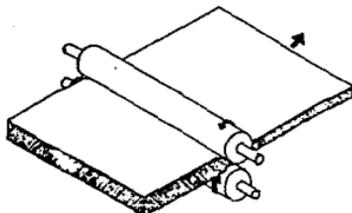


FIG. II.2

#### c) Fusibilidad

El grado de fusibilidad de un metal lo determina su grado de escurrimiento cuando se encuentra en estado de suspensión. El punto de fusión se determina por medio de la lectura de la temperatura ya sea en grados Centígrados o Fahrenheit cuando el metal en cuestión deja de ser sólido y pasa al estado líquido.

#### d) Soldabilidad

Es la capacidad que tienen los metales, ya sean iguales o distintos entre sí, de poder unirse por la acción de diversas fuerzas hasta formar un cuerpo único físicamente continuo. Esta propiedad se emplea en la especialidad de soldadura. Los metales más soldables son los aceros y el aluminio.

#### e) Temple

El temple es la propiedad que cuentan los metales cuando al ser sometidos a temperaturas elevadas son enfriados repentinamente dando lugar a un aumento en su dureza, a este procedimiento se le conoce como temple. Por lo tanto se entiende por temple a la propiedad que algunos

metales (los aceros en especial) poseen de aumentar su propia dureza mediante apropiados tratamientos térmicos.

### II.1.3 ENSAYOS MECANICOS DE LOS MATERIALES

#### a) Dureza

Por dureza se entiende a la resistencia que los materiales oponen cuando se pretende penetrarlos o marcarlos con otros cuerpos más duros. Ejemplo: empíricamente sabemos que la madera es menos dura que el hierro; en efecto si se toma un clavo de hierro sin ningún esfuerzo ni dificultad es posible clavarlo en la madera. De ello se deduce que la madera es menos dura que el hierro.

Los valores de dureza se determinan por varios métodos, como los de Brinell, Rockwell, Vickers, Shore, etc.

En la fig. II.3 se observa una máquina para realizar pruebas de dureza por el método Brinell que consiste en prensar fuertemente una esfera de acero durísimo contra la superficie de la pieza que se prueba. La dureza se mide por medio de la impresión que la esfera deja en el metal.

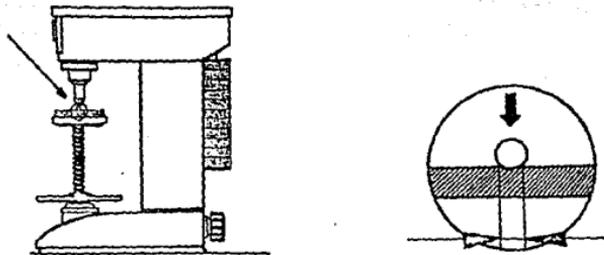


FIG. II.3 Acercamiento de la esfera de impresión de la prueba de dureza Brinell.

### b) Elasticidad

Por elasticidad se entiende a la cualidad que algunos cuerpos poseen de regresar a su estado original sin sufrir deformaciones permanentes después de haber sido sujetos a esfuerzos. La medida de elasticidad se determina por medio de un módulo de elasticidad que indica la proporción entre el esfuerzo unitario de tracción y el alargamiento unitario que sufre el material.

### c) Resistencia

La resistencia es la propiedad que los cuerpos poseen de soportar más o menos bien a esfuerzos dinámicos (es decir impactos). Por impacto entiéndase las fuerzas que se agitan en tiempos breves. Hay que tener en cuenta que la resistencia es antónimo de fragilidad.

La prueba de resistencia es efectuada con una máquina denominada "Péndulo de Charpy". El péndulo se levanta y se retiene arriba con un dispositivo. El material que se someterá dicha prueba se prepara en probeta y se introduce en el alojamiento adecuado. Cuando al péndulo se le quita el dispositivo que lo mantiene elevado, cae por efecto de gravedad y choca súbitamente contra la probeta (fig II.4). La resistencia se mide con base en los dos arcos que describe el péndulo: uno entre el punto de partida y la probeta, y el otro entre la probeta y el punto hasta donde llega el péndulo en su movimiento de regreso.



FIG. II.4 "PENDULO DE CHARPY". Acercamiento de la probeta de impacto.

#### d) Resistencia mecánica

La resistencia mecánica es la capacidad de soportar fuerzas aplicadas sin choque o impacto. Las fuerzas aplicadas sin choque se conocen como esfuerzos estáticos.

Los principales esfuerzos estáticos son:

- Tensión
- Compresión
- Corte
- Torsión
- Flexión

Dichos esfuerzos pueden ser:

- simples, cuando actúa uno cada vez
- compuestos, cuando en la misma pieza actúan al mismo tiempo dos esfuerzos (por ejemplo, corte y flexión).

#### Resistencia a la Tensión

Existe resistencia a la tensión cuando las fuerzas que se aplican a un cuerpo describen o tienden a describir un alargamiento del mismo. La prueba de tensión se efectúa en una muestra llamada "probeta" y con una máquina tipo "prensa" (fig II.5) que se hace accionar en sentido inverso provocando el "alargamiento" a la probeta.

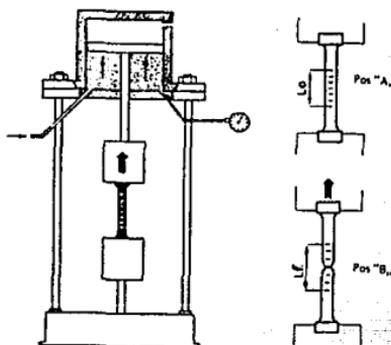


FIG. II.5  $L_f$ = Long. final entre trazos  
 $L_0$ = Long. inicial entre trazos  
 $A$ = Alargamiento

Por medio de esta prueba es posible evaluar en una pieza los siguientes valores:

. Carga de plasticidad, que corresponde al principio de la deformación permanente de la probeta antes de la rotura.

. Alargamiento porcentual, la relación o porcentaje entre el alargamiento que sufre un espacio de la probeta sometida a tensión hasta llegar al límite de rotura y la longitud original del espacio mismo. La carga de ruptura se obtiene cuando la probeta llega al estado en que la probeta se convierte en dos segmentos independientes.

#### . Resistencia a la compresión

Se dice que un cuerpo se somete a compresión cuando una o más fuerzas actúan sobre el mismo tendiendo a reducir sus dimensiones. La resistencia de una pieza sometida a compresión se mide por su capacidad de resistir una carga determinada sin sufrir variaciones o rupturas. La prueba de compresión para varios cuerpos se realiza por medio de la misma máquina que se utiliza para la tensión, en donde únicamente se invierten los esfuerzos (fig II.6)

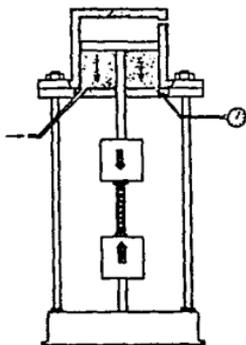


FIG. II.6

### Resistencia a la flexión

Se dice que un cuerpo está sometido a flexión cuando por efecto de una fuerza aplicada se encorva (dobla). Dicha resistencia es característica en la flexión de las vigas, de las tablas de madera, etc. La resistencia a la flexión la ejerce, por ejemplo, una viga sostenida o engastada por una o por los dos extremos (fig II.7)

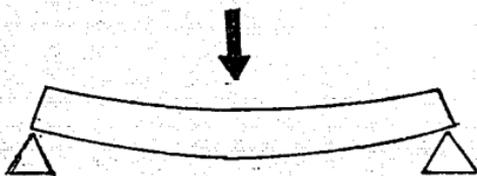


FIG. II.7

### Resistencia a la torsión

Un cuerpo está expuesto a la torsión cuando se le somete a una fuerza que tiende a hacer girar una cara de la pieza en sentido contrario respecto de la otra. Esta es la prueba característica a la cual están sometidos los árboles acodados de un motor (cigüeñal).

### Resistencia al corte

Un cuerpo se encuentra sometido a corte cuando una fuerza tiende a desplazar parte del mismo respecto del resto. Existe resistencia al corte en los remaches de las láminas, en los tornillos, clavos, las lengüetas de las poleas, etc.

El caso típico de resistencia al corte es el de una lámina sometida a la acción de una tijera mecánica.

## II.2 CLASIFICACION DE LOS METALES

Los metales se dividen en dos categorías: los Metales Ferrosos, los cuales contienen hierro, y los Metales no Ferrosos, los cuales no contienen hierro. A continuación se presentan algunos de los metales de cada categoría.

### Metales Ferrosos

- Hierro, Hierro fundido, Acero, Aleaciones de acero, Hierro galvanizado, placas estañadas (hojalata).

### Metales no Ferrosos

- Aluminio, cobre, plomo, estaño, níquel, zinc, plata.

Conforme a lo anterior expondré las características sobresalientes de los metales llamados ferrosos, entre los cuales el hierro es el principal ingrediente; posteriormente trataré los no ferrosos.

### II.2.1 METALES FERROSOS

#### Acero

Dentro de los aceros el laminado al carbón es el más sencillo, consistiendo de hierro, carbón y manganeso, teniendo además otros elementos, tales como fósforo, azufre, sílice; los cuales se hacen presentes en forma de impurezas.

De acuerdo al contenido de carbón los aceros se clasifican en bajo, mediano, alto y muy alto carbón. Estos grupos cuya resistencia se incrementa al aumentar su contenido de carbón, bajan en cambio en ductilidad y su contenido de carbón muestra también el grado de soldabilidad, ya que a mayor contenido de carbón son más soldables.

- Acero de bajo contenido.- Se les conoce como aceros suaves a aquellos de bajo contenido de carbón, los cuales tienen un grado de entre 0.05 y 0.30 % de carbón, aclarando que existe el hierro puro especial con un grado de carbón de 0.01 a 0.05 % y se le denomina hierro en lingote en vez de hierro de bajo carbón, teniendo muy buena resistencia a la corrosión; pero es un material muy costoso por lo que su producción es limitada.

Los aceros de bajo carbón son generalmente tenaces, dúctiles y fáciles de conformar, maquinar y soldar. Aun cuando estos aceros no son especialmente duros, su composición responde bien a los tratamientos térmicos, por ser accesibles al endurecimiento, carburación, cianuración y endurecimiento a la flama.

- Aceros de medio carbón.- Los aceros de medio carbón tienen un grado de 0.30 a 0.45 %; son sólidos, duros y no fáciles de forjar o soldar. Cuando se tenga la necesidad de utilizar este tipo de material es recomendable trabajar con el acero de proporción menor, que estriba entre 0.30 y 0.35 %, pues cuando excede del 0.35 %, el acero se torna difícilmente soldable por tener gran tendencia a la cristalización de la soldadura.

- Aceros de alto y muy alto carbón.- Los aceros de alto carbón, los cuales poseen un contenido de 0.45 y 0.75 %, y los de muy alto contenido de carbón (0.75 y 1.50 %) son sumamente sólidos y duros. En tanto que el carbón tiene gran influencia en las características del acero, es también muy importante el grado en el que no se removieron impurezas cuando sufrió el proceso de refinación. Un aumento ligero en el porcentaje del fósforo o azufre, materialmente, bajará la ductibilidad, la maleabilidad, la fatiga, la resistencia a impactos y a la soldadura, en las cualidades del acero. Este tipo de aceros se comportan perfectamente a los tratamientos térmicos por lo que se obtienen casi todos los grados de endurecimiento por temple. Los aceros de 0.45 hasta 0.70 % de carbón suelen soldarse; pero requieren electrodos especiales, precalentamiento, técnica de soldadura especial y trato especial después del soldado. Debido a sus restricciones de trabajo y a su escasa aplicación, este tipo de materiales son raramente fabricados.

- Aceros aleados.- Los aceros aleados tienen especiales propiedades físicas y mecánicas, que dependen de ciertos elementos metálicos, tales como el níquel, cromo, molibdeno, vanadio, tungsteno, silice o manganeso. Cada uno de estos elementos agrega o modifica las características del acero original. Existen elementos que al combinarse con el carbón forman elementos constituyentes de dureza; otros elementos no forman compuestos, pero permanecen en forma de solución en la ferrita (hierro puro) a temperaturas normales.

#### . Clases de hierro colado

- Hierro gris.- Por lo general, en construcción el hierro gris es el tipo más común de hierro colado que se utiliza, teniendo otras tantas aplicaciones. La denominación gris la toma de su color gris del grafito, parte componente del grano (división más pequeña que puede tener el hierro colado). Es esencialmente un compuesto de hierro, carbón y silice.

Su condición grafitada es el resultado del enfriamiento del hierro fundido, en la combinación química del hierro y al carbón, que tiene al tiempo de desintegrarse parcialmente, y mucho del carbón se separa en forma de delgadas escamas de grafito, distribuidas uniformemente a través del metal. Este carbón grafitado es distinto del que, combinado químicamente, permanece en el hierro como carburo de hierro.

- Hierro colado aleado.- Dentro de las clases de hierro colado también se contemplan a las que son aleadas. Este tipo de elementos poseen una estructura más uniforme, gran resistencia y otras propiedades obtenidas gracias a la adición de níquel, cromo, molibdeno y otros elementos. Por consiguiente el hierro colado aleado tiene un costo superior al convencional.

De las aleaciones, la más común es el níquel que se agrega en cantidades desde 0.25 a 5.0 %; pasando del 4.0 %, la adición del níquel contribuye a uniformar el grano, la dureza y la resistencia. Con frecuencia el níquel, en combinación con otras aleaciones, tales como el cromo y el molibdeno, aumenta la facilidad para el maquinado, mejora la estructura molecular, la dureza, la consistencia, la resistencia al calor y a la corrosión, y al desgaste.

- Hierro colado blanco.- Este tipo de hierro se produce enfriando rápidamente el metal fundido, contiene carbón combinado, por lo que el mismo no se separa del carburo de hierro compuesto. El hierro colado blanco se distingue de otros por su extrema dureza y su estructura molecular; al romperse tiene un color blanco plateado. En su estado de origen tiene pocas aplicaciones, a menos que se use hierro gris en el centro y blanco en la superficie, lo cual se logra enfriando la misma rápidamente (algunas veces con agua), penetrando la dureza hasta 1/2 pulgada. A este metal se le denomina "hierro chilled" (hierro enfriado).

- Hierro colado maleable.- Esta elaborado a base de hierro colado blanco, mediante un proceso de recocido por varios días a una temperatura de 1 500 a 1 650 °F. Este tratamiento transforma una parte del carbón a otro en estado libre y refinado de baja temperatura. De ahí que las propiedades del hierro fundido maleable dependan principalmente de la cantidad de carbón presente. El contenido de carbón varía entre 2 y 3 %.

El hierro colado maleable es débil, o sea que se comporta plásticamente antes de romperse y, por lo tanto, resiste mejor a los golpes que el hierro colado gris. Además de su mejor ductilidad el hierro maleable es más fuerte y consistente que el hierro colado gris.

- Hierro colado esferoidal o nudoso.- Es mas consistente que el hierro colado gris, presentándose como un nuevo grupo de hierro colado, cuya diferencia es el cambio en su estructura interna, en la que las áreas oscuras son el grafito (similar al de los lápices), que siempre esta presente en el hierro colado gris.

Si el grafito es alargado y escamoso, unido entre si en forma de hilos, el hierro es menos consistente que cuando tiene sus masas redondas en forma esferoidal o nudosa, lo cual le da una excelente ductilidad, como resultado de adicionarle pequeñas cantidades de magnesio al ser fundido.

- Hierro forjado (batido).- El hierro batido es ductil, tenaz, fibroso; es un material poco maleable.

La diferencia entre el hierro forjado y otros materiales es palpable en la rotura, pues mientras que el hierro forjado se muestra fibroso, el acero es cristalino en su apariencia granular.

Básicamente existe únicamente una clase de hierro forjado, aun cuando la calidad varía de acuerdo con la proporción de carbón, manganeso, fósforo, azufre, sílice, ya que el hierro forjado consiste en hierro forjado puro e hierro silíceo, y sus componentes están distribuidos entre el metal y la escoria.

- Hierro níquel forjado.- Es un tipo de hierro forjado el cual se encuentra aleado con níquel, en una proporción hasta de 5%, siendo la normal de 1.5 a 3%. La adición de níquel modifica al hierro forjado de la siguiente forma:

Propiedad	Hierro forjado sin aleación (lb/plg <sup>2</sup> )	Con 3% de níquel en hierro forjado (lb/plg <sup>2</sup> )
Resistencia a la tensión	48,000	50,000
Punto de rendimiento	30,000	45,000
Alargamiento en 0.008" de pulg.	25	22
Reducción del área, porcentaje	45	40

- Acero fundido (vaciado).- Se aplica el término de acero vaciado, al metal que al salir del horno de acero es vaciado directamente en el molde que le dará la configuración definitiva que deberá tener.

- Acero inoxidable.- La principal característica de este metal es su capacidad para resistir a la corrosión, y se le clasifica en tres grupos, los cuales están de acuerdo a los porcentajes tanto de carbón como de níquel y cromo:

. Grupo no. 1: Acero cromo níquel, dentro de este grupo a medida que contienen mayor composición de cada uno de los elementos aumentan su resistencia a la corrosión y a la temperatura.

. Grupo no. 2: Acero duro al cromo, contiene de 12 a 18% de cromo, con .15 a 1.2% de carbón; es accesible al endurecimiento mediante el tratamiento por temperatura del calor.

. Grupo no. 3: Acero no endurecido, contiene de 12 a 27% de cromo y de 0.18% a 0.20% de carbón; no es endurecible por el tratamiento del calor. Se usa para refinerías y equipos sujetos a altas temperaturas y presiones. Se le denomina ferrítico inoxidable.

Los metales de los tres grupos mencionados son soldables mediante técnica especial.

- Acero recubierto.- Son materiales protegidos con una capa homogénea de níquel puro, de acero inoxidable o de plata. Dicho material proporciona una superficie que resiste a la corrosión, con costo menor que los aceros inoxidables completos. Esta cubierta anticorrosiva necesita ser del 5 al 20% del grueso de la lámina con la que tiene las mismas propiedades químicas y físicas de los aceros laminados en caliente y los forjados.

## II.2.2 METALES NO FERROSOS:

Se llaman metales no ferrosos a aquellos que no contienen cantidades apreciables de hierro, entre los más comunes tenemos los siguientes: cobre, aluminio, magnesio, níquel, cinc y plomo; todos ellos son soldables, aunque algunos requieren especiales precauciones y técnicas.

- Cobre - Esta es el más común de los metales no ferrosos; se combina fácilmente cuando menos con 30 de los 103 elementos químicos conocidos, de los cuales se utilizan 17 para hacer el cobre comercial aleado, mismo que se divide en dos clasificaciones generales que son bronce y latón.

- Latón.- Es el tipo más común de las aleaciones de cobre, donde el cinc es el elemento aleado, cuya proporción es desde 1 hasta

el 50%, con el que se obtienen cuando menos quince clases de latones comerciales.

El latón de bajo cinc es muy maleable y el más indicado para trabajos en frío; pero representa varias dificultades para ser maquinado.

Tanto el latón dorado como el comercial se usan para fabricación de objetos sujetos a la intemperie.

El latón amarillo es el más barato, mismo que también puede ser laminado en frío. Frecuentemente es utilizado en la fabricación de tornillos y remaches, piezas y accesorios troquelados, teniéndose que proporcionarle un recocido para evitar agrietamientos.

Para fundiciones específicas tiene adiciones de aleaciones como estaño, plomo y aluminio. La adición de plomo mejora las cualidades de los latones para maquinas.

- Bronce.- es cobre con aleaciones, en las que son principales el cinc, el estaño, el silice, el aluminio y el berilio. Estas aleaciones son las más comunes y algunas de ellas son accesibles a endurecerse bajo tratamientos térmicos. Por lo general se dividen en dos clases: los tratados por medio del calor y los tratados sin calor. Los primeros son tratados por medio del calor, tal como si fuera acero, en tanto que otros son endurecidos por medio de solución o precipitación; método que consiste en calentar la aleación a una determinada temperatura por un lapso de tiempo suficiente, hasta que uno o más de los constituyentes entren en una completa solución (disueltos en sus granos especiales), entonces es enfriada rápidamente para tener la solución a una temperatura ambiente.

En cuanto a los tratados sin calor, uno es el cobre-estaño desoxidado con fósforo, denominándosele, por lo tanto, como bronce fosforado o bronce-estaño. La aleación de estaño en este bronce puede ser desde 1 hasta 11% y de fósforo hasta de 0.5%, llevando, esporádicamente, hasta el 4% de plomo, que se agrega con objeto de mejorar la maquinabilidad de dicho metal.

Los materiales mencionados anteriormente pueden ser soldados con relativa facilidad, sólo los que contienen altos porcentajes de cinc presentan dificultades para dicha operación.

Los electrodos recubiertos de fundente son los indicados para soldar con arco, y en cuanto a bronce, mediante gases inertes se obtienen los mejores resultados. El proceso oxiacetilénico puede también aplicarse en algunos casos, pero cuidando de no oxidar los materiales. Posteriormente hablaremos con mayor detalle acerca de los problemas que se provocan al existir la presencia de la oxidación.

- Aluminio.- Este metal tiene aplicación en donde es necesaria la resistencia, poco peso y alta conductibilidad de calor y electricidad, así como oposición a la corrosión.

El aluminio comercial puro, es recocido o vaciado, con una resistencia a la tensión aproximada de 1/5 de la del acero estructural.

Trabajado en frío aumenta su resistencia, así también al alearse con otros metales. Aleándose con el cobre, silice o cinc, admite el tratamiento al calor para aumentar su resistencia que en algunas ocasiones llega a compararse con el acero. Entre los aluminios aleados de alta resistencia están el aluminio-manganeso-cromo y el aluminio-magnesio-manganeso, que son extensamente utilizados en las construcciones.

- Magnesio.- Es el metal menos pesado de los comerciales, de color blanco, plateado, con densidad de 2/3 del aluminio y 1/4 de la del acero. Generalmente contiene aluminio, manganeso, y frecuentemente cinc.

El magnesio aleado tiene semejanza con el aluminio aleado, con alta conductibilidad al calor, bajo punto de fusión y alta expansión termal.

Este elemento se une con gas inerte en el arco protegido, pero no suelda con otros metales por su estructura quebradiza; no se le puede someter al tratamiento por calor y además no produce flama.

- Cinc.- Se usa extensamente en galvanizados debido a sus excelentes cualidades anticorrosivas. Frecuentemente esta aleado con el cobre como se mencionó anteriormente.

- Níquel.- Es un metal duro, plateado, anticorrosivo y antioxidante, aun a altas temperaturas. Se alea con muchos materiales y es base para muchos aceros. Procedimientos similares a los usados con el acero, se aplican al níquel y a sus aleados.

- Plomo.- Es uno de los metales más antiguos; se obtiene en cuatro grados:

Plomo antimonio que tiene aproximadamente 6% de antimonio. Se utiliza principalmente en los acumuladores.

Plomo corrosivo de alta pureza. Se utiliza en la manufactura de pinturas.

Plomo ordinario, que es un tanto inferior en pureza a los anteriores, se emplea para forros, fabricación de tubos y objetos similares.

Plomo químico con contenido de 0.04 a 0.08% de cobre, que aumenta su resistencia a la corrosión y se usa en la industria química.

El plomo se puede soldar con acetileno y con arco de carbón.

## III COMPOSICION DE LOS METALES

El conocimiento de conformación de los metales no es esencial para la soldadura y sus productos, pero contribuye en gran medida en la obtención de buenos resultados en ella.

La soldadura es un proceso de calentamiento y enfriamiento, para el caso en cuestión, durante el cual los materiales sufren cambios, es por ello que teniendo bases de este tema sabremos de antemano los beneficios o desaveniencias que resultarán de la operación.

El estudio superficial de un metal no indica su constitución; su rotura, en cambio, nos mostrará su apariencia granular. Los granos pueden ser visibles por su tamaño, o muy pequeños que requieran del auxilio de un lente de aumento.

Todos los sólidos en la Tierra están formados por cristalización, aun los que proceden del estado líquido o de soluciones. Tomándose en cuenta que la soldadura en la construcción se realiza cuando menos con el 95% de aleaciones ferrosas, enfocaré este capítulo a ellas mismas. Se llaman aleaciones ferrosas, como se indicó en el capítulo anterior, debido a que su principal constituyente es el "ferrum" (hierro en latín).

### III.1 ESTRUCTURA DE LOS METALES

Aun cuando las aleaciones puedan cambiar la estructura de los metales, sus características se deben a dos razones:

- a) Los átomos forman los metales.
- b) La forma en que los átomos están distribuidos.

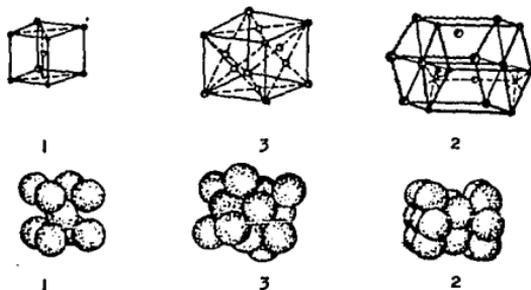
Un examen de los metales, aun con microscópios poderosos, no mostrará totalmente los átomos; solamente se verán el grano y los cristales. El menor grano observable, está formado por un gran número de átomos. Por lo anterior, en realidad la configuración de los átomos es netamente deducida.

La configuración externa de los granos o cristales de un metal, es semejante a la de la sal y a la de la nieve. Los metales son sustancias cristalinas, denominándoseles granos a los cristales, cuya forma es generalmente regular aun cuando varían en sus dimensiones, pero son similares en su configuración angular entre sí.

El grano de estructura atómica interna, se basa en el espacio de la celosía o enrejado del metal en particular. Todos los granos o cristales se componen de átomos aglomerados entre sí en forma particular del propio metal, con estructura definida. A esta estructura atómica se le llama espacio de enrejado o celosía. La distribución de los espacios del enrejado o celosía de una estructura atómica, determinan la configuración de una estructura cristalina, teniéndose la semejanza de la distribución de los ladrillos que determinan la apariencia de un edificio. Los átomos de un grano están espaciados a distancias definidas entre sí, que no pueden ser cambiadas. De aquí que se suponga que los átomos se mantienen agrupados por líneas imaginarias que ayudan a visualizar la colocación de los átomos.

En la actualidad se conocen 14 posibles tipos de espacios de enrejado, de los cuales sólo 3 son los de mayor importancia:

- cuerpo central cúbico (fig. III.1)
- grupo cerrado hexagonal (fig. III.2)
- cúbico central (fig. III.3)



FIGS. III.1, 2, 3

La mayor parte de los metales cristalizan en cualquiera de los 3 tipos de referencia. Algunos de ellos, como el hierro, tienen dos

estructuras con espacios de enrejado distintos. La formación de cristales se comienza cuando primeramente, al enfriarse el metal aleado en cuestión, algunos compuestos metálicos se separan de la solución formando delgados cristales, que crecen progresivamente a medida que el compuesto es accesible debido a la disminución de temperatura. El crecimiento de los cristales continúa a lo largo de tres líneas dimensionales, formándose en consecuencia, los espacios de la malla o celosía metálica característica. Finalmente, el metal aleado que queda, llamado matriz, que es el constituyente físico principal, en el que los cristales, los átomos libres u otros constituyentes se acomodan, sirviendo de envoltura y sostén de toda la masa, se solidifica alrededor de los cristales.

### III.1.1 COMPORTAMIENTO DE LOS CRISTALES

#### III.1.1.1 TENSION

Cuando a un metal se le somete a la prueba de tensión (alargamiento), si analizamos detenidamente esta prueba en una muestra, es posible observar cómo el metal se estira, desliziándose y agrupándose sus granos entre sí, los que se alargan paralelamente unos en relación con otros; pero las líneas seguidas por los granos describen diferentes ángulos respecto de otros. Dichas líneas del mismo grano, quedan cercanas y paralelas, a las cuales se les denomina "bandas deslizantes". Ello ocurre porque durante el alargamiento una parte del grano se desliza sobre otra; esto es una fase que aparece en el microscopio como una línea que cruza el grano.

El ángulo del plano de deslizamiento depende de la forma en que el grano se presenta, el cual no se debilita por el deslizamiento. Al continuar el esfuerzo de las líneas de deslizamiento, las cuales son líneas paralelas que muestran el esfuerzo a lo largo de los espacios de deslizamiento que permiten que se efectúe la deformación. Éstas se suman al deslizamiento original. Finalmente ocurre la falla al continuar el deslizamiento, porque algunos granos se separan de los demás, provocando la fractura a través de otros granos.

Al ser calculadas las fuerzas que mantienen unidos a los átomos, se llegó al conocimiento de que los metales deben de ser varias veces más fuertes cuando quedan sujetos a pruebas de tensión; por esta circunstancia se concluye que un alambre tiene mayor resistencia que una pieza grande, en virtud que recibe uniformemente la carga.

En la práctica los metales se hacen fuertes y consistentes, mediante su alargamiento o batiéndolos, o de otra manera, sujetándolos

a trabajos en frío, que algunas veces se hacen en forma deliberada, como cuando el alambre es estirado en frío para hacerlo más resistente. El aumento a la resistencia a la tensión se debe a que los granos se afirman por el deslizamiento interior; una vez que esto ocurre, los átomos se adhieren con mayor fuerza a la nueva situación, lo que demuestra por qué se requiere de gran fuerza para obtener mayores deslizamientos. Los efectos del trabajo en frío pueden anularse completamente por medio del calor, resultando con ello un reacondo que libere la tensión del metal que previamente fue trabajado en frío. El calentamiento excesivo genera un recristalización, sustituyéndose así a los cristales dispersos y alargados por otros más pequeños y uniformes, pero de configuración irregular. En el cobre puro, al ser calentado a 150 °C se recristaliza y se ablanda, por lo que su resistencia se ve disminuida de 50,000 a 30,000 lb/plg<sup>2</sup>.

#### III.1.1.2 TRABAJO EN CALIENTE

El laminado, forjado o cualquier otro trabajo en caliente rompe los granos haciéndolos más chicos. En el caso del acero sucede que si el trabajo en caliente se detiene en la temperatura de transformación, temperatura a la que el metal cambia de una estructura o otra, los granos crecen en tanto que el acero se enfría; entonces el acero regresa a la temperatura ambiente y los granos permanecen en su tamaño grande. El acero de grano fino tiene mayor resistencia al impacto que los aceros de grano grueso. Por lo tanto, apagar o enfriar lentamente al acero le provocará una generación de grano grande, que es mucho más resistente que uno pequeño.

## IV METALURGIA

### IV.1 OBTENCION DEL HIERRO FUNDIDO

El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono. El contenido de carbono de las fundiciones varía de 2 a 6.67%. Sin embargo, como los contenidos de carbono elevados propicia una gran fragilidad a la fundición, la mayoría de los tipos de fundiciones comerciales contienen un porcentaje de carbono que varía entre 2.5 y 5%.

El hierro no es obtenible puro, así como la mayoría de los metales que se someten a procesos de depuración, el hierro se encuentra en forma de minerales; de tal manera que junto con el carbón de coque y la caliza, constituyen las materias para la obtención de las fundiciones, mismas que se realizan en hornos que por su altura se les han denominado "altos hornos".

#### Materias primas del Hierro

No todos los minerales ferrosos contienen cantidades suficientes de hierro de tal forma que resulte rentable su extracción. Los minerales que por su alto contenido de hierro se utilizan en la industria se les ha denominado minerales industriales, y entre ellos los más conocidos son:

- Hematitas: contiene hierro en un 60 a 65%
- Limonita: es un óxido hidratado de hierro, o sea un compuesto de hierro e hidrógeno con un contenido aproximado de 55% de hierro.
- Magnetita: es el mineral con más abundancia en hierro con un proporción del 70%. Es un óxido de hierro, o sea un compuesto de hierro y oxígeno.
- Siderosa: es un compuesto de hierro, carbono y oxígeno con contenido de hierro del 50%.

Estos minerales, como en la generalidad de los procesos de extracción, son sometidos a diferentes fases, en las cuales van aflorando el hierro. Tales pasos son como el triturado, lavado y calcinación. Esta última operación es la más considerable puesto que



en ella se tuesta (concentra) el mineral en hornos, como los mencionados anteriormente, a temperaturas alrededor de los 900 °C aproximadamente, operación que se realiza con los mayores cuidados.

#### Elaboración del hierro colado

El hierro colado es el primer producto que se obtiene de los minerales de hierro en las plantas siderúrgicas por medio del uso de los hornos a los cuales me he referido anteriormente; dicho horno es cargado por la parte superior, con capas alternadas de carbón de coque, minerales de hierro y caliza.

El combustible está constituido por el carbón de coque que suministra el carbono que se alea con el hierro. La caliza tiene la función de fundente y de formadora de escoria fusible.

Los altos hornos son grandes hornos con altura de aproximadamente de 30m y revestidos en el interior de material refractario. La parte inferior llamada crisol tiene una altura de 3m por 3m de diámetro y se compone de toberas, piqueras de escoria o bigoteras y de la piqueta del sangrado del hierro (fig. IV.1)

- 1.- La piqueta de escoria o bigotera, a través de la cual se efectúa el sangrado de la escoria líquida, se encuentra situada a 1m aproximadamente de las toberas de soplado del aire caliente hacia el horno proveniente de los recuperadores.
- 2.- La piqueta de hierro a través de la cual se sangra el arrabio líquido (hierro colado) se encuentra situada a unos 60cm por encima de la parte superior del crisol.

#### Seccionamiento del Alto Horno

En forma muy sencilla explicaré el comportamiento de los minerales a través de las cuatro zonas del alto horno (fig. IV.2):

- a) Zona de secado: el mineral, la caliza y el coque que se cargan por la boca del alto horno entran en contacto con la corriente ascendente de gases calientes cuya temperatura de 150 °C los deshidrata, eliminándoles toda existencia de agua.
- b) Zona de reducción: descendiendo los materiales llegan a la zona de absorción del calor cuyas temperaturas circundan entre los 500 y 1000 °C. Se descomponen el agua y la caliza, el hierro esponjoso absorbe parte de carbono y parte de óxido de manganeso y se reducen.
- c) Zona de carburación: por efecto de temperatura, 1200 a 1350 °C, el hierro se ablanda y absorbe del coque incandescente el carbono (carburación). Esta comprendida entre el

- vientre y la saca del alto horno.
- d) Zona de fusión: en esta zona, donde la temperatura oscila entre 1800 y 2000 °C, el hierro se satura del carbono dando lugar a la transformación en aleación hierro-carbono que toma el nombre de "hierro colado"



FIG. IV.2 Zonas de un alto horno.

#### Componentes de un Alto Horno

1. Aire procedente de la soplante.
2. Cámara de ladrillos refractarios.
3. Revestimiento de ladrillos refractarios.
4. Uno de los tres o cuatro recuperadores que se utilizan para el precalentamiento del aire.
5. Aire caliente.
6. Aire caliente.
7. Caliza, mineral y coque.
8. Gas caliente a los depuradores.
9. Carro de carga no.1.
10. Hierro fundido.
11. Escoria fundida.
12. Piqueta de hierro.
13. Carro del hierro caliente.
14. Vagoneta para remoción de escorias.
15. Tubo colector.
16. Tobera.
17. Bigotera.
18. Carro de carga no.2.
19. Tolvas de carga de mineral y caliza.
20. Tolvas de carga de coque
21. Revestimiento

## IV.2 FABRICACION DEL ACERO

El acero es una aleación de hierro-carbono en la cual el carbono es contenido en un porcentaje de 0.05 a 1.7%, y además está constituido de pequeños porcentajes de elementos como manganeso, azufre, silicio y fósforo; o sea que en realidad el acero es un producto refinado del hierro fundido en el que se lleva a cabo el proceso de decarburación en el cual se disminuye el contenido de carbono.

Los acero se pueden obtener mediante los siguientes procedimientos:

- a) Crisol
- b) Convertidor Bessemer
- c) Convertidor Thomas
- d) Convertidor Linz Donawitz
- e) Horno Martin Siemens

Los procedimientos más comunes son los convertidores Bessemer y Thomas. Cada uno tiene su especialidad, así se tiene que el Bessemer se utiliza para la obtención del acero del hierro colado rico en silicio; en tanto que el Thomas es usado para el hierro colado rico en fósforo. El procedimiento Crisol es poco recomendable dado su alto costo de operación, aun cuando se obtienen muy buenos resultados.

### b) Convertidores Bessemer y Thomas

Este tipo de convertidores tienen forma de peras, se encuentran revestidos por materiales refractarios (resistente al calor), y además ensamblados por medio de un eje central el cual permite el movimiento de rotación. La diferencia que existe entre ambos radica en la composición del revestimiento, en la cual el convertidor Bessemer se encuentra revestido de un material refractario de tipo ácido o sea de ladrillos silicosos, mientras que en el tipo Thomas se tiene un material de tipo básico formado por dolomita apisonada o ladrillos de magnesio.

La forma de operación de este tipo de convertidores es la siguiente: el convertidor se encuentra colocado en posición horizontal y está cargado de hierro fundido en estado líquido (a una temperatura de 1400 °C) por 1/6 y 1/8 de su capacidad de volumen. Una vez que el convertidor ha sido cargado regresa a la posición vertical, momento en que en el fondo es inyectado aire a presión a través de una serie de orificios; de esta forma el oxígeno contenido en el aire inyectado quema al carbono del hierro fundido transformándolo gradualmente en acero (fig IV.3)

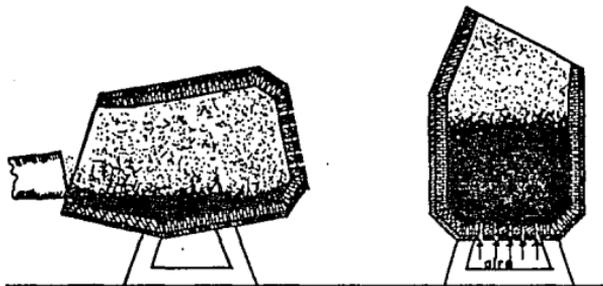
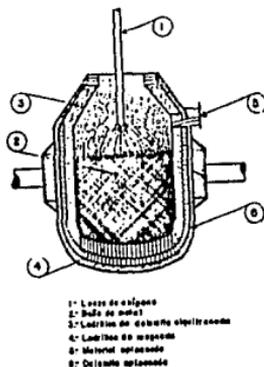


FIG. IV.3 Sección transversal de un convertidor Bessemer y Thomas.

d) Convertidor Linz Donawitz

En este convertidor la operación de decarburación es similar a la de los anteriores, en donde para éste tipo de convertidor, Linz Donawitz, se introduce una carga de chatarra, mineral de hierro y hierro fundido. Por la parte superior y a través de un tubo llamado "lanza" se inyecta oxígeno puro (99.5%). El contenido de carbón se reduce a los porcentajes establecidos para los distintos aceros y además se eliminan las impurezas tales como el fósforo, el silicio, el manganeso y el azufre. El tiempo de soplado varía de 20 a 30 minutos, mientras que el de colado estriba entre los 45 y 60 minutos (fig. IV.4).



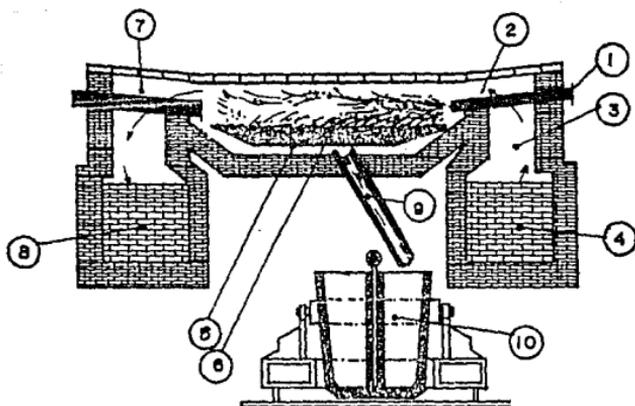
- 1- Lanza de oxígeno
- 2- Bata de arena
- 3- Ladrillos de escoria aluminada
- 4- Ladrillos de magnesita
- 5- Material apilado
- 6- Detalle apilado
- 7- Detalle apilado

FIG. IV.4 Sección transversal de un horno básico de oxígeno.

1. Lanza de oxígeno.
2. Baño de metal.
3. Ladrillos de dolomita alquitranada.
4. Ladrillos de magnesita.
5. material apisonado
6. Dolomita apisonada.

e) Horno Martin Siemens

Por medio de este procedimiento el horno se carga con chatarra fina, mineral de hierro y hierro colado de alto horno, recalentando con combustible líquido o gaseoso. El hierro fundido se transforma en acero con la presencia del mineral de hierro. El tiempo de operación es aproximadamente de 10 horas (fig IV.5).



- |                                  |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| 1. Combustible líquido o gaseoso | 6. Metal fundido       |
| 2. Quemador                      | 7. Gases quemados      |
| 3. Aire                          | 8. Cámara recuperadora |
| 4. Cámara recuperadora           | 9. Piquero de colado   |
| 5. Solera                        | 10. Caldera            |

FIG. IV.5 Sección recta de un horno Martin Siemens.

## V SOLDADURA Y METALURGIA

### V.1 FENOMENOS DENTRO DEL PROCESO DE SOLDADURA

Una vez que se han explicado los procedimientos de obtención del acero y las diferentes formas en que éste es tratado para modificar sus características en cuanto a resistencia y comportamiento, es más fácil comprender las distintas respuestas que el acero nos presenta cuando nos encontramos con los problemas de trabajarlo con la Soldadura. De esta forma se tiene que, conocidos ya los efectos del calor en los metales ferrosos, los metalúrgicos en la soldadura son, por lo tanto, efectos del calor.

#### V.1.1 EFECTOS DE TEMPERATURA

Cada operación de soldadura por fusión, que es la que más interesa para este estudio, está relacionada lógicamente en consecuencias del calor o térmicas, en las que se incluyen:

- Calentamiento del metal.
- Manejo del electrodo, comprendiendo la flama del soplete y el depósito del metal fundido.
- Enfriamiento del metal depositado y del metal base.
- Recalentamiento, en algunos casos, de toda la pieza para aliviarla de las tensiones, consecuencias de la operación de la soldadura.

En toda soldadura el metal, al quedar, ya sea bajo, la flama del soplete o la acción del arco, entra inmediatamente en estado líquido o de fusión, estableciéndose distintas temperaturas alrededor o en cada sección de la pieza en cuestión (fig. V.1).

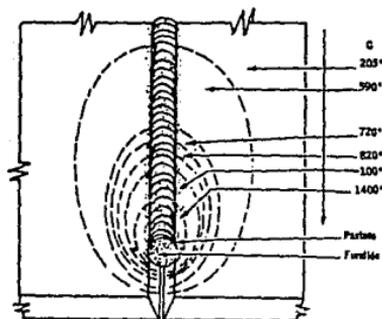


FIG. V.1 Diferencias temperaturas en el metal  
durante la soldadura.

Como resultado de esta acción de elevación de temperatura del metal, se generan cambios de estructuras dentro del metal. El soldador que se encuentra familiarizado con estos fenómenos podrá predecir con facilidad los beneficios o contraproduencias que resultarán de la operación. Me concretaré únicamente a explicar sobre este tema considerando únicamente a los metales ferrosos, puesto que son los de mayor importancia dentro de la construcción.

La soldadura del acero con arco implica muy altas temperaturas, dando resultados de extremo contraste puesto que el metal base cerca de la soldadura es comparativamente menos caliente, desarrollándose una considerable variación en la estructura del grano dentro del área de la soldadura. A continuación se muestra una tabla en la que se ilustra la forma en que el enfriamiento altera las estructuras de los metales.

Propiedades de los cristales ferrosos

	Dureza	Brinell	Resistencia a la tensión (lb/plg <sup>2</sup> )	Observaciones
Ferrita	Blanda	90	40 000	Enfriamiento lento del acero, de menos de 0.83% de carbón
Cementita	Muy dura	600-700	Quebradiza	Enfriamiento lento arriba de 0.83% carbón
Perlita	Mediana	250-300	125 000 a 150 000	Enfriamiento lento del 0.83% de carbón
Martensita	Dura	400-700	200 000	Enfriamiento rápido

Conforme a lo anterior la estructura del grano depende de la temperatura máxima a la que se sujeta el material, del tiempo que se sostiene dicha temperatura, de la composición del acero y del sistema que se utilice para enfriarlo; así se tiene que un tipo de grano puede resultar con propiedades distintas al original. Los efectos que el calor de la soldadura ejerce sobre el metal base, determinan en gran parte el grado de soldabilidad de un metal y su utilidad en la fabricación.

Un metal demasiado sensible al calor o a los cambios originados por el mismo, como el caso del acero al alto carbón y de algunas aleaciones, requieren tratamiento al calor antes y después de la soldadura.

## V.1 2 CONTAMINACION CON EL AIRE

Debido a que en la mayoría de los procedimientos de soldadura se realizan en contacto con el aire o la atmósfera, estaremos sujetos a la presencia del agente antes citado, por lo que durante cada operación que se lleve a cabo existirá la posibilidad de que el oxígeno o nitrógeno, o ambos, sean absorbidos del aire, afectando cualquiera de ellos a la soldadura en forma no recomendable.

La oxidación, rodeando a los granos, reducirá considerablemente al metal de la soldadura, debilitando su resistencia al impacto, lo mismo que a la fatiga, en la parte soldada. En cuanto al nitrógeno, forma nitrato de hierro al mezclarse químicamente con este metal, haciendo que la soldadura resulte sumamente quebradiza.

La magnitud de penetración de óxidos y nitratos depende de las circunstancias en las que se trabaje, como son el tipo de acero, la temperatura a la que se someta y del tiempo de duración de la operación. Extremadas precauciones se deben de tomar para evitar la penetración del aire dentro de las regiones de alta temperatura de la soldadura. La mejor forma de eliminar este tipo de inconveniencias es por medio del uso de electrodos recubiertos, para la soldadura al arco, los cuales aportan una adecuada protección con el bióxido de carbono o el vapor de polvos ferrosos. Para este tipo de electrodos se han desarrollado dos técnicas al arco denominadas "TIG" y "MIG" (Tungsten inert gas y Manganese inert gas) con los que se obtienen la protección necesaria. En capítulos posteriores hablaré más a fondo sobre ellos.

Otro gas que también es tan dañino como los anteriores es el hidrógeno, que al ser absorbido durante el proceso de soldadura debilita a la misma y estimula los agrietamientos; para evitar este fenómeno se hace uso de electrodos de bajo hidrógeno.

En cambio, para el corte de metales, la rápida oxidación ayuda a la llama oxiacetilénica a separar el acero.

### V.1.3 CRATERES Y GRIETAS

En ocasiones, al momento de realizar la soldadura se producen cráteres y grietas, enfriándose rápidamente los primeros, en tanto que el resto de la burbuja se enfría con mayor tiempo. Al solidificarse el cráter, por sus lados y hacia el centro, se forma un campo propicio para la concentración que trae por consecuencia el agrietamiento. Tales cráteres agrietados conducen a las fallas por contracción, por cristalización y una tendencia a las fracturas, sin que ocurra deformación. El remedio es la correcta manipulación del electrodo para rellenar bien los cráteres al efectuar soldadura.

### V.1.4 BOLSAS DE GAS E IMPUREZAS

Un problema muy común en soldadura, que se refiere más a la experiencia del soldador que a la metalurgia, son las burbujas de gas como el hidrógeno que son absorbidos por el metal, la cual queda atrapada dentro del grano, produciéndose la explosión como consecuencia. Este fenómeno es frecuente en aceros con alto contenido de fósforo, en los que los gases que quedan presos dentro de la soldadura son el dióxido de azufre y el sulfuro de hidrogeno, defecto que se elimina casi por completo utilizando una técnica de soldar que retarde la solidificación del metal, permitiendo la salida de los gases.

Como impurezas se entiende a partículas ajenas a la soldadura y que tienden a disminuir los efectos de la misma, su resistencia. A la mayoría de las impurezas se les denomina "escoria", que muchas veces queda internada en la soldadura por ineficiencia del soldador cuando no le permite afilar a la superficie, ya que en ocasiones el soplete o material de soldadura permanece más del tiempo necesario impidiendo a las impurezas salir.

## VI EQUIPO, MATERIALES Y TÉCNICAS PARA SOLDAR Y CORTAR

En los capítulos ya comentados, se han tratado diferentes temas en los que se ha perseguido la particularización de los diferentes conceptos expuestos en lo que respecta al tema central de esta investigación; de tal forma que los asuntos que a continuación se presentan puedan ser comprendidos y digeridos de la manera más sencilla evitando cualquier confusión, y que resulten intuitivos para el lector.

Como ya se ha mencionado en páginas anteriores, básicamente, para el asunto clave que ha este estudio concierne, existen dos tipos de soldadura que son de vital importancia para la construcción de obras de ingeniería civil, sin los cuales resulta difícil de pensar el afrontar diferentes problemas que resultan muy comunes en "obra"; me refiero tanto al equipo de soldadura de gas (equipo de corte) y al eléctrico manual. Dichos equipos y técnicas, en las grandes obras de ingeniería civil a nivel nacional, forman parte integral e indispensable para su propio desarrollo.

Habiendo resaltado la importancia que presentan, tanto la soldadura con gas como la eléctrica manual, expondré a continuación cada una de ellas así como sus variantes con las que se cuentan.

### VI.1 SOLDADURA Y CORTE CON EQUIPO DE GAS

#### VI.1.1 EQUIPO Y MATERIAL

Con la soldadura de gas se habla también de los procesos de fusión, soldadura blanda y soldadura fuerte. En cuanto al proceso de fusión se entiende que se calientan tanto el metal común como el metal de soldadura, material adicional o de aporte, hasta que llegan a un estado líquido en el se se funden juntos. Para los procesos de soldadura fuerte y soldadura blanda se comprende únicamente a la fusión del metal de soldadura. Dicha fusión, dependiendo del gas combustible que se este utilizando, alcanza temperaturas que llegan a ser desde 2 800 °C hasta 3 500 °C.

El calor procede de la combustión que se efectúa, cuando se mezclan un gas combustible y el oxígeno. La mayoría de los metales cuando se trabajan a temperaturas tan elevadas presentan problemas de contaminación por efectos de la atmósfera, fenómeno ya comentado en el capítulo V. Para evitar tal inconveniencia se ajusta la llama del soplete para que queme con una flama neutra de manera que no despidan ni gas combustible ni gas comburente adicional; lográndose así una flama que hace las veces de escudo protector a la soldadura impidiendo la acción de la intemperie. También puede suceder que la llama no sea suficiente, entonces se hace uso de un "fundente", que es un material no metálico que disuelve y evita la formación de óxidos metálicos, nitratos y otras intrusiones indeseables.

El acetileno es el gas combustible más ampliamente utilizado para la soldadura con gas (equipo oxiacetilénico), aunque en su defecto puede utilizarse el hidrógeno (equipo oxidrógeno) o en última instancia el gas propano o butano. Otro gas que también ha sido utilizado y que ha generado muy buenos resultados, tanto por su economía como su efectividad, es el llamado MAPP (metilacetileno-propadieno). Además tiene la ventaja de ser menos explosivo que el acetileno y se puede usar a presiones más altas.

Los materiales y equipo para soldar con gas consisten en la fuente de gas, los reguladores para el control de la presión, mangueras (roja-acetileno y verde-oxígeno), conjunto de soplo, anteojos y barras de acero.

- Fuente de gas.- Tanto el oxígeno como el gas combustible, son suministrados en tanques o cilindros de acero. Para el oxígeno se utilizan cilindros con capacidades hasta 8 494.9 litros. La presión a la que se encuentra el oxígeno es cercana a 154.66 kg/cm<sup>2</sup> y a una temperatura de 21.1 °C. Los cilindros cuentan con una tapadera de acero que sirve para proteger la válvula de latón y el tapón-fusible de seguridad que sirve para dejar escapar el gas en caso de incendio (fig VI.1).

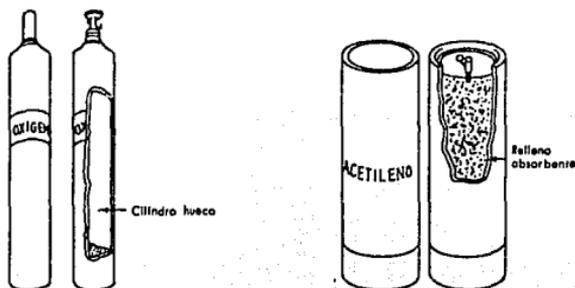


FIG. VI.1..2 Detalles de un tanque de oxígeno y de acetileno.

El acetileno es surtido en cilindros de unos 17.6 kg/cm<sup>2</sup>, a una temperatura de 21.1 °C. Estos cilindros son llenados con un material absorbente que contiene una sustancia química disuelta para estabilizar el acetileno, sin la cual no sería posible utilizar dicho combustible a presiones superiores a 1.0545 kg/cm<sup>2</sup>. En estos elementos del equipo de gas también se tienen tapones-fusibles de seguridad, que se encuentran generalmente en la parte superior de los cilindros.

- Reguladores de presión.- Estos dispositivos sirven para dos finalidades: a) reducir la presión del tanque y, b) mantener la presión a un nivel constante (fig. VI.3). Las cuatro partes principales que constituyen un regulador de gas son las siguientes:

- . Un tornillo para el ajuste de la presión.
- . Un resorte que transmite fuerza desde el tornillo hasta el diafragma.
- . Un diafragma que permite el movimiento de la válvula.
- . Un ensamblado de válvula y asiento.

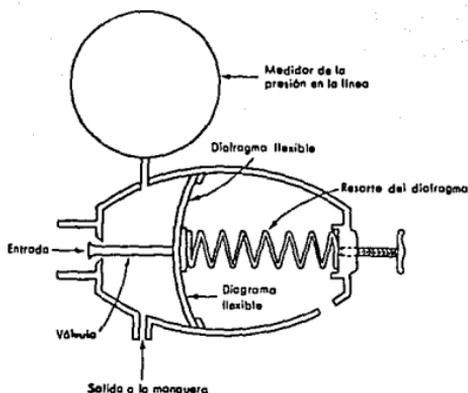


FIG. VI.3 Detalles de un regulador de presión.

- Mangueras: Los reguladores están ligados al soplete por medio de mangueras flexibles de diámetro pequeño, los cuales son de 3/16", 1/4", 5/76" (diámetro interior). Para saber cuál es el diámetro propicio es necesario tener conocimiento de la longitud de la manguera y de la presión de salida mínima. Una manguera, entre

más grande sea tiene menor caída de presión pero se maneja con mayor dificultad. Pueden encontrarse en el mercado mangueras por separado, una para cada tipo de gas, o en conjunto "mangueras gemelas", las cuales se encuentran pegadas la una con la otra (fig VI.4). De tal forma que se elimina por completo el constante y molesto enredo. Estas mangueras se distinguen por colores descritos anteriormente, rojo para el acetileno o gas combustible y verde para el oxígeno. Las mangueras para gas combustible tienen uniones con cuerda izquierda, en cuanto a las del oxígeno se ensamblan con cuerda derecha.



FIG. VI.4 Mangueras gemelas para oxiacetileno con tuercas de unión de latón.

- Ensamble del soplete: El soplete para soldar o cortar es la pieza más importante dentro del equipo.

El soplete tiene por función mezclar y regular el flujo de los gases de la forma más conveniente para el operador. Consiste en un cuerpo con dos válvulas, una cámara mezcladora y una boquilla o punta (fig VI.5). Las válvulas reguladoras se encuentran en la parte posterior del soplete y tienen la finalidad, como su nombre lo indica, de regular propiamente la flama deseada, teniéndose así tres tipos de flama carburizante, oxidante y neutral. La primera se utiliza para soldar, la segunda para cortar metales y la tercera depende del tipo de metal con el que se trabaja.

Mientras en las válvulas se controlan los flujos de los gases, los cuales llegan hasta un cámara donde son mezclados, en la boquilla se genera la ignición, con la que, dependiendo del tipo de la misma, se procederá al corte o a la soldadura. En general se fabrican dos tipos de sopletes: el tipo de presión igual y el tipo inyector. El primero, llamado también de presión media, exige que tanto el gas combustible como el oxígeno sean surtidos a la misma presión, la que

estriba desde 1 hasta 15 lb/plg<sup>2</sup>. Cuando se trabaja con puntas de tamaño grande (diámetros del agujero de 1.778 mm o mas, puede llegar la presión del oxígeno hasta las 25 lb/plg<sup>2</sup>, mientras que la presión del gas combustible permanece en 15 lb/plg<sup>2</sup>. El segundo tipo, soplete inyector, funciona con presión de acetileno de 1 lb/plg<sup>2</sup>, mientras que la presión del oxígeno fluctúa ordinariamente entre 10 y 40 lb/plg<sup>2</sup>. Por lo anterior se deduce la importancia que existe en cuanto a la presión del oxígeno la cual se debe mantener elevada para que los gases se mezclen correctamente.

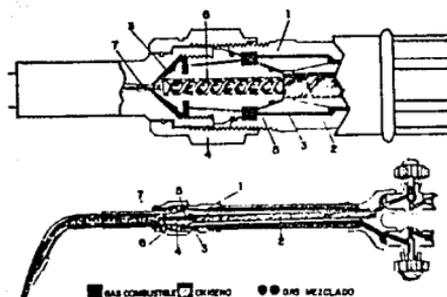


FIG. VI 5 Detalles del soplete para oxiacetileno.- 1, cabazal del soplete; 2, tubo de oxígeno; 3, paso para el acetileno; 4, tuerca de la boquilla; 5, extremo terminal del cono de la boquilla de soldar; 6, mezclador espiral en la boquilla de soldar; 7, orificio del mezclador espiral y cámara mezcladora.

- Boquilla para soldar: Es la parte última del soplete, sin embargo no por lo mismo resta su importancia, puesto que ella debe de encontrarse en condiciones tales que permita una salida de los gases correcta para generar el tipo de flama deseado. Para lograr lo anterior es primordial mantenerla en buenas condiciones de trabajo, refiriéndose concretamente a su limpieza. Una limpieza se puede efectuar con un cepillo de alambre. Si una boquilla se trabaja con partículas ajenas (sucias), generará una flama incorrecta teniéndose por consiguiente soldaduras de baja calidad. Cada cuerpo de soplete puede contar con diferentes diámetros (interiores) de

boquillas; los metales gruesos ( $3/16$ -- $4.762$  mm) o mas gruesos emplean boquillas de diámetros de agujeros de salida superiores a  $0.070$  plg. ( $1.778$  mm).

- Encendedor del soplete: Es muy peligroso realizar la ignición de la mezcla con flama directa, por lo que se utiliza un aparato que provoca una chispa mediante una piedra de encendedor tipo pedernal y una lima de acero (fig VI.6). Este tipo de encendedores especiales tiene un mango de alambre que permite que la ignición no pueda, en un momento dado, hacer daños físicos al operador. La manera en que funciona es muy elemental, únicamente se aprieta el mango provocando por un lado el movimiento del pedernal, el cual se desliza sobre la superficie limada de acero provocando la chispa.

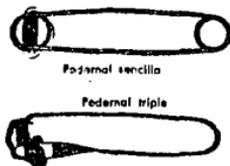


FIG. VI.6 Tipos de encendedores para sopletes.

- Material: se utilizan barras de soldadura para suministrar el material adicional de soldadura, con el cual se cubre la junta en cuestión. Las barras que se utilizan para estas operaciones se presentan en diversos diámetros desde  $1/16$ " hasta  $1/4$ ", y longitudes estándar de  $36$ " ( $91.44$  cm). Este tipo de barras son de acero de bajo carbón sin recubrimiento, puesto que la llama oxiacetilénica permite e indica si ella debe de ser carburante u oxidante. Los recubrimientos se utilizan con mucha frecuencia en la técnica de la soldadura al arco metálico que tiene por finalidad

evitar la oxidación, posteriormente abundará sobre los distintos recubrimientos o fundentes que se utilizan en soldadura.

De acuerdo a las especificaciones de la AWS, American Welding Society, las barras de acero dulce o de bajo carbono se catalogan de la manera siguiente:

1. Resistencia a la tensión última o máxima del metal de soldadura (como queda depositado, sin tratamiento térmico).

## 2. Aplicación.

De las barras más comunes se tienen a las siguientes: R655, R660 y R645. Las iniciales o letras R y G indican varilla para soldar con gas (Rod for Gas welding) mientras que los números definen la resistencia a la tensión en miles. Así se tiene que para la barra del tipo R660 nos indica una resistencia de 60 000 lb/plg<sup>2</sup>, como queda la soldadura (sin tratamiento térmico). Los contaminantes como el azufre y el fósforo quedan restringidos a un poco menos de 0.40% en peso.

### VI.1.2 TECNICAS DE SOLDADURA Y CORTE CON GAS

Este tipo de técnicas fungen un factor esencial dentro de la industria de la construcción. Ambas técnicas tienen aplicación en la formación de líneas de tubería de diversos diámetros, trabajos de reparaciones en placas metálicas, unión y corte en estructuras de acero, son tan solo algunas actividades en donde el uso del equipo de gas es requerido.

Una de las razones que explican la amplia gama de difusión de este equipo radica en la ductilidad de la soldadura con el gas. El soplete, para realizar la actividad de soldar de cortar, puede adaptarse a una escala de necesidades de calor muy amplia, que va desde un simple "chifloncito" hasta un "torbellino". Con esta versatilidad se cuenta que la utilización de este equipo puede ser llevado desde los trabajos que requieren una precisión en circuitos electrónicos hasta su uso en soldadura autógena en acero de dimensiones de 1/4" de espesor en bastidores para automóviles, gasoductos, etc. El soplete es capaz de cortar con extrema rapidez planchas metálicas de varias pulgadas de grueso.

## VI.1.2.1 SOLDADURA CON GAS

### PREPARACION

Antes de iniciar la preparación e instalación del equipo es muy importante asegurarse de que se encuentre en buenas condiciones, entendiéndose que los reguladores funcionen adecuadamente, que las mangueras no tengan fugas, que la boquilla esté limpia, en fin una serie de precauciones de las cuales comentaré posteriormente en el capítulo correspondiente a "Riesgos y Precauciones".

De un ensamble correcto y apropiado dependerá una operación segura, eficaz y económica. La instalación del equipo es elemental, pero no por eso de poca importancia, por lo que es necesario proceder con extremo cuidado en la preparación de las operaciones de soldadura.

La instalación del equipo consiste en los siguientes pasos:

1. Preparación de los tanques o cilindros.
2. Selección del tamaño adecuado de la boquilla.
3. Selección de la presión óptima en el regulador.
4. Ignición o encendido del soplete.
5. Selección de la técnica de aplicación.
6. Desconexión del equipo (fin de la sesión).

#### Paso 1. Preparación de los cilindros:

Para la preparación de los cilindros habrá que llevarlos al lugar de trabajo, operación que implica alta precaución en el manejo y transporte de los mismos, ya que su contenido se encuentra a presión alta. Es necesario mantener el tapón protector sobre la válvula del tanque oxígeno mientras todavía no estemos en posibilidades de iniciar las operaciones. Antes de montar el regulador de oxígeno habrá que verificar la abertura de la válvula y retirar cualquier basura o posible contaminante. Una vez revisada la válvula se procederá a montar el regulador de oxígeno, recordando que éste regulador tiene cuerda derecha; después se montará el regulador del acetileno, que cuenta con cuerda izquierda (fig VI.7), habiéndose revisado previamente la válvula del mismo.

Una vez revisados y ensamblados los reguladores a sus respectivos tanques, se conectarán a continuación las mangueras, mencionando nuevamente que la manguera de color rojo corresponde al

acetileno y la verde o negra al oxígeno. Finalmente se conecta el soplete y se selecciona la boquilla adecuada.

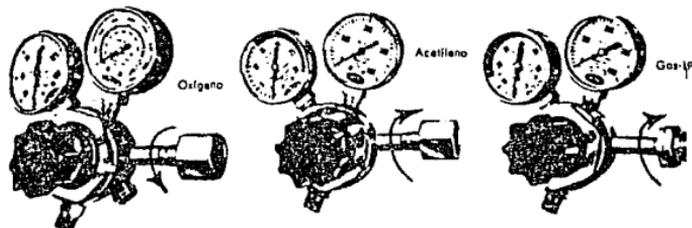


FIG. VI.7

#### Paso 2. Selección del tamaño correcto de la boquilla:

Del tamaño de las boquillas dependerá el calor generado, por lo que conociendo las dimensiones del material con el que se va a trabajar se elegirá el tamaño correcto. El tamaño de las boquillas se encuentra clasificado por medio del diámetro interior de la misma, el cual corresponde el tamaño de una broca.

Como del tamaño de la boquilla corresponderá la capacidad del metal para absorber calor, se tendrá, que cuando se necesite trabajar con metales con una área superficial grande, una boquilla grande. Otro factor que está relacionado a la cantidad de calor necesario es el tipo de juntas: por ejemplo, si los metales que han de soldarse forman una escuadra de 90° se necesitará una mayor dotación de calor, puesto que el calor se refleja desde el área de la soldadura; mientras que en una junta de 180° se requiere menos calor. También se ha de considerar el tipo de soldadura por realizar, ya que una soldadura por fusión, generalmente requiere una cantidad de calor aproximada de 1600 °C, en tanto que una soldadura de tipo dura necesita una dotación de calor cerca de 450 °C. Lógicamente es riguroso conocer la temperatura en que el o los metales en cuestión alcanzan el estado de fusión.

### Paso 3. Selección de la presión óptima en el regulador:

La o las presiones a las que se deberá trabajar estarán muy ligadas con el tipo de soplete con el que se cuenta. Como dije anteriormente, se tienen dos tipos de sopletes: un soplete de presión igualada o balanceada y otro de llamado soplete inyector. Ambos difieren en la construcción de sus cámaras mezcladoras, internas. Con el soplete de presión igualada, como su nombre lo indica, se trabaja con la misma presión tanto para el oxígeno como para el acetileno (1-15 lb/plg<sup>2</sup> o psi); y cuando se tiene el soplete inyector, el acetileno puede alcanzar una máxima presión de 15 psi, mientras que el oxígeno llega a funcionar con presiones hasta de 60 psi. Posteriormente abundaré sobre la operación de ambos sopletes.

### Paso 4. Encendido del soplete.

Si se encuentra el operador trabajando con un soplete de de presión igual, se tendrá que realizar lo siguiente: inicialmente se examinarán las asas del regulador para cerciorarse que giren libremente, una vez hecho lo anterior, las válvulas del tanque están listas para ser abiertas. Las válvulas de oxígeno se abren primero muy lentamente debido a la alta presión a la que se encuentra el tanque, inmediatamente se prodrá hacer la lectura del manómetro y estaremos en posibilidades de abrirlas por completo. Es necesario recalcar que las válvulas de oxígeno deben fijarse en una posición de flujo completo. Las válvulas del tanque de acetileno no deben abrirse mas de una vuelta, pues en caso de incendio será más sencillo cerrar las válvulas sin pérdidas de tiempo.

Ya que se tengan abiertas las llaves de los tanques, examinaremos las válvulas del soplete haciendo constar que estén cerradas. Después se atornillarán las asas de los reguladores de acetileno y oxígeno, cerrándolas hasta que quede indicada la presión deseada (entre 1 y 15 psi) en el manómetro. Ya que se encuentre el sistema bajo presión se inspeccionará todo el equipo vigilando que no se tengan fugas en cualesquiera de los aditamentos. La detección de fugas es muy sencilla de realizarse por medio de agua con jabón.

Si no se descubren fugas, entonces podremos inmediatamente encender el soplete. Con el encendedor en la mano se abre la válvula de acetileno situada en el soplete, aproximadamente media vuelta. Se enciende la flama en el extremo de la boquilla, y se abre un poco mas la válvula del acetileno hasta que deje de generar humo en exceso. Una vez logrado lo anterior, se abre la válvula de oxígeno que se encuentra también en el soplete hasta que se forma un cono interior bien definido cerca de la boquilla o punta de soplete. Con el soplete encendido se comprueban las presiones de los reguladores, mismas que deben ser las adecuadas antes de continuar con ajustes adicionales. Si

un soplete quema en cantidades iguales tanto oxígeno como acetileno, se tendrá una flama neutral, por otro lado, se generará una flama carburizante cuando exista exceso de acetileno, y por el contrario cuando haya exceso de oxígeno se producirá una flama oxidante (fig VI.8).



FIGURA 4.3. Tres tipos de ajustes de la flama.

FIG. VI.8 Tres tipos de flama en el equipo de gas. Carburizante para soldar, oxidante para cortar y neutra.

El procedimiento anterior es similar para el soplete inyector. Primeramente se abrirá la válvula de oxígeno un cuarto de vuelta, después se abrirá la válvula del acetileno cerca de una vuelta, a continuación se encenderá el soplete e inmediatamente se ajustarán las válvulas para obtener una flama neutral. Es muy importante checar con frecuencia las lecturas de los manómetros puesto que pueden suceder cambios irregulares y peligrosos.

#### Paso 5. Selección de la técnica de aplicación:

La soldadura con gas puede efectuarse haciendo uso de las técnicas de avance y retroceso. En la fig VI.9 se observa la diferencia entre ambas.

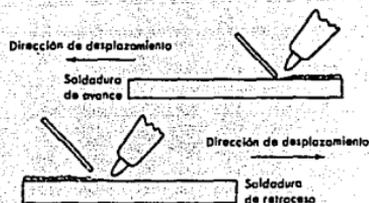


FIG. VI.9 Técnicas de avance y retroceso.

La técnica de avance se recomienda, generalmente, para láminas metálicas delgadas. La técnica de soldadura en retroceso permite obtener una penetración mejor para soldar metales de más de 1/8" (3.2 mm) de espesor. El movimiento de soplete controla el patrón y el perfil de la soldadura. Se obtienen uniones soldadas de mejor calidad cuando el operador ejecuta unos movimientos de oscilación uniformes y consistentes (fig VI.10).

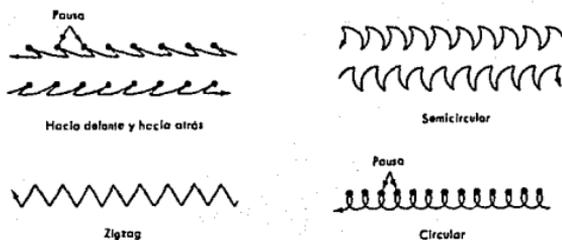


FIG. VI.10 Patrones recomendables del soplete para lograr uniones de buena calidad

#### Paso 6. Desconexión del equipo (fin de la sesión):

Cuando se termina la jornada de trabajo o simplemente se quiere interrumpir el trabajo por alguna causa, es importante tener

cuidado de como se deja el equipo, por lo que a continuación señalaré los detalles mas importantes:

- Cerciorarse de dejar cerrada la válvula del tanque de oxígeno.
- No dejar presión alguna en la manguera o línea del oxígeno.
- Cerrar la válvula de oxígeno del soplete y desatornillar el asa del regulador hasta que gire libremente.
- Realizar los tres puntos anteriores pero con el acetileno.

Por experiencias desagradables no se recomienda que se liberen simultáneamente las presiones de las líneas del oxígeno y del acetileno. Ya que ha sucedido que el gas combustible retrocede, a manera de sifón, a través de la manguera de oxígeno provocando explosiones funestas.

#### VI.1.2.2 CORTE CON GAS

Los procedimientos de corte con gas incluyen a todos aquellos en los que un gas combustible se mezcla con oxígeno generando una reacción química rápida capaz de eliminar al metal en cuestión. Para lograr dicha reacción es necesario contar con oxígeno de pureza absoluta. Existen metales los cuales son difíciles de fundir, por lo que se ha recurrido al uso de fundentes químicos o polvos metálicos, quienes aceleran el proceso de corte.

Los sopletes que se utilizan para el corte de metales pueden variar desde aquellos portátiles y simples hasta los más complejos de funcionamiento y encendido automático. Para nuestro interés únicamente se comentará la utilización de aquellos que son mas comunes dentro de la industria de la construcción civil.

Para el procedimiento de corte con gas, los operadores de los equipos de ejecución manual y de otro tipo de ejecuciones, deberán comprender por completo los siguientes puntos:

- Selección de la boquilla de corte apropiada.
- Ajuste de las presiones del regulador adecuadas al tamaño de la boquilla y al espesor del metal.
- Ajustar eficazmente las flamas para el calentamiento previo.
- Emplear la velocidad adecuada de desplazamiento.

Selección de la boquilla: Es importante tener en cuenta con que tipo y espesor de material se esta trabajando, de tal forma que se lleve a cabo un trabajo lo más rápido posible y con el menor desperdicio. Se elegirá un boquilla de diámetro

congruente al espesor y tipo de metal. Las boquillas para cortar tienen seis agujeros distribuidos alrededor de un orificio central, estos seis agujeros se utilizan para provocar las llamadas "flamas de calentamiento inicial" (fig VI.11). Antes de cortar el acero, metal mas común para los fines de esta investigación, es necesario someterlo a un calentamiento preliminar (800 °C aprox.). El acero se quema rápidamente en una atmósfera de oxígeno puro cuando se encuentra a esta temperatura, dicho tipo de oxígeno es disparado por el agujero central, provocando de esta forma el corte del metal.

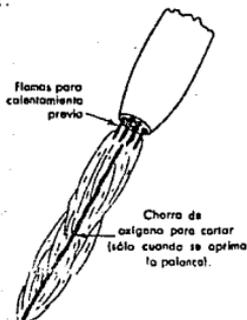


FIG. VI 11 Flama de calentamiento inicial y chorro de oxígeno para corte.

**Presión del regulador:** De acuerdo a la boquilla y al metal con los que se estén trabajando se tendrán los diferentes ajustes necesarios en los reguladores. El gas combustible utilizado, en la mayoría de los casos, es suministrado a una presión de 3 a 5 psi, lo que provoca un consumo mayor de este insumo. En cuanto al oxígeno varía de 20 a 60 psi según recomiendan las necesidades. Es recomendable seguir al pie de la letra las especificaciones de los fabricantes de estos equipos para efectuar cortes de buena calidad con los costos mas bajos.

**Ajuste de las flamas para el calentamiento preliminar:** La razón de estas flamas es calentar al acero o metal en cuestión a manera de preparación para la ejecución del corte, las cuales deben de ser un poco oxidantes para que sean más eficaces.

**Velocidad de desplazamiento:** Para lograr la velocidad adecuada de desplazamiento es necesario tener un poco de experiencia. Es sabido que a mayor rapidez se efectúan cortes de mayor calidad, pero si se llega a una velocidad muy alta ocasionará una

disminución en la temperatura de precalentamiento, con lo que se detendrá la acción del corte. Por otro lado una baja velocidad de desplazamiento provocará que el metal fundido del borde superior forme una junta soldada en el fondo del corte. Por lo tanto es importante tener buena experiencia para llevar a cabo cortes de precisión, así como también es recomendable consultar a los fabricantes de metales para conocer las velocidades óptimas para cada tipo de material.

#### Técnica para cortar:

Antes de encender el soplete habrá que examinar el área de trabajo para eliminar cualquier material que impida la acción del corte, como también aquellos que puedan ser inflamables. Siguiendo los pasos que a continuación enunciaré se podrán efectuar cortes con resultados aceptables:

1. Primeramente se ajustarán las flamas de precalentamiento para generar temperaturas suficientes y que sean del tipo ligeramente oxidantes. Ya que se tenga este requisito cumplido, se llevarán dichas flamas al área de trabajo donde se dirigirán en forma perpendicular y que casi se encuentren en contacto con el material. Encontradas en esta posición se deberá tener especial atención al color del metal.

2. Una vez que el área inicial de corte se haya tornado en un color rojo brillante, "vivo", (cerca de 820 °C), se presionará cuidadosamente la palanca del oxígeno y se iniciará la trayectoria de corte, previamente estudiada. Para situaciones de perforación habrá que inclinar el soplete a unos 45° hasta atravesar el metal, para después regresar el soplete a 90°. En caso de que se presione la palanca del oxígeno antes de que el metal haya alcanzado el color antes mencionado, éste se enfriará obteniéndose ningún resultado, por lo que si llegara a suceder, únicamente se procederá a liberar la palanca del oxígeno hasta que el metal alcance la temperatura adecuada.

3. Ya iniciado el corte, es muy importante avanzar lo más rápido posible sin perderlo. Si por alguna razón se llegara a perder el corte únicamente se liberará la palanca del oxígeno para que el metal alcance la temperatura de corte. En la siguiente tabla se muestran datos obtenidos en campo de velocidades comunes para diferentes aceros.

Espesor del metal (pulgadas)	Velocidad (pulg/min)	Diámetro de agujeros de precalentamiento en la boquilla de corte (No. de broca)
1/16	36-42	72
1/8	36-42	65
1/4	25-32	58
3/8	25-27	56
1/2	20-24	54

#### Evaluación del corte:

Para elaborar un juicio acerca de la calidad de corte se deben de considerar los siguientes parámetros:

1. Los bordes superiores deberán estar rectos y libres de metal fundido.
2. El corte debió haber seguido una línea designada y las paredes deberán encontrarse uniformes.
3. La escoria del fondo tiene que ser vidriosa y quebradiza.

En la figura VI.12 se ilustra un buen corte elaborado con oxígeno.

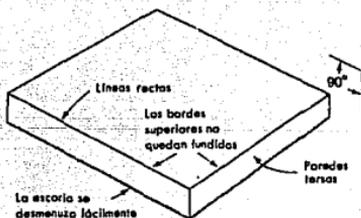


FIG. VI.12 Factores a considerar para evaluar un corte hecho con oxígeno

## V: 2 SOLDADURA Y CORTE AL ARCO ELECTRICO

Una vez comprendida la idea esencial en la que circundan las pequeñas variantes que se pueden encontrar dentro del uso del equipo de gas, es más sencillo entender el procedimiento de la soldadura por medio de un arco eléctrico. En realidad lo que se obtiene es el cambio de estado de sólido a líquido del material que se este trabajando. Teniendo como antecedente esta idea, dentro de los diferentes métodos que se utilizan en la soldadura al arco eléctrico se maneja el mismo concepto de unión de metales mediante la fusión de los mismos, o en su defecto por medio de un material de aportación. Dicha unión se realiza, en lugar de la combustión de gases, a base del calentamiento de un arco eléctrico que salta entre una varilla de diámetro pequeño y recubierta con un fundente (conocida como electrodo) y el metal que se va a soldar (metal común). El cráter de soldadura caliente queda protegido por el recubrimiento que rodea al electrodo (fundente). El material de soldadura se obtiene de la fusión del electrodo. Los ingredientes del recubrimiento que tiene el electrodo determinan las propiedades de la soldadura por medio de una reacción química a que se somete el recubrimiento conforme se funde el electrodo, la superficie de la soldadura, la cantidad de penetración, la velocidad de enfriamiento de la junta soldada, la estabilización del arco, la refinación del metal de soldadura y, a veces, la constitución de la aleación final formada con el metal de soldadura.

### VI. 2.1. EQUIPO

#### Fuentes de Poder.

Dentro de esta variante de soldadura, la fuente de poder constituye la idea principal de este método, ya que no sólo se hace uso de la electricidad en sí, sino que debe de contar con ciertas características, así como en el equipo de gas, que sean capaces de realizar la fusión de los metales. Por lo anterior la selección y control de la corriente son los aspectos fundamentales en la soldadura al arco. La cantidad de corriente que fluye a través de un arco es proporcional al calor aplicado a la junta que se va a soldar. Si se aumenta la corriente se obtiene un efecto calorífico mayor del arco.

Las fuentes de poder (de máquinas soldadoras) suministran corriente continua (CC) o corriente alterna (CA).

**Máquinas de corriente alterna (CA):** Las líneas o cables de fuerza que observamos en las calles y que suministran a las ciudades no cuentan con el tipo de valores adecuados para soldar. Las máquinas o fuentes de potencia de corriente alterna suministran el voltaje y amperaje correcto para soldar (fig VI.13). Para los aparatos electro-domésticos es necesario que se cuente con energía eléctrica que se caracterice por un valor alto de voltaje (128), mientras que el amperaje sea bajo (8). En tanto que para el método del arco eléctrico se debe contar con energía de bajo voltaje (24) y alto amperaje (110), esto es con el fin de generar el suficiente calor capaz de fundir metales. El arco puede alcanzar temperaturas hasta de 3,500 °C, aunque normalmente ésta no se usa.

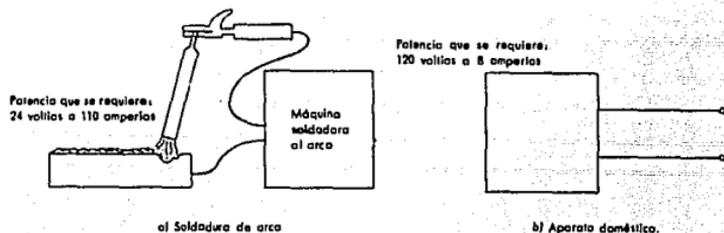


FIG. VI.13 Comparación del suministro eléctrico entre un aparato doméstico y una máquina de soldar.

**Máquinas de corriente continua (CC):** Las fuentes de poder de corriente continua hacen que la corriente fluya continuamente en la misma dirección, por lo que las líneas se marcan o terminales se marcan con más (+) y menos (-). El funcionamiento consiste en el flujo de electrones de la terminal (-) a la terminal (+), entonces cuando las dos líneas de la fuente de potencia están conectadas al electrodo y a la pieza de trabajo y se mantiene un arco, fluye el exceso de electrones como se mencionó anteriormente. La corriente tiende a igualar el potencial de las dos terminales de la fuente de poder (fig VI.14).



FIG. VI.14 Las flechas representan la dirección de los electrones. Se puede observar que la terminal positiva (el metal) recibe cerca del 70% del calor generado debido al sentido del flujo de la corriente

Por lo anterior podemos identificar rápidamente las diferencias que estriban en los dos tipos de máquinas. En primer lugar, vemos que la corriente, en la máquina de corriente continua, lleva siempre una misma dirección, lo que genera un arco más estable. En segundo lugar, la elección de la conexión de una terminal, positiva o negativa, hacia el electrodo, controlará el calor producido; esta capacidad de controlar el calor constituye ventajas muy grandes, teniéndose así que existe la "polaridad directa o negativa" que es cuando los electrones viajan del electrodo hacia la pieza de trabajo, con la característica fundamental que se formará un arco bastante extendido que produce una baja penetración ya que tiende a extenderse en una área bastante ancha. Por el contrario, cuando los electrones viajan de la pieza de trabajo al electrodo, "polaridad invertida o positiva", posee las características de concentrar el calor en el punto de aplicación produciendo una fusión considerable del metal base y por lo tanto una gran penetración; es conocida comúnmente por los soldadores como "polaridad normal" siendo la más utilizada en soldaduras de aceros estructurales y en soldaduras de piezas en donde no es necesario hacer biselado dada la profundidad de penetración de la polaridad negativa. Posteriormente hablaré más acerca de las condiciones de biselado y de las conveniencias de la profundidad en las soldaduras. En el caso de que se utilice la corriente alterna se producirá una "polaridad intermedia", ya que ésta cambia constantemente de sentido o polaridad, por lo que produce efectos intermedios.

**Máquinas de Soldar:** Como se mencionó anteriormente, no es posible hacer uso directo de la corriente alterna de red (o de fuerza) para formar el arco de soldar. Debido a lo anterior se cuenta con máquinas capaces de generar energía de alto amperaje y bajo voltaje. Este tipo de máquinas pueden ser de dos tipos, unas que podrán "generar" este tipo de corriente y otras que, siendo alimentadas de energía de la red normal, "transformarán" dicha energía en la adecuada para soldar. Dichas máquinas pueden ser:

- a) Convertidor (generador de corriente continua)
- b) Transformador (transformador de corriente alterna)
- c) Transformador (con rectificadores de selenio o silicio) (corriente continua).

a) Convertidor de corriente continua: Es una máquina compuesta de un motor trifásico de accionamiento alimentado con corriente alterna de red (220 ó 440 volts), un generador de corriente continua, un excitador (todos acoplados en el mismo eje) y un equipo de control. Esta máquina es capaz de ser empleada para todos los tipos de electrodos. Puede suceder que no se cuente con alimentación de red de energía eléctrica, entonces en lugar de que el motor sea accionado por la red de corriente alterna, se tendrá un motor de gasolina o de diesel, con lo que de esta manera se podrá accionar el motor, mismo que hará girar al generador de corriente continua, y finalmente la corriente de soldadura será tomada por medio de un colector a través de unas escobillas.

Las máquinas que generan corriente continua están sometidas a la producción del soplo del arco, que no es mas que la desviación del arco hacia afuera de su dirección natural debido a la formación de un campo electromagnético.

b) Transformadores de corriente de soldadura (C.A.): Los transformadores de corriente de soldadura (C.A.) están formados de un núcleo de hierro, un devanado de entrada (devanado primario), un devanado de salida (devanado secundario) y un sistema de ajuste de la corriente de soldadura. Los devanados están completamente aislados.

Estas máquinas son muy económicas, tanto por su precio de adquisición, como su costo de mantenimiento; además el efecto de soplo de arco es muy pequeño o casi nulo. Pero tiene las inconveniencias de que no se pueden utilizar para todos los tipos de electrodos, y un factor muy importante es que en el campo de la construcción por condiciones de trabajo, como el uso de la corriente alterna es más peligroso que el de la corriente continua, existen lugares en los que en ningún momento se permite el uso de este tipo de máquinas.

La idea esencial de estas máquinas es la conversión o transformación de una energía de alto voltaje y bajo amperaje a condiciones netamente contrarias. La forma en que se lleva a cabo dicha transformación es la siguiente: La corriente de red (fig. VI.15) entra por el devanado primario de muchas espiras que está situado sobre un núcleo formado por láminas generalmente de silicio que conducen las líneas magnéticas y que se generan por el paso de la corriente eléctrica hasta el devanado secundario (de menor número de

espiras) en donde las líneas magnéticas se transforman en corriente de soldadura.

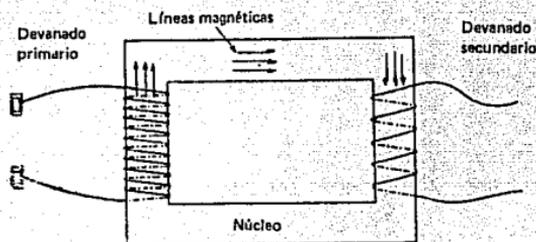


FIG. VI.15

La relación entre la cantidad de espiras en los devanados primario y secundario determina las tensiones; es decir, con mayor número de espiras o vueltas en el devanado primario y menor en el secundario, menor será el voltaje y mayor el amperaje de salida.

Otro tipo de transformador y que tiene más uso es el de bobina móvil. En él se desplaza la bobina devanado primario con respecto a la bobina devanado secundario de tal manera que se varía la posición de los campos magnéticos obteniendo por consecuencia la variación de la corriente inducida en el secundario (fig. VI.16).

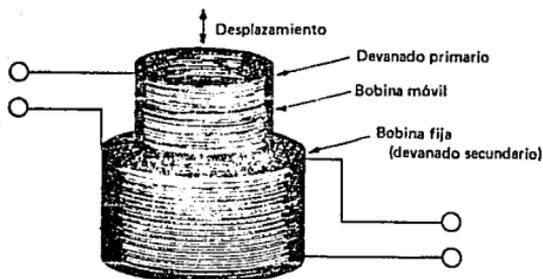


FIG. VI.16 Las bobinas se encuentran perfectamente aisladas por medio de silicio e impregnadas de barniz hornado.

**Rectificadores de corriente de soldadura:** Este tipo de elementos representan la fusión de las conveniencias de los dos tipos de máquinas anteriormente mencionados. Con la utilización de los rectificadores se ha conseguido la obtención de todo lo que un generador del tipo C.C. puede ofrecer con las ventajas de los transformadores, menor costo de mantenimiento, menos pérdidas en el vacío, menor costo de las máquinas y solpo del arco reducido, pero mayor que la corriente alterna. El funcionamiento es muy sencillo, únicamente se hace pasar la corriente alterna por estos elementos, ya sea de selenio o silicio, que permiten el desplazamiento de los electrones en un solo sentido.

#### **Conexiones eléctricas.**

**Cables para soldar:** Las líneas o cables que se utilizan para conducir la energía eléctrica para el empleo del arco eléctrico tienen que cumplir ciertas especificaciones para lograr una operación sin contratiempos. En primera instancia el calibre de los cables tiene que ir de acuerdo al amperaje que se necesite, y como segundo factor se debe considerar la longitud de los mismos, puesto que a mayor longitud se tendrá que aumentar el diámetro de los cables. Los cables están formados por cientos de pequeños alambres que dotan de flexibilidad a los cables, generalmente de cobre, aunque a veces también se utiliza el aluminio. Estos cables están forrados por una capa de material aislante grueso y duro que da seguridad en su manejo.

**Pinzas de conexión a tierra:** La conexión del metal de trabajo a un cable tierra es una cuestión que no desmerece importancia, ya que puede suceder que existan pérdidas eléctricas en dicha conexión. Debido a que la conexión debe ser práctica y portable sin dificultad se han diseñado este tipo de pinzas (fig. VI.17) que realmente cumplen con las condiciones antes mencionadas. Algunas tierras están atornilladas o fijadas a una placa que evita el problema de buscar la manera de hacer la tierra cuando se requiere soldar piezas pequeñas o incómodas.

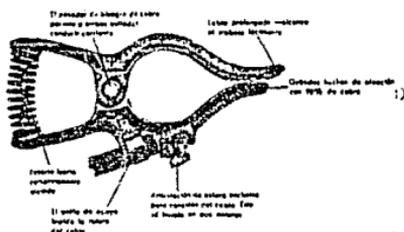


FIG. VI.17 Pinza de conexión para tierra.

Portaelectrodo: Es un dispositivo de sujeción del electrodo y que permite la unión del mismo al cable de corriente. El sujetador está fabricado, generalmente, de una aleación muy fuerte de bronce, que forma junto con el electrodo, conexiones eléctricas satisfactorias; dicho sujetador se encuentra aislado completamente con plásticos termofijadores (fig. VI.18).

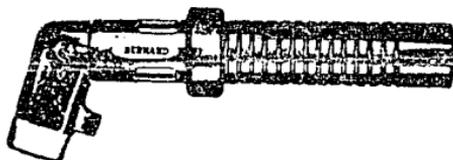


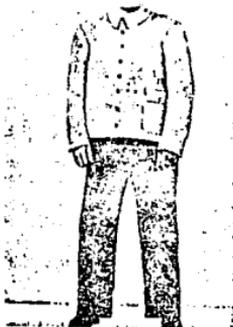
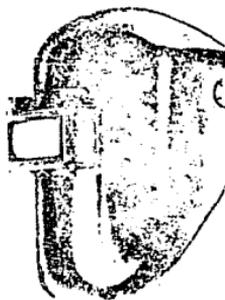
Fig. VI.18 Portaelectrodo con trabajo aislado.

Existen en el mercado diferentes estilos de portaelectrodos, mismos que van de acuerdo a las dimensiones antropométricas, por lo que el operador deberá seleccionar el más adecuado a sus características físicas de él mismo. La mayoría de los soldadores prefieren modelos de peso liviano porque se maneja con mayor facilidad que uno de peso mayor. En la elección del portaelectrodo se recomienda considerar los siguientes detalles:

- Facilidad de operación mientras se portan guantes de trabajo.
- Aislamiento contra cortos circuitos.
- Escala de temperaturas.
- Sujeción adecuada de los electrodos.

### Equipo de protección.

En el uso de la soldadura al arco eléctrico el cuerpo humano se encuentra expuesto a peligros que en ocasiones los soldadores no toman en cuenta, por lo que es esencial contar con la utilería necesaria para realizar labores de ésta índole. Primeramente el sentido de la vista es el más afectado por lo que será necesario el uso riguroso de lentes oscuros o cascos que proporcionan protección completa de la cara; en seguida se deberá contar con guantes especiales para este tipo de trabajo y finalmente con chaquetas y pantalones adecuados que cubran los brazos y las piernas de las constantes salpicadas de los electrodos. Posteriormente se mencionarán las precauciones que se deberán tener tanto para la soldadura al arco como con el equipo de gas.



Accesorios de limpieza: Se debe de tomar en cuenta que en los procesos de unión por soldadura la limpieza en las superficies de contacto (lado) es un factor determinante para los fines de resistencia de la misma; además las superficies metálicas limpias se sueldan más fácilmente que las que se encuentran con materiales ojenos o contaminadas. Las formas de limpiar las superficies metálicas pueden variar desde un simple cepillado hasta la exposición de las mismas a chorros de arena (Sand Blasting).

## VI.2.2 MATERIAL.

El material que se utiliza para la soldadura al arco eléctrico, tanto metálico como de carbón, es el electrodo; dicho material, en la mayoría de los casos, representa el material de aporte, ya que en realidad existen dos tipos de electrodos: los consumibles y los no consumibles. Los primeros, al mismo tiempo que establecen el arco se funden gradualmente proporcionando metal para la unión que se pretende, recordando en capítulos anteriores que pueden ir o no revestidos de un "fundente"; en cuanto a los segundos simplemente establecen el arco, pero no se funden y se usan tanto en la soldadura de fusión como de relleno.

En cuanto a la soldadura con relleno existe una fusión del electrodo proporcionando el metal de aporte, sin que exista fusión por parte del metal, o metales, que se van a unir. Este material de aporte, dentro de sus finalidades, dota de un acollonamiento dúctil a la junta cuando se trata de metales diferentes.

Mientras que en la soldadura por fusión, el metal base, sólo a lo largo de dos superficies que coinciden, se derrite y consolida, ocurriendo esto sin adicionar ningún otro metal.

Estos dos grandes grupos de materiales se clasifican de acuerdo a su resistencia y otras características que a continuación se indican.

Clasificación: El sistema de clasificación empleado para conocer los electrodos es del tipo E XX NN. La letra E identifica un electrodo para emplearse en soldadura por arco eléctrico. Los dos primeros dígitos XX indican la resistencia mínima a la

tensión expresada en miles de lb/plg<sup>2</sup>, que se puede esperar una vez efectuada la operación de soldar. El punto de fluencia del material debe estimarse como un porcentaje de la resistencia antes mencionada. El tercer dígito representa la posición en la cual el electrodo se puede trabajar con mayor facilidad. Finalmente el último dígito señala la corriente y el tipo de revestimiento del electrodo.

Por ejemplo, el electrodo E-70 MN, indica un electrodo con una resistencia mínima a la tensión de 70 000 lb/plg<sup>2</sup>.

Para el tercer dígito tenemos tres circunstancias: 1, 2 ó 3 (E XX 1N, E XX 2N y E XX 3N), que indica la posición en la cual los electrodos deben aplicarse.

- a) El No. 1 se refiere a un electrodo adecuado para utilizarse en todas las posiciones, es decir, plana, vertical, horizontal y sobrecabeza.
- b) El No. 2 indica un electrodo recomendable para usarse en la posición plana y en filetes horizontales.
- c) El dígito 3 no señala un electrodo apropiado exclusivamente para trabajos en la posición plana.

En el cuarto número, como se mencionó en líneas anteriores, nos indica la corriente y el revestimiento. Por ejemplo el electrodo E XX 15, es un electrodo sin contenido de hierro en polvo en el revestimiento y se utiliza con corriente (CC -), aunque también puede manejarse con (CA).

De esta forma se cuenta con una clasificación bastante específica que recurriendo a ella podremos elegir el electrodo que más convenga a nuestras necesidades. Pero a manera general podría decirse que esta clasificación es englobada por cuatro grupos que comprenden electrodos que comparten características similares:

- a) Solidificación rápida (E XX 10 y E XX 11). Como su nombre lo indica, el metal en fusión y la escoria solidifican rápidamente y además, comparados con los demás no son de relleno rápido ni de gran fluidez.
- b) Relleno rápido.
- c) Relleno y solidificación rápida.
- d) Aceros especiales (E XX 15, E XX 16, E XX 18)

Otro factor importante a considerar, dentro de las clasificaciones de los electrodos para el buen desempeño de la soldadura, es el tamaño del diámetro. Los electrodos para arco se encuentran en el mercado en diámetros desde 1/16" hasta 1/2". En cuanto a los electrodos para las soldadura tipo MIG, de la cual se comentará posteriormente, se han designado en tamaños decimales para los

diámetros pequeños que van desde 0.020 hasta 0.064 plg., mientras que los grandes en fracciones de pulgada como los electrodos para arco.

Podemos comentar que, independientemente de la marca con la que se trabaje, cumpliendo los requisitos de fabricación, los electrodos poseen características semejantes, aunque no iguales.

Es muy importante tener un extremo cuidado con los electrodos ya que son muy sencillos a la intemperie, por lo que se contaminan fácilmente. La humedad es uno de los agentes más dañinos a los electrodos por lo que se recomienda, en primera instancia no efectuar ningún trabajo bajo la lluvia, y sólo tener a la mano el número mínimo indispensable de electrodos.

Recubrimiento en los electrodos: Como se indicó, el cuarto dígito se refiere al revestimiento que puede tener el electrodo, clasificados dentro de la serie E- 60 XX. El desarrollo y perfeccionamiento del recubrimiento ha sido capaz de producir soldaduras con iguales o mejores propiedades físicas que los metales de trabajo.

Antes del electrodo recubierto se utilizaba el electrodo desnudo (clase E-45 X0), aunque ha sido desplazado, todavía en algunas ocasiones se llega a usar; este tipo de electrodo tiene las desventajas de que al someterse a altas temperaturas la fusión del mismo forma con los gases de la atmósfera óxidos y nitratos que reducen las propiedades de dureza y ductibilidad del metal, ya que los óxidos producen y son de muy baja resistencia a la tensión.

Los materiales que componen a la capa de recubrimiento de los electrodos tienen funciones muy específicas como refinación, purificación y desoxidación al momento de producirse la fusión de esta capa, también liberan gases inertes que generan una atmósfera en la punta del electrodo protegiendo al charco de metal fundido de agentes como el oxígeno y nitrógeno. En tanto que los residuos fundidos de los recubrimientos forman una capa protectora de escoria sobre el metal fundido, que se va depositando hasta que se enfría, produciéndose así una soldadura más ductil.

Además de lo anterior los recubrimientos o "fundentes", ofrecen otras ventajas, tales como un mejoramiento en la apariencia de la soldadura, mejor contacto de arco, mejora la calidad de los rayos "X" en los controles de calidad, reducción del chisporroteo.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se puede deducir la gran ventaja que ofrecen los electrodos con recubrimientos, cuya preparación de ingredientes debe de ser todo un arte.

**Electrodos especiales:** A parte de los electrodos de acero al carbono que son los de mayor uso, en la actualidad se han desarrollado una infinidad de electrodos tratando de abarcar todas las circunstancias en las que se labore. De esta forma se han creado electrodos para aceros inoxidables, para aceros aleados de alta y baja resistencia, para acero suave y otros dirigidos a operaciones especiales, que cubren funciones específicas, entre ellos los destinados a la soldadura de cobre, cobre aleado, aluminio, hierro fundido, manganeso, aceros al níquel manganeso. Todos ellos difieren mucho en su composición y son, por lo tanto, designados según el uso que se les dé pero siempre buscándose la obtención de buena soldadura resistente a la corrosión, al impacto y demás efectos destructivos. La composición de la capa recubridora de estos electrodos depende fundamentalmente de la clase de operación para la que fueron elaborados.

### VI.2.3 TECNICAS DE SOLDADURA Y CORTE AL ARCO ELECTRICO

Básicamente, dentro de todas las variantes de soldadura al arco eléctrico utilizan el procedimiento de generar calor por medio de un arco eléctrico capaz de fundir a los metales y unirlos, ó de únicamente fundir y separar en la necesidad de cortar. El arco se inicia cuando hacen contacto el electrodo y el metal común. El intenso calor del arco origina la formación de glóbulos metálicos muy pequeños en el extremo terminal del electrodo, para el caso de la soldadura con protección al arco. Estas partículas efectúan un viaje de transferencia hacia la superficie de trabajo. La regulación de la velocidad de desplazamiento depositará la cantidad deseada de material de aporte sobre el área de trabajo.

#### VI.2.3.1 SOLDADURA AL ARCO ELECTRICO

Antes de iniciar el procedimiento de soldar propiamente, es importante verificar de que se cuenta con todo el equipo tanto para soldar como de protección necesarios para llevar a cabo una operación sin pérdidas de tiempo y principalmente, sin riesgos. Dentro del material cabe señalar que si se eligen los electrodos adecuados, la operación de soldadura será la más económica y rápida; debe de tenerse en cuenta para la selección del electrodo adecuados factores tales como: composición del metal, dimensiones de la junta a soldar, posición de la soldadura, y especificaciones de la misma (resistencia).

Estos factores se señalarán con firme se vaya explicando la técnica de soldadura.

Una vez que el operador se ha cerciorado de que todo se encuentra en orden únicamente faltará colocarse la protección en los ojos. En el instante en que el extremo del electrodo hace contacto con la pieza de trabajo, fluye una corriente intensa a través del electrodo, calentándolo y fundiéndolo de tal forma que si no se mueve quedará unido a la pieza de trabajo. Por lo tanto, es recomendable que el operador arrastre el electrodo más o menos unos cinco centímetros sobre la pieza de trabajo con el fin de hacer saltar el arco. Una vez generado el arco se llevará el electrodo hasta una altura igual al diámetro del electrodo aproximadamente, tratando de que la acción del arco se vuelva continua (fig. VI.19).

Otra manera de iniciar el arco es golpeando ligeramente el extremo del electrodo contra la pieza de trabajo, pretendiendo que el electrodo salte una distancia corta por efecto de la elasticidad. Al saltar el electrodo se debe mantener una longitud de arco apropiada (fig. VI.20). Una vez iniciado el arco es necesario mantener una longitud de arco cercana a 6 mm (1/4") durante unos dos segundos para permitir que el metal de trabajo alcance la temperatura adecuada para soldar. Las soldaduras de mejor calidad se aplican mediante longitudes de arco cortas, más o menos iguales al diámetro del electrodo.

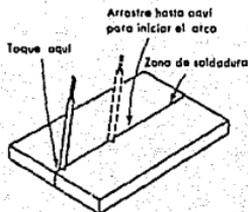


FIG. VI.19 Inicio del arco por arrastre

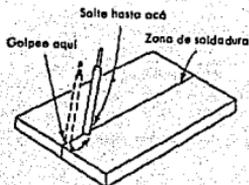


FIG. VI.20 Inicio del arco por golpeo.

Movimiento del electrodo: La calidad de una soldadura realizada al arco metálico se regula o controla por medio de las oscilaciones que se deben de efectuar con el electrodo, que ayudan a colocar al metal de aporte y dan forma a la superficie soldada. En realidad no existe un patrón que sea mejor, sino que todo depende del operador en cuanto a su destreza al controlar y manipular el portaelectrodo. Tres movimientos característicos de los electrodos forman la base para la mayoría de los trabajos de soldadura de posición plana: en zigzag, circular y semicircular (fig VI. 21). Se debe tener atención en el ángulo de aplicación entre el electrodo y el metal de trabajo. Por ejemplo, cuando se hace una soldadura sobre una placa plana deberá el operario cercionarse de que el electrodo tiene un ángulo de entrada desde 15° hasta 20° y queda apuntado hacia atrás en línea con el eje de la soldadura (fig VI. 22).

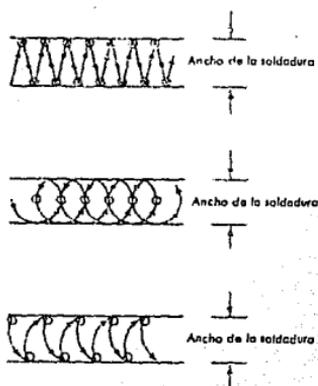


FIG. VI. 21 Patrones de movimiento.

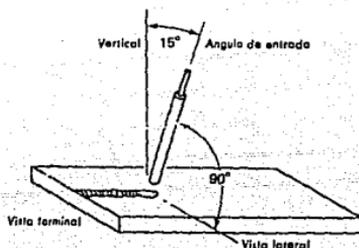


FIG. VI. 22

Angulo entre electrodo y metal común. El ángulo del electrodo es de 90°, visto desde el extremo.

y de 15° visto de lado.

Ajuste de la máquina de soldar: El ajuste de la fuente de poder tiene que realizarse para efectuar una operación satisfactoria. Dicho ajuste consiste únicamente en la correcta elección de amperaje. La elección correcta del amperaje se puede localizar en los manuales de los fabricantes de electrodos o en tablas como la que se presenta a continuación:

AJUSTE DE FUENTE DE PODER TÍPICOS PARA  
ELECTRODO DE 1/8" DE DIÁMETRO

Tipo de electrodo	Corriente (amperaje)	Polaridad
E6010	80-120	Electrodo de CC +
E6011	80-130	Electrodo CA o CC +
E6012	80-120	Electrodo CA o CC -
E6013	80-120	Electrodo CA o CC -
E6014	120-150	Electrodo CA, CC + o Electrodo CC -
E7018	100-150	Electrodo CA o CC +

El amperaje de salida en el electrodo puede tener un rango de variación en las máquinas soldadoras, es decir, puede tener fluctuaciones desde 15 hasta 40 amperios. El control del amperaje es extremadamente importante puesto que si es muy bajo se tendrá únicamente una fusión deficiente y una penetración inadecuada, mientras que si es demasiado alto ocurrirán cortes más profundos y el deterioro del recubrimiento fundente.

#### VI.2.3.1.1 FACTORES DE OPERACION

Dentro de las consideraciones primordiales de operación se tienen las siguientes:

1. Angulo del electrodo.
2. Longitud del arco.
3. Velocidad de aplicación de la soldadura y ajuste de corriente.
4. Posición del metal de trabajo.

1. Angulo del electrodo: En general se debe mantener un ángulo entre el electrodo y el trabajo tal que se aproveche la fuerza del arco para penetrar en el metal común y obligarlo a que regrese al cráter (fig VI.23)

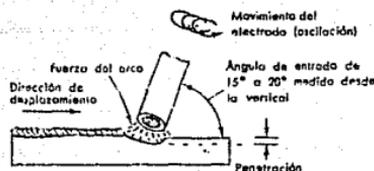


FIG. VI.23 Factores de operación, para obtener una buena fusión y una penetración de calidad.

2. Longitud de arco: La longitud de arco se relaciona directamente con la entrada de calor total a la junta soldada (fig VI.24). Un arco corto produce menos calor que uno largo porque la longitud de arco contribuye al voltaje a través del arco, y la entrada de calor (vatios) es el producto de voltios por amperios. Por ejemplo un arco pequeño (casi tocando) produce cerca de 18 voltios y un arco más largo produce 24. Cuando se emplean 100 amperios el arco pequeño tiene 1800 vatios, mientras que el grande 2400. De un buen control de la longitud de arco se podrán obtener resultados aceptables ya que con esto se puede controlar en cantidades pequeñas, la cantidad de calor generada. En general los trabajos más aceptables se realizan con longitudes de arco pequeñas.

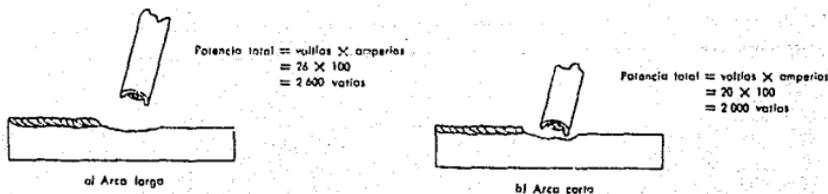


FIG. VI.24 El potencial del voltaje a través del arco es la distancia entre el electrodo y el metal común (longitud de arco). La entrada de calor es producto del voltaje multiplicado por el amperaje.

3. Velocidad de aplicación y ajuste de la corriente: Esta velocidad de aplicación se encuentra relacionada con el tamaño del depósito de soldadura, cantidad de amperaje utilizada y diámetro del electrodo. Una perla de soldadura de 8 mm de ancho y 1.6 mm de alto realizada con un electrodo de 2 mm (3/32") de diámetro (tipo E 7024) a 200 amperios producirá, en condiciones normales, un promedio

de 81.3 cm por minuto (fig VI.24). Si variamos cualquiera de estas condiciones obtendremos mayor o menor velocidad de aplicación dependiendo de la característica que se varíe. En la gráfica siguiente podemos observar el cambio de velocidades para diferentes diámetros del electrodo tipo E 6011.

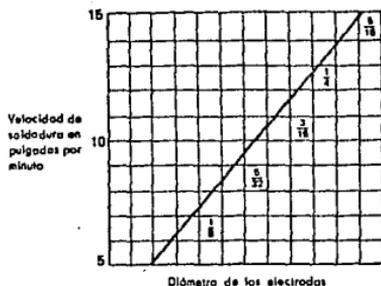


FIG. VI.24 Gráfica de aplicación de velocidades para un electrodo tipo E 6011 de diferentes diámetros.

4. Posición del metal de trabajo: Fácilmente se puede intuir que en una posición plana es más fácil la operación que en otra posición, ya que los efectos de la gravedad provocan ciertos problemas en el control de la soldadura.

- Posición horizontal: Esta es la posición más sencilla en la que se puede tener al metal de trabajo. El movimiento del electrodo no es altamente crítico en este tipo de trabajo. Las oscilaciones características son las anteriormente mencionadas (fig VI.25).

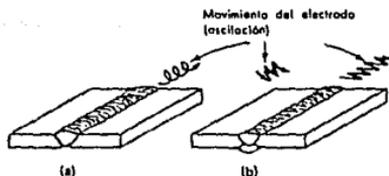


FIG. VI.25 Procedimiento para unir dos piezas a tope en posición plana. A) primer paso. B) segundo paso

- Posición Vertical: El metal de la soldadura, por efectos de la gravedad, tiende a desplazarse y a dejar una muesca a lo largo del lado de la perla de soldadura. Esta muesca se conoce como "corte inferior". Tanto el desplazamiento como el corte inferior del metal pueden corregirse procediendo de la manera siguiente:

Seleccionando un electrodo para "cualquier posición".

Usando valores de amperaje bajos para el electrodo seleccionado, por ejemplo el E 6010 a 80 amperios.

Manteniendo un arco de poca longitud, es decir, poniendo el recubrimiento del electrodo casi en contacto con el cráter.

Oscilando el electrodo hacia arriba desde el centro del cráter y regresando hasta llegar apenas arriba de la posición original.

Los patrones de oscilación se muestran en las figuras VI.26, en donde se muestra un desplazamiento vertical-ascendente, aunque también puede realizarse un desplazamiento vertical-descendente, que se utiliza cuando se requieren rápidas velocidades de desplazamiento aunadas aun mínimo de penetración.

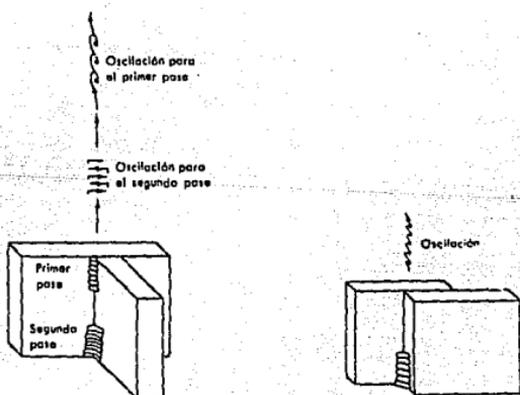


FIG. VI.26 Procedimiento para la aplicación ascendente.

- Posición sobre la cabeza: Para realizar la soldadura en esta posición es muy recomendable dominar las posiciones anteriores. Para el primer paso (paso de raíz) es necesario oscilar el electrodo con movimiento recto hacia adelante y atrás (fig VI.27). El ajuste del amperaje es un factor altamente crítico para el primer paso; para un amperaje bajo no habrá suficiente penetración y para uno alto se desplomará el centro de la soldadura dejando una fractura filosa muy marcada a lo largo de los lados en donde puede quedar atrapada la escoria. En los pasos intermedios de soldadura es necesario utilizar una oscilación en forma de U para fundir las paredes del metal común al depósito de la soldadura. La capa final puede estar constituida por un patrón entrelazado sencillo o por una serie de soldaduras angostas conocidas como perlas en hilera (fig VI.28). Debe mantenerse una longitud de arco corta mientras el electrodo se encuentra en el cráter.

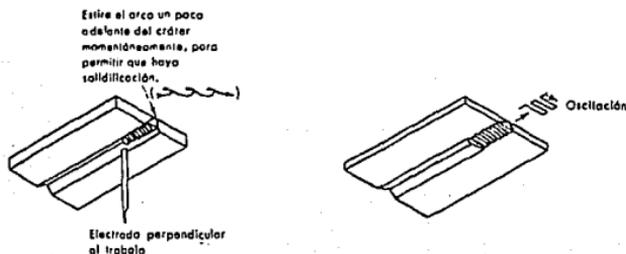


FIG. VI.27,28 Procedimiento para la aplicación sobre la cabeza.

#### VI.2.3.2. CORTE AL ARCO ELECTRICO

Además de unir a los metales, el procedimiento de soldadura al arco eléctrico también es capaz de realizar cortes como se ha mencionado en líneas anteriores. Es muy obvio el pensar que también se puede cortar puesto que los metales se funden al momento de aplicar el arco, por lo que un metal de trabajo se puede dividir si aplicamos el arco eléctrico donde se desee.

Corte con arco metálico: Este tipo de corte emplea un electrodo de recubrimiento grueso y amperaje alto, por

ejemplo, un electrodo de 1/8" de diámetro a 250 amperios. El corte más eficaz se efectúa con electrodo de corriente directa negativo. Al momento en que se lleva a cabo el corte, se genera el calentamiento del metal en el sitio de corte provocándose la formación de un líquido, mismo que por fuerza de gravedad desciende a través de la entalladura del corte.

Corte con arco de carbono y aire, "arc air": El corte con arco metálico ha sido desplazado en la mayoría de las grandes obras de ingeniería civil debido a la calidad de trabajo que realiza este procedimiento. Este método utiliza el calor de un arco y aire comprimido para eliminar el metal presente en el sitio de corte, de ahí el nombre de "arc air". El aire comprimido es suministrado por dos ductos que se encuentran debajo del sujetador del electrodo de carbono (fig VI.29). El metal, fundido por el arco, es expulsado inmediatamente y en forma violenta por la fuerza que ejerce continuamente el aire comprimido.

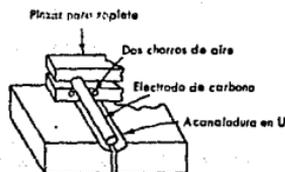


FIG. VI.29 Portaelectrodo para el sistema "Arc Air".

Para realizar este tipo de trabajos es necesario contar con una fuente de poder común y un compresor de aire. El aire comprimido debe ser suministrado a una presión como mínimo de 35 psi (5.98 Kg/cm<sup>2</sup>). Con este equipo se pueden realizar cortes de cualquier tipo de metal ya que, a diferencia del corte con oxiacetileno, no depende de fenómenos de oxidación. El equipo oxiacetileno no es capaz de efectuar cortes o tiene dificultades cuando trabaja con el acero inoxidable, hierro colado o aleaciones de cobre, ya que estos compuestos no forman óxidos de punto de fusión bajo. En seguida se muestra una tabla para realizar cortes con arco de carbono y aire.

Material	Diametro del electrodo	Escala de la corriente (amperios)	Polaridad
Acero inoxidable	1/4"	200-400	Electrodo +
Acero	1/4"	200-400	Electrodo +
Hierro colado	3/8"	350-600	Electrodo + Electrodo - también CA

## VII DIFERENTES METODOS DE SOLDADURA AL ARCO

En las secciones anteriores se ha hablado del equipo, material y técnicas de soldadura y corte al arco eléctrico, en ellas se ha explicado lo correspondiente a la parte común de éste método de unión de metales; ya que debido al rápido desarrollo de la soldadura se han generado diferentes métodos de soldadura al arco, pero todos ellos basados en los mismos principios de los cuales ya se han mencionado. A continuación se explicarán las ligeras variantes que hacen diferentes unos de otros y que a lo largo de esta investigación se ha hecho mención de algunas de ellas y que ahora es el momento pertinente de profundizar en su explicación.

La soldadura con arco puede ser manual, automática o semiautomática. En el proceso automático el metal de aporte o electrodo es alimentado automáticamente dentro del arco para compensar al que se va fundiendo, además el electrodo está sujeto a una cabeza mecanizada que va efectuando la soldadura a lo largo de la junta. En la soldadura semiautomática, el electrodo es suministrado en forma automática, pero la aportación del material de relleno es manejada en forma manual. Para la soldadura manual ambas operaciones se efectúan en forma manual, tanto el electrodo en el porta electrodo como la operación de soldar.

Si el trabajo requiere el uso de polvo fundente o gas inerte para arco protegido, tales elementos se aplican automáticamente en los sistemas automático y semiautomático.

### VII.1 SOLDADURA CON ARCO DE CARBONO

En este tipo de soldadura, se establece un arco entre el electrodo de carbono y el metal base, donde se produce el calor para fundir el metal base, sin depositar ningún material de aporte; en la

circunstancia de que se requiera de un relleno, éste se proporcionará en forma de material de aporte. Este tipo de arco de carbono se utiliza más en el procedimiento de corte, del cual se ha hecho referencia.

## VII.2 SOLDADURA CON GAS INERTE

Este procedimiento de unión es sumamente importante, en el cual el arco es cubierto o protegido de la acción de la atmósfera por un gas químico llamado "gas inerte", como el argón o helio. Generalmente se le denomina como "soldadura con gas inerte" y tiene dos formas de realizarse a las cuales se les llama "Tig" y "Mig".

### VII.2.1 SOLDADURA "TIG".

Se le ha denominado soldadura TIG por las siglas que significan "tungsteno-inner gas". Este método tiene la característica primordial que utiliza un electrodo no consumible de tungsteno (fig VII.1), ya que el electrodo está protegido y enfriado por el flujo de un gas inerte. Además, el tungsteno y sus aleaciones poseen temperaturas de fusión muy altas. En el caso de que se necesite relleno, se emplea por separado una varilla de metal de soldadura.

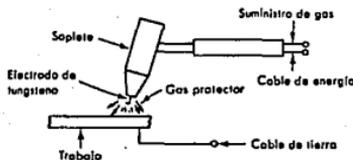


FIG. VII.1 Esquema de soldadura al arco de tungsteno con gas con gas. El tungsteno no se funde para incorporarse al charco de soldadura. Este se conoce como electrodo no consumible.

Empleando este proceso se pueden realizar trabajos de extrema calidad, siempre y cuando se tenga especial atención en la preparación del metal, arreglo de la junta, ajuste de la máquina para soldar, preparación del soplete, selección del gas protector, elección del metal de soldadura y de la técnica para soldar.

En realidad la única diferencia en cuanto al equipo consiste en la utilización de un portaelectrodo que cuenta con un soplete el cual suministra el gas inerte (fig VII.2). En ocasiones cuando los valores de la corriente exceden a los 150 amperios, se emplean sopletes enfriados por agua. El gas empleado produce una atmósfera desprovista de contaminación y suministra también una vía para la transferencia del arco. Esta trayectoria da lugar a la constitución de un ambiente que ayuda a estabilizar el arco. El gas y la actividad del arco proporcionan así mismo limpieza sobre el metal de trabajo. Generalmente se usan para este proceso tanto argón como helio pero se tiene preferencia al argón pues es más económico y forma un arco más uniforme. Sin embargo el helio ayuda a producir penetraciones más profundas.

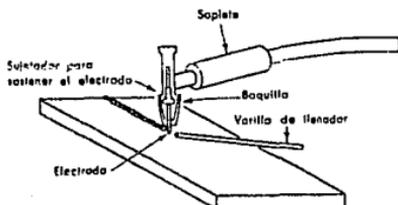


FIG. VII.2 Esquema del equipo que se utiliza para el arco de tungsteno con gas enfriado por aire. El material de aporte es proporcionado por la varilla de llenador que sí es consumible.

#### VII.2.2 SOLDADURA "MIG".

Dentro de éste segundo método de soldadura con gas se cuenta con la característica de que utiliza un electrodo continuo (electrodo consumible) que avanza hacia la soldadura automáticamente mientras se mantiene encendido el arco eléctrico (fig VII.3), de ahí su nombre de "MIG" (metal inner gas).

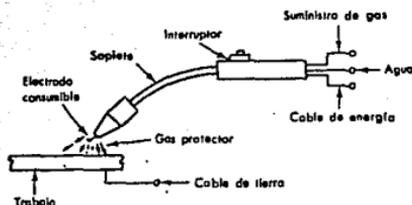


FIG. VII.3 Equipo de portaelectrodo en la soldadura "MIG".

Durante este proceso se utiliza un arco eléctrico para calentar la zona de soldadura; el electrodo se hace avanzar hacia el charco de soldadura manteniéndose una velocidad de aproximación regulada; el arco queda protegido por un gas que lo rodea haciendo las funciones de un escudo con tra la acción del medio ambiente. Este gas puede ser argón, helio o dióxido de carbono.

El equipo que se utiliza para este método varía un poco al convencional (fig VII 4).

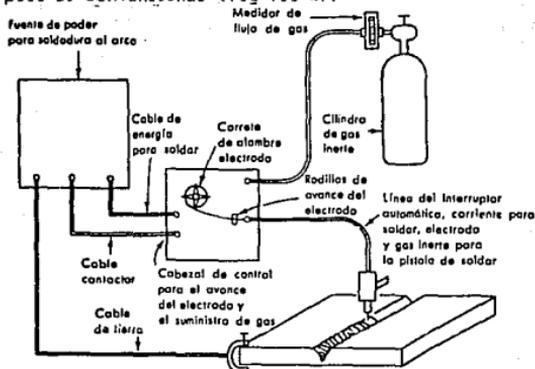


FIG VII 4 Equipo completo de la soldadura "MIG".

El propósito principal del gas inerte, como se mencionó anteriormente, es la protección al centro de la soldadura contra la contaminación, pero además ayuda a la transferencia del metal a través del arco, a la fusión y penetración, a la configuración del depósito de soldadura, a la rapidez con que se completa la soldadura, la capacidad del metal de soldadura para fluir sobre la superficie sin resaca y al costo de la soldadura terminada. Cabe mencionar que no existe un gas que abarque tantas funciones, pero

dentro de los que se utilizan cada uno tiene lo suyo. Los electrodos utilizados como metal de soldadura son de diámetro mucho menor que los convencionales en el arco de metal. Los tamaños varían desde 0.020 pulgada hasta 7/32". El uso de este tipo de material exige altas velocidades de avance, desde 2.54 hasta 35.56 metros por minuto. La composición del electrodo es, ordinariamente, equivalente a la del metal trabajo, pero, para trabajos de aleaciones de alta resistencia su composición puede variar con respecto al metal de trabajo.

### VII.3 SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO

Para realizar este procedimiento de soldadura se requiere de un electrodo recubierto por un fundente granuloso en cantidad suficiente capaz de rodear al electrodo consumible durante la operación de soldado.

El fundente que abriga y envuelve al arco, al metal fundido y al metal de trabajo durante la operación, protege y evita toda contaminación potencial que pueda existir, además de ser gran ayuda en el enfriamiento.

El fundente también proporciona desoxidantes y limpiadores de impurezas, mejorando con ello la calidad del metal fundido, cuando éste va tomando forma.

El nombre de "arco sumergido" se debe a que cuando se está llevando a cabo la operación de soldadura, el arco se ve envuelto en una nube, que es la formada por el fundente.

El calor del arco funde localmente al metal de trabajo, al electrodo y al fundente; penetrando, fundiendo y rellenando la unión. Este procedimiento utiliza normalmente mayor amperaje que los métodos descritos anteriormente, por lo que resulta más veloz y por consiguiente, proporciona una cantidad superior de material depositado. En estas condiciones la mayor velocidad origina menores probabilidades de los fenómenos de contracción y dilatación en la soldadura de la pieza de trabajo.

### VII.4 SOLDADURA CON ARCO PROTEGIDO CON VAPOR

Este método es similar al anterior, en donde los electrodos se encuentran elaborados por compuestos desoxidantes y sales

metálicas que generan vapores los cuales funcionan como protección y refinamiento tanto al metal de trabajo como a la soldadura. En virtud de que este tipo de electrodos son consumidos por el arco, los ingredientes vaporizan, quienes se extienden hacia afuera y se internan en el ambiente frío de la atmósfera, en donde se forma, por condensación, una envoltura de vapor denso.

Una de las ventajas de este método es la exclusión de mangueras y equipo adicional, realizando trabajos de extrema calidad.

## VIII JUNTAS Y SIMBOLOGIA EN SOLDADURA

### VIII.1 JUNTAS Y PREPARACIONES PARA PROCEDER A SOLDAR

Dentro de este capítulo se señalarán las condiciones en que la aplicación de la soldadura será la más favorable en cuanto a seguridad de resistencia como conveniencia de presupuesto, además de la importancia que respecta a una buena preparación, ya que de ella dependerá la confiabilidad de la pieza compuesta, puesto que sino se tienen las consideraciones necesarias tanto en la elección como en la realización de la misma podríamos incurrir en situaciones riesgosas que en realidad no tienen por qué hacerse presentes.

#### VIII.1.1 SELECCION DE LA JUNTA APROPIADA

Una junta puede ser o no ser la apropiada dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el soldador, para lo que se tendrán tres juicios en la que la elección de la junta adecuada deberá someterse: Desempeño de la carga, costo y acceso.

La nomenclatura de las juntas se designa de acuerdo a la configuración que formarán los elementos en cuestión (fig VIII.1).

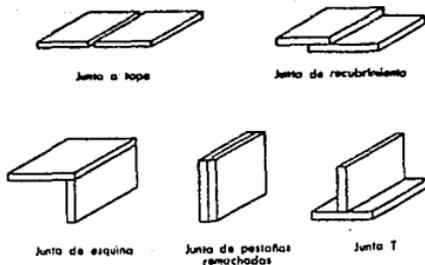


FIG. VIII.1 Juntas más comunes en soldadura.

### VIII.1.1.1 DESEMPEÑO DE LA CARGA

Es importante que el operador cuente con una basta experiencia ó en su defecto con un gran sentido común para determinar a-priori la forma en que la pieza compuesta se encontrará sometida a los diversos esfuerzos una vez que haya sido concluida la operación de unión. Dichas condiciones de esfuerzos varían desde estáticas (uniformes o constantes) hasta dinámicas, una viga de acero colocada en un edificio puede estar sometida únicamente a cargas estáticas, mientras que el eje de un automóvil se encuentra sometido a cargas dinámicas. La forma de aplicación de la carga determina si la soldadura se someterá tensiones, compresiones, esfuerzos cortantes, impactos o a una combinación de estos (fig VIII.2).

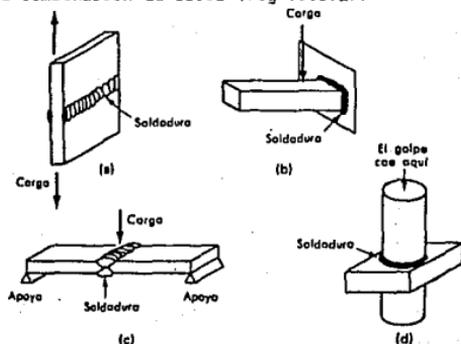


FIG. VIII.2 Desempeño de cargas. A) tensión, B) cortante, C) flexión, D) carga dinámica de impacto.

### VIII.1.1.2 COSTO

El costo de la soldadura es, por lo general, directamente proporcional a la cantidad de material de soldadura depositada o empleada. Por consiguiente, es recomendable mantener el ángulo incluido de una junta achaflanada en los bordes al mínimo posible, dependiendo del proceso y del espesor del metal. Por ejemplo, las juntas frontales (a tope) elaboradas con soldadura sobre placa de 1/2" (12.7 mm) por el método de arco metálico puede variar notoriamente en la cantidad de metal depositado o consumido. Una junta a tope, con ángulo incluido de 30°, usará aproximadamente la tercera parte del metal de soldadura que se requiere para el mismo tipo de junta pero con un ángulo de 90° (fig. VIII.3).

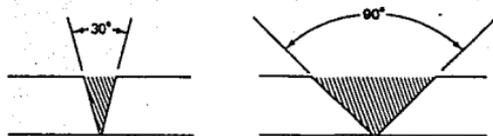


FIG. VIII.3 A mayor espacio se necesita más soldadura de relleno repercutiendo en el costo.

#### VIII.1.1.3 ACCESO A LA JUNTA

La distancia a la que se encuentren los bordes de las piezas a unir constituye un punto de extremo cuidado, ya que las distancias son milimétricas y las variaciones pueden determinar disminuciones en la resistencia de la soldadura. Por ejemplo, en una junta a tope en la soldadura fuerte de plata, la distancia de la raíz, que es la distancia mínima entre los bordes de unión o profundidad mayor, puede manifestar una pérdida de resistencia si el espaciado de la raíz varía con respecto a una cantidad específica. La resistencia más alta se produce en juntas de acero con soldadura de plata a un espaciado de raíz de 0.051 mm; un ajuste más estrecho impediría el flujo del metal de soldadura hacia el interior de la junta lo que representaría una disminución en la resistencia. En caso contrario, un aumento en la distancia limitaría la resistencia de la unión exclusivamente a la del metal de soldadura (fig. VIII.4).

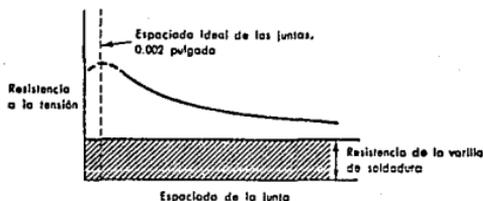


FIG. VIII.4 Gráfica de resistencia de una varilla de soldadura de aleación de plata en una junta a tope, de acanaladura cuadrada en acero.

## VIII.1.2 PREPARACION DE LAS JUNTAS

Como se señaló en líneas anteriores, de la preparación de las juntas dependerá la confiabilidad y el costo de la soldadura por lo que se deben tener estrictos cuidados en la elaboración de las mismas. Los tipos de preparación para las juntas se agrupan en cuatro disposiciones que son las siguientes: acanaladura cuadrada, en V, en U y en J. Estas preparaciones tan caprichosas, en los caso de V, U y J, se realizan para los diferentes tipos de juntas que se mostraron al iniciar el capítulo. En general el tipo de junta más común es la junta tope, por lo que me referiré a ella para la exposición de las diferentes preparaciones; nuevamente recordando que estas preparaciones se utilizan para los otros tipos de juntas.

### VIII.1.2.1 ACANALADURA CUADRADA

Este tipo de preparaciones es recomendable para espesores del metal de trabajo hasta  $3/16"$  (4.8 mm) en donde se requiere una penetración total (fig VIII.5).

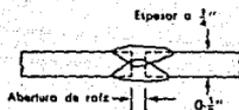


FIG VIII.5 Junta a tope de acanaladura cuadrada soldada por ambos lados para que exista penetración y fusión completa.

La preparación es muy sencilla pero exige cuidados en lo que respecta a la limpieza de la misma, igualación de los bordes y espaciado de las raíces. El espaciado va de acuerdo a la forma de la junta y espesor del metal en cuestión. Como es fácil de deducir, comparada con las siguientes preparaciones, es la más económica.

### VIII.1.2.2 ACANALADURA EN "V"

Este tipo de preparaciones se adapta a la mayoría de las condiciones de carga. Por lo general, no se encuentra en aceros estructurales de menos de 1/4" de espesor (fig VIII.6a). Los espesores de aceros estructurales hasta de 1" que tengan esta preparación de borde pueden soldarse con procedimientos con arco metálico obteniéndose resultados satisfactorios.

También pueden haber acanaladuras en "V doble", misma que es utilizada generalmente en la mayoría de los aceros estructurales a partir 3/4 hasta 1-1/2" de espesor (fig. VIII.6b). Posee servicios favorables para piezas coladas y metales forjados en la mayoría de los espesores.

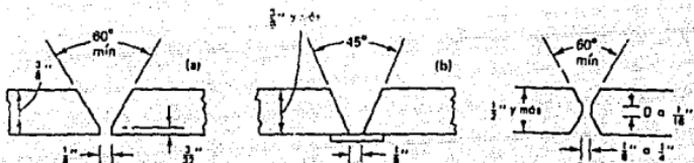


FIG. VIII.6 Juntas tope tipo "V": A) para oxiacetileno en acero; B) para arco eléctrico en acero; junta a tope "doble V" para soldadura de arco en acero.

### VIII.1.2.3 ACANALADURA EN "U"

Estas preparaciones son muy similares a las tipo en "V", contándose con ventajas como la facilidad de efectuar el paso de soldadura por la raíz y la reducción en el uso de material de soldadura. De la misma forma que las tipo en "V", también se pueden tener las "U doble" (fig. VIII.7)

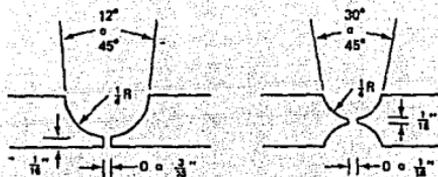


FIG. VIII.7 Junta a tope con acanaladura en "U"

#### VIII.1.2.4 ACANALADURA EN "J"

Estas preparaciones de borde son como las tipo en "U" pero sólo que a la mitad, lo que representa un consumo menor de material de aporte (fig VIII.8).



FIG. VIII.8 Juntas a tope y en "T", para acanaladura en "J".

Este tipo de preparaciones engloban a otras modalidades de preparaciones, pero en realidad están basadas en la idea de aquellas que acabo de mencionar. Al final del capítulo se muestran una serie de preparaciones tanto para placas, tuberías y ángulos en las que algunas de ellas se denominan como tipo "X", "K", "Y", etc., pero, repito, son la misma idea de las ya comentadas.

## VIII.2 SIMBOLOGIA DE LA SOLDADURA

La idea de la simbología dentro de un lenguaje pretende los fines de ahorro en tiempo, esfuerzos y dinero. Con esta sencillas razones se concibió una serie de símbolos y figuras que pudiesen ser interpretados por todos aquellos interesados en la materia, a manera de transmitir diferentes pensamientos y procedimientos por medios indirectos. Con este sistema de símbolos y figuras se eliminaron todo tipo de dudas y confusiones acerca de qué tipo de procedimiento debería de usarse, cómo debería de llevarse a cabo, con qué material, etc. De ahí su importancia para todo ingeniero o persona relacionada con la soldadura, el conocimiento del lenguaje escrito plasmado en los planos tanto estructurales como de otra índole, donde se requiera el uso de la soldadura.

### VIII.2.1 SÍMBOLOS CARACTERÍSTICOS

Los símbolos empleados están diseñados para ser sencillos de comprender y lógicos en su interpretación, incluyen información tal como: preparación del metal, dimensiones del tamaño de la soldadura como de las preparaciones, necesidades de penetración, acabado deseado, selección del procedimiento de soldadura, soldadura continua o intermitente, localización y orientación de la soldadura. Cada uno de estos aspectos se mencionaran con forme se exponga esta sección.

Si un sistema de comunicación resulta ser muy complicado se incurriría nuevamente a las dudas y dificultades de aplicación, por lo que en soldadura se ha pretendido manejar un sistema de simbología lo más sencillo posible a manera de que se encuentre en condiciones de ser manejado por toda persona normal sin la menor duda. De acuerdo a lo anterior se cuenta solamente con unos cuantos símbolos básicos de sencillo aprendizaje, pero dentro de ellos se tienen docenas de variantes, aunque la mayoría de las operaciones de soldadura estándar quedan representadas por símbolos correspondiente a cuatro formas de soldadura principales: Soldaduras de filete, soldaduras de tapón o ranura, soldaduras de acanaladura y soldaduras para la formación de superficies. Cada símbolo de soldadura cuenta con una flecha, una línea de referencia horizontal y, en caso de ser necesario, una cola (fig. VIII.9).

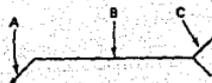


FIG. VIII.9 Simbología en soldadura. A) establece la localización de la soldadura. B) contiene los símbolos de soldadura. Si el símbolo se encuentra debajo de la línea de referencia, quiere decir al "lado de la flecha". Los símbolos situados arriba de la línea de referencia son para el "otro lado". C) la sección de cola, cuando se utiliza, contiene la especificación, proceso u otra información.

#### VIII.2.1.1 SOLDADURA DE FILETE

Se realiza una soldadura de filete cuando un miembro interseca a otro. La dimensión de las soldaduras de filete depende del tamaño del costado o pie (fig VIII.10).

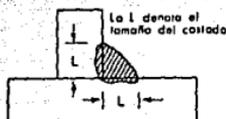


FIG. VIII.10 Las flechas señalan cómo se indican dimensiones de la soldadura de filete y cómo se miden éstas. Los tamaños de los lados casi siempre son iguales.

El símbolo que se utiliza para representar este tipo de soldaduras se muestra en la figura VIII.11. Según lo requieran las especificaciones tanto de resistencia como de costo, las soldaduras de filete se colocan en el lado correspondiente a la flecha, o a ambos lados de la obra de soldadura.

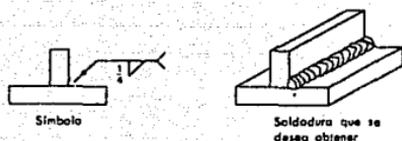


FIG. VIII.11 Soldadura de filete del lado de la flecha

Dadas las condiciones tanto de control de deformación como de costos, se pueden realizar trabajos discontinuos a los que se les denomina "Filetes intermitentes" (fig VIII.12a), en esta figura se muestra un trabajo en donde la soldadura no es continua, situándose cada filete a 4" de un centro a otro con un espaciado de 2" entre las soldaduras. Pueden haber otras situaciones en donde se requiera de un refuerzo, teniendo la necesidad de realizar "Filetes escalonados" (fig VIII.12b).

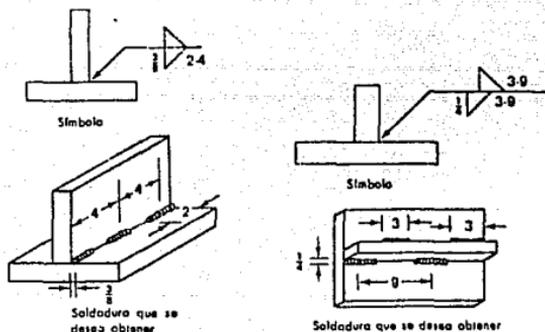


Fig. VIII.12a. 12b

#### VIII.2.1.2 SOLDADURAS DE TAFON O RANURA

Se lleva a cabo este tipo de soldadura cuando se unen dos miembros soldando a través de un orificio situado en uno de ellos (fig.VIII.13a). Los símbolos y dimensiones, como tamaño, ángulo y profundidad se denotan como se muestra en la figura VIII.13b.

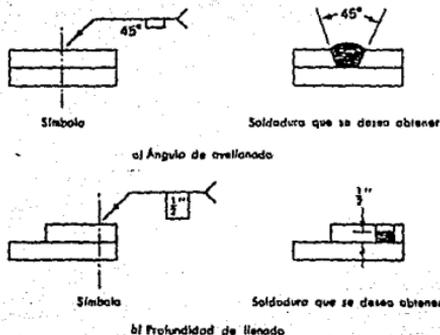


FIG. VIII. 13a, 13b.

### VIII.2.1.3 SOLDADURAS DE ACANALADURA

De acuerdo al tipo de preparación se clasifican este tipo de soldaduras, y como se mencionó en secciones anteriores, la acanaladura del tipo cuadrada es la más utilizada (fig. VIII.14). Es muy utilizada para secciones delgadas (calibre 12 y menores), en donde no se necesita mucha fuerza o penetración completa.

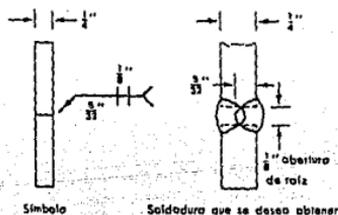


FIG. VIII.14 Símbolo de soldadura de acanaladura cuadrada y soldadura que se desea obtener.

La acanaladura del tipo en "U", con su variación tipo "J", es la más frecuentada. Especialmente cuando se requiere una penetración en planchas de espesor intermedio (fig. VIII.15). Se recomienda que, para la preparación del borde, se utilice el proceso de "arc-air".

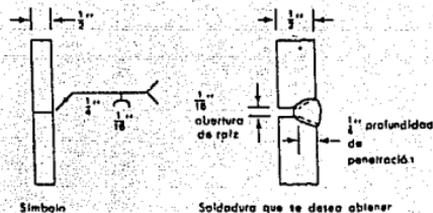


FIG. VIII.15 Símbolo de soldadura de acanaladura en "U" y soldadura que se desea obtener.

Cuando se requieren trabajos de extrema calidad, donde las preparaciones se reducen en sus dimensiones (fig. VIII.16), se recomienda el uso de acanaladura en "V". Cuando solamente se le da preparación a un solo borde se le denomina "soldadura de acanaladura achaflanada".

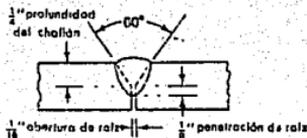
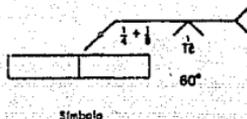


FIG. VIII.16 Símbolo de soldadura de acanaladura en "V" y soldadura que se desea obtener.

#### VIII.2.1.4 SOLDADURA DE REVESTIMIENTO

Dentro de la Ingeniería Civil, y de las demás ingenierías, la labor de construcción queda complementada por el mantenimiento. La soldadura abarca también símbolos que se refieren a trabajos relacionados con el mantenimiento o reforzamiento de piezas en las que su resistencia se encuentra en duda. Por ejemplo, en una viga donde se tenga de su resistencia se puede aplicar un revestimiento que dotará de un aumento en su resistencia (fig. VIII.17).

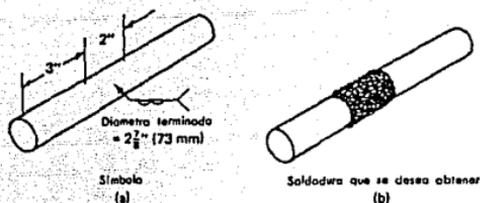


FIG. VIII.17 Soldadura de revestimiento, con sus dimensiones particulares.

#### VIII.2.1.5 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Existen trabajos de soldadura en los que se necesita una aplicación continua alrededor de un elemento, como podría ser el caso de un tubo unido a una placa como muestra la figura VIII.18. Esta característica queda indicada en el símbolo de soldadura por medio de un círculo pequeño situado en la intersección de la flecha y la línea de referencia horizontal.

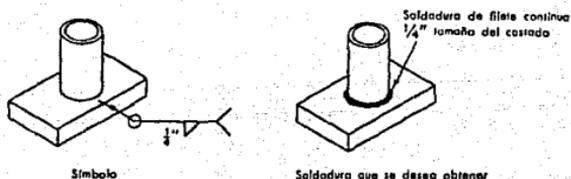


FIG. VIII.18 Para un trabajo en todo un contorno queda indicado con un círculo pequeño en la intersección de la flecha y la línea de referencia.

En general los mejores trabajos se realizan en talleres o fábricas en donde se tienen controladas variables como son la temperatura, luz, humedad, etc., pero en trabajos donde no es posible realizar la operación de soldadura dentro de estos lugares se tiene que llevar a cabo en el lugar donde se requiere la pieza, a este tipo de trabajos se le llama "Soldadura en campo". Este tipo de trabajos son frecuentes para mantenimiento o cuando únicamente es posible unir las piezas por sus dimensiones u otras cuestiones en el lugar preciso donde se ubicarán finalmente. La figura VIII.19 muestra la forma de simbolizar este tipo de trabajos.

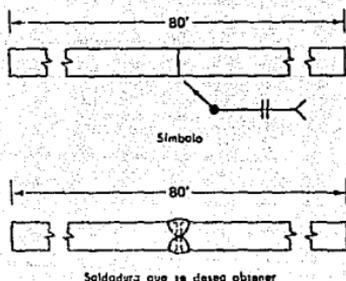


FIG. VIII.19 El punto negro significa que el trabajo se realizará en campo.

Fusión atravesante: cuando se desea o es permisible que haya más de 100% de penetración se utiliza un semicírculo negro (fig. VIII.20).

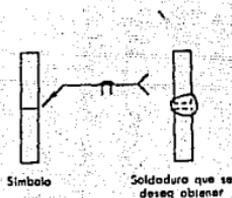


FIG. VIII.20

Símbolo de contorno: Las normas de diseño pueden exigir que una soldadura quede al ras con la superficie del metal común o que un perfil de soldadura tenga una corona alta. En las figuras VIII.21 se ilustran dichas situaciones.



FIG. VIII.21 La letra "M" significa maquinado.

Especificaciones, procesos u otra información que sea necesaria señalar se describen en la parte posterior de la flecha o cola (fig. VIII.22).

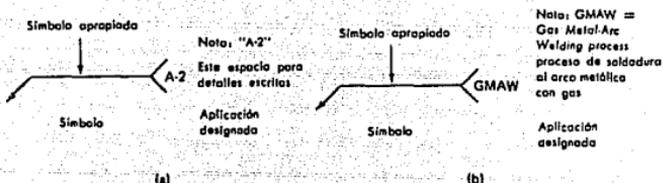
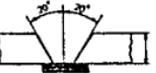
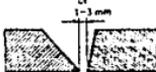
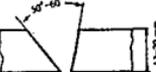
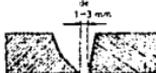
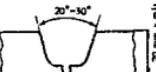
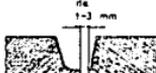
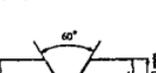


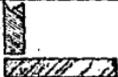
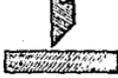
FIG. VIII.22 A) Indica que se debe hacer referencia a la nota A-2; B) Indica un proceso específico.

A continuación se presentan tres tablas donde se muestran las principales preparaciones, tipos de juntas y símbolos que tienen mayor uso dentro de los procedimientos de la Soldadura.

## TIPOS DE JUNTAS EN SOLDADURA [TUBERIAS]

DENOMINACION	TIPOS DE UNIONES	
Costura de lazo puntiforme con superposición	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 5-8 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>20^\circ</math> <math>20^\circ</math></p>
Costura en "V"	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>60^\circ</math> 18 mm</p>
	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>30^\circ-60^\circ</math> 13-20 mm</p>
Costura de lazo quebrado	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>10^\circ-20^\circ</math> <math>35^\circ-60^\circ</math> 20 mm</p>
	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>40^\circ-60^\circ</math> <math>0^\circ-10^\circ</math> 20 mm</p>
Costura en "U"	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-4 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>20^\circ-30^\circ</math> 20 mm y más</p>
Costura en "J"	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 1-3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>30^\circ-60^\circ</math> 20 mm y más</p>
Costura en "V" con lazo	 <p style="text-align: center;"><math>d_e</math> 3 mm</p>	 <p style="text-align: center;"><math>60^\circ</math> 13-20 mm</p>

## TIPOS DE JUNTAS EN SOLDADURA (ANGULO)

DENOMINACION	SIMBOLO	TIPOS DE ANCHOS	JUNTA DE BISEL
Costura en ángulo			 El fondo
Costura doble en ángulo			En la operación de soldadura el electrodo debe manipularse perfectamente en el ángulo de la soldadura con una inclinación en el sentido de avance de 10-15°.
Costura "W" en ángulo	—		
Costura en "K" con cordón doble	—		
Costura en ángulo con soporte	—		
Costura en "J" en ángulo	—		
Costura en doble "J" en ángulo	—		
Costura en espejo			

## TIPOS DE JUNTAS EN SOLDADURA [PLACAS]

DEMONSTRACION	SIMBOLO	TIPOS DE UNIONES	
Costura en rebordo			Tipo de uniones de uso en construcciones de edificios etc.
Costura en "I"			
Costura en "V"			
Costura en "Y"			
Costura con soporte			
Costura en "X"			
Costura en doble "I"			
① Costura en doble "U" ② Costura en "U"			
Costura en "IV"			
Costura en "IV"			
Costura en "K"			
Costura en "K" a tope			
Costura en "J"			
Costura en doble "J"			

## IX CONTROL DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS REALIZADOS CON SOLDADURA

Una unión realizada por la soldadura, ya sea en sus tres modalidades automática, semiautomática o manual, siempre esta sujeta a factores que podrían en un momento dado modificar las características que se esperan, porque en realidad el trabajo de la soldadura es una artesanía metalúrgica especializada que implica una serie de cuestiones que en ocasiones resultan fuera de nuestro alcance el control de las mismas.

Teniendo un antecedente de esta índole es importante fijar rangos de aceptabilidad para cada trabajo en donde se asegure la efectividad del producto elaborado. Con este fin el proceso de soldadura se somete a un control de calidad el cual está dividido de acuerdo a variables manejables que en un momento dado pudieran ubicar algún problema o detalle que no satisfaga los niveles requeridos de los trabajos recordados. Dichas variables son las que a continuación se mencionan:

- a) Control de materiales
- b) Control de procedimientos
- c) Calificación del soldador
- d) Pruebas de inspección de la soldadura

Estas cuatro fases por las que se deben de someter todos los factores que interviene dentro de los trabajos de soldadura son los indicadores de las anomalías o de puntos en los que no se pueda llevar un riesgo. Los incisos a), b) y c) se han manejado de alguna manera u otra a lo largo de los capítulos previos al presente; por lo que únicamente me limitaré a señalar los aspectos esenciales que respectan a cada uno; mientras que el inciso d) será de especial atención puesto que representa propiamente el estado de terminación o definitivo de la soldadura, además de que en él se encuentran implícitos los incisos anteriores.

## IX.1 CONTROL DE MATERIALES

El control de materiales se refiere tanto a los metales que se van a unir como a los materiales de soldadura.

Dentro del control de las piezas de trabajo se tiene que tener especial cuidado con las especificaciones que se requieran para los distintos elementos terminados, de esta forma se debe de cumplir con resistencias mínimas a la tensión, a la flexión, etc., y una serie de pruebas que se han mencionado en el Capítulo II. Por otro lado la preparación de los bordes de unión de los mismos es otro factor que concierne a este inciso. En términos generales, se debe tener una supervisión general previa a la soldadura para que se tengan resultados esperados y especialmente óptimos.

Por lo que se refiere al control de los materiales de soldadura tales como electrodos y barras se debe tener un cuidado exagerado, sobre todo en los electrodos, los cuales son muy sensibles. En ocasiones los almacenes de estos materiales cuentan con sistemas de aire acondicionado para evitar cualquier acción de intemperización. En cuanto a la resistencia y efectividad de trabajo para cada tipo de soldadura se demostrarán cuando se realicen las pruebas de inspección.

## IX.2 CONTROL DE PROCEDIMIENTOS

Con el fin de establecer el procedimiento adecuado, pueden efectuarse pruebas de soldadura con diferentes procedimientos para determinar cuál es el adecuado. Nuevamente tiene que ser esperado el reporte de los especímenes sometidos a las pruebas de inspección.

Dentro del control de procedimientos se cuida que cada uno de ellos se realice con el material y equipo adecuado de tal forma que no se tenga duda sobre los mismos, así se eliminan variables que en una circunstancia no deseada se supongan factores que en realidad no conciernen. Estas pruebas de control de procedimientos se llevan a cabo por soldadores calificados bajo la supervisión de un ingeniero de soldadura con el mismo fin de eliminar variables secundarias.

## IX.3 CALIFICACION DEL SOLDADOR

Las pruebas de evaluación del soldador se aplican principalmente a la soldadura manual y a los métodos en donde la

intervención del operador representa un factor importante dentro de la calidad de la soldadura, por lo que los métodos automáticos y algunos semiautomáticos no corresponden a esta sección. Estas pruebas califican al operador para soldar a cierta escala de espesores, aleaciones, dificultades en el área de trabajo, en fin se deben de tomar en cuenta todas las condiciones que puedan intervenir y que en algún momento dado signifique importancia.

Cada soldadura debe ser correcta; pero en ocasiones, cuando algo no se encuentra dentro de lo deseado, la causa más frecuente es el descuido del soldador al aplicar una técnica pobre o inadecuada.

Las inspecciones que a continuación se mencionarán son detalles y puntos que conciernen directamente a la soldadura manual y por ende a los soldadores, con lo cual se establece un plano de referencia para juzgar si un soldador es o no capaz de ejecutar correctamente este tipo de trabajos.

### IX.3.1 APARIENCIA

En general lo que respecta a este problema es sin duda a una pobre ejecución. Las causas que provocan este tipo de problemas son: Limpieza deficiente en el depósito o lugar donde se aplica la soldadura de unión o de recubrimiento; eliminación de escoria, fundente y manchas de la soldadura; mala preparación de la pieza; mala técnica aplicada; falla de la corriente eléctrica; uso impropio de electrodo con mala posición o mala polaridad. Para eliminar este aspecto es importante tener cuidado en la preparación de las piezas de trabajo, movimiento y selección del electrodo adecuado y corriente correcta.

### IX.3.2 GRIETAS INTERNAS (QUEJURAS)

Estas inconveniencias son defectos de estructura pudiendo ser el principio de una fractura por fatiga. En la mayoría de los casos se debe al uso de una alta frecuencia de la corriente para soldar, diámetro grande del electrodo o mal manejo del mismo (fig. IX.1). Para eliminar este tipo de fallas es necesario cuidar los puntos anteriormente señalados, y además, en ocasiones cuando se hace un charco demasiado grande provoca este tipo de situaciones; también es de preocuparse en cuanto al movimiento de la oscilación el cual debe ser uniforme y moderado. Es sabido que en soldaduras verticales se presenta este fenómeno por mantener el electrodo demasiado tiempo cerca de la pieza de trabajo lo que produce un charco considerable.



FIG. IX.1 Grietas internas en un bulbo.

### IX.3.3 PENETRACION INCOMPLETA Y FUSION POBRE

La penetración incompleta generalmente se presenta junto con una deficiencia de fusión, las cuales acarrearán problemas serios como reducción en la tenacidad y resistencia de la soldadura, y agrietamientos. Generalmente son propiciadas por un exceso en la velocidad de trabajo, mala preparación de las piezas, insuficiente frecuencia de corriente eléctrica y/o el uso de un electrodo demasiado grueso. Teniendo cuidado con los puntos señalados no deben de presentarse estos problemas.



La raíz no está penetrada completamente



Raíz completamente penetrada

FIG. IX.2,3 Fusión pobre y penetración incompleta

### IX.3.4. DISTORSION (ALABEO)

El problema más grave que se presenta al soldar, especialmente en trabajos de precisión, es el alabeo o distorsión de la pieza de trabajo (fig IX.4), por cuyo motivo requiere una gran labor para devolver a la pieza su configuración original. Tal problema puede ser evitado si se realiza un estudio acerca de la estructura y las probabilidades de desarrollo del trabajo, formulando un programa y su

secuencia. Este tipo de programas o formas de atacar el problema pueden resultar en un verdadero plan de trabajo en donde la experiencia y el criterio representan la parte integral del mismo.

Por lo general este problema se presenta cuando se procede a una mala secuencia de soldar, que implica insuficiencias o malos controles de la temperatura de la soldadura, cambios múltiples en la posición de las piezas de trabajo y/o descuidos en la distribución de la soldadura, exponiendo las partes propensas de las piezas a las contracciones.

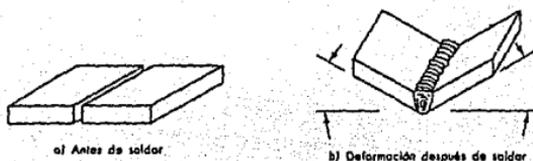


FIG. IX.4 Alabeo en una junta a tope.

### IX.3.5 TORCEDURAS

Las piezas grandes tienden a deformarse y alabearse, en tanto que los laminados fácilmente se tuercen durante la operación de la soldadura; este defecto no debilita al trabajo pero sí le da una pésima presentación. En ocasiones el trabajo se enmienda mediante la aplicación de calor, con lo cual la pieza queda enderezada. En general esta situación se hace presente cuando suceden descuidos como una mala preparación de la junta, aplicación equivocada del procedimiento de soldadura, errores en la fijación de la pieza, exceso de calor en el área de la soldadura, contracciones del metal fundido depositados con la soldadura. Para evitar que se presenten torceduras en los trabajos de soldadura se recomienda el procedimiento de soldadura de saltos, es decir en tramos separados unos de otros. En el caso de láminas delgadas se aconseja soldarse tan rápido como sea posible, por lo que también puede evitarse la utilización de electrodos de alta velocidad.

### IX.3.6 AGRIETAMIENTO

En la mayoría de los casos las grietas son indicación de falla en la soldadura (fig. IX.5), o cuando menos el principio de una falla que debe corregirse.

Existen varias clases de grietas, unas de mayor importancia que otras; pero de todos modos deben de considerarse como puntos débiles en el material. Las más frecuentes son las de cráter, las de fondo y las longitudinales llamadas de orilla de rillo, y microscópicas. Todas ellas se presentan en diferentes partes de la pieza y son ocasionadas por diversas causas, como las siguientes: El metal de trabajo no tiene las características de soldabilidad necesarias, mala preparación de la junta, aplicación imperfecta de la soldadura, la soldadura en la unión resultó demasiado rígida, la soldadura no fue lo suficientemente grande en relación a los metales unidos.

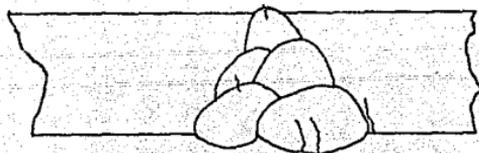


FIG. IX.5 Agrietamiento.

### IX.3.7 POROSIDAD

La porosidad no representa un problema de resistencia, a menos que sea extremadamente notoria. Cuando se presenta en tamaños microscópicos, en algunos casos es benéfica; pero cuando son mayores resultan indeseables, ya que constituyen puntos de fatiga y de agrietamientos (fig. IX.6). El defecto en cuestión se debe a soplos de aire, bolsas gaseosas o a inclusiones de escoria, todo esto con tendencia a debilitar el material y a la soldadura. Las causas principales son las siguientes: pobreza y mala calidad del material de

trabajo, el uso de un sistema impropio de soldadura y también porque la porosidad es un problema inherente al electrodo.

Para eliminar, en el mayor grado posible este problema, es importante trabajar con metales que no generen porosidades, tales como aceros de alto azufre, fósforo y silicio que en la mayoría de los casos producen combinaciones gaseosas formadoras de soplos y bolsas. Muchas veces cuando el metal contiene impurezas y segregaciones contribuyen a la porosidad. Es importante señalar que al momento de soldar, el operador deberá cerciorarse de que cada capa que deposite quede libre de escoria y además darle tiempo suficiente al metal depositado para que libere los gases. En la mayor parte de los electrodos compuestos a base de bajo hidrógeno ayudan a eliminar este problema; al igual que el uso del sistema del arco sumergido. En cuanto al fundente se recomienda que sea uno de los que eliminan a los elementos gaseosos.

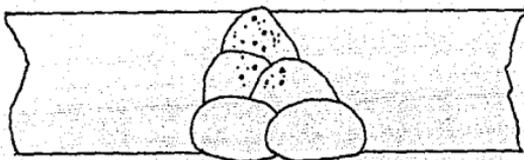


FIG. IX-6 Porosidad:

### IX.3.8 CRISTALIZACIÓN

Este es una característica muy poco deseable porque, sin aparentarlo, debilita al metal soldado y consecuentemente lo expone a fracturas al ocurrir una sobrecarga o algún golpe. Generalmente se produce una cristalización cuando se utilizó un excesivo calor durante la operación y el enfriamiento se produjo rápidamente, lo que produce estructuras de grano grueso; el uso de electrodos inadecuados también es una de las causas principales, a veces la mezcla del metal depositado con el de trabajo produce una composición cristalizante.

### IX.3.9 CORROSION

La corrosión de la soldadura depositada en el metal de trabajo al terminarse la operación resulta inconveniente a la larga puesto que produce agrietamiento. Cuando se incorporan a la soldadura materiales corrosivos, queda expuesta a la corrosión atmosférica, por cuyo motivo habrá necesidad de eximirse el uso de tales materiales.

Todo operador o soldador deberá esforzarse por realizar un trabajo de excelente calidad, ya que de su trabajo dependerá la vida tanto de objetos, equipo y maquinaria, etc., como la de muchas personas, de ahí la importancia de que se cuente con soldadores calificados.

Es importante tener presente las múltiples ventajas que existen o que se cuentan cuando se tiene conocimiento de los materiales con los que se trabajan, ya que en ocasiones se pueden obtener iguales o mejores resultados a menores costos. De acuerdo a lo anterior es recomendable elaborar un programa de trabajo o un estudio detallado de las actividades que se tienen que realizar. Finalmente cabe señalar que se debe tener cuidado de las soldaduras que por responsabilidad del operador incurran en trabajos posteriores.

### IX.4 PRUEBAS DE INSPECCIÓN DE LA SOLDADURA

En este tipo de ensayos quedan reportados todos los esfuerzos que contribuyeron a la realización de una soldadura, en ellos se demostrará si una marca comercial de electrodos o de barras, realmente proporciona el material adecuado de acuerdo a las especificaciones que mencionan, si un soldador es bueno o malo, si un procedimiento es o no el adecuado, en fin, todos los factores que influyen dentro del proceso de la soldadura. Por consiguiente resulta primordial la intervención de los laboratorios dentro de la ingeniería, ya que de ellos depende la información y las herramientas de un ingeniero para dar juicio a los trabajos que a sus órdenes se desempeñan.

En esta sección se explicarán las pruebas a las que se debe de someter la soldadura ya terminada. De la misma forma que en las pruebas de los concretos, ellas pueden ser de dos tipos: Destructivas y no destructivas.

#### IX.4.1 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Para realizar este tipo de pruebas las muestras son sometidas a diferentes condiciones, lo que implica una pérdida total de las mismas, que, obligándolas a responder dando como producto sus propiedades mecánicas. La mayoría de las pruebas de este tipo, a las que son sometidas las soldaduras, han sido mencionadas al inicio de esta investigación por lo que será breve al comentarlas.

##### IX.4.1.1 PRUEBAS DE TENSION

Para realizar esta prueba se requiere trabajar con un espécimen que cumpla con las características necesarias, de tal forma que los resultados se puedan equiparar con los trabajos definitivos. En la figura IX.7 se muestra una probeta configurada de acuerdo a las normas británicas para soldadura a tope en placa. Además de las normas británicas existen otro tipo de normas como las de la ASTM (American Society of Testing Materials) en las cuales se describen cómo se debe preparar un espécimen, la manera en que se ha de someter a las pruebas de inspección y las características mínimas que debe poseer para diferentes fines.

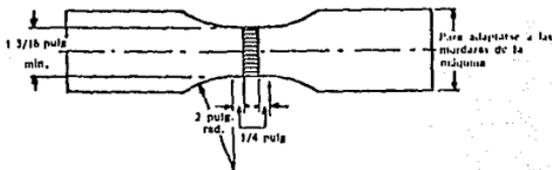


FIG. IX.7 Elemento estándar para la prueba de tensión.

La rotura tiene lugar en la parte más débil de la longitud del calibre. Las propiedades registradas son la resistencia a la tensión, límite elástico y alargamiento. En la mayoría de las pruebas los resultados son modificados por factores que

tratan de apegarse a la realidad, puesto que las piezas de prueba reciben un tratamiento mas cuidadoso que en campo.

#### IX.4.1.2 PRUEBAS DE DOBLADO

La calidad de una soldadura es comprobada con mayor frecuencia por medio de una prueba de doblado. Estas pruebas se dividen de acuerdo a la forma de proceder: doblado libre, doblado doblado guiado y doblado controlado, que se ilustran en la figura IX.8. Este tipo de pruebas se efectúan generalmente por barejas, una con la cara exterior de la soldadura en tensión y la otra con la raíz en tensión. Los resultados obtenidos de esta inspección son la fragilidad, el agrietamiento o las grandes inclusiones de escoria en la soldadura o agrietamiento en la zona afectada por el calor. No indicará normalmente el agrietamiento.

Las placas soldadas de espesores considerables son muy difíciles de doblar por lo que se recomienda realizar una prueba de plegado lateral. Se corta, por ejemplo, una rodaja de 1/8" a 1/4" de espesor en ángulo recto a la superficie de la placa y al eje de la soldadura y se dobla normalmente. Este tipo de pruebas muestran la falta de fusión lateral perfectamente, pero son algo menos sencibles los defectos de la cara y de la raíz que el tipo del pliega normal.

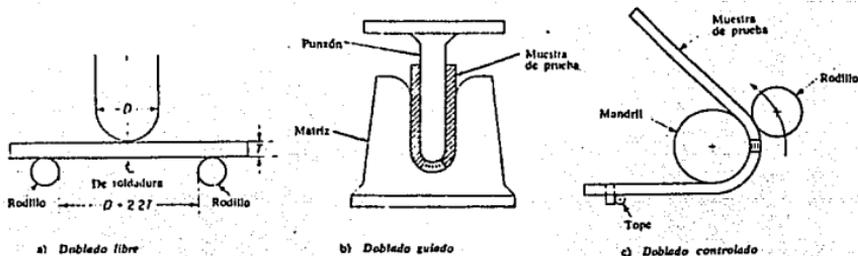


FIG. IX.8 Diferentes pruebas de doblado efectuadas para elementos soldados.

#### IX.4.1.3 PRUEBAS DE IMPACTO

Para realizar este tipo de pruebas se utiliza una máquina tipo Charpy y una muestra (fig. IX.9). Esta prueba tiene la ventaja de efectuar pruebas a temperaturas bajas enfriandola muestra solamente, puesto que en otro tipo de muestras se requiere enfriar también parte del equipo. El resultado obtenido, como se mencionó en el capítulo II, es la resistencia a esfuerzos dinámicos (impactos o choques).

En la práctica británica es cortada una entalladura en "V" de 2 mm de profundidad, mientras que las normas de los Estados Unidos requieren de una entalladura tipo "U" de 5 mm, como se muestra en la figura IX.9.



FIG. IX.9 Prueba de impacto a un elemento.  
Esfuerzos dinámicos.  
Acercamiento del elemento.

#### IX.4.1.4 PRUEBAS DE "NICK-BREAK" (ROTURA CRÍTICA)

Uno de los métodos más antiguos de prueba de una soldadura por fusión es cortar una franja de 3/4" de ancho en ángulo recto con respecto al eje de soldadura y efectuar un corte de sierra hacia abajo de la línea de centro de la soldadura a una profundidad de 1/8" a 1/4". Manteniendo la mitad de la muestra en un tornillo y dando a la otra mitad un golpe fuerte con un martillo, o doblando en una máquina, se rompe la soldadura (fig. IX.10). Esta prueba, que se requiere por diversos códigos de recipientes y calderas a presión, indica cualquier defecto de la línea de centro, tales como falta de fusión, que pudieran presentarse en la muestra.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

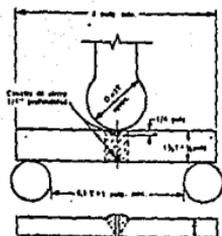


FIG. IX.10

#### IX.4.1.5 PRUEBAS DE DUREZA

La prueba de dureza de soldaduras en tubos de cromo-molibdeno se realiza a veces como método de comprobación de la efectividad del tratamiento térmico. Se utiliza un probador portátil como el martillo Poldi. Este depósito consiste en una mordaza que sostiene una bola de acero endurecida en contacto con una placa de dureza conocida. El conjunto es colocado con la bola en contacto con la superficie de base plana de la soldadura y es golpeada con un martillo, con el fin de efectuar una huella tanto sobre la soldadura como la placa estándar. La comparación de las huellas establece la dureza de la soldadura. Esta prueba es similar a la mencionada en el capítulo II.

#### IX.4.2 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La amplitud e importancia de las pruebas no destructivas de soldadura aumenta día a día con la mejora y perfeccionamiento de las técnicas y con el aumento de confianza en su empleo. La radiografía sigue siendo el método más viable y seguro en los exámenes, pero la prueba ultrasónica es utilizada hasta un grado de aumento, y, en ciertos casos, es una alternativa válida para la radiografía. Las grietas de superficie se detectan por el método de partícula magnética, para aceros ferríticos, o por el método de tinte penetrante, que es aplicable a todos los metales.

##### IX.4.2.1 PRUEBAS DE RADIOGRAFIA

La prueba de radiografía se lleva a cabo colocando una película fotográfica, montada en un soporte estando a la luz o chasis lo más próximo posible a la soldadura, después se procede a disparar los rayos "X" o los rayos gamma (fig. IX.11). De esta forma se obtiene un cuadro en sombra del estado de la soldadura, con la que se pueden detectar todas las anomalías que puedan existir en ella.

Con el fin de lograr una imagen más nítida y menos distorsión, la fuente de radiación debe de ser lo más pequeña posible y estar lo más aislada posible, y la película con la que se trabaje que sea del tipo de grano fino. Las normas para técnicas radiográficas estipulan valores mínimos para la distancia entre la fuente de radiación y la película para diferentes espesores de aceros o metales. También establecen los límites de espesores de los materiales con los que se puede utilizar un cierto tipo de película.

El contraste entre dos zonas de espesor diferente o densidad sobre la imagen radiográfica es mayor a medida que la energía de la radiación se reduce, por lo que para lograr un alto contraste, que hace que los defectos resalten, se debe de utilizar un mínimo de energía de radiación compatible con los tiempos de exposición. En la radiografía de rayos "X" la fuente de radiación es el ánodo de una válvula de descarga de electrones de alto voltaje, la energía media del haz aumenta con el voltaje a través de la válvula. De ahí el máximo contraste obtenido con un voltaje mínimo de válvula, por lo que existen especificaciones que indican el voltaje máximo para diferentes espesores de materiales.

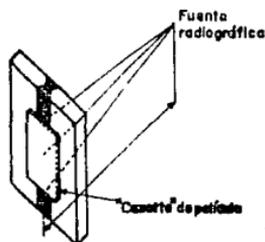


FIG. 17.11 Principio de examen radiográfico.

Las fuentes de rayos gamma consisten en un pequeño cilindro de material radioactivo, por lo que la energía media de radiación emitida es característica del mismo material. La mayoría de las fuentes de rayos gamma poseen energías de voltajes más bajos que las de los rayos "X", consecuentemente producen películas que tienen contrastes generalmente más bajos por lo que se dificulta su interpretación, teniendo un carácter secundario en relación a las pruebas con rayos "X". La ventaja del uso de estas fuentes es su

portabilidad, que en ocasiones represente un factor importante dentro de las consideraciones de selección.

La radiografía se utiliza principalmente como método de examen en las juntas a tope. Las soldaduras en ángulo pueden ser radiografiadas naturalmente, pero los resultados son, con frecuencia, difíciles de interpretar, por lo que su uso para este tipo de juntas se reduce a circunstancias especiales.

Existen relativamente pocas normas para la evaluación de los defectos hallados a través de la radiografía. La norma más utilizada es la del código ASME, que declara como inaceptable lo siguiente:

1. Cualquier tipo de grieta o zona de fusión o penetración incompleta.
2. Cualquier inclusión de escoria alargada que tenga una longitud mayor que
  - 1/4" para T hasta 3/4"
  - 1/4" para T desde 3/4 hasta 2-1/2"
  - 3/4" para T superior a 2-1/4"

donde T es el espesor de la placa más fina a soldar.

3. Cualquier grupo de inclusiones de escoria en línea que tengan una longitud adicional superior a T en una longitud de  $12T$ , excepto en los sitios en que la distancia entre las imperfecciones sucesivas sobrepasen de  $6L$ , donde L es la longitud de la imperfección más larga del grupo.
4. La porosidad que exceda de la indicada en un juego de gráficos standard.

#### IX.4.2.2 PRUEBA ULTRASONICA

La prueba ultrasónica de soldaduras en acero de aleación baja y al carbono se ha desarrollado en los últimos años ampliándose su gama de aplicación año tras años. El método más común es el conocido como "técnica de onda transversal". El palpador ultrasónico consiste en un transductor (cristal que convierte las fluctuaciones de voltaje en vibración mecánica, y viceversa) montado en una zapata de plástico, de forma que transmita un haz en ángulo recto, generalmente entre 20° y 45° con relación a la superficie del metal. Al examinar la placa, el haz es luego reflejado hacia adelante por las superficies de la parte superior y del fondo sucesivamente, hasta que choque con un obstáculo, ya sea un defecto o el borde de la placa y es reflejado nuevamente. Puede utilizarse un simple palpador que

actúe tanto como transmisor como receptor; alternativamente, el transmisor y el receptor pueden estar en palpadores separados. En ambos casos el impulso de voltaje generado en el receptor es amplificado y luego alimentado a las placas de un osciloscopio de rayos catódicos. La disposición para la prueba se muestra en la figura IX.12

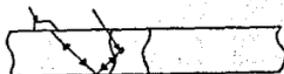


FIG. IX.12 Emisión y reflejo de las vibraciones mecánicas.

A veces el transductor está dispuesto para proyectar directamente un haz a través de la soldadura en ángulo recto a la superficie de la placa. Esta disposición no detectará defectos con una zona de reflejo en ángulo recto a la superficie del metal, tal como la grieta vertical, de modo que pueda ser complementada por inspección de onda transversal. El examen de soldadura realizado por este método tiene dos desventajas: Primeramente, el metal de soldadura de grano grueso refleja el haz ultrasónico y hace insegura la detección de defectos. En segundo lugar, el tamaño y forma del defecto no se hacen directamente visibles, por lo que deben de ser comprobados por uno o otro medio, en ocasiones un juicio subjetivo del operador hace las veces de otro método de detección. Por otro lado resulta más rápido, menos costoso y más sensible a las grietas y defectos similares.

Los métodos ultrasónicos se han generalizado en la detección de defectos en soldaduras a tope en placas, pero se utiliza también para juntas en ángulo y de geometría compleja. Los defectos cerca de la raíz de soldadura en ángulo no pueden, sin embargo, localizarse con certeza debido a interferencia por reflexión de la misma raíz. El principio de examen de las soldaduras en ángulo y a tope por la técnica de onda de corte se indica en la figura IX.13.

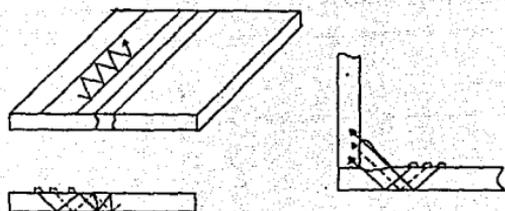


FIG. IX.13 Disposición del sistema de ultrasonido para juntas a tope y en ángulo.

#### IX.4.2.3 PRUEBAS DE DETECCIÓN DE GRIETAS

Existen dos métodos de detección de grietas: la prueba de partícula magnética y la prueba de penetración de tinte.

La prueba de partícula magnética requiere que el metal sea magnetizado eléctricamente, después la superficie es pulverizada con una suspensión de hierro fino en aceite. El polvo de hierro se adhiere preferentemente a los bordes de las grietas, y por consiguiente las señala. Este método también indicará grietas que estén precisamente por debajo de la superficie. Es obvio decir que la prueba de partícula magnética es aplicable solamente al acero, acero al carbono y aceros de aleación ferrítica.

Para realizar la prueba de penetración de tinte, primeramente se extiende un tinte sobre la superficie del metal. Después de dar suficiente tiempo para que el tinte penetre y sea absorbido por las grietas, la superficie del metal es limpiada eliminando el exceso de tinte y un revestimiento de polvo blanco (denominado revelador) es aplicado por pulverización. El tinte que es atrapado en discontinuidades es extraído por el revestimiento de polvo, que hace resaltar a las grietas claramente. Esta prueba se utiliza por lo general en soldaduras y materiales no ferrosos. Una alternativa a la prueba de penetración de tinte, que raramente es utilizada, es el proceso de penetración de tinte fluorescente, la cual se lleva a cabo empañando, como en la prueba anterior, al material a inspección; después se elimina el exceso y finalmente el líquido es iluminado por una luz ultravioleta mostrando las grietas en la soldadura.

Para una sensibilidad mayor con respecto a la detección de grietas se recomienda que la superficie deba ser

esmerilada suavemente, y, en el caso de pruebas de partículas magnéticas, pintada de blanco. Las condiciones prácticas generalmente no llegan a alcanzar este ideal, y las soldaduras pueden examinarse en el estado de base áspera.

## X RIESGOS Y PRECAUCIONES EN EL MANEJO DE LA SOLDADURA

En este capítulo se mencionará la importancia en el cuidado que se debe tener en el manejo de los diferentes materiales, equipos y procedimientos de la soldadura.

Anteriormente, a principios de siglo, las prácticas de seguridad eran poco usuales y los daños causados por las diferentes actividades formaban parte integral de un modo de vida aceptado. Posteriormente, con la formación de sindicatos y movimientos obreros, se lograron avances dentro de la protección de los mismos, quienes comenzaron a exigir derechos tanto para ellos como a sus familias dependientes.

Una vez que los obreros lograron sus metas en cuanto indemnizaciones y pagos por derechos laborales, los patrones iniciaron una serie de programas de adiestramiento con los cuales se pretendió y hasta la fecha se pretende que los trabajadores tengan el conocimiento total de los trabajos que desempeñan, dichos programas sirvieron y sirven de protección para los patrones, ya que al someter a los trabajadores a un adiestramiento y al pago de los diferentes impuestos, ellos no se responsabilizan por ningún daño tanto físico como mental. Por lo que, esta serie de programas, resultó un beneficio redondo para los trabajadores y patrones.

Los diferentes accidentes que se presentan en las distintas actividades de tipo industrial se pueden catalogar en tres grupos de acuerdo a su origen:

- Factores mecánicos.
- Errores humanos.
- Combinación de las dos anteriores.

De acuerdo a estadísticas obtenidas por el Comité de Seguridad Nacional de los Estados Unidos indican que la mayoría de los accidentes son provocados por la negligencia en el cumplimiento de las normas establecidas para un trabajo seguro.

Un soldador, aunque en si la soldadura no es riesgoza, al momento de desempeñar sus labores, se enfrenta a un sin número de pequeños detalles que potencialmente a la larga pueden repercutir en daños físicos.

## X.1 GASES Y POLVO

En varias de las operaciones de soldadura, la presencia de gases, humos y polvos es frecuente debido a la gran cantidad de fundentes que originan vapores, metales que generan gases, y polvo producido por escoria. Este tipo de compuestos pueden dañar a los órganos de los sentidos y vías respiratorias si se prolonga por demasiado tiempo la operación de la soldadura. Por lo que se recomienda realizar este tipo de operaciones donde exista una fuerte ventilación, o en su defecto, el uso de mascarillas para respiración. En cuanto a los ojos, el uso de lentes oscuros especiales no debe, en ningún momento, suprimirse.

## X.2 CHÓQUE ELECTRICO

Como se ha descrito en capítulos anteriores, el uso de la corriente eléctrica es vital para el uso de varios procedimientos de soldadura. Una descarga eléctrica puede ser inofensiva o mortal, por lo que el uso de equipo de aislantes como guantes es primordial, además de que protegen contra las quemaduras de los chisporroteos al momento de soldar.

## X.3 RADIACIONES

En los procesos de soldadura se producen radiaciones cuando un arco alcanza una temperatura de 6 000 °C. Esta temperatura origina radiaciones de rayos infrarrojos y ultravioleta. En el proceso de arco metálico estos rayos son absorbidos parcialmente por una nube de vapor y humo que se produce por la ignición del recubrimiento que protege los electrodos comunes.

También se generan radiaciones al efectuar las pruebas de radiografías en para el control de calidad, por lo que es muy importante mantenerse fuera del campo de acción cuando se realizan estas pruebas.

## X.4 GOLPES Y RASPADNES

En general, las piezas de trabajo son de dimensiones considerables, suficientes como para golpear fuertemente a un soldador.

Es esencial que el soldador se encuentre siempre alerta para no ser empujados o golpeados por las secciones. El uso de casco, guantes y zapatos de seguridad son indispensables para trabajar, la soldadura, en cualquier lugar.

#### X.5 RUIDO

Cuando los materiales se golpean entre sí, vibran haciendo que se libere energía, la cual produce un ruido, que cuando rebasa los niveles de 90 decibeles puede causar daños al sentido auditivo. La protección auditiva se realiza utilizando materiales aislantes que evitan o reducen la penetración del sonido y protegen al oído.

No deben escatimarse esfuerzos para reducir el índice de accidentes. Los accidentes son costosos en términos de recursos humanos y materiales. Es muy lamentable ver a un trabajador lesionado o incapacitado debido a accidentes de trabajo, por lo que un ingeniero debe asegurarse que todos los trabajadores sin excepción alguna utilicen el equipo de seguridad reglamentario protegiendo pulmones, manos, ojos, oídos, cuerpo, pies y cabeza.

## CONCLUSIONES

Generalmente, al término de una investigación se llegan a resultados concretos y limitados. Personalmente este no es mi finalidad, ya que dentro de la área de la construcción, no se puede realizar aseveraciones generalizadas, puesto que cada caso se debe de abordar por separado; por lo que mi propósito es crear un criterio al lector y un plano de referencia para elaborar juicios a-priori, que resultan de gran ayuda práctica, acerca de los distintos trabajos que se pueden llevar a cabo en esta área de la ingeniería civil.

## BIBLIOGRAFIA

1. "SOLDADURA PROCEDIMIENTOS Y APLICACIONES"

L. Carl Love  
Ed. Diana, 1a. edición 1981  
México

2. "SOLDADURA Y METALURGIA"

Guillermo Fernández Flores  
Ed. C.E.C.S.A., 3a. edición 1991  
México

3. "SOLDADURA ELECTRICA MANUAL"

Massimo Vladimiro Piredda C.  
Ed. Linusa, 1a. edicio 1991  
México

4. "CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA Y ACERO"

Rafael Aburto Valdés  
Facultad de Ingeniería UNAM, 1982  
México