

122  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**DETERMINACION DE LOS PARAMETROS  
OPTIMOS DE SOLDADURA EN ACERO DE BAJO  
CARBONO MEDIANTE EL USO DE ROBOT.**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
( AREA MECANICA )**

**P R E S E N T A D A P O R  
BERNARDO MOLINA HERNANDEZ  
CELIO BECERRA CONTRERAS**



CIUDAD UNIVERSITARIA

FEBRERO DE 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**DEDICATORIA:**

**A MIS PADRES JOSÉ Y TERESA  
QUIENES ME DIERON EL SER, EL  
CARIÑO Y LA FORMACIÓN.**

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR SU INVALUABLE AMISTAD:  
ESCALONA ORTIZ FERNANDO,  
RODRÍGUEZ OLIVERA JORGE,  
SALGADO HÉCTOR.**

**UN RECONOCIMIENTO ESPECIAL A:  
M.I. JAVIER CERVANTES CABELLO,  
POR SU APOYO Y TIEMPO PARA LA  
REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.**

**MOLINA HERNÁNDEZ BERNARDO.**

**DEDICATORIA:**

**A DIOS:  
POR PERMITIRME LOGRAR  
UNA META MAS EN MI VIDA.**

**A MIS PADRES:  
ANTONIO E IMELDA  
QUIENES CON SUS CONSEJOS  
ME AYUDARON A SALIR ADELANTE.**

**A MIS HERMANOS:  
FRANCISCO,  
ESTHER,  
ARTEMIO,  
DOLORIS,  
ESTELA,  
ADALBERTO,  
HUMBERTO,  
ELVA,  
EFRAIN,  
LETICIA,  
LORENA,  
ANGÉLICA,  
POR SU APOYO EN TODOS  
LOS MOMENTOS DE MI VIDA.**

**A MI QUERIDA ESPOSA:  
GLORIA POR SU AMOR, CARÍÑO  
Y COMPRESIÓN QUE ME BRINDA  
EN TODO MOMENTO.**

**A MIS HIJOS:  
LUIS ÁNGEL Y CHRISTOPHER DAVID  
QUIENES ME DAN MUCHOS MOMENTOS  
DE ALEGRIA.**

**A MIS COMPAÑEROS:  
FERNANDO ESCALONA ORTIZ,  
JORGE RODRÍGUEZ OLIVERA,  
HÉCTOR SALGADO,  
BERNARDO MOLINA HERNÁNDEZ,  
Y QUIENES CON SU AYUDA HICIERON  
POSIBLE ESTA TESIS.**

**A LOS PROFESORES:  
M. I. ARMANDO ORTIZ PRADO,  
ING. UBALDO MARQUEZ,  
ING. ADOLFO ALTAMIRANO,  
ING. MAGDALENA TRUJILLO,  
ING. MANUEL CORREA.**

**UN AGRADECIMIENTO MUY ESPECIAL  
AL DIRECTOR DE ESTA TESIS  
M. I. JAVIER CERVANTES CABELLO.**

**CELIO BECERRA CONTRERAS.**

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE  
SOLDADURA EN ACERO DE BAJO CARBONO MEDIANTE  
EL USO DE ROBOT.**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M. EN L. JAVIER CERVANTES CABELLO**

## ÍNDICE.

<b>OBJETIVO</b> .....	<b>I</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>II</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>CAPÍTULO I.</b>	
<b>INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA DE ARCO CON ROBOT</b> .....	<b>1</b>
<b>SELECCIÓN DE UN ROBOT PARA SOLDADURA POR ARCO (MIG)</b> .....	<b>1</b>
<b>APLICACIONES TECNOLÓGICAS E INSTALACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>CONTROLADOR DEL ROBOT</b> .....	<b>3</b>
<b>SISTEMA DE SOLDADURA DEL ROBOT</b> .....	<b>3</b>
<b>POSICIONADORES DE SOLDADURA</b> .....	<b>4</b>
<b>EQUIPO DE SUJECIÓN DE TRABAJO</b> .....	<b>5</b>
<b>PREPARACION DE LOS BORDES</b> .....	<b>5</b>
<b>ACCESIBILIDAD PARA LA OPERACION</b> .....	<b>6</b>
<b>DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL SISTEMA SOLDADURA CON ROBOT</b> .....	<b>6</b>
<b>ELEMENTOS OPCIONALES</b> .....	<b>6</b>
<b>TEJIDO DE SOLDADURA DEL ROBOT</b> .....	<b>7</b>
<b>EJECUCION DEL TRABAJO DE SOLDADURA</b> .....	<b>7</b>
<b>SOLDADURA POR ARCO DE METAL CON GAS</b> .....	<b>7</b>
<b>PRINCIPIOS DE OPERACION</b> .....	<b>7</b>
<b>VENTAJAS Y USOS PRINCIPALES</b> .....	<b>8</b>
<b>METALES SOLDABLES Y RANGO DE ESPESORES</b> .....	<b>9</b>
<b>DISEÑO DE LA JUNTA DE UNION</b> .....	<b>9</b>
<b>CORRIENTE DE SOLDADURA</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II.</b>	
<b>METALURGIA DE LA SOLDADURA</b> .....	<b>10</b>
<b>LÍMITE DE GRANO</b> .....	<b>11</b>
<b>MICROSTRUCTURA</b> .....	<b>11</b>
<b>DIAGRAMAS DE FASE</b> .....	<b>11</b>
<b>MICROSTRUCTURA EN LA SOLDADURA</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPACIDAD DE ENDURECIMIENTO</b> .....	<b>14</b>
<b>CAI OR Y SOLDADURA</b> .....	<b>14</b>
<b>EFFECTOS DEL CAI OR</b> .....	<b>15</b>
<b>SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO</b> .....	<b>16</b>
<b>MICROSTRUCTURA EN DIFERENTES PARTES DE UNA SOLDADURA</b> .....	<b>18</b>
<b>SEGREGACIÓN</b> .....	<b>19</b>
<b>EVALUACION Y CONTROL EN LA SOLDADURA PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b> .....	<b>20</b>
<b>PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS, INSPECCION VISUAL</b> .....	<b>21</b>
<b>EXAMEN CON LIQUIDOS PENETRANTES Y FLUORESCENTES</b> .....	<b>23</b>
<b>EXAMEN CON PARTICULAS MAGNETICAS</b> .....	<b>23</b>
<b>EXAMEN RADIOGRAFICO</b> .....	<b>24</b>

EXAMEN ULTRASÓNICO .....	25
ACCIONES CORRECTIVAS PARA DEFECTOS DE SOLDADURA .....	26
SÍMBOLOS DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS .....	27
<b>CAPÍTULO III.</b>	
CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LOS ROBOTS .....	28
DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE ROBOTS .....	29
SISTEMAS DE MANEJO .....	31
SISTEMAS DE CONTROL .....	33
MEMORIA DEL ROBOT .....	34
SELECCIÓN DE UN ROBOT .....	34
CONTROLADORES ROBOTICOS .....	36
FORMA DE ENSEÑAR AL ROBOT .....	36
SENSORES DE COSTURA .....	38
SENSORES DE CONTACTO .....	40
SENSORES DE NO CONTACTO .....	41
RASTREO DE COSTURA A TRAVÉS DEL ARCO .....	42
<b>CAPÍTULO IV.</b>	
MATERIAL UTILIZADO EN LAS PRUEBAS .....	44
EQUIPO EMPLEADO EN LA PREPARACIÓN DE LAS PRUEBAS .....	45
PREPARACIÓN DE LAS PRUEBAS A SER SOLDADAS .....	46
PRODUCCIÓN DE LAS PRUEBAS .....	48
REALIZACIÓN DE PRUEBAS .....	49
PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS .....	49
PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS POR INSPECCIÓN VISUAL .....	49
INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS .....	50
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	50
PRUEBAS DE TRACCIÓN .....	57
<b>CAPÍTULO V.</b>	
OBTENCIÓN DE LAS PRUEBAS PARA SOLDADURA .....	64
ANÁLISIS VISUAL POSTERIOR A LA SOLDADURA .....	64
ANÁLISIS DE LA PRUEBA CON PARTICULAS MAGNÉTICAS .....	65
ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA .....	65
ANÁLISIS DE RESULTADOS POR MICROSCOPIA VICKERS .....	67
ANÁLISIS DE LA RUPTURA DESPUÉS DEL ENSAYO DE TENSIÓN .....	67
<b>CAPÍTULO VI.</b>	
CONCLUSIONES .....	68
BIBLIOGRAFÍA .....	70



**OBJETIVO.**

**OBJETIVO.**

**EVALUAR Y ESPECIFICAR LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN  
EN EL PROCESO DE SOLDADURA MEDIANTE EL EMPLEO DE UN  
ROBOT.**

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

La soldadura es uno de los procesos más antiguos de unión permanente entre uno o más metales. Sus orígenes se remontan a la época de los griegos y egipcios, los cuales calentaban piezas en un horno y valiéndose del martillo golpeaban los metales hasta convertirlos en una sola unidad.

La soldadura tal y como la conocemos ahora, comenzó a desarrollarse en el siglo XIX. Iniciándose con la soldadura de arco y la utilización de un electrodo de carbon, años más tarde la soldadura se vio mejorada con la utilización de un electrodo metálico.

Posteriormente se realizaron mejoras en los electrodos dado que estos se fabricaron con revestimientos de arcilla o cal. Esto porque los soldadores se daban cuenta de que con los electrodos metálicos desnudos, se presentaba con mayor frecuencia fracturas en la unión y el arco era inestable. Por estos mismos años también se inicia el desarrollo de la soldadura por resistencia.

La segunda guerra mundial trajo como consecuencia una forzada demanda en los procesos de soldadura, después de la cual en 1919 se fundó la "American welding society" dedicada a los desarrollos de soldadura y los procesos afines.

Durante los años veinte, se desarrollan varios tipos de electrodos recubiertos, al mismo tiempo que se comienzan a redactar códigos de soldadura que exigen materiales de aporte de mayor calidad a causa del interés que se tenía por proteger el arco que se produce y el área que se va a soldar. A su vez se comenzaron a solicitar varias patentes. Una de ellas fue la de el proceso de soldadura de arco de tungsteno con gas, esta fue la precursora del proceso de soldadura (MIG) de metal con gas y llegó a ser el apoyo principal de la industria, aun cuando esta se aplicaba manualmente.

El proceso que se volvió más popular fue el de soldadura por arco sumergido diseñado para hacer costuras longitudinales en los tubos y utilizado en gran medida en los astilleros y en las fábricas de artillería, antes de la segunda guerra mundial. La necesidad de soldar magnesio, acero inoxidable y aluminio, para construir aviones, fue posible con la protección del gas inerte. El mismo proceso fue mejorado reemplazando el electrodo de tungsteno por un electrodo de alambre de diámetro muy pequeño alimentado continuamente y con fuentes de energía que proporcionaban voltajes constantes.

Entonces se inicia el uso de soldadura con electrodos consumibles de CO<sub>2</sub>. Este proceso hace que se desarrollen equipos de soldadura por arco de metal con gas merita, que puede usarse de forma económica, lo que condujo a la utilización de alambres de diámetro pequeño o micro-alambres; otra variante fue el uso de gas inerte con pequeñas cantidades de oxígeno que proporciona un arco de tipo de rocío, que se usó en ese momento para soldar equipo agrícola.

En un proceso denominado protección doble se utilizó gas externo como protección y gas producido por el fundente que se encontraba alojado en el núcleo del alambre para protección del arco, y así se obtenían mejores acabados. Posteriormente el gas externo fue suprimido, y aunque los depósitos de soldadura tenían menor calidad, este proceso obtuvo popularidad ya que se utilizaba en muchos casos donde no se requiere de precisión.

En los años cincuenta aparece su aparición el proceso de soldadura por electroescoria, el cual se usó para unir piezas pesadas de acero y para construir máquinas y

herramientas de gran tamaño. En América este proceso se llama de electro-moldeo, donde fue utilizado para la fabricación de monobloques soldados de motores diesel.

Uno de los procesos menos utilizados es el de soldadura por fricción, en este se emplean velocidades muy altas de rotación y presión, para proporcionar calor por fricción, en procesos especializados, tiene uso solo cuando se van a soldar grandes volúmenes de piezas similares, esto debido al gasto que se tiene por la inversión en los equipos y herramientas, otro nombre que se le da a este proceso es el de soldadura por inercia.

El más novedoso sistema de soldadura es el rayo láser, el cual por su gran concentración de energía en un espacio muy reducido, resulta ser una poderosa fuente de calor que se ha usado para soldar y cortar metales; aunque hoy en día no es muy popular y esto es porque la maquinaria que se necesita para este proceso es voluminosa y extremadamente costosa. Pero poco a poco se aplica más en operaciones que son rutinarias y constantes, esto hace que las calidades en la soldadura sean altas y los costos monetarios se reduzcan considerablemente.

Se ha tratado de automatizar lo más posible cualquier proceso de soldadura, siempre y cuando este lo amerite, dado que hay una creciente demanda de piezas y productos similares, la industria se ha visto en la necesidad de producir más con una buena calidad y bajos costos, lo que conduce a una más frecuente utilización de procesos automatizados, con la ayuda de robots y máquinas de CNC, que son utilizados en dichas tareas de soldadura debido a la calidad y rapidez de producción, dado que hay ciclos de repetibilidad que realizan las máquinas al ser estas programables. A demás de que este tipo de máquinas puede cumplir con un mayor número de horas de trabajo sin pérdida de tiempo ni paradas continuas, dado que la materia prima puede ser alimentada automáticamente. Así mismo los robots y la maquinaria, en general, puede trabajar en ambientes nocivos para la salud de los obreros.

## **INTRODUCCIÓN.**

Desde la antigüedad el hombre ha tratado de imitar a la naturaleza, el avión surgió de copiar la forma de volar de las aves, la robótica a demás de reproducir los movimientos del brazo del ser humano procura seguir el razonamiento que realiza el hombre al ejecutar una actividad esto con ayuda de una gran cantidad de dispositivos electrónicos y de sensibilización como son los sensores sin embargo esto último no ha sido del todo posible.

Los robots son utilizados para ayudar al hombre a realizar sus trabajos en forma más cómoda y segura. Hoy en la tecnología de la robótica esta presente en áreas tan diversas que van desde la repostería hasta la industria metalmeccánica, sin embargo, a los robots hay que considerarlos como una herramienta ya que estos no realizan las actividades por si solos, es decir, que el hombre es quien los programa y decide la secuencia de pasos que deben realizar para ejecutar una gran diversidad de tareas.

Entre la gran diversidad de tareas que puede realizar el robot se encuentra la soldadura de arco de metal con gas (MIG); el robot simula la manera de manipular un soplete de soldadura de un operario, con todo esto, el programador es quien piensa y no el robot, quien sólo ejecuta el programa de soldadura que ha sido grabado en su memoria por el operador.

El programa de soldadura esta basado en un razonamiento hecho por el hombre quien, según el material a soldar y las condiciones a las que se someterá en servicio, graba en la memoria del controlador los parámetros óptimos para conseguir una adecuada soldadura.

## PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad existen manuales de soldadura donde se pueden encontrar los parámetros adecuados para soldar una infinidad de materiales. Aun con todo esto no se cuenta con guías específicas para un proceso automatizado, como lo es la soldadura de arco de metal con gas aplicada con robot. Esta es la razón de la presente investigación que consiste en determinar los parámetros óptimos que permitan realizar una buena soldadura sobre un acero de bajo carbono.

El acero de bajo carbono por su contenido del mismo, es clasificado por fácilmente soldable. En un proceso automatizado los parámetros y la trayectoria de la soldadura están totalmente controlados y no dependen de la habilidad del soldador para manipular el soplete de soldadura y compensar los parámetros para lograr una buena unión.

Los parámetros a determinar son: Corriente, Voltaje, Velocidad de desplazamiento del soplete y Flujo de gas protector. Estos parámetros influyen en la resistencia de la unión, la cual sufre una serie de transformaciones en su microestructura en el área llamada zona afectada por el calor trayendo como consecuencia una adecuada o deplorable soldadura según los parámetros utilizados.

# CAPITULO I

## **INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA DE ARCO CON ROBOT.**

Para iniciar el estudio sobre los procesos de soldadura con robot, es necesario dar una breve descripción de varios aspectos importantes que intervienen durante el proceso de soldadura. Siendo uno de estos la definición de robot, a fin de conocer los alcances que este tiene.

DEFINICION DE ROBOT según el RIA: (Robot Institute of America) Un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover material, partes, herramientas o dispositivos especiales que a través de movimientos variables programados, se utilizan para realizar una gran variedad de tareas. Para que un robot pueda cumplir satisfactoriamente con las tareas impuestas, este deberá contar con elementos que le permitan la realización de las actividades, siendo los elementos más importantes los siguientes: Un robot, que incluya el (hardware y software), el manipulador, suministro de energía, un controlador, el extremo del brazo (soplete) a demás del sistema de manejo, sensores requeridos para el cumplimiento de la tarea, y alguna interfaz de comunicación.

En la actualidad existen varios sistemas de soldadura con robot unos están en la fase de investigación como es el caso de la soldadura de rayo láser con robot, sin embargo, el área más común de aplicación de los robots industriales es la soldadura por puntos y soldadura de arco.

## **SELECCIÓN DE UN ROBOT PARA SOLDADURA POR ARCO ( MIG ).**

Los robots son solicitados para soldadura de arco por varias razones principalmente porque.

1. El robot reemplaza al operador humano en trabajos que son desagradables y arriesgados en ambientes de radiación, humo, chispas del arco de soldadura y altas temperaturas.
2. El robot sustituye a los operarios humanos para cargar y guiar la pistola de soldadura, la cual frecuentemente debe ser guiada en posiciones incómodas.
3. Para hacer el proceso más rápido, económico y con elevada calidad.
4. Los robots pueden efectuar consistentemente movimientos precisos en la soldadura.

Dentro de las posibles aplicaciones, El robot no necesita imitar los métodos de trabajo del ser humano. Por ejemplo, un hombre está restringido para manejar una pistola de soldadura MIG, la cual es bastante ligera y puede ser manejada fácilmente. Pero el operador restringe el ciclo de servicio a causa del recalentamiento de la pistola de soldar. Un robot utiliza una pistola MIG, enfriada por agua permitiendo un alto servicio en el ciclo de soldadura. Si la tarea requiere trabajos duros el robot los puede realizar más rápidamente que el operador humano, reutilizándose esto a grandes lotes de producción.

En la aplicación seleccionada se toma en cuenta las características del robot. Un robot ofrece un alto rendimiento asociado con una automatización combinada con un hábil manipulador, generalmente se asocia con una operación manual, los robot no ofrecen actitudes mentales flexibles, ellos no pueden resolver problemas, no poseen destreza para ello, aun no.

Las aplicaciones comunes son caracterizada, por un alto grado de orden, conociendo las posiciones de los componentes (a través de sensores esto se puede lograr), no tienen obstáculos, es simple, poseen repetición y producen altos volúmenes.

Una vez que la tarea ha sido especificada, es importante seleccionar el robot apropiado para que efectúe adecuadamente dicha tarea. Poniendo gran atención en las características del equipo tal como:

- Exactitud en las posiciones.
- Precisión en la repetibilidad.
- Seguridad del equipo.
- Tiempo desplazamiento en vacío.
- Carga útil.
- Velocidad de la herramienta.
- Capacidad de memoria.
- Comodidad de programación.
- Alcance del equipo de soldadura.
- Alcance del software.
- Disponibilidad de sensores.

La mayoría de los robots soldadores tienen una similitud en cuanto a la precisión y los límites de repetibilidad, pero la repetibilidad puede variar dependiendo de la configuración de las articulaciones para alcanzar los diferentes puntos del área de trabajo. Si el robot fuera a ser usado sobre el área de trabajo total para alcanzar las diferentes partes de la pieza, esta debe colocarse dentro del área de trabajo del robot; Ya que de no ser así el robot puede seguir una ruta indebida y habrá una variación en la tolerancia. Esto también depende en gran parte de la carga útil del robot.

Algunos robots de soldadura tienen límites superiores sobre la velocidad lineal en la cual el controlador puede efectuar interpolación de funciones, lo cual asegura un movimiento suave de la pistola de soldar. Si el principal requerimiento de la célula es mejorar el incremento de la productividad, el robot puede soldar bastante rápido, por consiguiente se tiene una mayor producción.

La velocidad en el soldado de interiores también afecta el tiempo del ciclo de soldado y varía de robot a robot. Un robot con baja velocidad para soldar internamente puede ser adecuado para costuras largas y soldados continuos, pero para pequeños componentes complicados con un número alto de soldados cortos o pequeñas uniones, un robot con alta velocidad es más efectivo; un pequeño robot ágil es apropiado para efectuar soldaduras que involucren numerosas esquinas. Cuando una amplia gama de lotes se automatizan, el número de programas que se pueden almacenar y la velocidad para cargar programas alternativos son de gran importancia. El tamaño de lotes pequeños y en lotes con repeticiones bajas, la comodidad de los envíos de programas es muy importante, para que el robot pueda reconfigurar nuevas tareas. La opinión del jefe de taller es importante sobre la comodidad de programar cuando se existen las diferentes alternativas del robot.

#### **APLICACIONES TECNOLÓGICAS E INSTALACIÓN.**

Cuando el uso ha sido establecido para una adecuada aplicación y se a seleccionado un robot con adecuadas características, el problema práctico de implementación a de ser considerado. La primera implementación del robot en un una compañía es crítica. En esta etapa de instalación debe ser evaluada en base a las aplicaciones y las capacidades del robot. Sobre el trayecto se puede efectuar el tiempo del ciclo. La flexibilidad del sistema, seguridad y mantenimiento.



La secuencia de cada instalación debe ser preparada en base a:

- Protección especial del robot.
- Restricciones del área de trabajo.
- Requisitos de interfaces, por ejemplo, manipuladores, conductores, computadoras.
- Sensores.
- Instrumentos.
- Seguridad del personal.
- Disposición de electricidad, aire, gas, agua.
- Equipo para soldar.
- Cambio de diseño del producto
- Manejo del material y reordenación de alimentación de partes.
- Acceso para el mantenimiento

### CONTROLADOR DEL ROBOT.

El control del robot puede fácilmente comunicarse con el control automático de la soldadura de arco para sincronizar los movimientos necesarios con la secuencia de pasos de la soldadura.

Usualmente, el manejo eléctrico es preferido en la soldadura de arco con robot la velocidad de movimiento requerido en la soldadura de arco es espacio 5 m/min. como máxima y el peso de la pistola de soldadura es pequeño. Cuando tiene pistolas de soldadura enfriadas con un sistema de agua, se debe pensar en la posibilidad de un sistema de manejo hidráulico. Excepto cuando el robot estará sometido a soldaduras en línea recta, trayectorias de costuras continuas y largas. La interpolación es requerida para simplificar el control de soldaduras no lineales. Los robots industriales pueden estar montados de diferentes maneras, en el suelo, suspendidos del techo o montados sobre las paredes en posición horizontal, o también, que es lo más común montados sobre un sistema de movimiento que corre sobre rieles para hacer que el robot tenga una amplia área de trabajo. Todos los módulos de manejo están situados en el tablero de la caja de programación (teach pendant).

Las formas de programación de un controlador de soldadura, es la regulación de los parámetros de soldadura y éstos se realizan en el escritorio de programación incluyendo:

- a) Velocidad y posición de colocación del avance del soplete.
- b) Tensión de la corriente (voltaje del arco)
- c) Intensidad de la corriente (corriente de soldadura)
- d) Velocidad de la alimentación del electrodo
- e) Amplitud de oscilación de la boquilla del soplete.
- f) Otros parámetros operativos como encender y apagar el arco.
- g) La iniciación y terminación de cada una de las fases de soldar ( con parámetros especiales tales como preflujó y postflujó del gas, protector, inicio del movimiento lento, llenado del cráter, etc.)

### SISTEMA DE SOLDADURA DEL ROBOT.

Un sistema completo de soldadura incluye el robot con controlador, una pistola de soldadura y el equipo de soldadura, uno o mas posicionadores compatibles con sus controles y un adecuado proceso de soldadura. La instalación del sistema también requiere correcta seguridad con barreras o biombos a lo largo de la zona de trabajo.

**POSICIONADORES DE SOLDADURA.**

El mayor obstáculo que se encuentra cuando se utilizan los robots industriales es la necesidad de colocar mas posiciones constantes y facilitar la unión, para esto se cuenta con un dispositivo de movimiento, el cual se denomina comunmente posicionador de soldadura, y este es un dispositivo que mantiene y mueve la pieza de trabajo hacia el sitio y ángulo deseado para la soldadura. El eje de los cordones de una soldadura compleja son en muchos ángulos y en direcciones diferentes. Por medio de un posicionador se puede mover la pieza de trabajo para poner cada soldadura en la posición mas ventajosa (posición plana). El tiempo requerido para carga y descarga del posicionador debe de considerarse en los cálculos de costos que justifiquen la adquisición de los posicionadores, para que todos los trabajos puedan soldarse en el ciclo de tiempo mas corto posible. Los robots no son perfectamente compatibles con posicionadores que usa un operario humano, porque la mayoría de los posicionadores no están diseñados para operar bajo un sistema de control por un microprocesador. Existe nuevos modelos de posicionadores de soldadura diseñados especialmente para trabajar con robot, la figura 1.1 muestra diferentes variedades de posicionadores de soldadura de arco con robot.

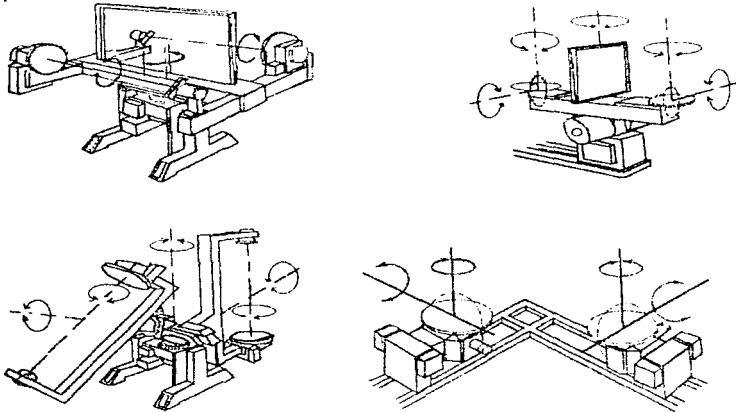


Figura 1.1 Posicionadores de soldadura.

**EQUIPO DE SUJECCIÓN DE TRABAJO.**

Un dispositivo de sujeción del trabajo de soldadura se hace a la medida de cada operación. El dispositivo de soldadura es aquel que mantiene las partes componentes de una operación de soldado en el sitio correcto para soldarlo. Se usan cuando hay suficiente volumen de producción de partes similares para justificar su costo, o cuando hay una necesidad de una exactitud muy precisa. Los sistemas robóticos requieren de una instalación para ubicar y mantener el trabajo en su sitio adecuado para la operación de soldadura.

El dispositivo debe ser lo suficientemente fuerte para sujetar las partes de trabajo de soldado en su sitio óptimo sin distorsión alguna, se deben diseñar de modo que las piezas se puedan cargar fácilmente permitiendo las tolerancias de cada pieza y permita el acceso del soplete del robot.

Los dispositivos de sujeción pueden ser prensas manuales de palanca, prensas de rosca de tornillo operadas con llaves eléctricas, u operadas con aire, deben de posicionarse de tal manera que no produzcan distorsión o flexión en las partes y deben ser lo suficientemente fuertes para soportar cargas normales, de tensión y torsión de soldadura. Las prensas se deben proteger contra las salpicaduras de soldadura.

Los dispositivos de sujeción deben de colocarse sobre el posicionador de soldadura y diseñarse para lograr la máxima productividad con el fin de que pueda disminuirse el tiempo de encendido del arco y minimizar el tiempo de carga y descarga, este tiempo debe ser menor que el tiempo empleado para soldar. El operador puede cargar y descargar otra pieza de trabajo al mismo tiempo que el robot realiza un trabajo de soldadura en otra estación.

**PREPARACIÓN DE LOS BORDES.**

En general la fabricación de las partes componentes o las características de ensamble requiere que todas las tolerancias sean iguales. Uno de los problemas técnicos más difíciles para los robots de soldadura es la presencia de variaciones en las componentes que se tienen que soldar. Estas variaciones se manifiestan en las dimensiones de las piezas en una tarea de producción por lotes. Este tipo de variaciones dimensionales indica que el camino que tiene que seguir la soldadura por arco cambiará ligeramente de pieza a pieza. La variación está en las aristas y superficies que se tienen que soldar. En lugar de ser rectas y regulares, las aristas típicamente son irregulares. Esto origina variaciones en la separación entre las piezas y otros problemas en la forma en que se hacen coincidir a estas antes del proceso de soldadura. Los soldadores humanos son capaces de compensar ambas variaciones cambiando ciertos parámetros en el proceso de soldadura (por ejemplo, ajustado el camino de soldadura, cambiando la velocidad a la cual se recorre la unión, depositando más material de aporte donde la separación es más grande). Los robots industriales no tienen las capacidades sensoriales, habilidades y toma de decisiones que los operadores humanos para efectuar estas compensaciones.

Existen dos métodos para compensar estas variaciones e irregularidades en las instalaciones de soldadura mediante robots.

1. Corregir las irregularidades de las piezas, de forma que se reduzcan estas variaciones al punto que no originen un problema en el proceso de soldadura por el robot.
2. Integrar al robot sensores para supervisar las variaciones del proceso de soldadura y lógica de control para compensar las variaciones de las piezas y las irregularidades en la separación de la soldadura.

Las correcciones de las operaciones de producción de las piezas al proceso de soldadura por arco es una alternativa porque tiende a contribuir a la calidad total del producto, y porque simplifica el trabajo del robot de soldadura. La desventaja potencial de este método es que es probable que aumente el costo de la fabricación de las componentes individuales porque sus dimensiones deben mantenerse con tolerancias más estrictas. El segundo método representa un área de investigación intensiva y de actividad de desarrollo en robótica.

#### ACCESIBILIDAD PARA LA OPERACIÓN.

Para el diseño de un producto que se manufacturara con un robot industrial, se requiere de un acceso cómodo del brazo del robot. Este es un factor que los diseñadores a veces ignoran. Con frecuencia las uniones soldadas se diseñan especificando soldaduras donde no tiene acceso el brazo del robot. Las soldaduras no se pueden hacer en el interior de un tubo de diámetro pequeño o dentro de estructuras de caja. Un factor más de la accesibilidad es la soldadura de respaldo, que se puede ejecutar en una unión particular, el término respaldo unilateral se ha popularizado mucho porque implica que la soldadura se debe de hacer completamente de un lado de la unión.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA SOLDADURA CON ROBOT.

Los elementos del sistema son los siguientes:

- El controlador del robot
- Caja de enseñanza.
- Elementos opcionales

El robot por lo general tiene seis grados de libertad, con los elementos opcionales como lo es el posicionador de soldadura este puede aumentar hasta en dos o tres grados más el sistema de soldadura con robot.

*Caja de enseñanza teach pendant:* Es portátil, esta conectada al controlador del robot, tiene teclas para enseñarle al robot los movimientos y estos a su vez programados y grabarlos. Además esta interconectada con los elementos opcionales.

#### ELEMENTOS OPCIONALES.

*Posicionador de soldadura (mesa de posiciones):* Control opcional que se encuentra en el controlador del robot, la mesa de posiciones es controlada por la misma clase de señales desde el controlador del robot. En la ejecución de un programa, el controlador del robot coordina todos los ejes, presentando lo mismo para la antorcha del robot en la localización y orientación, modificación por la alimentación adaptativa o los cambios insertados por el operador, dinámicamente, durante la ejecución.

*Controlador de soldadura:* El controlador de soldadura regula el voltaje y amperaje según lo requiera el controlador del robot, estos valores están fijos en el programa y durante su ejecución, y no son variados a menos que sean modificados los parámetros de soldadura. Para suministrar la energía se requiere un transformador eléctrico, para alimentar voltaje y corriente al arco de soldadura, otro elemento opcional es la caja de interfaces que esta enlazada al controlador, esta puede enviar y recibir impulsos eléctricos para controlar los flujos de enfriamiento por agua y de gas protector.

*El Motor de alimentación del alambre (electrodo).* Esta instalado sobre el robot, este cuenta con un tacómetro de realimentación regulado por el controlador del robot para el suministro de alambre hacia la soldadura por medio de un control de lazo cerrado. El alambre de soldadura debe ser seleccionado en base a sus propiedades y soldabilidad del material base.

#### **TEJIDO DE SOLDADURA DEL ROBOT.**

Durante la costura de soldadura se amplía el tejido y se suministran movimientos laterales de la antorcha. El tejido es controlado por un vector de tejido especial, insertando dentro del controlador al igual que la trayectoria de soldadura en los puntos deseados. En cada caso, la antorcha se mueve tejiendo de un lado a otro de la costura, como la antorcha se mueve paralelamente a la línea del centro de la costura, esta sostiene cierto sendero curvilíneo. El operador puede enseñar y almacenar vectores de tejido para llamarlos cuando los necesite para soldar en cualquier momento. La selección de tejer en el menú del controlador, automáticamente emplea la geometría de la herramienta. En la geometría de la herramienta la referencia de los ejes de movimiento de la antorcha, el sistema de coordinación está en el centro de la punta de la antorcha de soldadura.

#### **EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE SOLDADURA.**

La soldadura puede hacerse solamente cuando la energía está en todos los componentes, se instala el alambre como electrodo, y el controlador está en la modalidad de operación. El material debe estar listo, en el posicionador de soldadura, oprimiendo el botón de encendido se inicia la operación. El robot moverá el soplete hacia el punto inicial. El equipo de soldadura empezará su ciclo de operación (preludio de gas, encendido de arco, etc.). El controlador del robot determinará si el arco ha arrancado y después empezará el movimiento. Los puntos a lo largo de la ruta enseñada iniciarán otras actividades programadas. Al final de la ruta enseñada el equipo de soldadura terminará el programa de soldado, y el controlador de robot determinará si el alambre del electrodo se ha separado del trabajo. Después, el robot regresará a su posición inicial, listo para otro ciclo. En este punto la soldadura debe revisarse en cuanto a su calidad. El programa debe ser verificado y editado para mejorarlo en caso de ser necesario, y para minimizar el tiempo de arco encendido. Cuando la calidad es aceptable y el tiempo del ciclo está al mínimo, es tiempo de grabar el programa y de empezar la producción.

#### **SOLDADURA POR ARCO DE METAL CON GAS.**

La soldadura por arco de metal protegida con gas (GMAW), o soldadura (TIG), es un proceso que usa un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de la soldadura. El proceso se lleva a cabo con una protección proveniente de un gas suministrado externamente y sin la aplicación de presión.

#### **PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.**

El proceso de soldadura por arco de metal con gas utiliza el calor de un arco entre un electrodo consumible continuamente alimentado y el trabajo que se va a soldar. El calor del arco funde la superficie del metal base y el extremo del electrodo. El metal fundido del electrodo es transferido al trabajo a través del arco y allí se convierte en el metal depositado.

La protección se obtiene a partir de una envoltura de gas, el cual puede ser un gas inerte, un gas activo o una mezcla de ambos. El gas de protección rodea el área del arco para protegerla de la contaminación proveniente de la atmósfera. El electrodo se alimenta hacia el arco automáticamente, por lo general a partir de una bobina. El arco se mantiene automáticamente y el desplazamiento se lleva a cabo por medio del soplete colocado en el la muñeca del robot.

El metal que se este soldando determinará la composición del electrodo y el gas de protección. El gas de protección y la clase y el tamaño del electrodo afectan el tipo de transferencia del metal. El modo de transferencia del metal es una forma de identificar las variantes del proceso.

#### **VENTAJAS Y USOS PRINCIPALES.**

Para soldar aceros los gases inertes eran costosos y se selecciono un gas activo, el  $CO_2$ . La selección del  $CO_2$  se baso en el análisis de los gases que se forman para la desintegración de los revestimientos de electrodos cubiertos. Esta variación denominada soldadura  $CO_2$  se adopto para soldar aceros de baja aleación y utilizando alambres de electrodos de tamaño relativamente grandes 1.0 mm. La transferencia del metal era globular y las salpicaduras eran mayores que lo deseado. Los esfuerzos para refinar esta variación condujeron a otra variedad adaptable a todas las posiciones, utilizando aun protección de gas  $CO_2$  pero con electrodos de diámetro mas pequeño, del orden de 0.9 y 1.1 mm de diámetro. Esta variación se denomina transferencia de metal en corto circuito o soldadura de transferencia por inmersión. Los esfuerzos por mejorar las apariencias del trabajo soldado condujeron a mezclas de gas de protección formadas de argon y de  $CO_2$ , lo cual proporciona una superficie de soldadura mas suave y de apariencia agradable.

Otros avances con diferentes gases de protección llevaron a la variedad de arco de rocío, que utilizaba electrodos de diámetro mayor, con una mezcla de gas de protección de 95% de argon y 5% de oxígeno. Esta mezcla de gas produjo una transferencia de metal del tipo de rocío y soldados con una superficie extremadamente suave.

Una variante posterior es la soldadura por arco pulsante, en la que la corriente se pulsa a intervalos regulares para crear una transferencia discreta de metal a través del arco en lugar de una transferencia aleatoria, como ocurre en otras variantes.

Las principales ventajas de la soldadura por arco de metal con gas son las siguientes:

- Altas tasas de deposición en comparación con la soldadura por arco metálico protegido.
- Un elevado factor de operatividad en comparación con la soldadura por arco de metal protegido.
- Alta utilización de material de aporte.
- Eliminación de escoria y de fundentes.
- Reducción de humos y vapores.
- Puede automatizarse como en el caso de soldadura de arco robotico.
- Extrema versatilidad, aplicación amplia y extensa.

El proceso de soldadura por arco metálico con gas tiene aplicación en todas las posiciones. Sin embargo, cada una de las variantes tiene sus propias posibilidades en cuanto a la posición, dependiendo del tamaño del electrodo y la transferencia del metal.

**METALES SOLDABLES Y RANGO DE ESPESORES.**

El proceso de soldadura por arco de metal con gas puede usarse para soldar la mayoría de los metales. Los electrodos se seleccionan según los metales base. Este proceso también puede emplearse en recubrimientos y reforzamientos utilizando metales especiales para superficies de apoyo o reforzamiento, superficies resistente a la corrosión, etc.

Se pueden soldar metales con un espesor de 0.13 mm en adelante. La variedad de corto circuito y la variante de arco se usan para soldar materiales más delgados, en todas las posiciones. Espesores mayores pueden soldarse con variantes  $CO_2$  de alambre grueso. Las ranuras soldadas y la técnica de pasadas múltiples permitirán soldar prácticamente cualquier espesor. La extrema versatilidad del proceso y sus variantes permiten soldar desde los metales más delgados hasta los más gruesos, eligiendo el tipo y el tamaño del alambre de electrodo y el gas de protección.

**DISEÑO DE LA JUNTA DE UNIÓN.**

El proceso de soldadura por arco de metal con gas puede utilizar los mismos detalles del diseño de juntas o uniones que los que se usan en el proceso de soldadura por arco metálico protegido. Para lograr economía y eficiencia máximas, los detalles de la unión específicamente los trabajos de ranura, deben modificarse. El diámetro promedio de los electrodos empleados por la soldadura por arco de metal con gas es más pequeño que el diámetro que tiene el que se emplea en la soldadura por arco metálico protegido. Debido a esto, los ángulos de la ranura pueden reducirse. La reducción de los ángulos de ranura permitirán que el electrodo sea dirigido a la raíz de la unión para que tenga una completa penetración.

Las diferentes variantes requieren atención especial en cuanto al diseño del trabajo de soldado. La variación  $CO_2$  proporciona cualidades de penetración extremadamente profundas.

**CORRIENTE DE SOLDADURA.**

El suministro de corriente es normalmente del tipo de voltaje constante (VC). El alimentador de alambre de velocidad constante se usa con la fuente de poder VC puesto que proporciona un arco autorregulador. La característica de esta fuente es que dependiendo la corriente esta controla la velocidad del alambre.

En el proceso de soldadura por arco de metal con gas se usa corriente directa con electrodo positivo DCEP (polaridad inversa), en este caso en metal base se desarrolla una cantidad de calor mayor y en consecuencia hay más penetración.

## CAPITULO II



**METALURGIA DE LA SOLDADURA.**

La ciencia de unir metales por medio de la soldadura se relaciona estrechamente con el campo de la metalurgia. La metalurgia de la soldadura se puede considerar una rama especial, puesto que una reacción se lleva a cabo en minutos, segundos y fracciones de segundos, mientras que en otras ramas las reacciones se efectúan en horas y minutos, como es el caso de la fundición.

La metalurgia de la soldadura trata la interacción entre diferentes metales, gases atmosféricos y sustancias de todo tipo. El metalurgista de soldadura también tiene que conocer los cambios de las características físicas que suceden en periodos cortos. La solubilidad de los gases en los metales y el efecto de las impurezas son de gran importancia para el metalurgista de soldadura.

La estructura de los metales es compleja. Cuando el metal se encuentra en estado líquido, generalmente muy caliente, no tiene una estructura o distribución ordenada de átomos. Los átomos se mueven libremente entre sí, dentro de los límites del líquido. Su movilidad permite que el metal líquido se ajuste a la forma del recipiente que en este caso es el tipo de molde. Este grado de movilidad de los átomos se debe a la energía del calor implícita durante el proceso de la soldadura.

A medida que el metal líquido se enfría la energía por calor de los átomos en estado líquido disminuye y estos se mueven menos. Conforme la temperatura se reduce aún más y el metal se enfría, los átomos ya no se pueden mover y se atraen entre sí en base a diferentes formas que consisten en patrones tridimensionales conocidos como arreglos cristalinos. Los metales en estado sólido, poseen esta distribución uniforme. Todos los metales y las aleaciones son sólidos cristalinos hechos de átomos distribuidos de manera uniforme, y específica.

La solidificación de un metal líquido no sucede simultáneamente a través de todo el tiempo que dura la fundición. La solidificación empieza en el punto de temperatura más bajo, en este punto se forma un cristal pequeño que se denomina núcleo. Se pueden formar distintos núcleos casi simultáneamente, y cada uno de ellos es un punto donde empieza la solidificación y el metal solidificado crece a partir de estos puntos. La solidificación avanza en todas las direcciones que son normales a los ejes principales del núcleo del cristal. Por consiguiente, a partir de un cristal cúbico, el crecimiento avanza simultáneamente en seis direcciones. El crecimiento es simplemente la suma de cristales adicionales, a medida que disminuye la temperatura. El crecimiento continúa y adopta una forma similar a la de un árbol, con ramas y sub-ramas en ángulos rectos entre sí, a medida que la solidificación continúa las ramas se tornan más gruesas, crecen y llenan los espacios que hay entre otras ramas, las que se denominan dendritas. Esto continúa hasta que toda la masa se ha vuelto sólida.

El metal completamente solidificado está formado por cada uno de los cristales dendríticos, los cuales están orientados en diferentes planos, pero los mantienen juntos. Las fuerzas atómicas atractivas a la superficies de separación de las dendritas adyacentes. Cuando la estructura resultante se corta en el plano extendido, cada uno de los cristales dendríticos, que crecieron hasta encontrarse con los cristales dendríticos adyacentes, forman un área irregular, la cual se conoce como grano. Normalmente los granos que se forman por dendritas que crecen simultáneamente entre las superficies de separación de los granos se

conocen como límite de grano. Los granos también son muy pequeños, pero mucho más grandes que los cristales.

El tamaño de los cristales y de los granos depende del ritmo de crecimiento del cristal. El ritmo de crecimiento del cristal depende de la velocidad de enfriamiento del metal fundido que solidifica. Cuando el enfriamiento es muy rápido, el proceso de solidificación se acelera y el cristal y el grano tienden a ser de menor tamaño. Cuando el enfriamiento es más lento, el cristal y el grano tienden a ser de mayor tamaño.

#### LÍMITE DE GRANO.

Los límites de grano contienen materiales con punto de fusión más alto puesto que dichos límites son la última porción que solidifica. La resistencia de los metales algunas veces se determina por el límite de grano. A temperaturas elevadas, los átomos de los límites se pueden mover fácilmente y deslizarse más allá del otro, reduciendo de este modo la resistencia del material. Los materiales de grano fino tienen mejores propiedades a la temperatura ambiente. Las estructuras del metal pueden caracterizarse como aquellas que tienen granos grandes, granos pequeños o una mezcla de grandes o pequeños (granos de tamaño mixto). La distribución de los átomos es irregular en los límites de grano y hay lugares vacíos o átomos faltantes. El espacio del átomo puede ser mayor de lo normal y cada uno de los átomos se puede mover con mayor facilidad en los límites de los granos, y debido a esto la difusión, que es el movimiento de cada uno de los átomos a través de la estructura sólida, es más rápido en los límites de los granos.

#### MICROESTRUCTURA.

La distribución general de los granos, el límite de los granos, y las faces en que está un material se conocen como microestructura. La microestructura es responsable en gran parte de las propiedades del metal. Se ve afectada por la composición o el contenido de aleación o por otros factores tales como demasiado calor, deformación plástica, y otros. La microestructura del metal de soldadura y el metal adyacente influyen en el proceso de soldadura y el procedimiento.

#### DIAGRAMAS DE FASE.

El cambio en la estructura cristalina o la modificación de líquido a sólido se conoce como cambio de fase. Los metalurgistas han diseñado diagramas de constitución para casi todas las combinaciones de aleaciones de metal. Por medio de estos diagramas es posible determinar las fases en que están y el porcentaje de cada una, basándose en la composición de la aleación a cualquier temperatura específica. Como lo muestra el diagrama de hierro-carbono.

Los diagramas de fase se basan en condiciones de equilibrio. Esto significa que el metal es estable en determinado punto sobre el diagrama, basándose en el calentamiento o en un enfriamiento relativamente lento. En la soldadura esto no sucede, puesto que los cambios de temperatura son extremadamente rápidos y casi nunca existe equilibrio. Aun así, el diagrama de fase es la mejor herramienta de que se dispone para determinar las fases. Los diagramas de fase también suelen llamarse diagramas de equilibrio, o diagramas de constitución. La figura 2-1 muestra el diagrama de hierro-carbono.

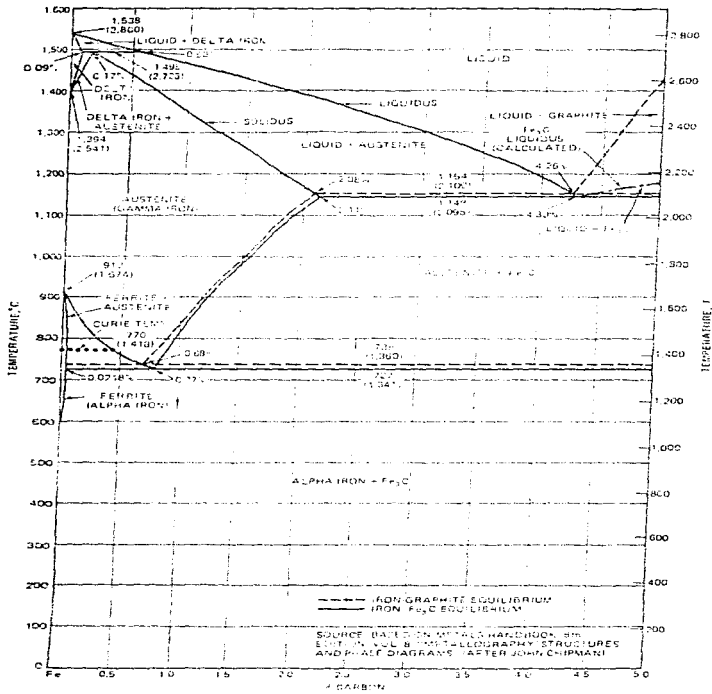


Figura 2.1 Diagrama de hierro - carbono

**MICROESTRUCTURA EN LA SOLDADURA.**

El diagrama de equilibrio de hierro - carbono, proporciona los datos acerca del comportamiento de los aceros en conexión con los ciclos térmicos de soldadura sobre la forma de utilizar el calor. Este diagrama representa la aleación de hierro con carbono, oscilando desde 0 a 5 %.

El hierro puro es relativamente débil pero es un metal flexible. Cuando se añade carbono en pequeñas cantidades el hierro adquiere un amplio margen de propiedades, usos y se vuelve el metal más popular, conocido como acero.

En la soldadura el incremento y la disminución de la temperatura o la forma en que ésta se modifica son tan rápidos que no hay equilibrio. Por ejemplo, si el enfriamiento es más rápido, la transformación de austenita a ferrita será apreciable a temperatura más baja, y lo mismo sucederá con la perlita. La perlita será más finamente laminada puesto que la temperatura de transformación es mucho más baja. Si el enfriamiento es extremadamente rápido la austenita no podrá tener suficiente tiempo para transformarse completamente en ferrita y perlita, por lo que se formará una estructura diferente. En este caso una parte de austenita no transformada será retenida y el carbono se mantiene en estado supersaturado. Esta nueva estructura se conoce como martensita. La martensita tiene una apariencia igual a la de una aguja y si el enfriamiento es lo suficientemente rápido la austenita podrá transformarse completamente en martensita. La martensita es más dura que la perlita o que la microestructura perlita-ferrita y menos flexible. Su dureza depende del contenido de carbono. Por consiguiente, puede verse que el enfriamiento influye sobre la microestructura, que puede ser más dura. Esto se debe a que el arreglo del cristal se cambia o se distorsiona, lo que endurece al material.

Al añadir diferentes aleaciones al acero aumenta la tendencia de la austenita a transformarse en martensita por el enfriamiento. Esta es la base en el endurecimiento del acero. Mediante el uso adecuado de diferentes aleaciones se puede modificar la cantidad de martensita que se elabora. El enfriamiento cambia, lo que depende del método de templeado. Un templeado más intenso formará, mayor cantidad de martensita, y un templeado más leve formará menos martensita, y por consiguiente una menor dureza. La cantidad de aleación y su potencia para dar lugar a esta transformación de microestructura se conoce como capacidad de endurecimiento. Esta es una ventaja cuando se utiliza calor, pero puede deteriorar la soldadura, puesto que no es deseable mucha dureza en la soldadura, ya que se reduce la ductilidad.

Con respecto a la aleación de hierro-carbono solamente la perlita y la ferrita, así como la perlita y la cementita se encuentran a la temperatura ambiente. La ferrita tiene una estructura cúbica de cuerpo centrado y cuando menos del 0.8 % de carbono se disuelve en hierro, que es el constituyente más suave del acero y a medida que aumenta la cantidad de ferrita el acero es más suave.

La microestructura de la cementita es dura y resistente al uso y la composición variará cuando formen parte otras aleaciones que contienen carburos. Aparece en varias y distintas formas, algunas veces como una red que rodea a los granos en la región de los límites de estos y también dentro de ellos.

La austenita es otro importante constituyente, que tiene la forma de un arreglo cúbica de cara centrada, y forma parte de los aceros de bajo carbono a temperaturas mayores de 722°C. No es estable a temperatura ambiente en el acero al carbono. Tiene ductilidad y buena resistencia a la tensión, pero una gran tendencia a endurecerse.

#### **CAPACIDAD DE ENDURECIMIENTO.**

El empleo del calor en los aceros para incrementar la dureza y la metalurgia de la soldadura tiene mucho en común. El uso del calor para incrementar la dureza se logra por medio de un calentamiento seguido de un enfriamiento rápido. El enfriamiento rápido del metal dentro de la soldadura y en lugares adyacente en ella es en el mismo orden. Si se logra un endurecimiento adecuado por medio del calor serán mas precisos los cambios metalúrgicos que se efectúan durante la soldadura. La mayoría de los aceros tienen capacidad de endurecimiento, la cual se define como la propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza inducida por el templado. La microestructura del acero templado también puede estudiarse o relacionarse con la microestructura de la soldadura.

El tamaño del grano y la microestructura se relacionan directamente con la dureza y la resistencia. A medida que los cristales se deforman se vuelven mas duros y su resistencia la impone, el tamaño de grano. Cuando se utiliza calor el acero se calienta por arriba de la temperatura crítica, hay cambio de fase, y los nuevos granos se nuclearan y crecerán dentro de los granos anteriores. Puesto que se formaron nuevos granos de austenita dentro de cada uno de los granos anteriores, el acero tiene granos mas finos. El grano de tamaño fino provoca un incremento en la resistencia y la dureza.

Para incrementar la capacidad de endurecimiento del acero se agregan elementos de aleación. El carbono es el mas importante y efectivo, y pequeñas cantidades incrementara considerablemente su dureza aproximadamente un 0.65 %. El manganeso sigue en importancia. El azufre y fósforo se consideran impurezas.

Los diagramas isotérmicos ayudan a explicar la relación que hay entre la velocidad de enfriamiento y la microestructura de una composición específica del acero. Durante el enfriamiento el acero permanece cierto tiempo en cada fase y el tiempo es inversamente proporcional a la velocidad de enfriamiento. Cuando el enfriamiento es muy lento los cambios de fase ocurren cerca de los valores de equilibrio. A medida que aumenta el enfriamiento, el tiempo se reduce para que no haya el suficiente para que termine la reacción de la perlita y una parte de la austenita permanece por debajo de la temperatura de transformación de equilibrio, lo que provoca el endurecimiento. El enfriamiento debe ser muy rápido para que en gran parte de la austenita se transforme en martensita mas bien que en perlita. Estas curvas se utilizan muy poco en la soldadura, pero muestran los tipos de transformación que ocurren a temperaturas subcríticas y sus efectos.

#### **CALOR Y SOLDADURA.**

Para fundir la superficie del metal que se va a soldar se utiliza calor, que ayuda a que se lleve a cabo simultáneamente la unión y el crecimiento del grano. El calor también se usa para fundir el metal de aporte que se agrega a la unión de la soldadura. Se debe proporcionar suficiente calor para fundir la varilla a la temperatura adecuada. Se requiere de

un calor extra, por arriba de la cantidad que se necesita para fundir la varilla y la superficie del metal base, para compensar el calor conducido en la zona periférica a la soldadura.

El calor de la soldadura provoca varios efectos perjudiciales. Algunas de las desventajas son las siguientes:

1. Las tensiones residuales altas provenientes de un calentamiento ubicado causan tensiones diferenciales de encojimiento, las cuales pueden conducir al combado y a la distorsión.
2. Una reducción de la ductilidad o cierto endurecimiento en la zona afectada por el calor pueden conducir a una fractura.
3. El deterioro de las propiedades de dureza de la unión, principalmente en la zona afectada por el calor.
4. La pérdida de resistencia en la zona afectada por el calor de ciertos materiales endurecidos por trabajo y templado.

La relación de energía por calor-tiempo-temperatura o el ciclo térmico de una soldadura no puede determinarse con precisión porque intervienen muchas variantes. Los cambios de temperatura que se observan durante una soldadura de arco son mucho más rápidos y más bruscos que para la mayoría de los procesos metalúrgicos. Las reacciones metalúrgicas provenientes del calor de soldadura no siguen las relaciones normales del tratamiento del calor.

El calor se está moviendo continuamente para que surjan cambios mientras se está soldando. Después de que un arco se ha estabilizado, se acerca a un equilibrio térmico, pero nunca lo alcanzará totalmente. El ritmo al que fluye el calor al área fría depende de la conductividad del metal base. El calor también se mueve por medio de convección, por radiación y por absorción, sin embargo, para propósitos prácticos la mayor parte del calor de soldadura fluye por medio de la conducción. Por consiguiente, la conductividad del metal tiene una gran influencia sobre la relación de energía.

No todo el calor generado por la fuente de energía se usa en la soldadura. El porcentaje es distinto para cada proceso, procedimientos, metal base, geometría del metal base y otros. Una porción mayor de la pérdida de calor se emplea para aumentar la temperatura del metal base adyacente a la soldadura o cerca de su punto de fundición. Otras pérdidas provienen de las salpicaduras de la soldadura, del calentamiento del electrodo, de la radiación y la convección para el aire que está al rededor.

#### **EFFECTOS DEL CALOR.**

Al analizar los efectos del calor sobre una soldadura o una unión soldada, es necesario determinar:

1. La velocidad de calentamiento.
2. La máxima temperatura que se logra.
3. Calor específico del metal base.
4. El tiempo que se mantendrá la temperatura.
5. La velocidad de enfriamiento.

Estos factores son difíciles de determinar; sin embargo, se puede hacer un análisis adecuado de los efectos potencialmente peligrosos sobre la soldadura. Esto permite cambiar las precauciones o los procedimientos para reducir los efectos perjudiciales.

*La velocidad de calentamiento* depende de varios factores, entre los cuales se incluyen: el tamaño de la intensidad en la fuente de calor, la adecuada transferencia de calor al metal base, la utilización del calor al hacer una soldadura, la masa del metal base, la geometría de la unión en la conductividad térmica.

*La temperatura máxima* que se lograra en el metal base también es importante. El metal base de la soldadura debe elevarse a su temperatura de fundición y por arriba de ella. Es importante determinar qué tanto por arriba ya que de eso depende el proceso de soldadura. Una soldadura bien hecha no requiere que el metal base se caliente muy arriba de su temperatura de fundición.

*El calor específico del metal base.* Esta es una medida de la cantidad de calor que se requiere para incrementar la temperatura del metal. Se relaciona con la cantidad de calor que se requiere para llevar el metal a su punto de fusión.

*El tiempo que se mantiene la temperatura* al máximo depende del control de equilibrio de calor entre la energía por calor y las pérdidas del mismo. Rara vez hay un equilibrio de calor verdadero en cualquier tipo de soldadura. Durante el periodo de formación de arco, la energía por calor casi siempre excede a las pérdidas de calor y el metal base se vuelve más caliente.

*La velocidad de enfriamiento* de la soldadura y del metal base adyacente es el cambio de temperatura desde la temperatura de soldadura hasta la temperatura ambiente. La velocidad de enfriamiento puede controlarse bastante bien por condiciones como la transferencia de calor, las pérdidas de calor y la conductividad térmica del metal base. Por lo general se desea reducir la velocidad de enfriamiento si hay problemas metalúrgicos, por ejemplo roturas o zonas duras. Las zonas duras adyacentes a una soldadura o en ella por lo general son poco duras, muy dúctiles y tienden a romperse si hay tensiones térmicas. Al reducir la velocidad de enfriamiento estos pueden eliminarse y lograrse soldaduras de gran calidad. Los factores que incrementan la energía por calor, reducen la posibilidad de que se observen estos defectos.

#### **SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO.**

Cuando se realiza una soldadura deben tenerse en cuenta las modificaciones que pueden producirse en las características de los metales bases utilizados. No es suficiente que un material posea buenas propiedades mecánicas, para que sea soldable sino que es necesario a demás que no sufran alteraciones esas características.

Los aceros de bajo carbono son relativamente fáciles de soldar, siempre que los espesores no sean muy grandes. A medida que aumenta el contenido de carbono pueden producirse perturbaciones al soldar, debido a la formación de zonas templadas o endurecidas en el metal base adyacente a la soldadura con el consiguiente peligro de aparición de grietas o fisuras originadas, durante el enfriamiento por su escasa ductilidad. Se habla entonces de mala soldabilidad.

Se entiende por soldabilidad la aptitud de los metales a ser unidos por fusión, es decir, la mayor o menor facilidad con que pueden ser soldadas para lograr una unión satisfactoria.

Para que un acero se pueda considerar soldable es preciso que, a la vez, cumpla con:

1. Las condiciones en que deben de realizarse las uniones para que no aparezcan defectos tales como pegaduras, fisuras, etc. Así es posible evitar el agrietamiento sobre una estructura soldada eligiendo el orden y la secuencia apropiada de las pasadas para que no aparezcan fisuras.
2. Las transformaciones físico-químicas que sufre el metal base durante la unión y que resultan de la operación de soldadura por efecto del ciclo térmico de soldadura, por ejemplo, la formación de bainita o de martensita en los aceros al carbono.

La soldabilidad de los aceros al carbono depende, a la vez, del contenido de carbono y de las impurezas que pueda llevar bien en estado disuelto: sulfuros, fosfuros y nitruros, o bajo la forma de inclusiones.

Se puede calificar cada tipo de acero con un coeficiente de soldabilidad, que varía de 0 a 10, que permite clasificarlo en función del contenido de carbono, en perfectamente soldable, medianamente soldable, poco soldable y no soldable como se puede ver en la figura 2.2.

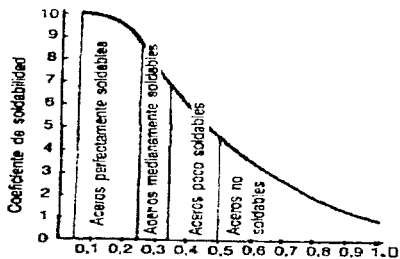


Figura 2.2 Relación del coeficiente de soldabilidad con el contenido de carbono del metal base

En cuanto a la influencia del resto de los elementos que contienen los aceros, el **manganeso** favorece el temple, sin embargo tiene una influencia sobre éste aproximadamente seis veces menor que el carbono por lo que su efecto es mucho menor que el del carbono. El azufre y el fósforo, considerados como impurezas del acero, también afectan a la soldabilidad. El fósforo se transforma durante la solidificación en fosfuro de hierro que vuelve frágil al metal y aumenta el tamaño de grano del metal fundido. El azufre puede producir grietas.

En resumen se puede decir que el carbono es el elemento que tiene más influencia sobre la soldabilidad de los aceros. Su efecto sobre la soldadura cuando los enfriamientos son rápidos dan lugar a la formación de zonas de gran dureza y fragilidad en el metal base próximo a la soldadura, zonas que suelen contener muchas veces grietas o fisuras originadas



durante el enfriamiento. Esto se debe, sobre todo, al riesgo de temple durante las operaciones de soldadura y la introducción de tensiones internas que originan estos defectos.

Si bien la composición química del acero es uno de los factores importantes de la soldabilidad y también intervienen en ella otros factores que es preciso tener en cuenta como son, el espesor de las piezas, las tensiones residuales, por efecto de la operación de soldadura y el estado térmico o mecánico inicial de las piezas a soldar. Así mismo, los tratamientos térmicos, por ejemplo, de temple o mecánicos como puede ser una deformación previa, desarrollan tensiones residuales importantes que viene a sumarse a las tensiones creadas por la soldadura. La influencia de todos los factores es tanto más marcada cuanto mayor es el espesor de las piezas a soldar.

#### **MICROESTRUCTURA EN DIFERENTES PARTES DE UNA SOLDADURA.**

Los factores que ocurren durante la soldadura son: cambios de temperatura, cambios de dimensiones, crecimiento de cristales y granos, fase de transformación, entre otros. El tipo de proceso de soldadura determina la forma en que esto sucederá. En el proceso de soldadura de arco el ciclo de calor es de gran importancia. La velocidad de enfriamiento o templado es de importancia fundamental y está controlada por el proceso, procedimiento, metal y masa. Es obvio que la velocidad de enfriamiento varía considerablemente, y que resultaran distintas microestructuras en la soldadura, así como diferentes fases en el metal base adyacente a la soldadura.

Con cualquier proceso de arco, en el que el metal se transfiere a través del mismo, el metal alcanza una temperatura sobre calentada muy por arriba de la temperatura de fusión. Inmediatamente, el metal de soldadura empieza a solidificarse. El calor contenido en el metal fundido se transmite al metal base incrementándose hasta la temperatura de fusión. A lo lejos de la soldadura el metal presenta una temperatura más baja. Esto crea una multitud de curvas tiempo-temperatura basada en la ubicación. A medida que el metal de la soldadura se enfría, los cristales forman granos, los cuales se enfrían rápidamente hasta que ya no haya metal líquido. La velocidad de enfriamiento es mucho más rápida de lo que sucede en una pieza fundida o lingote, y por consiguiente el equilibrio, tal como se representa en el diagrama hierro - carbono, realmente no se efectúa.

Además las complicaciones originadas por el rápido enfriamiento también surge complicación en relación con las variaciones de la composición. A medida que el metal de la soldadura se deposita sobre el metal base parte de este se funde y se mezcla con el metal de la soldadura, produciendo la dilución de este último. A menos de que la composición del metal de aporte depositado y la composición del metal base no sean idénticas habrá, una variación en la composición del metal en la superficie de separación. Las variaciones tanto en la composición como en las velocidades de enfriamiento darán lugar a variaciones en la microestructura. Esta es la razón por la cual la microestructura de la soldadura es importante y debe estudiarse. La microestructura en diferentes partes en la soldadura tiene características particulares, una de estas es la dureza de la microestructura a través de toda el área de la soldadura. La dureza no debe variar sobre limitaciones específicas. La macroestructura de una superficie de separación del metal base con el metal soldado y la dureza en diferentes puntos a lo largo de la superficie de separación. Se observa mayor dureza en el metal de soldadura en comparación con el metal base y que en la zona afectada por el calor.

El área entre la superficie de separación del metal de soldadura depositado, y que se extiende hasta el metal base lo suficientemente lejos como para que ocurran cambios de fase. Se conoce como zona afectada por el calor (HAZ).

La zona afectada por el calor, aunque es parte del metal base se considera una porción de la unión de la soldadura, puesto que influye sobre el tiempo que dura la solidificación.

### **SEGREGACIÓN.**

Otro problema que nos encontramos al soldar es la segregación durante el ciclo térmico. La segregación se relaciona con la solubilidad de los elementos en los metales, particularmente aleaciones. La composición de los primeros cristales que se forman como una aleación que se enfría es diferente a la composición del líquido que se enfría al final. El carbono, el fósforo, el azufre y algunas veces el manganeso se encuentra segregado en el acero. Esto puede determinarse por medio de un estudio muy amplio sobre la microestructura. La segregación, particularmente del carbono, puede disiparse parcialmente empleando el calor.

El metal fundido tiene una capacidad relativamente alta para disolver los gases que están en contacto con él. A medida que el metal se enfría tiene menos capacidad para disolver gases y cuando pasa del estado líquido al estado sólido la solubilidad del gas en el metal es mucho más baja. El gas es rechazado a medida que los cristales se solidifican, pero puede verse atrapado debido a una solidificación casi instantánea. Los gases atrapados provocan bolsas de gas y porosidad en la soldadura. El monóxido de carbono que se encuentran en muchas atmósferas en que se utiliza arco y gas combustible algunas veces queda atrapado. Sin embargo, el hidrógeno se dispersará gradualmente y escapará del metal de la soldadura en determinado tiempo. Las temperaturas altas aumentan la velocidad para la dispersión y extracción del hidrógeno. Los gases inertes no son solubles en el metal fundido y por esta razón se usan en muchas aplicaciones de protección con gas.

**EVALUACIÓN Y CONTROL EN LA CALIDAD DE LA SOLDADURA.****PRUEBAS DESTRUCTIVAS.**

Las soldaduras y el metal de las soldaduras se pueden probar del mismo modo que los metales. Las pruebas mecánicas se emplean para calificar los procedimientos de soldadura, los trabajos soldados, los procesos de soldadura, y para determinar si los electrodos y metales de aporte cumplen con los requerimientos de las especificaciones. Las soldaduras en las construcciones soldadas se prueban a menudo para probar su resistencia, tenacidad y calidad mediante pruebas mecánicas.

Las pruebas mecánicas son destructivas porque la construcción o la unión soldada se destruye al practicarle el ensayo.

El objetivo de la prueba de calificación del procedimiento es demostrar que una soldadura ejecutada bajo condiciones prescritas cumpla con las propiedades mecánicas necesarias. El proceso de soldadura, los metales de aporte y los parámetros de la soldadura se seleccionan para hacerla en la posición requerida sobre el metal base que se va a usar. Los detalles de la unión soldada y el espesor del material se deben especificar, y pueden no ser exactamente como los que se vayan a usar al hacer la soldadura de producción. Los requisitos varían de un código a otro, por consiguiente, es esencial que se estudie el reglamento al hacer soldaduras de prueba. En general los códigos usan el mismo tipo de probetas de prueba, incluyendo a la prueba de fractura de chafán, La prueba de fractura de la muesca, la prueba de tensión y la prueba de flexión guiada.

La prueba de fractura con muesca según los códigos indican que la muesca de la probeta debe cortarse con siqueta, y la probeta puede maquinarse o cortarse con soplete. Las orillas deben quedar paralelas y lisas. No se debe de quitar el refuerzo que deja la soldadura en ambos lados de la probeta.

Las probetas para la prueba de flexión o doblez de la raíz y de cara se usan para materiales delgados, esto es, con espesores menores a 9.5 mm. La probeta puede cortarse con soplete o maquinarse, el refuerzo de la soldadura se debe de quitar en ambas caras (superior e inferior) hasta quedar al ras de la superficie de la probeta. La probeta los no debe aplanarse antes de la prueba.

Una de la pruebas estructurales que se emplean con mayor frecuencia para evaluaciones preliminares, es la prueba de fractura con chafán, para poder calificar una soldadura por puntos. El espesor de las placas debe ser de 12.6 mm y la soldadura de 6.3 mm. Esta probeta se puede utilizar para cada posición de soldar y para todos los procesos de soldadura por arco, con cualquier tipo de electrodo. Esta probeta debe tener las siguientes características para su aceptación:

- Contorno - La cara expuesta de la soldadura debe estar bastante lisa y regular. No debe haber trasdapes o socavados. La soldadura se debe apegar a la sección transversal requerida para el tamaño de la soldadura especificada por calibre.
- Grado de fusión - Debe haber fusión completa entre la soldadura y el metal base, y penetración completa hasta la raíz en la soldadura.
- Solidez - La soldadura no debe de contener bolsas de gas, inclusión de partículas de óxido o escoria mayores de  $1/32''$  en su dimensión máxima. Además, ninguna pulgada cuadrada del área del metal de soldadura debe contener más del 9% de huecos mayores de  $1/16''$  en su dimensión más grande.

Cuando se necesitan otras pruebas destructivas. Por ejemplo, para comprobar las características del material depositado, se tiene un diseño especial de unión y una probeta de prueba *completamente de metal de soldadura*. Este diseño de unión tiene distintas especificaciones de metal de aporte, según la AWS. En muchos casos también se especifican las propiedades de impacto para un metal de soldadura en particular. Cuando este es el caso, también se debe llevar a cabo el ensayo de impacto y se hace con el mismo detalle de unión que se muestra.

### PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS. INSPECCIÓN.

El examen visual es una técnica de prueba o método de evaluación, no destructivo. Es el más popular y el que más se emplea. Es el método de inspección menos costoso y extremadamente efectivo. El inspector de soldadura puede usar el examen visual durante todo el ciclo de producción de una construcción soldada. Es un método efectivo del control de calidad que asegurará la conformidad con el procedimiento y también detectará errores durante las primeras etapas. El trabajo del inspector de soldaduras se puede subdividir en tres grupos principales: (1) examen visual antes de soldar, (2) examen visual durante el trabajo de soldadura, y (3) examen visual de la construcción después de terminar de soldar.

Examen visual antes de soldar.- se necesita revisar que se sigan con cuidado todo los dibujos, las especificaciones de los materiales de las partes que comprenden las soldaduras y determinar que los materiales se ajusten a las especificaciones. Comparar la preparación de cada unión con los dibujos. Al mismo tiempo, comprobar la preparación de las orillas para verificar las condiciones de la superficie porque pueden afectar los ajustes de la soldadura.

En la estación de armado el inspector de soldadura debe comprobar las soldaduras para cerciorarse de que se este usando el tipo correcto de electrodos para el metal base que se este soldando; también para determinar si se necesitan precauciones especiales, como por ejemplo un precalentamiento. Si se especifica precalentamiento, el precalentamiento local puede ser la respuesta a este detalle de la producción.

Examen visual durante el trabajo de soldadura.- Hay que estar seguros de que se apliquen en orden a la construcción soldada. Los puntos por revisar son:

1. Vigilar si los electrodos o el metal de aporte especificados son adecuados para los metales base por soldar y que se empleen.
2. Revisar el equipo de soldadura para verificar que este en buenas condiciones de trabajo. Este examen debe comprender: pistola de soldadura, electrodo, fuente de energía, etc.
3. Comprobar que se este usando la corriente y la polaridad adecuadas para la soldadura.
4. Verificar que se sigan los requisitos de precalentamiento antes de que se vaya a soldar. Esto implica revisar las temperaturas del metal base y determinar que esas temperaturas sean profundas y no solamente superficiales.

El inspector determinará que tanto tipo de tratamiento térmico posterior se haga de acuerdo con el procedimiento u otro requisitos.

Examen visual de la construcción después de terminar la soldadura.- Se espera que el inspector determine que la construcción soldada se apegue a los dibujos y especificaciones, según los cuales se diseño y construyó

1. Es importante revisar el tamaño de la soldadura de todas las uniones, los chafanes se pueden medir mediante calibradores de soldadura.
2. Todas las soldaduras deben inspeccionarse para determinar que no tengan defectos como los que se mencionan
  - Fractura superficial.
  - Fracturas en crater (o crater sin llenar completamente).
  - Superficie porosa.
  - Penetración incompleta en la raíz.
  - Socavado
  - Llenado incompleto de la cara, bisel o chafan (concavidad).
  - Llenado incompleto de la raíz (rechupado).
  - Refuerzo excesivo de la cara surco o chafan (convexidad).
  - Refuerzo excesivo de la raíz (goteo).
  - Traslape
  - Desalineamiento.
  - Golpes de arco.
  - Demasiada salpicadura
  - Combado
  - Defectos del material base
  - Soldaduras de respaldo.

Las pruebas no destructivas implican el uso de inspección ultrasónica, líquidos penetrantes fluorescentes y colorantes, partículas magnéticas y con radiografía. El inspector de soldadura puede mandar inspeccionar por cualquiera de estas técnicas si hay motivo de sospecha en la unión especificada o construcción soldada. La inspección superficial de la soldadura o de cualquier parte metálica no revelará fallas o problemas internos. La inspección superficial no puede mostrar la falta de fusión en la raíz de soldadura, está es inaccesible al examen visual. La porosidad interna no se puede ver desde la superficie como tampoco las fisuras internas y en general cualquier defecto interno. Por lo tanto, es necesario solicitar ocasionalmente exámenes internos para mantener una confiabilidad en los trabajos de soldadura, es necesario que el inspector tenga una buena visión.

La técnica de las pruebas no destructivas consiste en aplicar principios de física para detectar defectos o discontinuidades en los materiales, sin afectar su utilidad.

El examen con líquido penetrante es un método muy sensible y no destructivo para descubrir pequeñas discontinuidades (fallas), tales como hendiduras, porosidad que estén abiertas al superficie que se inspecciona. Este metodo se puede aplicar a muchos materiales, como los metales ferrosos y no ferrosos (vidrio, plástico)

**EXAMEN CON LÍQUIDOS PENETRANTES Y FLUORESCENTES.**

En el examen con líquido penetrante la superficie debe limpiarse para quitar cualquier capa de mugre. Las discontinuidades deben de estar libres de polvo, herrumbre, grasa o pintura, para permitir que el penetrante entre a la abertura superficial.

Un líquido penetrante se aplica en la superficie por inspeccionar. El líquido permanece en la superficie y se introduce en cualquier abertura superficial. El líquido sale a la superficie por acción capilar. Las soldaduras pueden estar en cualquier posición cuando se prueban. Después que haya transcurrido tiempo suficiente, se limpia la superficie y se elimina el exceso de penetrante. Cuando esta seca la superficie se aplica un polvo suspendido en el líquido como resultado se tiene una acción absorbente que succiona al líquido de cualquier abertura superficial. Generalmente el líquido es de color rojo, y el resultado de la prueba se muestra nitidamente contra el fondo blanco del polvo revelador. El defecto se ve más grande de lo que realmente es, así se pueden localizar hasta los más pequeños defectos. Hay disponibles latas de presión, tanques para inmersión y aplicación por brocha.

El examen con líquido fluorescente es similar al de líquido penetrante. El examen se hace usando la luz ultravioleta o la luz negra. Las áreas solidas son de color violeta subido, mientras que los defectos resplandecen con una luz verde amarillenta brillante. La anchura y luminosidad de la fluorescencia dependen del tamaño de la fractura o del defecto. Una de las aplicaciones es para descubrir fugas en las construcciones soldadas, también se utiliza mucho para revisar el paso de raíz de soldaduras muy críticas en tubos. Se debe tener mucho cuidado, así como buen criterio para interpretar los resultados.

**EXAMEN CON PARTICULAS MAGNÉTICAS.**

Examen con partículas magnéticas es un método no destructivo usado para la detección de fracturas, porosidad, costuras, inclusiones, falta de fusión y otras discontinuidades en los materiales ferromagnéticos. Con este método se pueden descubrir discontinuidades superficiales y por debajo de la superficie, pero no profundas. No hay restricción con respecto a la forma y tamaño de las partes por inspeccionar, pero únicamente se pueden inspeccionar por este método los metales ferromagnéticos.

Este método de prueba consiste en establecer un campo magnético en el área de prueba, aplicar las partículas magnéticas a la superficie del mismo, y examinar si hay acumulaciones de partículas en la superficie, las cuales indican los defectos.

El ferromagnetismo es la propiedad principal del acero de atraer pequeños trozos de acero. Un imán atrae partículas magnéticas hacia sus extremos o polos. Entre los polos de un imán fluyen líneas de fuerza magnética. Los imanes atraen materiales magnéticos solo donde las líneas magnéticas entran y salen del imán de los polos.

Si un imán se dobla y se unen los dos polos para formar un anillo cerrado, no existen polos externos, y por tanto no atraerá materiales magnéticos. Es el principio básico de la inspección con partículas magnéticas. Siempre que la parte sea libre de fracturas o de otras discontinuidades, las partículas magnéticas no serán atraídas. Cuando hay una hendidura se originan polos norte y sur en la orilla de la fisura. Las partículas magnéticas serán atraídas a los polos, que son los bordes de la discontinuidad.

Para inducir campos magnéticos se usan corrientes eléctricas en los materiales ferromagnéticos. Una corriente eléctrica que pasa a través de un conductor recto crea un campo magnético circular para un examen confiable, las líneas magnéticas de fuerza deben

quedar en ángulo recto con respecto al defecto que se quiere descubrir. Por tanto, en un conductor recto con un campo circular, se puede descubrir cualquier defecto paralelo al conductor.

Si la parte es demasiado grande para pasar corriente a través de ella, se puede magnetizar circularmente usando cables con corriente. La corriente directa es la mejor para detectar discontinuidades subsuperficiales, se emplea con mayor frecuencia en la técnica de inspección con partículas húmedas. Para las partículas secas se usa corriente directa. Esta corriente hace que las partículas pulsen, dándoles movilidad y ayuda a la formación de los resultados. La corriente alterna tiende a magnetizar solo en las hendiduras del metal y por tanto solo se usa para discontinuidades superficiales.

Las partes ferromagnéticas que se han magnetizado mantienen cierta cantidad de magnetismo residual. La atracción de trozos pequeños o partículas atraídas por el magnetismo residual puede originar un desgaste excesivo y fallas en partes rotatorias como chumaceras y sus superficies.

El equipo indispensable para este tipo de prueba es la fuente de potencia. Las unidades estacionarias se usan para el examen de partes pequeñas. Estas unidades generalmente contienen un tanque interconstruido con una bomba que agita el baño de partículas suspendidas y bombea el fluido a través de una manguera hacia las partes que se prueban. Después de la prueba puede ser necesario desmagnetizar las piezas.

#### EXAMEN RADIOGRÁFICO.

La radiografía es un examen no destructivo que utiliza rayos X o gamma invisibles, para examinar el interior de los materiales. El examen radiográfico proporciona un registro permanente en fotografía de los defectos y su interpretación es relativamente fácil, aunque lento y caro, es efectivo para detectar porosidad, inclusiones y vacíos en el interior de las soldaduras los rayos X, generados por bombardeo electrónico de tungsteno, emitidos por los elementos radiactivos, son radiación penetrante cuya intensidad se modifica al pasar a través de un material. La cantidad de energía absorbida por un material depende de su espesor y densidad. Así, una parte delgada absorberá menos energía que una parte gruesa, y un metal pesado y denso, como el acero, absorberá más energía que un metal ligero como el aluminio. La energía que no absorbió el material hará que se vea una placa ionográfica o radiográfica, por tanto, serán oscuras las áreas de la película que hayan sido expuestas a una mayor radiación, los lugares donde cambia el espesor del material debido a discontinuidades, tales como porosidad, escoria, inclusiones de baja densidad y fisuras, aparecerán como contornos oscuros en la película, mientras las inclusiones de alta densidad, como las de tungsteno, aparecerán claras, todas las discontinuidades se descubren viendo la forma y las variaciones en la densidad de la película.

La fuente de rayos X y el penetrometro se coloca sobre la pieza por radiografiar y la película se situa del lado opuesto de la pieza.

Los electrones se producen en un tubo de rayos X mediante un cátodo caliente. Se aceleran hacia el ánodo mediante un cañón de electrones en el vacío del tubo de rayos X. El ánodo es una pieza de tungsteno, y cuando los electrones chocan con él, se generan los rayos X, que se dirigen a través de una ventana hacia la parte que se van a inspeccionar.

Para determinar la sensibilidad de la radiografía se utilizan penetrometros. Que están hechos con el mismo material que se esta inspeccionando, y generalmente tienen el 2 % del

espesor de la parte que se está probando. Por tanto si se puede ver claramente el penetrómetro en la radiografía, se vera cualquier cambio (del 2 % o más) en el espesor de la pieza.

La película radiográfica consiste en una hoja de plástico cubierta con una capa fotografica. La imagen se vuelve visible y permanente a medida que se revela la película. Las operaciones en revelado de las piezas son tan criticas como la exposicion de las placas. Las radiografias no satisfactorias a veces se pueden atribuir a errores en la tecnica de revelado o al manejo erroneo de los materiales. La radiografía es uno de los metodos de examen no destructivos más populares para localizar defectos por debajo de la superficie.

Es esencial que solo personal calificado lleve acabo las interpretaciones en los rayos X, por que una falsa interpretacion de una radiografía causa perdidas de tiempo y dinero. Las radiogramas de referencia son extremadamente utiles para asegurar que las interpretaciones son correctas.

#### **EXAMEN ULTRASONICO.**

El examen ultrasonico es un metodo no destructivo que emplea vibraciones mecanicas semejantes a las ondas sonoras, pero de mayor frecuencia. Se dirige un haz de energia ultrasonica contra la pieza por examinar. Este haz viaja a traves de un material con solo pequenas perdidas excepto cuando se intercepta y se refleja por una discontinuidad o por un cambio de material.

Con el examen ultrasonico se descubren discontinuidades superficiales y subsuperficiales. Se usa la tecnica de reflexion de pulsos de contacto ultrasonico. Este sistema utiliza un transductor, que cambia la energia electrica a mecanica. El transductor esta excitado mediante un voltaje de alta frecuencia que hace que un cristal vibre mecanicamente. El sensor del cristal es la fuente de vibraciones de mecanicas ultrasonicas, esas vibraciones se transmiten hacia la pieza a probar a traves de un fluido acoplador, generalmente una pelicula de aceite o grasa. Cuando el pulso de ondas ultrasonicas choca contra una discontinuidad en la pieza de prueba se refleja hacia atras, hasta su punto de origen. Asi la energia regresa al transductor. El transductor sirve ahora como receptor de la energia reflejada. La señal inicial, los ecos iniciales de las discontinuidades, y el eco de la superficie trasera del material de prueba se despliegan por una linea en una pantalla de osciloscopio de rayos catodicos. Para registros permanentes se pueden usar videotapes.

Los principios basicos del examen ultrasonico. El transductor envia un haz de energia ultrasonico. Parte de la energia se refleja en la grieta interna, y el resto se refleja por la superficie trasera de la pieza.

La intensidad de la señal en un osciloscopio, indicando la altura del pico de la pantalla. Midiendo la altura del pico se puede calcular el tamaño del defecto. La profundidad del defecto, desde la superficie, se encuentra midiendo la posición de la base. La reflexión frontal y posterior están en los extremos de la pantalla. El eco del defecto queda entre las dos.

Para calcular el tamaño y la profundidad de defectos se deben usar técnicas de calibración y estándares de referencia.

Para examinar las partes en forma irregular, a menudo se usa la prueba por inmersión. Por este método, la pieza y el transductor se sumergen en agua. El agua transmite



y acopla el haz de ultrasonido con la pieza. No se necesita contacto físico de modo que se pueden analizar superficies irregulares.

El equipo necesario para este proceso consiste en un transductor, un generador de pulsos, un amplificador, reloj y osciloscopio. Todos estos dispositivos son electrónicos, de tamaño pequeño, portátil y resistente. El examen ultrasónico se puede usar para probar casi cualquier metal y/o material. Solo se restringe su empleo en las construcciones soldadas muy complejas. Ya que al análisis resulta bastante complicado. Las pruebas de fuga se pueden llevar a cabo solo cuando la construcción soldada se destine al almacenamiento de gases o líquidos. No se deben emplear gases tóxicos o inflamables, o aire para pruebas de presión interna. La presión interna almacenara energía, y si la parte falla, puede causar una explosión. En lugar de esto se sugiere utilizar líquidos por el interior, o hacer la prueba dentro de una cámara de seguridad.

#### ACCIONES CORRECTIVAS PARA DEFECTOS DE SOLDADURA.

Un defecto de soldadura es sinónimo de discontinuidad. Discontinuidad es "una interrupción de la estructura típica de un material como por ejemplo la falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas". Una discontinuidad no necesariamente es un defecto, ya que un defecto es "una discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o efecto acumulado hacen que una parte o un producto no sea capaz de satisfacer las normas o especificaciones mínimas de aceptación". Esta palabra implica una posibilidad de rechazo. Una soldadura defectuosa viene a ser entonces "una soldadura que contiene uno o más defectos".

Tal vez no se describan todos los probables defectos en la soldadura, pero los defectos descritos pueden suceder en distintos tipos de soldadura, pero generalmente seran semejantes a los que se presentan y se tratara de evitar el mismo tipo de defecto.

Los defectos estan agrupados de acuerdo con la clasificación establecida por el Instituto Internacional de Soldadura que divide a los defectos en seis grandes grupos:

- Serie 100, *fracturas*: incluyendo longitudinales, transversales, radiales, en cráter, etc.
- Serie 200, *cavidades*: incluyendo las bolsas de gas, porosidad interna, porosidad superficial, engomamiento, etc.
- Serie 300, *inclusiones sólidas*: incluyendo escoria, fundente, óxidos metálicos, materiales extraños, etc.
- Serie 400, *penetración o fusión incompleta*: incluyendo la fusión incompleta, penetración incompleta, etc.
- Serie 500, *forma imperfecta o contorno inaceptable*: incluyendo socavado, refuerzo excesivo, falta de llenado, forma del chaflán, traslape, etc.
- Serie 600, *defectos varios no incluidos anteriormente*: incluyendo golpes de arco, salpicadura excesiva, superficie aspera, etc.

Este instituto coincide tambien con las radiografías de referencia del Instituto Internacional de Soldadura Radiográfica.

**SÍMBOLOS DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

Estos símbolos lo ha establecido la Sociedad Americana de Soldadura (AWS). Los usa el diseñador en todo lo que se refiere a las uniones soldadas. Estos símbolos son muy semejantes a los de soldadura.

La figura 2.3 muestra los elementos del símbolo del examen y la localización entre sí, y sólo de usan aquellos elementos del símbolo de prueba necesarios para dar la información precisa.

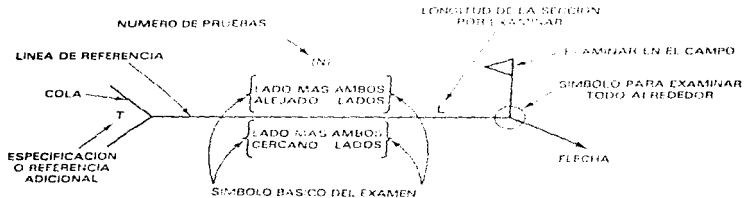


Figura 2.3 Elementos de examen y localización.

## **CAPITULO III**

**CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS ROBOTS.**

La configuración estructural de los robots afectan la habilidad del sistema para emplear una herramienta o pieza de trabajo en cualquier orientación en un punto en el espacio. Los robots tienen una área de trabajo definida como los límites de puntos en el espacio, los cuales pueden ser tocados por el extremo del brazo. Esta área varía en forma y volumen dependiendo de la estructura del robot. La posición de una herramienta puede ser activada por tres articulaciones las cuales permiten movimientos del tipo traslacional derecha/izquierda, adelante/atrás, arriba/abajo. La orientación de la herramienta puede ser activada por tres articulaciones más permitiendo movimientos del tipo rotacional como son girado, declive e inclinación que son los grados de libertad que tiene la muñeca del robot. Un manipulador con seis articulaciones o grados de libertad puede conseguir cualquier orientación de la herramienta sobre el área de trabajo.

Algunos robots tienen solamente cinco articulaciones reduciendo costos, esto permite al robot un adecuado movimiento para tareas tales como manejo de material. Para las aplicaciones con soldadura de arco, el robot usualmente es de seis grados de libertad, el cual puede posicionarse sobre la pieza de trabajo en una orientación favorable para la soldadura. Para la posición de la antorcha de soldadura o cualquier otra herramienta sobre una complicada área de trabajo de tres dimensiones, seis grados de libertad son requeridos.

Todos los sistemas de soldadura por arco con robot consisten en un número de componentes principales. La parte referida como robot se conoce como manipulador o unidad mecánica, la cual ejecuta las funciones de manipulación. El cerebro del robot es el controlador, y hay muchos dispositivos auxiliares para hacer el robot más productivo.

El manipulador del robot consiste en una serie de articulaciones mecánicas y de uniones capaces de moverse en varias direcciones para proporcionar el movimiento requerido. Los mecanismos son impulsados por medio de activadores lineales, los cuales pueden ser hidráulicos o neumáticos, y/o por medio de motores rotatorios, los cuales pueden ser hidráulicos o eléctricos. Se les acopla a través de articulaciones mecánicas y pueden ser impulsados directa o indirectamente a través de engranes, cadenas, o tornillos. Para la posición de la antorcha de soldadura o cualquier otra herramienta sobre una complicada forma de área de trabajo de tres dimensiones, seis grados de libertad son requeridos.

Las clasificaciones más comunes excluyen la muñeca y esta basada en el orden en la cual las traslaciones y rotaciones están combinadas para alcanzar una posición y definir el trabajo en el espacio. La complejidad del robot se describe generalmente por su número de ejes o grados de libertad que es capaz de proporcionar. Para generar más movimiento, la mayoría de los robots tienen un movimiento de muñeca de dos o tres ejes además de sus movimientos básicos. Al seleccionar robots es importante entender el área de trabajo dentro de la cual el robot puede hacer trabajos de soldado. Cada tipo de manipulador de robot tiene una configuración diferente del área de trabajo. La forma y el tamaño del área de trabajo se relaciona con los movimientos y con el tamaño de las articulaciones del robot. Los robots de soldadura por arco fueron originalmente diseñados para acoplarse al área de trabajo de un ser humano.

Seis estructuras de brazo de robot son las más comunes y pueden distinguirse:

1. Robots de coordenadas cartesianas.
2. Robots de coordenadas cilíndricas.
3. Robots de coordenadas esféricas o polares.
4. Robots de coordenadas antropomórficas o de brazo unido.
5. Robot de caballete.
6. Robot tipo SCARA.

Las representaciones geométricas se muestran a continuación (figura 3.1).

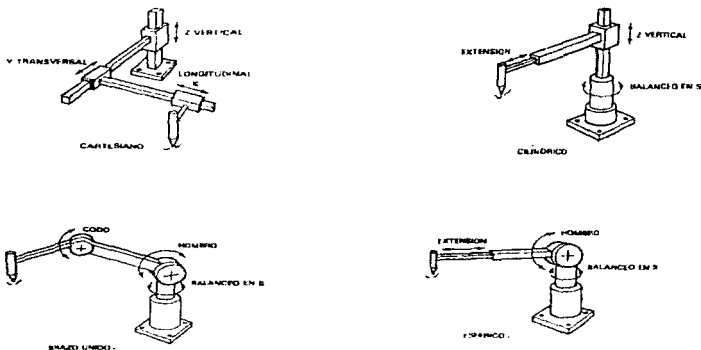


Figura 3.1 Representaciones geométricas

#### DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE ROBOTS.

El primero es el robot de coordenadas cartesianas, basándose en el sistema de representación de tres planos. A menudo se le denomina sistema de coordenadas rectangulares puesto que se mueve dentro de un volumen en forma de caja basándose en las direcciones de la  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . La dirección  $X$  representa el movimiento longitudinal en un plano horizontal. La  $Y$  representa un movimiento de tipo transversal o "hacia afuera o hacia adentro" en un plano horizontal.  $Z$  representa un movimiento hacia arriba y hacia abajo en un plano vertical. Tiene un movimiento de deslizamiento en las tres direcciones. Tiene ejes de tres movimientos, longitudinal, transversal y vertical. Su área de trabajo es una caja rectangular.

El segundo es el robot de coordenadas cilíndricas. Este tipo de robot es similar puesto que usa un movimiento de deslizamiento hacia dos direcciones, la vertical y una extensión, pero tiene un movimiento de rotación o de columpio. El área de trabajo es cilíndrica en la vista del plano y rectangular en la elevación. El brazo que mantiene al soplete de soldadura se mueve hacia arriba y hacia abajo en el mastil y oscila alrededor de él con menos de un círculo total. El soplete se extiende y se retrae.

El tercero es el robot de coordenadas esféricas, también conocido como robot de coordenadas polares. Este tipo de robot tiene un movimiento de deslizamiento y dos movimientos rotacionales. Uno es alrededor del poste vertical, y el otro es alrededor de una articulación de hombro. El mecanismo que mantiene el brazo oscila alrededor de un eje vertical y gira hacia arriba y hacia abajo alrededor de un eje horizontal. El brazo se desliza para extenderse y para retraerse. El área de trabajo es esférica con una vista de un plano similar al del robot de movimiento de coordenadas cilíndricas, pero con una vista de elevación que muestra los movimientos rotacionales basándose en la rotación del hombro.

El cuarto robot es el antropomórfico o robot con brazo de revólver o unido. Todos los movimientos son rotativos sin movimiento de deslizamiento. El área de trabajo está irregularmente formada en el plano vertical y aproximadamente dos tercios de un círculo en el plano horizontal. Este tipo de robot oscila alrededor de su base para mover el brazo en círculo. Dobra el brazo superior hacia adelante y hacia atrás en el hombro y eleva y baja el brazo inferior en codo.

El quinto robot, el cual puede considerarse como el que tiene un movimiento de coordenadas cartesianas es el robot de caballete, este es solamente para el movimiento total puesto que se anexa un robot de brazo unido o una muñeca de dos o tres ejes al carro del caballete para proporcionar un movimiento máximo dentro del área de trabajo. Esta área de trabajo es una caja rectangular de gran tamaño.

El sexto robot es el SCARA (Selection Compliance Assembly Robot Arm) "brazo de robot para montaje de cumplimiento de selección" también conocido como robot articulado y horizontal. Algunos robots tipo SCARA tienen rotación en todos sus ejes y algunos tienen un eje de deslizamiento en combinación con un eje de rotación. Los robots SCARA tienen cuatro ejes de movimiento pero no tienen mucho desplazamiento vertical. Se usan para soldar principalmente sobre un solo plano. El área de trabajo es una caja rectangular plana.

Puede haber combinaciones de estos tipos de sistemas de movimiento para aplicaciones especiales. Las áreas de trabajo de diferentes manufacturas de robots del mismo tipo son similares. Las variantes se deben a diferentes longitudes de brazo y articulaciones. El robot de brazo unido o antropomórfico es el más popular. Los movimientos básicos se muestran en la figura 3.2.

El método para conectar un soplete o pistola de soldadura es por medio de un adaptador adherido a la muñeca. El adaptador puede tener una característica de desprendimiento la cual evita que haya daños si el soplete choca con la pieza de trabajo o los implementos. La muñeca, la cual está conectada al extremo del brazo superior del robot, permite dos o tres ejes adicionales de movimiento. Son muy similares a la muñeca humana. Estos movimientos se conocen como inclinado, girado y lateralmente desviado, los cuales son términos de la navegación marítima, o doblado, torsión, e inclinación. Se usan muñecas de dos o tres ejes con robots de soldadura de arco.

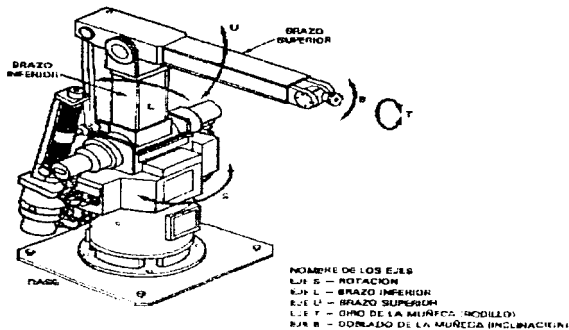


Figura 3.2 Movimientos básicos de un manipulador de brazo con un

Los movimientos del cuerpo y los movimientos de muñecas permiten que el soplete de soldadura sea fácilmente manipulado en el espacio casi en la misma forma que un ser humano lo manipularía. Esto permite que el ángulo del soplete y el ángulo de desplazamiento cambie en orden para ser soldados de buena calidad en todas las posiciones. También se requiere para llegar a áreas difíciles de alcanzar. Aun así, el robot no puede proporcionar los mismos movimientos que un ser humano pero puede acercarse muchísimo a ellos.

Se agregan ejes adicionales cuando el robot se monta sobre un carro móvil. Esto permitirá un eje de movimiento adicional. Un dispositivo de succión de trabajo puede agregar un eje de movimiento adicional. Este es generalmente una rotación y/o una inclinación, lo cual agrega dos ejes más de movimiento. Un robot de brazo unido con una muñeca de tres ejes trabajando con un manipulador de dos ejes tendría 8 ejes de movimiento.

### SISTEMAS DE MANEJO.

*Sistema de manejo hidráulico.* El manejo hidráulico tiene un alto poder para mover grandes masas debido a una alta presión. Y puede suministrar buenas velocidades y aceleraciones. Una vez presurizado el fluido es dirigido por tubos estrechos a la unidad de movimiento en la articulación del robot para convertir la energía del líquido presurizado en un movimiento útil lineal o rotatorio de pistón hidráulico o motores hidráulicos. Un pistón hidráulico dará una longitud máxima fijada o movimiento lineal o circular. Un motor hidráulico suministra movimiento rotatorio continuo. Los cilindros hidráulicos son simples y

menos expansivos para producir movimiento que los motores hidráulicos, y son por lo tanto más regulables.

Los cilindros pueden ser usados para mover una articulación directamente o para suministrar una rotación por medio de una palanca interna. La desventaja del cilindro comparada con los motores hidráulicos es generalmente su respuesta dinámica.

Lo reducido de los tamaños de la bomba para un sistema hidráulico puede no ser capaz de operar en un alto ciclo de trabajo. Por esta característica el robot no puede moverse a velocidad entera, ya que se requiere de un flujo potente. Para compensar esta demanda se instala un acumulador hidráulico que es usado como un amortiguador entre la bomba y el sistema. Esto permite al sistema usar, por periodos limitados, altas presiones de fluido.

El resto del sistema hidráulico consiste de un suministro y válvulas de retorno y conductos para dirigir el flujo del fluido y regular la presión. Como ventajas generales podemos mencionar las siguientes: su potencia máxima es diez veces mayor que la de un motor eléctrico, su velocidad de movimientos, facilidad de controlar movimientos muy pequeños y lentos de manera continua. Del lado de las desventajas tenemos: las fugas que son inevitables del fluido que pueden causar incendios, sensibilidad alta de las servoválvulas al polvo, necesidad de una planta generadora de la potencia hidráulica. Las características de un robot hidráulico son su simplicidad mecánica, su fuerza física.

*Sistema de manejo eléctrico.* Hoy en día los robots eléctricos pueden ser usados en un amplio rango de aplicaciones con cargas útiles y son frecuentemente una opción más atractiva que los sistemas hidráulicos. La mayoría de los manejos eléctricos poseen motores de corriente directa (DC), los cuales son potentes y pueden ser controlados fácilmente por simples relaciones eléctricas. Incrementando el voltaje suministrado en las bobinas del motor se incrementa la velocidad de este.

Una alternativa en el uso de motores de DC es el uso de motores a pasos. Estos motores usan un gran número de bobinas electromagnéticas unidas al rededor de un campo magnético permanente para el rendimiento de la flecha. El mayor problema de los motores a pasos es que estos se deslizan, perdiendo un número de pasos si se aplica una carga excesiva en la flecha, causando un deficiente rendimiento dinámico con resonancia en ciertas velocidades causando efectos perjudiciales en la soldadura. Los motores a pasos son demasiado caros comparados con los motores convencionales de DC.

Una segunda alternativa de los motores de DC para el manejo de robots son los motores de corriente alterna (AC). Las bobinas electromagnéticas al rededor del centro del rotor son suministradas por una corriente alterna. La dirección del flujo de corriente en las bobinas se da en la frecuencia del suministro de energía. La velocidad de la flecha del motor es proporcional a la frecuencia de la corriente AC y será constante hasta dejar caer el voltaje, entonces el motor cambiará su respuesta. Para manejar un robot equipado con motores de AC es necesario variar independientemente la frecuencia de suministro de energía de AC para cada motor. Esto es demasiado dificultoso y no es práctico, pero ahora se cuenta con un control económico y potente de motores de AC que está incorporado dentro de los robots comerciales.



En general podemos mencionar las ventajas que proporciona el uso de los motores eléctricos está la precisión de posicionamiento que es posible obtener, la facilidad de comprensión debida a la enseñanza tan difundida a todos los niveles de su funcionamiento y a la continuidad tecnológica en la cadena automática de producción.

En lo que respecta a sus desventajas podemos citar sensibilidad al ruido, limitación en potencia o el costo elevado de los sistemas de control para motores de corriente continua, peso considerable en la relación a la potencia proporcionada. Su uso es aconsejable en casos donde se requieren movimientos precisos servocontrolados. Solo cuando se requiere de potencia elevada estos sistemas de manejo no son recomendables, dejando su lugar a los manejos hidráulicos.

*Sistema de manejo neumático.* El uso de componentes neumáticos en robótica se ha desarrollado gracias a sus ventajas: facilidad de instalación es común en las fábricas (desarrollar tubería de aire comprimido), circuitos al alcance de diseñadores y del personal de mantenimiento, rapidez cuando los esfuerzos son pequeños, limpieza aún en caso de fugas, confiabilidad de los componentes.

Sus principales desventajas son: sistemas de control de posición en lazo cerrado difíciles de implementar, costos de operación no despreciables, las fugas pueden resultar caras pues al ser poco perceptibles pueden persistir por períodos largos, la potencia de los elementos por unidad de masa es inferior a la de otros sistemas de manejo, es difícil pensar en ellos para robots de tipo de brazo articulado.

Sus características lo hacen competitivo en aplicaciones simples donde las cargas por manipular son pequeñas y ligeras. No es aconsejable su uso en puestos flexibles pues su sistema mecánico es muy limitado.

#### SISTEMAS DE CONTROL.

De modo diferente para el sistema de manejo del brazo del robot descrito anteriormente. Aquí se muestra el aspecto en como los motores de manejo del brazo son controlados en un nivel oculto durante el uso. Bajo el nivel de control se debe indicar, control y movimientos terminales del brazo del robot y otros sistemas en concordancia con la secuencia de posiciones programadas. Para un robot de seis ejes pueden controlarse seis sistemas de manejo simultáneamente para el alcance y posición definida por una orientación específica de cada uno de los ejes. Para un robot sofisticado el controlador puede ser requerido para modificar la secuencia, duración de la operación, señales recibidas desde los sensores externos. Hoy en día los microprocesadores o microcomputadores son simples y controlan todos los ejes simultáneamente.

El primer requerimiento a controlar, teniendo en cuenta el conocimiento de la posición de las articulaciones del robot es la precisión y la exactitud. La mayoría de los manejos del robot hacen uso del control de servolazo usando transductores para señales de estado del motor o posición de la articulación.

Para los robots, los sensores o transductores del sistema de manejo registran la posición y/o velocidad. La señal de error la cual es proporcional a la diferencia entre la señal de estado real y señal de estado deseado, si la señal de error tiende a ser cero el motor se detiene. Los transductores o sensores pueden generar datos digitales o analógicos. Los sistemas analógicos comparan señales continuas, los sistemas digitales comparan señales en forma de pulso con el valor verdadero. Los sistemas digitales son más comunes en los robots.

por que las señales pueden ser usadas directamente por los microprocesadores. Sin embargo la mayoría de los motores de los robots son unidades analógicas (como son los motores a pasos), las señales analógicas son convertidas usando un convertidor analógico a digital (DAC) para manejar el controlador del motor.

A causa de que la mayoría de los sistemas del robot requieren exactitud en la posición y velocidad el control de lazo cerrado es usado. Sin embargo esto no basta para conocer donde está el brazo del robot, el controlador debe también conocer que tan rápido se está moviendo. Esto se puede lograr por el uso de un encoder de datos de posición y un tacómetro para los datos de velocidad del motor. El tacómetro es frecuentemente un aparato analógico mientras que el encoder es digital. Una entrada digital define una posición deseada esta, es comparada con la posición de la señal de corriente desde el encoder. La señal digital de error es convertida en una señal analógica y amplificada. Esta señal de error está entonces modificada por la velocidad del motor desde el tacómetro. La señal de error combinada se amplifica y se usa para controlar el motor.

A través de la posición de realimentación de lazo cerrado permitida el control proporcional del límite de velocidad para la magnitud de la posición de la señal de error, esta deberá tener una respuesta relativamente lenta. El uso del tacómetro permite una corrección rápida de cambios de velocidad. La selección de cada una afecta profundamente la respuesta del sistema.

#### **MEMORIA DEL ROBOT.**

La cantidad de memoria del controlador generalmente se indica por el número de pasos y de instrucciones que pueden programarse con el número de ejes involucrados. Esta se describe a menudo como aquella que tiene una capacidad de memoria de 2200 pasos y de 1200 instrucciones. La memoria debe tener 32K bytes con respaldo de batería. Debe haber una terminal de programación con un teclado y un despliegue de pantalla a demás del dispositivo de enseñanza.

El controlador generalmente tiene uno o más microprocesadores. Una ejecución más rápida, un tiempo de respuesta para un mejor control de entrada salida, y una flexibilidad general son posibles cuando se usan dos o más microprocesadores. El software del controlador, el cual proporciona todas las características de control, se almacena en el RAM (memoria de acceso aleatorio) en el ROM (memoria de lectura únicamente). La memoria puede extenderse con cassettes externos, diskettes o con drives de disco. La información externamente almacenada debe leerse dentro de el RAM antes de la ejecución.

El microprocesador debe tener puertos de comunicación para que pueda comunicarse con el controlador general. La memoria del robot debe seleccionarse basandose en el trabajo que se vaya a realizar.

#### **SELECCIÓN DE UN ROBOT.**

Al seleccionar un robot es necesario determinar su área de trabajo y alcance, y el número de ejes de movimiento del soporte. Esto permitirá determinar si el robot hará el soldado correspondiente. Esto es difícil de determinar sin hacer pruebas antes; sin embargo, se pueden adquirir programas de diseño por computadora los cuales ayudarían a decidir si el robot podrá ajustarse a la soldadura.

Al seleccionar un robot es importante determinar la velocidad de desplazamiento mientras esta soldando o no, conocida como "tiempo de corte aire". La velocidad de soldadura debe ser compatible con el proceso y procedimiento de soldadura que se van a usar. Cuando no se esta soldando el movimiento de corte de aire debe ser minimo y ademas la velocidad de desplazamiento debe ser alta.

Un factor importante es la repetibilidad del robot. Esta es una proximidad de concordancia de movimientos de posicion repetidos bajo las mismas condiciones y hacia la misma ubicacion. Esto significa mover el soplete de soldadura al mismo punto cada vez que pase a través de su programa. La mayoría de los robots electricos proporcionan una variación máxima de  $\pm 0.015$  pulgadas de movimiento de robot para giros repetidos hacia un punto programado. Esto se ve afectado por la velocidad operativa y es aceptable para soldadura por arco de metal y gas. Para la soldadura por arco e tungsteno con gas o soldadura por arco de plasma se requiere de una tolerancia mas estrecha y se desea una repetibilidad de  $\pm 0.008$  pulgadas. Esta informacion la proporciona las especificaciones de los fabricantes.

La exactitud del movimiento del robot tambien es muy importante. Este es el grado en el cual la posición real corresponde a la posición deseada del comando. Esto se mide comparando la posición del comando con la posición real.

La resolución es tambien muy importante. Esta es una medida del mas pequeño posible incremento de cambio en el producto variable del robot. Se determina por la habilidad de los codificadores de retroalimentacion de posición para determinar la ubicación de una union en particular y la posición del punto de extremo, denominado "punto céntrico de la herramienta".

Otro factor es la capacidad de transporte de peso del robot. Este es el peso al que se ajustara en su area normal operativa bajo velocidades normales de desplazamiento sobre el extremo de la muñeca. La capacidad de transporte de peso se debe ajustar al soplete de soldadura, a los dispositivos de desprendimiento del soplete, las mangueras de gas y agua, al cable de transporte de corriente y en algunos casos al alimentador de alambre del electrodo o a la cabeza de alimentacion y al alambre electrodo.

El tipo de sistema de impulsión de movimiento es extremadamente importante, así como el tipo de sensores de retroalimentacion de posición. El movimiento debe ser suave en todo momento y en todas las posiciones. Los robots de impulsión electrica se usan mas ampliamente para la soldadura con arco. Se pueden usar impulsores hidraulicos para pintar o para hacer un soldado por punto puesto que la exactitud y la repetibilidad es menos critica. Los robots electricos tiene mejor repetibilidad puesto que los sistemas hidraulicos tiende a desviarse durante el inicio y la operacion de soldadura. Además, los robots hidraulicos pueden tener fugas de aceite las cuales podrian ser un riesgo de incendio o crear fugas sobre el trabajo y producir un soldado defectuoso. Finalmente, se debe considerar la posición de montaje, el ajuste de altura de la base, el peso del manipulador y los limites ambientales.

### CONTROLADORES ROBÓTICOS.

Para los sistemas de soldadura por arco robotico, se requiere de un controlador mucho más complejo. Los controladores de este tipo incluyen un microprocesador de alta velocidad puesto que pueden requerirse un movimiento continuo, simultaneo y coordinado hasta de ocho ejes y en todos los parametros de soldadura. A medida que aumenta el número de ejes, debe aumentar la cantidad de capacidad del controlador.

Para los robots de soldadura por arco se mueven desde un punto hasta el siguiente en el espacio. La ubicación del arco se conoce como punto central de la herramienta (TCP). Es la ruta TCP la que se programa y se almacena en la memoria. Para la soldadura por puntos, se usa una técnica de recolección y colocación, y de carga de máquina con reproducción de punto a punto. Para la soldadura por arco, la reproducción del movimiento del arco es una ruta continua en el espacio. El controlador del robot debe coordinarse de modo que cada movimiento de eje empiece y termine al mismo tiempo. Es la función del programador el aceptar el consumo de muchas ubicaciones de puntos, relacionar los parametros de soldadura con la ruta aprendida, y almacenar esta información en la memoria, y después reproducirla para ejecutar un programa de soldadura. Los principales puntos de interés son el modo de enseñanza, memoria, reproducción y ejecución.

### FORMA DE ENSEÑAR AL ROBOT.

Hay por lo menos cuatro métodos para enseñar a programar un controlador de robot. Los métodos manuales, la caminata, el desplazamiento hacia adelante y la programación fuera de línea. El método manual no se usa para los robots de soldadura por arco. Se usa principalmente para los que se ocupan de la recolección y colocación de objetos.

El método de caminata requiere que el operador mueva el soplete manualmente a través de la secuencia de movimiento deseada. Cada movimiento se registra en la memoria para reproducirse durante la soldadura los parametros de soldadura se controlan en posiciones apropiadas durante el ciclo de soldadura. Este método se emplea en algunos de los primeros robots de soldadura.

El método de desplazamiento hacia adelante es la forma más popular de programar un robot. El operador de soldadura del robot logra esto usando una caja de enseñanza. Por medio de un teclado sobre el dispositivo de enseñanza, el soplete es impulsado por energía a través de la secuencia requerida de movimientos. Además, el operador carga la velocidad de alimentación del electrodo, el voltaje del arco, encendido del arco, medidores, señales de salida, funciones de salto de trabajo y otros aspectos más. Todas estas funciones están relacionadas con un punto en particular a lo largo de la ruta de enseñanza. De este modo, si se cambia la velocidad del robot, no es necesario cambiar el tiempo para que sucedan ciertas acciones. Esto significa que las acciones están relacionadas en su secuencia y posición más que con el tiempo. La velocidad de desplazamiento del soplete se programa de modo independiente entre puntos especificados por medio de un teclado.

La ruta el arco o el punto central de la herramienta se enseña moviendo el TCP a un punto en particular usando el teclado del dispositivo de enseñanza. Los ejes de la máquina localizan el soplete y los ejes de la muñeca controlan el ángulo del soplete hay un control para cada motor de impulsión. Cuando se alcanza la posición deseada, es necesario registrar la posición oprimiendo el botón de grabación. Esta misma operación se repite para el

siguiente punto de ubicación, hasta que se enseña la totalidad de la ruta. El controlador del robot debe coordinarse para controlar todos los ejes simultáneamente.

El robot normal de soldadura por arco tiene cinco o seis ejes (incluyendo dos o tres en la muñeca). El controlador debe tener una capacidad adicional para controlar los ejes del equipo de posicionamiento. Los posicionadores del robot incrementan la eficiencia general y el rango el robot, y mejoran la accesibilidad de la soldadura. El controlador del robot debe ser capaz de controlar el posicionador y proporciona un movimiento coordinado total.

En el modo de reproducción el robot seguirá la ruta entre cada punto de acuerdo con su función de interpolación. Por lo general, se usa una interpolación lineal. Lo cual significa que el arco o TCP se moverá en línea recta entre los puntos enseñados. La interpolación circular significa que el arco o el TCP se moverán en círculo. Tres puntos designarán y localizarán un círculo. Es útil para desarrollar una ruta curva y reducir el número de puntos requeridos. El modo de reproducción debe ser una ruta continua.

El controlador debe permitir la revisión de un punto enseñado sin volver a enseñar la totalidad de la ruta. Debe permitir las eliminaciones o agregados respecto a los puntos enseñados. También debe permitir cambios en la velocidad de desplazamiento o en los parámetros de soldadura. El operador debe ser capaz de verificar la ruta enseñada y los parámetros de soldadura sin soldar. La velocidad del arco puede fijarse en valores absolutos o por medio del tiempo de corrida transversal (TRT) o por el tiempo entre puntos. Lo anterior se hace bajo la modalidad de edición para que la ruta enseñada pueda modificarse o acortarse, la velocidad puede cambiarse o modificarse los parámetros de soldadura.

Generalmente se requiere una interface entre el controlador del robot y la fuente de potencia de soldadura y alimentador de alambre electrodos. Su propósito es permitir al controlador programar una corriente específica de soldadura y un voltaje de arco en secuencia con la ruta enseñada. También proporciona subrutinas tales como terminación del soldado etc. El controlador del robot generalmente tiene un número de pasos desde un mínimo hasta un máximo para controlar la corriente y el voltaje. Estos pasos deben convertirse a valores absolutos de corriente y de voltaje para ajustarse al programa. Esto se hace de modo diferente a través de distintas máquinas soldadoras y controles de alimentación de alambre. El controlador del robot debe programar los parámetros de soldadura para tener un sistema de soldado verdaderamente uniforme. Debe almacenarse y recuperarse la siguiente vez que se corra el trabajo, sin necesidad de ajustar el equipo de soldar.

El controlador del robot debe tener un sistema de diagnóstico instalado en el interior para permitir así una rápida verificación cuando se presentan problemas. La mayoría de los controladores ofrecen otras características, las cuales pueden instalarse en el interior o ser opcionales. Es importante la interpolación lineal o circular. Otras características opcionales podrían ser:

- Aceleración y desaceleración automáticas
- Cambio tridimensional.
- Control simultáneo de ejes extras.
- Escalado ascendente o descendente
- Imagen de espejo.
- Tejido software.

Todos estos son útiles para un robot de soldadura por arco. Desde un punto de vista de soldadura el tejido por programación es muy útil. Permite que el robot manipule el arco de soldadura igual que un soldador humano. Permite una sección de soldadura de mayor tamaño, un mejor contorno del reborde, y capacita al soldado para unir aberturas. Se pueden programar diferentes patrones, desde una oscilación lateral simple hasta patrones triangulares. Esto se enseña en tres pasos. La frecuencia de la oscilación del tejido, de la amplitud, y de la separación en cada extremo se enseñan también. Una vez que se enseña el patrón de tejido, la soldadura continuara a través de cambios de ruta en todos los planos sin volver enseñar el patrón de tejido. Otras opciones incluyen un rastreo de costura a través del arco. Se necesita un estudio total del robot para determinar y aprender lo que incluyen estas características.

La programación fuera de línea incluye la preparación del programa microprocesador. Se debe usar un lenguaje apropiado. El programa se ingresa a la memoria del robot rápidamente. Este incrementa la utilización del robot, puesto que la enseñanza de desplazamiento hacia adelante retiene al robot durante la programación. La programación fuera de línea es difícil y requiere de personal experimentado. Toda vía no ha adquirido gran aceptación.

#### **SENSORES DE COSTURA.**

La soldadura con robot produce de modo consistente soldados de alta calidad cuando las partes de la pieza de soldadura, la ubicación de la unión, el ajuste de la misma, y demás aspectos similares estén perfectos. Un operario que use soldadura manual puede superar los problemas de un ajuste inadecuado, una mala ubicación de la unión de la soldadura, errores en el ajuste de las uniones, etc., puesto que la soldadura es un sistema de ciclo cerrado. Para producir trabajos de buena calidad con equipo automático, cuando el ajuste es inadecuado, se requiere de dispositivos de sensibilización y los controles adaptativos, adecuadamente diseñados, capacitaran al equipo de soldadura para compensar las variantes en la uniones, en el tiempo real, y para producir soldados de alta calidad deseada.

Para hacer una soldadura exitosa sin supervisión o intervención humana, el robot de soldadura debe por lo menos contar con las siguientes características:

- Encontrar la unión a soldar
- Seguir la unión de las piezas (rastreo de la costura)
- Proporcionar una fusión de raíz en la unión de soldadura.
- Proporcionar una fusión de multipasos.
- Establecer la técnica de soldadura.
- Llenar completamente la unión con refuerzo.
- Modificar y llevar acabo el programa de soldadura.
- Producir una unión metalúrgica de alta calidad.

Los principales componentes para lograr una soldadura con robot son los sensores (dispositivos de sensibilización). Hay dos tipos básicos, los de contacto o táctiles, y los de no contacto. Hay seguidores de costura del tipo de contacto, algunos han estado disponibles por muchos años y son relativamente durables. Los sensores del tipo de contacto se usan extensamente para muchas aplicaciones pero no son convenientes para la soldadura de arco con robot.

Los sensores del tipo de no contacto son mucho más complejos y necesarios para soldadura robótica. Hay por lo menos tres tipos de sensores de no contacto. Un tipo utiliza relaciones físicas o técnicas. Otros tipos utilizan características de arco mientras se suelda y se les considera sistemas "a través el arco". El tercer tipo utiliza medios ópticos o de visión no solamente para seguir la unión sino para controlar también otras condiciones de trabajo.

La tabla 3.1, muestra una clasificación de los sistemas de sensores de soldadura por arco.

#### *Clasificación de los sensores.*

##### **I. De contacto/táctil (rastreo de costura)**

- A. Mecánico - rodillo enresortado cargado con soplete de soldadura
- B. Electromecánico - sonda con soplete sobre lidos transversales motorizados.
- C. Sonda de contacto intermitente - electromecánica
- D. Sonda de extensión de electrodo eléctrico con control complejo.

##### **II. De no contacto ( para varias actividades)**

###### **A. Relación de características físicas.**

- 1. Acústica - para el control de la longitud de arco.
- 2. Capacitancia - para el control de la proximidad.
- 3. Corriente de Foucault - para el rastreo de costura.
- 4. Inducción - para el rastreo de costura.
- 5. Radiación infrarroja - para el control de penetración.
- 6. Magnético - Electromagnético.
- 7. Ultrasonico - para control de penetración y control de calidad.

###### **B. A través del arco ( contacto eléctrico)**

- 1. Control de la longitud del arco ( control de voltaje del arco).
- 2. Oscilación con mediciones eléctricas - GMAW (soldadura MIG).
- 3. Oscilación con mediciones eléctricas - GTAW (soldadura TIG).

###### **C. Óptico-visual (captación y procesos de la imagen).**

- 1. Luz reflejada con detección del fotodiodo.
- 2. Visualización del arco de soldadura
- 3. Visualización del charco de soldadura fundido
- 4. Visualización de una junta adelante del arco.
- 5. Técnica de sombra láser.
- 6. Técnica láser para el descubrimiento del rango (rastreo).
- 7. Optoelectrónico.
- 8. Luz láser estándar.
- 9. Otros sistemas.

Tabla 3.1 Clasificación de los sensores.

**SENSORES DE CONTACTO.**

Se han usado sensores táctiles o de contacto para el rastreo de uniones durante muchos años. Van desde sistemas mecánicos simples hasta sensores complejos de contacto electromecánico. Se usan para costuras largas y rectas donde el cambio de dirección es gradual. El rastreador de costura más sencillo del tipo de contacto es un rodillo o rueda enrosotado con un soplete de soldadura flotante. El rodillo se ajusta contra una superficie de referencia y hace que la cabeza mantenga una relación dimensional específica con la unión. La cabeza seguirá los movimientos generados por el rodillo. Este dispositivo es útil para hacer costuras combadas o formadas. También puede usarse para mantener una distancia específica por arriba de la superficie del metal base cuando se suelda.

Un sistema electromecánico es más versátil. En este caso, una rueda o sonda de punzon hará contacto con una superficie que puede ser la superficie de la placa, el filo de una soldadura de ranura, el filo de una soldadura de filete, etc., y proporciona una señal para un circuito de control el cual opera un deslizamiento transversal motorizado para mover el soplete. Estos dispositivos de un solo eje, pueden usarse para hacer soldadura de filete o de ranura. Se puede agregar un segundo eje el cual proporciona dimensiones exactas de soplete a trabajo. Esto requiere de deslizamientos transversales motorizados X-Y. La sonda y el soplete se montan sobre el carro. Este tipo de equipo se usa ampliamente para costuras largas y rectas con manipuladores de cordón y mastil. También es popular para soldadura de rodillo de tubos con cabeza estacionaria pero flotantes sobre la unión. Las sondas son de diferentes diseños. En algunos casos se puede reemplazar el extremo de la sonda o de el punzon. Se conecta a un par de interruptores que proporciona la señal. La sonda debe estar superficialmente alejada del arco para evitar la acumulación de salpicaduras. Las sondas se desgastan y deben reemplazarse. Un problema con este equipo son los soldados de hivanado, y el inicio y el final de la soldadura. Este tipo de equipo no es conveniente para soldadura de arco con robot.

Se usa un seguidor especial de costura de contacto intermitente para la soldadura de arco con robot. Este dispositivo se conecta al soplete. Es diferente en tanto que la sonda no toca el trabajo constantemente. Por medio de un vibrador neumático la sonda toca intermitentemente al trabajo de cuatro a cinco veces cada segundo. Esto elimina el problema de arrastre asociado con la sonda normal. Este dispositivo puede usarse para soldadura de filete y para uniones de traslape con un espesor mínimo de material de 1.6 mm. Esta unidad alimenta señales al sistema de control del robot que controla el movimiento del soplete. También buscará el inicio del trabajo de soldadura. La función de búsqueda y la ruta cambiada se almacena en la memoria del robot. Mantendrá una distancia constante del soplete al trabajo y también seguirá a la unión. Este dispositivo se hará cargo de los cambios graduales de dirección pero no puede ajustarse a un giro de 90°.

El problema que usan una sonda o rueda mecánica es la distancia desde el arco hasta el punto de sensibilización. Si la distancia es demasiada grande, pueden ocurrir desviaciones. Si la distancia es demasiada corta, el arco interfiere en la sonda y causará un rápido desgaste y deterioro. El otro problema es la incapacidad de estos sistema para ajustarse a cambios bruscos de dirección bajo velocidades de soldadura.

Se emplea un tipo diferente de sistema de contacto conjuntamente con el sistema de rastreo a través del arco. Este sistema utiliza alambre electrodo, el cual sobresale ligeramente más allá de la punta de corriente de la pastilla, como contacto. El alambre del



electrodo se programa para mover y tocar la superficie del trabajo y diferentes puntos dentro de la unión para determinar el punto de inicio de soldadura y el final de la misma. Este sistema puede programarse para medir la geometría del soldado y para establecer el soldado de la ranura del mismo. Utiliza un sistema de movimiento complejo, y funciona bien sobre un robot de brazo unido. El sistema es manejado por computadora. Puede utilizar un sistema experto y una memoria. Es capaz de sentir la ruta de la unión en tres dimensiones y de almacenarla en la memoria. El cálculo del detalle de la unión de la soldadura en conexión con el banco de datos empíricos establecerá nuevos procedimientos de soldadura y modificará los parámetros de esta. El contacto se establece usando un voltaje en el alambre del electrodo, y cuando hace contacto con el trabajo proporciona señales de localización. Este sistema se está volviendo popular en los sistemas de soldadura por arco robótico que emplea sensores a través del arco.

### SENSORES DE NO CONTACTO.

Hay tres sistemas básicos de sensores del tipo de no contacto.

1. Los sistemas de sensores - los cuales se basan sobre las características físicas de los materiales o en las relaciones de salida de energía.
2. Los sistemas a través del arco - los cuales utilizan señales eléctricas generadas en el arco.
3. Los sistemas ópticos de visión - los cuales tratan de duplicar al ojo humano.

El principio de la relación de las características físicas de no contacto o sensores del tipo de salida de energía es convertir los cambios de propiedades o energía física en señales eléctricas que puedan ser procesadas para proporcionar señales al controlador de soldadura e iniciar así acciones específicas. Estas se usan para diferentes actividades, desde interruptores de límite hasta rastreo de costura.

Se está usando energía acústica para controlar la longitud del arco en un arco de tungsteno con gas. Normalmente se usa el voltaje del arco. La energía es linealmente proporcional al voltaje del arco. Una guía de onda acústica cercana al arco conduce a un micrófono que amplifica la señal, la filtra y la rectifica. Se usa para controlar el movimiento del tope y la longitud del arco. Se usa para la soldadura por arco de tungsteno con gas.

La capacitancia es la propiedad que es utilizada por algunos interruptores de proximidad. El interruptor de límite del tipo de capacidad ha sido usado en la robótica durante años. Puede ajustarse para diferentes distancias y también se usa para detectar la presencia o ausencia de material.

Las corrientes de Eddy se presenta en el metal base por medio de un campo adyacente de corriente alterna. Las corrientes de Eddy pueden usarse para el rastreo de costura. El campo de corriente alterna se genera por medio de una bobina que se localiza cerca del metal base. Otra bobina actúa como capturadora y detecta la corriente de Eddy. El circuito electrónico produce un voltaje que depende de la distancia del metal base. La salida cambia porque la unión interrumpe la superficie del metal. El sensor oscila a través de la unión para producir señales de control. Estas señales se procesan para dar la posición de la línea central e la unión. Se requiere en diferentes tipos para el metal ferroso y para los metales no ferrosos. El espesor no es un factor fundamental. Este sistema es uno de los más populares entre los sistemas de rastreo de costuras.

La inductancia o corriente inducida en el metal base puede detectarse, medirse y usarse para el rastreo de costura. El sensor contiene dos bobinas, las cuales exploran la costura y proporcionan señales que dan información sobre la ubicación de la unión. Esto es similar al sistema de corriente de Eddy. Debe estar a una distancia definida por arriba de el metal base. El sensor debe colocarse adelante del arco debido a la sensibilidad del calor, las salpicaduras y chispas.

La radiación infrarroja puede captarse por medio de diferentes tipos de sensores y se usa para el control de la penetración. El sensor infrarrojo se enfoca sobre la parte inferior del charco de soldadura. El sensor capta el color del metal bajo el soldado. El sistema se sujeta a las condiciones de la superficie y a la ubicación exacta del objetivo. No se considera extremadamente confiable como un sistema de penetración y tiene aplicaciones limitadas.

Los sistemas electromagnéticos son básicamente los mismos que los sistemas de corriente de Eddy y de inductancia. La energía ultrasonica se usa ampliamente para las pruebas no destructivas. Es posible usar ultrasonido para el control de penetración en tiempo real del soldado. El acoplamiento del transductor se está con rayos laser.

#### **RASTREO DE COSTURA A TRAVÉS DEL ARCO.**

El rastreo de costura a través del arco tiene muchas ventajas. Es un sistema de no contacto y no tiene implementos accesorios instalados en el soplete. Es un sistema de tiempo real que puede usarse para diferentes tipos de soldadura. La coordinación ocurre mientras se hace la soldadura. Hay varios tipos de sistemas a través del arco. Puede hacerse con procesos en los que el metal cruza o no el arco.

El sistema más antiguo de sensibilización a través del arco, fue el sistema de control de longitud para el arco de tungsteno con gas y para la soldadura por arco de pasma. Estos sistemas se denominan sistemas de control de voltaje del arco, sin embargo, el control de la longitud del arco (ALC) es el nombre más apropiado. El voltaje de arco se controla, se amplifica y se usa como un punto de referencia para un sosten con soplete motorizado. Un voltaje específico está presente en el controlador el cual mantendrá el voltaje (y la longitud del arco) a pesar de las variaciones en el trabajo o en la ruta de desplazamiento. Algunos sistemas de arco tienen un mecanismo de arco a través del cual cuando el tungsteno frío del soplete toca al trabajo, se inicia el arco e inmediatamente se aparta del voltaje presente. Los sistemas de control de longitud de arco son muy confiables y han sido utilizado exitosamente durante muchos años.

El principal interés de los sistemas a través del arco es el rastreo de costura, con soldadura por arco de metal y gas y con soldadura por arco de tungsteno con gas. El principio de operación se basa en la oscilación del soplete de soldadura y en coordinación del voltaje del arco y o de la corriente de soldadura del extremo de la oscilación. Se emplea una oscilación o movimiento mecánico; la oscilación magnética se usa para la GTAW pero no para la soldadura por arco de metal y gas. Se usa para las soldaduras de filete o para las soldaduras de ranura en forma de V. Los circuitos de control miden el voltaje y/o la corriente y comparan el valor izquierdo y el valor derecho para hacerlos iguales. El circuito de control mueve el soplete hacia el punto del centro hacia los dos puntos iguales de bajo voltaje o de bajo corriente. Esto ajusta automáticamente la ruta real a partir de la ruta señalada. Este sistema tiene también un modo de reconocimiento de esquina el cual permite un rastreo alrededor de un cambio de dirección de 90°. Esta unidad es capaz de sentir la ruta

de la unión en tres dimensiones. Puede usarse con todos los modos de transferencia de metal. Se pueden lograr velocidades de soldadura hasta de 40 pulgadas por minuto. La amplitud de la oscilación puede ir desde 1/8 hasta 1 pulgada y la frecuencia va desde 1 hasta 4 Hz. Los controles para este sistema deben integrarse dentro de los controles del robot.

Esto se acopla a menudo con el sistema de contacto eléctrico donde el alambre electrodo se usa para encontrar y medir la unión de soldadura. El paso final de una soldadura de ranura se logra usando los pases anteriores para establecer la ruta del soplete en la memoria.

Se puede usar un sistema similar con soldadura por arco de tungsteno con gas. Se emplea una oscilación mecánica o magnética y el voltaje del arco se percibe al final de cada oscilación. Cuando la longitud del arco se vuelve más corta al final del torque de la oscilación, el torque se invierte. Al igualar las señales en cada extremo de la oscilación, el soplete seguirá la línea central de unión. Se usa para la soldadura de ranura, y con el circuito de la memoria se hace el paso final en la ubicación correcta. Si es excesivo el espaciamiento o la ranura de la soldadura, la máquina puede programarse para seleccionar un procedimiento diferente del banco de la memoria y para hacer capas alternas en lugar de un solo pase.

## **CAPITULO IV**

**DESARROLLO EXPERIMENTAL****MATERIAL UTILIZADO EN LAS PROBETAS.**

**Solera de acero de bajo carbono.** Con la finalidad de evaluar la soldadura aplicada con el robot variando los parámetros de la soldadura, se generaron las probetas necesarias. El material que se empleó para la realización de dichas probetas fue solera de acero comercial de bajo carbono roloado en frío, el cual tiene las siguientes dimensiones 0.250 in (6.35 mm) de espesor y 0.750 in (19.05 mm) de ancho y longitud de 3.93 in (100 mm), el acero presenta la siguiente composición química (tabla 4.1)

Elemento	carbono	manganeso	fosforo	azufre
Contenido %	0.18-0.18	0.706	0.010	0.050

Tabla 4.1 Composición química del acero de bajo carbono

**Electrodo.** El electrodo empleado para realizar la soldadura fue seleccionado considerando las recomendaciones de la AWS norma A5.18. Metales de aporte de acero de bajo carbono para soldadura por arco protegido con gas. Siendo este un electrodo F70S-3 que presenta una composición química similar al metal base para asegurar una adecuada soldabilidad a demás de contar con un revestimiento de cobre el cual tiene varias finalidades una es la de mejorar el flujo de corriente entre la punta de contacto y el electrodo, otra es la de evitar la oxidación del alambre cuando se expone a la atmósfera.

La tabla 4.2, muestra la clasificación y límites de composición para el electrodo de acero utilizado en el método de soldadura de arco de metal con gas, MIG

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Ch	Otros
Contenido %	0.06-0.18	0.90-1.40	0.45-0.70	0.025	0.035	0.50	Ti, Zr, Al

Tabla 4.2 Composición del electrodo F70S-3

Así mismo se consultaron los parámetros recomendados por el fabricante del electrodo a fin de tener el valor de partida en la evaluación de los parámetros óptimos de la soldadura. Dichos parámetros se presentan en la tabla 4.3.

Díámetro del electrodo	Tipo de polaridad	Corriente Amperes	Voltaje Volts	Flujo de gas CFH
0.9 mm (0.035")	DC-PI	60-225	17-35	20-35

Tabla 4.3 Datos de operación del electrodo F70S-3

**Gas empleado.** La selección del gas se basó en las recomendaciones de la AWS; la cual propone que el gas más adecuado en la soldadura de aceros de bajo carbono y empleando el electrodo recomendado es una mezcla de 75 % argón - 25 % CO<sub>2</sub> para la protección del arco de soldadura tipo MIG tomando en cuenta el espesor del material a soldar. Tal mezcla brinda al proceso mínimas salpicaduras, apariencia limpia y un buen control del charco de soldadura.

**EQUIPO EMPLEADO EN LA PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.**

**ROBOT.** El robot empleado es de la marca MOTOMAN modelo K6SB de coordenadas antropomórficas o de brazo unido de 6 grados de libertad, el manipulador lleva acabo la tarea de ejecutar el programa de soldadura sobre el metal base en este caso el material para generar las probetas. Este robot cuenta con un **CONTROLADOR YASNAC ERC L-106.** Equipado con un microprocesador de alta velocidad que coordina el movimiento continuo y simultáneo del total de ejes y los parámetros de soldadura. El controlador tiene interconectado un **PANEL DE CONTROL YASNAC ERC.** Donde se programa la ruta de la herramienta y los parámetros de soldadura, y una **CAJA DE ENSEÑANZA (teach pendant).** Donde se enseña al robot la ruta para realizar la tarea de soldar. La energía se genera por una fuente de energía **MEGA-MIG 450-RVS** de voltaje constante con los rangos de operación corriente directa de 450 amperes, voltaje mínimo 13 V, voltaje máximo 42 V. La característica de esta fuente es que la velocidad del alambre depende de la corriente programada.

**MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TENSION** marca INSTRON modelo 4206 con capacidad de 15 toneladas. Donde se realiza la prueba de tensión para evaluar la resistencia de la unión; dicha máquina cuenta con una microcomputadora en la cual es posible programar las condiciones de la prueba y obtener un reporte con los resultados a si como las graficas correspondientes a cada ensayo.

**MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.** Empleado para observar la zona afectada por el calor, principal área de atención para la soldadura, las características del microscopio son las siguientes:

- Voltaje de aceleración 0 - 30 Kv
- Detector de electrones secundarios y de retrodispersados
- Almacenamiento de información: cámara fotografica de 35 mm, videoprint y disco duro de sistema de computo
- Equipo de microanálisis por dispersión de energía

**MICRODUREMETRO VICKERS.** Empleado para medir la microdureza en las diferentes microestructuras presentes en la zona afectada por el calor, metal de aporte y material base.

**FRESA VMC-100 DE CONTROL NUMÉRICO.** Empleada para maquinar las probetas de acuerdo a las normas consultadas.

**PRESAS MECÁNICAS.** Para sujetar las probetas y evitar la distorsión ya que en cualquier tipo de soldadura siempre hay la generación de esfuerzos por choques térmicos que pueden provocar una tensión y torsión de las piezas soldadas.

**PREPARACIÓN DE LAS PRUEBAS A SER SOLDADAS.**

La preparación de las probetas se realizaron con base en la norma oficial mexicana NOM II-7 (métodos de pruebas mecánicas para juntas soldadas) obtenidas en la Dirección General de Normas.

Las cuales establecen que para determinar la resistencia a la tensión de juntas soldadas a tope se debe utilizar una probeta de sección transversal reducida para placa como se muestra en la figura 4.1.

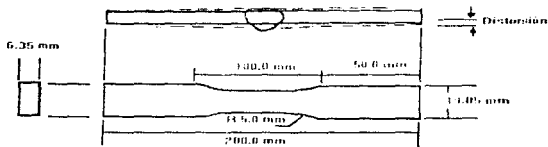


Figura 4.1 Probeta de sección transversal reducida

Esta probeta se emplea para obtener resultados que permiten evaluar la eficiencia de la unión. El refuerzo de la soldadura debe removerse a menos que se requiera simular la configuración de la soldadura usada en servicio. Los biselos de la unión a tope se muestran en la figura 4.2.

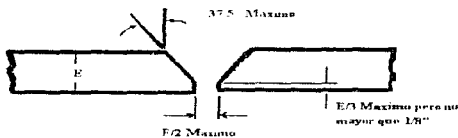


Figura 4.2 biselos para una unión a tope.

Las dos partes constituyentes de la probeta se montaron sobre la mesa, sujetándolas con las prensas mecánicas para evitar al máximo la distorsión; se puso en operación el programa de soldadura grabado en la memoria del controlador. Dicho programa es el siguiente:

LINE	STEP	INSTRUCTION			
0000	000	NOF			
0001	001	MOVJ	VJ	15.00	JOB ARCON01
0002	002	MOVJ	VJ	15.00	LINE ESTEP INSTRUCTION
0003	003	MOVJ	VJ	15.00	0000 000 NOF
0004	004	MOVJ	VJ	20.00	0001 VWELD 8.2
0005		CALL	JOB ARCON01		0002 AWELD 10.2
0006	005	MOVL	V	40	0003 ARCON
0007		CALL	JOB ARCOOF01		0004 RET
0008	006	MOVJ	VJ	15.00	0005 END
0009	007	MOVJ	VJ	15.00	JOB ARCOOF01
0010		END			LINE ESTEP INSTRUCTION
					0000 000 NOF
					0001 VWELD 0.00
					0002 AWELD 0.00
					0003 ARCOOF
					0004 RET
					0005 END

En el programa se variaron los parámetros de soldadura a fin de obtener las mejores resistencias en la unión soldada. Los parámetros que se variaron fueron los siguientes:

1. Voltaje
2. Corriente
3. Velocidad de desplazamiento del soplete.
4. Flujo de gas.

Como se indica en el programa, en este se encuentran movimientos e instrucciones. Los movimientos son:

**MOVJ:** Que es un movimiento por juntas (articulación) este es el tipo de movimiento que lleva el soplete cuando el robot no está soldando

**MOVL:** Indica un movimiento lineal, y es la trayectoria que describe el soplete cuando realiza la operación de soldadura. Es en esta línea del programa donde se varía el parámetro de velocidad de desplazamiento del soplete

**ARCONXX** y **ARCOOFXX:** Son las subrutinas para encender o apagar el arco, son instrucciones que llama el programa principal en el momento que inicia y termina la operación de soldadura respectivamente. Estas subrutinas se almacenan en la memoria del controlador como cualquier trabajo y contienen una serie de instrucciones como las siguientes: **VWELD** y **AWELD** que son parámetros de voltaje y corriente. Para introducir los valores requeridos para estas dos instrucciones es necesario consultar las tablas de



argumentos que se encuentran en el manual de operación del robot, dichos argumentos corresponden a un valor absoluto de voltaje y corriente de arco de soldadura.

**ARCÓN y ARCOOF:** Son instrucciones de encender y apagar el arco de soldadura con los valores de los argumentos de voltaje y corriente previamente introducidos en las subrutinas respectivas.

**RET:** Es un retorno al programa principal después de haber ejecutado la orden de encender y apagar el arco de soldadura.

Para variar el parámetro del flujo del gas, este se modifica con ayuda de la caja de enseñanza de la siguiente manera: Se prende la fuente de energía, se activan las salidas presionando solo una vez la tecla out put y con la tecla de menos (-) se encuentra la salida número 17 en el display de la caja, una vez realizado esto se mantienen presionadas a la vez las teclas out put y más (+), en este momento se puede ajustar el parámetro mediante el regulador del medidor del flujo del gas. Cabe hacer notar que de esta manera se puede meter y sacar el electrodo con las salidas 70 y 63 respectivamente, la manera de hacerlo es igual que para el gas de protección.

#### PRODUCCIÓN DE LAS PROBETAS.

Debido a que no existe un manual o guía específica de soldadura aplicada con robot para producir las probetas se tomaron de partida los parámetros óptimos de un proceso de soldadura de arco de metal con gas semiautomático. Con estos valores óptimos se llevo a cabo el ensayo número uno, y para los demás ensayos se vario un solo parámetro manteniendo los demás constantes; esto con el fin de evaluar como los parámetros influyen en las propiedades mecánicas de la unión de soldadura. La tabla 4.4 enumera los ensayos así como los parámetros a los que se sometieron las probetas.

Número de ensayo	Número de probetas	Voltaje V	Corriente A	Vel. de desplazamiento del soplete mm/seg	Flujo de gas CFH
ENSAYO 1	6	26	160	50	30
ENSAYO 2	6	28	160	50	30
ENSAYO 3	6	24	160	50	30
ENSAYO 4	6	26	180	50	30
ENSAYO 5	6	26	190	50	30
ENSAYO 6	6	26	160	70	30
ENSAYO 7	6	26	160	40	30
ENSAYO 8	6	26	160	50	15
ENSAYO 9	6	26	160	50	0

Tabla 4.4 Parámetros de soldadura

Como indica la tabla para cada ensayo se produjeron 6 probetas, 5 de las cuales se someterán a una prueba de tensión para evaluar como los parámetros influyen en la eficiencia de la unión, a algunas probetas se les practicará un análisis metalográfico a fin de observar los cambios en la microestructura en la zona periférica de la soldadura causada por los parámetros empleados durante la unión.

#### REALIZACIÓN DE PRUEBAS

Una vez generadas las probetas, con los distintos parámetros de soldadura, se procede a evaluar la calidad y resistencia de la unión. Para calificar la calidad de la soldadura se realizaron pruebas no destructivas, y con las pruebas destructivas se determina la resistencia de la unión mediante un ensayo de tensión.

#### PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Las pruebas no destructivas ( NDT ) es un término general, usado para los distintos métodos de inspección para evaluar la calidad de la soldadura y zonas adyacentes sin destruirlas. Con estas pruebas podemos determinar la localización, distribución, tamaño y tipo de defectos o discontinuidades que pueden presentarse en la zona de fusión, zona afectada por el calor y material base al variar los parámetros en el programa de soldadura del controlador del robot.

Los parámetros de soldadura de arco de metal con gas aplicada con robot, influyen en la calidad de la unión y se puede calificar de aceptable o rechazable, es importante definir el concepto de discontinuidad.

Una discontinuidad es una interrupción de la estructura de la zona de fusión, zona afectada por el calor y material base, tanto como una falta de homogeneidad en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas.

El resultado de las pruebas indican que son satisfactorias, ya que no se presenta discontinuidad alguna en las superficies a las que se les practica la prueba de partículas magnéticas, por lo menos superficial y subsuperficialmente.

#### PRUEBA NO DESTRUCTIVA POR INSPECCIÓN VISUAL.

En esta prueba no se requiere de equipo sofisticado para determinar como los parámetros utilizados afectan la calidad de la soldadura, sin embargo, si consiste esta prueba en varias etapas que son:

#### INSPECCIÓN VISUAL ANTES DE APLICAR LA SOLDADURA.

Antes de correr el programa de soldadura grabado en la memoria del controlador del robot se revisaron los siguientes puntos.

1. La preparación de los bordes de las piezas a soldar, dimensiones y acabados según lo establecido en las normas consultadas.
2. Alineación y sujeción correcta de las piezas a soldar para evitar al máximo la distorsión.
3. Verificación del metal de aporte (electrodo) que sea de acuerdo a la composición química del material base según lo recomendado por la AWS.
4. Verificación del gas de protección de acuerdo al material base atendiendo las recomendaciones de la AWS. Además del correcto valor del parámetro del flujo del gas según el ensayo que se realiza.

5. La corrida en vacío del programa del robot ya sea en ciclo o paso a paso, para verificar que los parámetros de voltaje, corriente y velocidad de desplazamiento del soplete sean los programados para el número de ensayo propuesto, a demás de la correcta trayectoria del soplete de soldadura.
6. Aplicación de spray para evitar que se peguen salpicaduras (chispas) en la boquilla del soplete del robot y así evitar un flujo turbulento del gas de protección que pudiera ocasionar una deficiente atmósfera de protección sobre la unión.
7. Verificar que la fuente de energía este encendida para que fluya la corriente hacia el arco de soldadura.

#### INSPECCIÓN VISUAL DURANTE LA SOLDADURA

Durante la aplicación del programa de soldadura se revisaron los siguientes aspectos:

1. Que el robot realice la tarea programada sin falla alguna.
2. Que la fuente de energía este encendida.
3. Que el flujo de gas sea el requerido.

#### INSPECCIÓN VISUAL DESPUÉS DE LA SOLDADURA

En esta etapa se observó la apariencia física de cada una de las probetas de ensayo. En general las probetas presentaron una apariencia limpia, sin salpicaduras y discontinuidades en el cordón de soldadura y en área adyacente a éste; excepto para las probetas de los ensayos 8 y 9 donde se varió el flujo de gas a  $15 \times 0$  CFH, que presentaron defectos en el cordón de soldadura. Debido a esto se descartaron para aplicarles las pruebas de tracción.

#### INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Esta prueba no destructiva sólo se le practicó a las probetas correspondientes a los ensayos del 1 al 6, ya que las correspondientes a los ensayos 8 y 9 fueron descartadas en el examen de inspección visual.

La inspección con partículas magnéticas ( MT ) es usado sobre las probetas para detectar discontinuidades superficiales o subsuperficiales. El método se basa en el principio de fuerzas de líneas magnéticas que son distorsionadas por un cambio en la continuidad del metal de soldadura, zona afectada por el calor y metal base. En un defecto de discontinuidad se observa una acumulación de partículas de polvo de hierro debido a la distorsión de las líneas del campo magnético.

De esta prueba se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que ninguna de las probetas presentó discontinuidades.

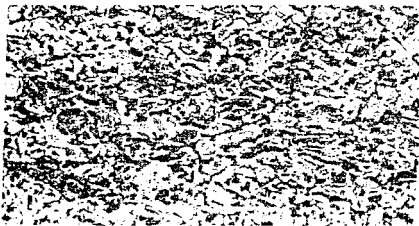
#### MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.

Para poder observar y evaluar los cambios de la microestructura en la zona periférica a la soldadura, es decir, la zona afectada por el calor, a una probeta de cada ensayo se le practicó una metalografía en el microscopio electrónico a fin de observar los cambios ocasionados en su microestructura debido a la variación de los parámetros del proceso de soldadura.

En el microscopio electrónico se observó la microestructura de cada una de las diferentes partes de la zona afectada por el calor. El comportamiento fue similar en todas las probetas, es decir, que se presentaron los fenómenos de crecimiento de grano, recristalización incompleta y una recristalización completa.

En las siguientes fotografías obtenidas por el microscopio electrónico se muestran las microestructuras que componen la zona afectada por el calor. Así como la estructura del metal base antes de aplicar la soldadura a fin de comparar los cambios de fase que ocurrieron después de llevar a cabo la ejecución del programa de soldadura por el robot. Como ya se mencionó el comportamiento fue similar para todos los casos, por lo cual sólo se presentan fotografías representativas.

Se tomó la microdureza en cada fase presente en la zona afectada por el calor, con el propósito de comparar la microdureza desde el centro de la soldadura hasta el metal base. Los valores obtenidos se graficaron y se muestran a continuación de las fotografías.



Fotografía 4.1 Microestructura del metal base antes de la soldadura atacada con nital al 3%



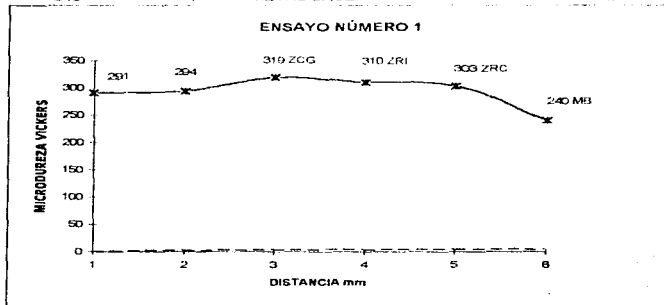
Fotografía 4 2 Crecimiento de grano atacada con nital al 3%



Fotografía 4 3 Recristalización incompleta y completa atacada con nital al 3%

## GRAFICAS DE LOS ENSAYOS DE MICRODUREZA.

MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS		
291	0	CENTRO DE LA SOLDADURA	
294	1.5	SOLDADURA	
319	2.5	ZONA DE CRECIMIENTO DE GRANO	ZCG
310	3	ZONA DE RECRISTALIZACION INCOMPLETA	ZRI
303	3.5	ZONA DE RECRISTALIZACION COMPLETA	ZRC
240	4	METAL BASE	MB

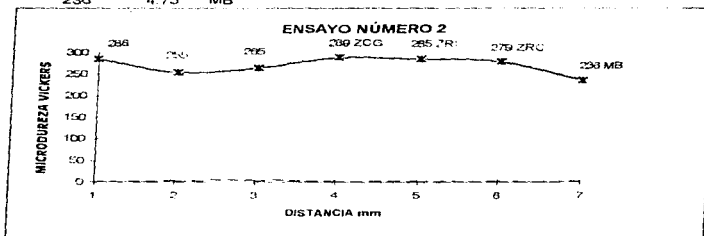


**PARÁMETROS DEL ENSAYO 1**  
 VOLTAJE = 20 V  
 CORRIENTE = 180 A  
 VEL. DESP. SÓPLETE VEL = 50 mm/seg  
 FLUJO DE GAS 30 CFH

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

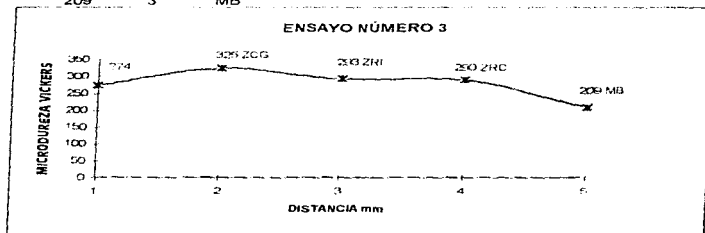
MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
286	0	CENTRO
255	1.5	
265	3	
289	3.5	ZCG
285	4	ZRI
279	4.25	ZRC
236	4.75	MB

PARÁMETROS DEL ENSAYO 2  
 VOLTAJE = 28 V  
 CORRIENTE = 160 A  
 VEL DESP SOPLETE 50 mm/seg  
 FLUJO DE GAS 30 CFH



MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
274	0	CENTRO
325	1.5	ZCG
293	2	ZRI
290	2.5	ZRC
209	3	MB

PARAMÉTR0S DEL ENSAYO 3  
 VOLTAJE = 24 V  
 CORRIENTE = 160 A  
 VEL DESP SOPLETE = 50 mm/seg  
 FLUJO DE GAS 30 CFH

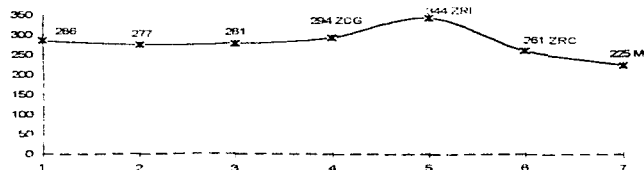


DESARROLLO EXPERIMENTAL

MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
286	0	CENTRO
277	1.5	
281	2.5	
294	3	ZCG
344	3.3	ZRI
261	3.8	ZRC
225	4.3	MB

PARAMETROS DEL ENSAYO 4  
 VOLTAJE V = 26 V  
 CORRIENTE A = 180 A  
 VEL. DESP. SOPLETE = 50 mm/seg  
 FLUJO DE GAS = 30 CFH

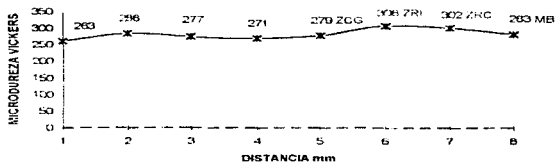
ENSAYO NÚMERO 4



MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
283	0	CENTRO
286	1.5	
277	2.5	
271	3.5	
279	4.0	ZCG
308	4.5	ZRI
302	5	ZRC
283	5.5	MB

PARAMETROS DEL ENSAYO 5  
 VOLTAJE = 26 V  
 CORRIENTE = 190 A  
 VEL. DESP. SOPLETE = 50 mm/seg  
 FLUJO DE GAS 30 FCH

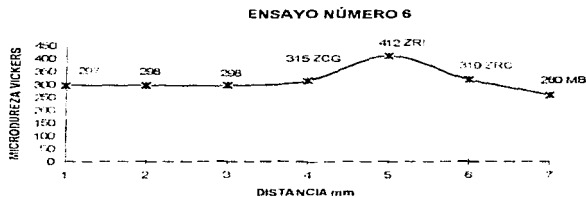
ENSAYO NÚMERO 5





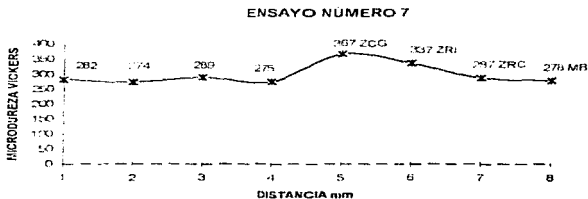
MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
297	0	CENTRO
298	1.5	
298	2.5	
315	2.8	ZCG
412	3.3	ZRI
319	3.19	ZRC
260	4.3	MB

PARÁMETROS DEL ENSAYO 6  
 VOLTAJE = 26 V  
 CORRIENTE = 160 A  
 VEL. DESP. SOPLETE = 70 mm/seg  
 FLUJO DE GAS = 30 FCH



MICRODUREZA VICKERS	DISTANCIA MILIMETROS	
282	0	CENTRO
274	1.5	SOLDADURA
289	2.5	SOLDADURA
275	3	SOLDADURA
367	3.62	ZCG
337	4.1	ZRI
287	4.6	ZRC
278	5	MB

PARÁMETROS DEL ENSAYO 7  
 VOLTAJE = 26 V  
 CORRIENTE = 160 A  
 VEL. DESP. SOPLETE = 40 mm/seg  
 FLUJO DE GAS 30 CFH



**PRUEBAS DE TRACCIÓN.**

A fin de evaluar la resistencia de la unión bajo los distintos parámetros de soldadura, a las probetas se les practico el ensayo de tracción en la maquina INSTRON. Para tener una estimación de la unión, los resultados de las pruebas serán comparados con los valores experimentales obtenidos del material base, al que también se le sometió al ensayo de tracción bajo las mismas condiciones que a las probetas soldadas; los resultados de estas pruebas se muestran en la tabla 4.5. A su mismo se presentan las graficas esfuerzo-deformación del material base y para cada ensayo bajo los distintos parámetros de soldadura.

	Esfuerzo máximo MPa	Esfuerzo de ruptura MPa	Punto de fluencia MPa	Módulo de Young's MPa
Material base	688.4	527.8	527.0	15530
Ensayo 1	323.4	277.6	288.6	14320
Ensayo 2	254.0	222.4	218.4	14620
Ensayo 3	247.0	214.8	211.8	14310
Ensayo 4	408.8	279.9	388.4	13850
Ensayo 5	431.2	297.8	413.6	14260
Ensayo 6	241.7	226.5	218.2	12650
Ensayo 7	317.2	223.9	303.2	12650

Tabla 4.5 Resultados condensados de las pruebas de tensión

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE PRUEBAS MECÁNICAS

## MÉTODO DE TENSION PARA PRUEBA PLACAS SOLDADAS

Test Type: Tensile

Instron Corporation

Operator name: Adolfo Altamirano M.

Series: E1 Automated materials Testing System Ltd

Test Date: 14 Nov 1988

Sample Identification: FALREK2

Sample Type: AEM

Interface Type: 42.1 Series

Machine Parameters of Test:

Sample Rate (Hz): 10.00

Humidity (kPa): 50

Crosshead Speed (mm/min): 5.000

Temperature (deg. C): 20

Dimensions:

Spec. 1 Spec. 2 Spec. 3 Spec. 4 Spec. 5

Width (mm) 9.540 9.900 9.900 9.540 9.900  
 Thickness (mm) 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000  
 Spec. gauge length (mm) 60.000 60.000 60.000 60.000 60.000  
 Grip distance (mm) 170.00 170.00 170.00 170.00 170.00

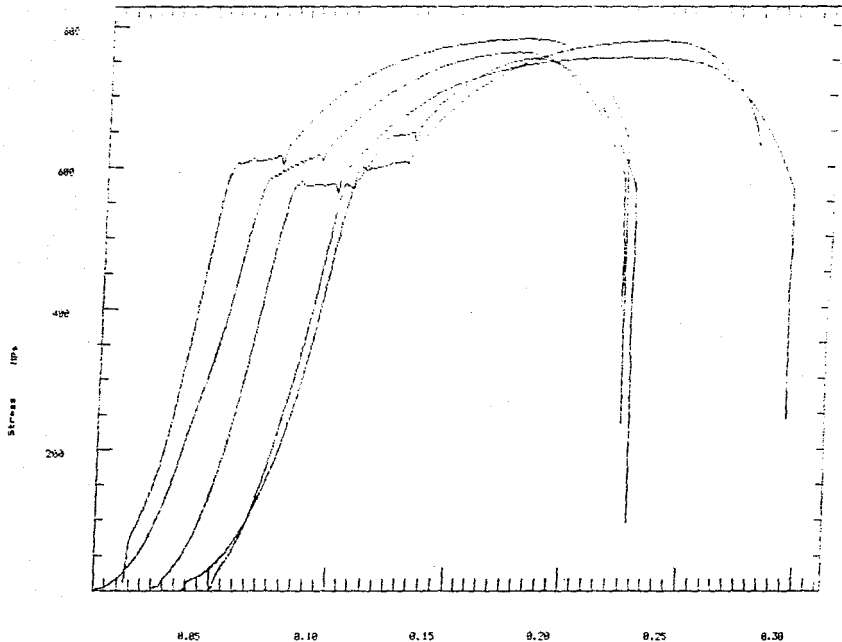
Out of 5 specimens, 5 were used.

Specimen Number	Displacement at Peak (mm)	Stress at Peak (MPa)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Elongation at Break (mm)	E. Elongation (%)	Peak Elong. (mm)	Stress at Break (MPa)	Displacement at Break (mm)
1	14.12	17.17	516.7	741.4	17.84	22.20	78.64	101.2	1.87
2	13.62	17.47	518.9	750.0	18.95	21.19	76.81	113.8	1.247
3	15.88	18.89	560.2	787.0	21.84	27.09	77.79	112.4	4.574
4	15.87	19.89	614.5	782.0	19.81	24.78	112.7	112.4	8.705
5	10.71	13.57	50.31	750.2	14.22	17.79	77.59	112.4	4.112
Mean:	14.04	17.56	518.6	764.0	19.91	23.52	78.53	106.5	4.725
Standard Deviation:	2.13	2.68	1.37	17.1	2.77	7.46	1.60	1.1	1.53

Specimen Number	Y. Strain at 0.2% Yield (%)	Load at 0.2% Yield (N)	Stress at 0.2% Yield (MPa)	Elongation at Break (%)
1	7.009	78.68	561.5	17.84
2	8.173	77.15	536.0	18.95
3	8.918	78.01	571.8	21.84
4	7.454	78.60	578.9	19.81
5	6.427	75.01	511.9	14.22
Mean:	7.796	78.28	556.4	18.76
Standard Deviation:	1.275	1.89	11.9	1.91

DESARROLLO EXPERIMENTAL

FeZr-4



Strain 1000/mm

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

 COMISION NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE PRUEBAS MECANICAS

## METODO DE TENSION PARA PROBAR PLACAS SOLDADAS

 Test type: Tensile  
 Operator name: Adolfo Altamirano R.

 Instron Corporation  
 Series II Automated Materials Testing System 1.04  
 Test Date: 15 Nov 1994

 Sample Identification: 6260P04  
 Interface Type: 4200 Series  
 Machine Parameters of Test:  
 Sample Rate (0.01/inch): 10.00  
 Crosshead Speed (mm/min): 5.000

 Sample Type: 0511  
 Multiplex (0.1): 50  
 Temperature (deg. C): 20

## Dimensions:

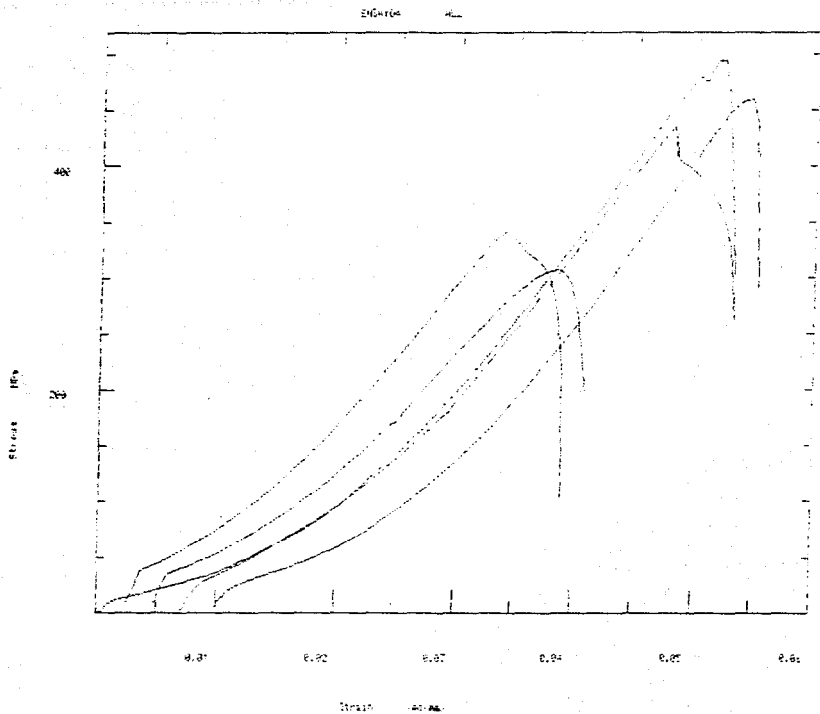
 Spec. 1 Spec. 2 Spec. 3 Spec. 4 Spec. 5  
 Width (mm) 9.530 9.530 9.530 9.530 9.530  
 Thickness (mm) 6.350 6.350 6.350 6.350 6.350  
 Spec Gauge Len (mm) 64.27 64.27 64.27 64.27 64.27  
 Grip distance (mm) 89.15 89.15 89.15 89.15 89.15

## Out of 5 specimens, 0 excluded.

Specimen Number	Displacement		% Strain		Load		Stress		Displacement		% Strain		Load		Stress		Displacement		
	at Peak	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	
	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(mm)	(mm)	
1	3.170	5.717	33.34	486.4	3.226	5.725	17.65	328.8	4.210										
2	3.250	3.187	33.34	340.1	3.250	3.182	17.25	218.7	3.625										
3	2.140	3.362	18.57	371.2	2.640	3.690	15.07	172.0	2.640										
4	3.250	4.117	33.34	471.1	3.250	4.610	17.10	307.5	3.250										
5	3.250	4.467	33.34	484.7	3.250	4.562	17.43	305.2	3.250										
Mean:	3.258	4.072	24.68	408.8	3.456	4.302	16.85	275.9	3.029										
Standard Deviations:	.665	.871	4.95	51.6	.584	.775	4.04	55.0	.688										

Specimen Number	% Strain		Load		Stress		Young's Modulus	
	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break	at 0.2%	at Break
	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	3.222	57.92	402.0	1494.0				
2	3.251	18.80	220.0	171.0				
3	3.225	16.29	170.1	115.9				
4	3.182	28.44	145.8	182.0				
5	4.552	26.20	171.1	171.1				
Mean:	4.121	25.42	229.4	139.9				
Standard Deviations:	.677	4.04	27.4	154.5				

DESARROLLO EXPERIMENTAL.



## DESARROLLO EXPERIMENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE PRUEBAS MECÁNICAS

## MÉTODO DE TENSIÓN PARA FIBRAS PLÁSTICAS SOLIDAS

Test Object: Twisted  
 Operation Name: ADICION DE TENSANCO N.  
 Sample Identification: 20204103  
 Interface Type: 420 Series  
 Machine Parameters: at Yield: 15.00  
 Displacement at Yield: 5.000  
 Machine Type: AGIN  
 Machine: 15.10 57  
 Temperature: 20.00 Cts 20

## Conditions:

Spec. 1 Spec. 2 Spec. 3 Spec. 4 Spec. 5

Length: 1000  
 Thickness: 100  
 Cross Section: 100  
 Grip Distance: 100

## Out of 5 Specimens, 1 is rejected.

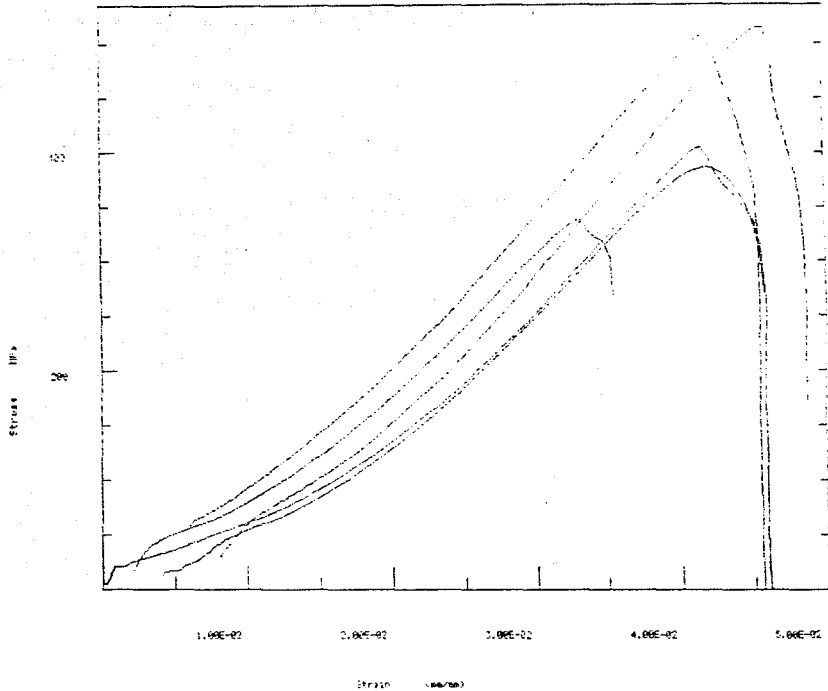
Specimen Number	Displacement at Yield		Load at Yield		Stress at Yield		Load at Break		Stress at Break		Displacement at 0.2% Yield	
	Final (in)	Final (%)	Final (N)	Final (MPa)	Break (N)	Break (MPa)	Final (N)	Final (MPa)	Final (N)	Final (MPa)	Final (in)	Final (%)
1	3.740	4.175	14.55	40.11	1.170	4.587	15.50	26.70	1.400			
2	2.51	3.178	10.46	29.12	1.000	3.725	17.90	297.8	2.574			
3	4.045	3.0	21.32	58.77	1.270	4.482	18.20	295.0	3.078			
4	3.285	3.582	11.60	32.04	1.10	3.977	18.68	311.2	2.925			
5	3.100	3.02	21.39	58.55	1.250	4.412	19.11	286.9	3.060			
Mean	3.350	3.217	26.14	41.12	1.212	4.015	17.90	297.8	3.001			
Standard Deviation	0.51	0.79	4.57	11.3	0.05	0.457	1.02	20.2	0.113			

Specimen Number	Yield at 0.2%		Stress at 0.2% Yield		Modulus	
	Yield (in)	Yield (%)	Yield (N)	Yield (MPa)	Yield (N)	Yield (MPa)
1	4.251	22.99	281.2	129.0		
2	3.168	19.79	320.1	1228.0		
3	3.048	25.18	284.2	1270.0		
4	3.150	29.02	400.4	1532.0		
5	3.877	29.61	491.7	1570.0		

Mean: 3.751 24.74 413.0 1426.0  
 Standard Deviation: 0.792 4.07 70.3 2181

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Enlace





## **CAPITULO V**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS.****OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS PARA SOLDADURA.**

Es importante resaltar que durante la obtención de las probetas soldadas se realizaron varias pruebas variando diferentes parámetros de soldadura, los cuales se muestran en la tabla 3.3. Por lo que se hará referencia continua al capítulo anterior (4).

Se determina bajo inspección visual, que la soldadura es de buena calidad superficial, ya que tiene buena apariencia sin distorsiones ni defectos como porosidad, también muestra escasas salpicaduras. Los diferentes ensayos realizados a lo largo de la obtención de las probetas nos dan una idea de la calidad de la soldadura como función de la variación de los parámetros.

**ANÁLISIS VISUAL POSTERIOR A LA SOLDADURA.**

**Ensayo 1.-** En el primer ensayo la soldadura desplazamiento que se obtiene es de buena calidad y satisfactoria, ya que el acabado superficial de la soldadura, la unión de las partes, la penetración y el reborde de soldadura son buenos, a demás que las salpicaduras son mínimas.

**Ensayo 2.-** En el ensayo dos la soldadura guarda las mismas características que el primer ensayo, con la diferencia de que se obtiene un ancho de cordón mayor que en la prueba anterior.

**Ensayo 3.-** En el ensayo tres se observa que el cordón la soldadura disminuye considerablemente. De lo cual se puede deducir, que si tenemos una diferencia de potencial (voltaje) mayor, obtendremos un cordón de soldadura más ancho, es decir, el ancho del cordón de soldadura variará en forma directamente proporcional a la cantidad de voltaje aplicado en una operación de soldadura.

**Ensayo 4.-** En este ensayo se aumenta la corriente, y se espera mayor penetración.

**Ensayo 5.-** Al aumentar más la corriente se aprecia buena calidad y se puede ver que hay excelente penetración al iniciar y al terminar el recorrido de la soldadura sobre el material base. Al aplicar una mayor corriente hay mayor penetración del electrodo en el material base.

**Ensayo 6.-** En este ensayo se aprecia que el depósito de material de aporte fue pobre (poco) a demás de que al iniciar el trabajo de soldadura, la velocidad es tan rápida que no se estabiliza de inmediato el arco de soldadura, esta puede ser una causa del porque es que se deposita tan poco material de aporte en la soldadura.

**Ensayo 7.-** La velocidad de desplazamiento disminuye y se observa que el reborde del cordón de soldadura es mucho mayor que la prueba anterior, el arco de soldadura se estabiliza con cierta facilidad.

**Ensayo 8.-** Se observan una serie de poros superficiales a lo largo de la soldadura, aunque las características de limpieza en la superficie se siguen conservando. A menos de 30 ft<sup>2</sup>/hr, los poros se presentan a lo largo del cordón de soldadura.

**Ensayo 9.-** Al soldar sin flujo de gas se obtiene una superficie exageradamente deforme con poros y distorsiones en la soldadura. Mediante una prueba visual se descartaron los dos últimos ensayos y no se les aplicará ninguna otra prueba más, dado que hay imperfecciones grandes a lo largo del cordón de soldadura.

#### **ANÁLISIS DE LA PRUEBA CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.**

Al aplicar el examen no destructivo con partículas magnéticas, no se obtuvo respuesta de discontinuidad alguna, lo que indica que por lo menos superficial y subsuperficialmente no se tienen defectos y el resultado es satisfactorio, lo que indica que los parámetros usados durante la soldadura son aceptables.

En la parte posterior de las probetas (traz de la soldadura) se observa que hay una discontinuidad a lo largo de la unión de las dos partes de material base, es de esperarse que las probetas no tengan buena penetración y por lo tanto buena resistencia.

#### **ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA.**

La siguiente etapa en la evaluación de la unión se realizó mediante microscopía electrónica, ya que el método permite observar a nivel microestructural los resultados obtenidos a lo largo de la soldadura, en la zona afectada por el calor y el material base, en general.

Los resultados obtenidos se muestran en las fotografías 4.1 a 4.3 del capítulo 4, en las cuales se presentan las zonas que pueden tener mayor importancia después de la soldadura.

**Fotografía 4.1.-** Después de aplicar la soldadura, aproximadamente a 5 mm partiendo desde el centro de la soldadura, se tiene la misma estructura que el material original por lo cual se deduce que desde esa longitud hacia adelante se siguen conservando las mismas características de composición, distribución de granos y dureza originales que tiene el metal base.

**Fotografía 4.2.-** Muestra un crecimiento de grano en la fase báinitica, cabe destacar que este grano es muy grande aproximadamente 10 veces más grande que el tamaño de grano que se tenía originalmente en el material base, antes de aplicar la soldadura, (esto se dedujo por comparación entre las fotografías 4.1 y 4.2), este tipo de grano presenta buenas propiedades mecánicas, pero es indeseable en grandes proporciones, o sea, que no es conveniente tener granos tan grandes ya que se reducen las propiedades mecánicas. Este grano tan grande se forma porque hay una aplicación muy alta de temperatura y el tiempo que tarda en enfriarse es extenso.

**Fotografía 4.3.-** La fotografía presenta una estructura rica en bainita la cual presenta excelente resistencia, dureza y tenacidad, a demás de que al tener granos relativamente mas pequeños, tiende a mejorar las propiedades mecánicas del material. En esta fotografía se pueden apreciar huecos intergranulares en el metal base; lo que nos conduce a pensar que estos mismos provocan que se vean disminuidas sus propiedades mecánicas.

Así mismo se comprobó mediante microscopía que en todas las probetas aparece la misma distribución de granos:

- La primera zona es el centro de la soldadura con una distribución de granos orientados hacia el centro de la misma
- La segunda zona es la de fusión o interface de soldadura, donde hay granos grandes recristalizados y material de aporte.
- La tercera zona es la de crecimiento de grano, donde hay granos grandes solamente.
- La cuarta zona importante es la de recristalización incompleta, llamada así porque reúne dentro de ella a granos de tamaño grande y granos pequeños recristalizados, o sea granos de tamaño mixto
- La quinta zona es la de recristalización completa donde hay granos pequeños del mismo tamaño, hay una zona de interface entre los granos recristalizados y los granos del material base, aunque esta zona no se tomo en cuenta por considerar que sus propiedades influyen poco en el estudio de metalografía que realizamos en particular
- La quinta zona es la del metal base donde los granos y propiedades mecánicas originales se conservan.

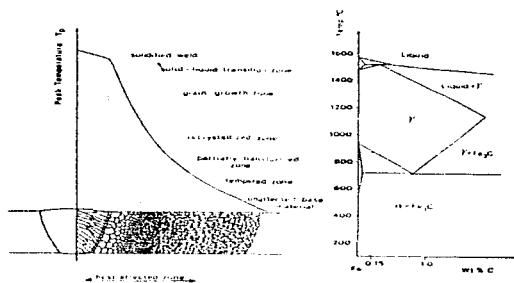


Figura 5.1 Estructura intergranular despues una soldadura.

Las fotografías pueden representar típicamente a los cambios de estructura que se tienen después de una soldadura ( figura 5.1), dado que las zonas que se observaron, son representativas para cada una de las probetas soldadas:

#### ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MICRODUREZA VICKERS ( HV ).

La prueba de microdureza Vickers sirve para comparar las diferentes durezas obtenidas a lo largo de la zona afectada por el calor.

Puede notarse que hay una zona de menor dureza hasta una zona de mayor dureza, las cuales pueden enumerarse como sigue:

1. Metal base.
2. Centro de la soldadura
3. Zona de recristalización completa.
4. Zona de crecimiento de grano.
5. Zona de recristalización incompleta.

De esto se puede deducir que la combinación de granos grandes y pequeños (granos mixtos), mejoran la dureza del material base, dentro de la zona afectada por el calor.

Los valores obtenidos en la prueba de dureza son aceptables, dado que no se quiere que la soldadura tenga dureza excesiva porque se pueden producir fracturas por la escasa ductilidad que tendría la misma, y tampoco se quiere que sea más débil que el material base porque entonces si ocurre una falla lo más seguro es que suceda en la soldadura. Estos dos tipos de soldadura deben evitarse en cualquier trabajo de soldadura.

#### ANÁLISIS DE LA RUPTURA DESPUÉS DEL ENSAYO DE TENSIÓN.

En general en todos los ensayos hay poros, excepto en el ensayo 5, lo cual seguramente causo problemas con la resistencia de la soldadura, tabla 4.5.

En todos los ensayos de soldadura se aprecia buen acabado superficial pero la penetración es deficiente aproximadamente la mitad del espesor del material base, a demás de que en la raíz de la soldadura, hay una gran cantidad de poros en la zona de la interface y dentro de la soldadura. Los ensayos que resistieron menos presentan estas características aun cuando el ancho de cordón es grande, la penetración no es suficiente y la unión en la interface es débil, ya que varias probetas se rompieron de esta zona y del centro de la soldadura, dejando ver que la unión que se tenía aparentemente era solo en la superficie y a lo largo del bisel era deficiente, es decir, no hubo fusión entre la soldadura y el metal base.

Al producirse la ruptura en el ensayo 4 se aprecia que la penetración del material de aporte que se obtuvo fue deficiente aproximadamente  $\frac{1}{2}$  de el espesor del material base.

En el ensayo 5 hay mucho mas penetración de material de aporte, también al analizar la ruptura se aprecia que hay un pequeño endrermimiento en lo que sería la interface de soldadura, se aprecia también que hay una menor cantidad de poros en la raíz de la soldadura y dentro del material de aporte no hay poros.

De lo anterior podemos deducir que mientras mayor sea la corriente utilizada, mayor es la penetración del material de aporte y por consiguiente el esfuerzo máximo de tensión y el esfuerzo de ruptura se incrementan. Los resultados 4 (408.8 MPa) y 5 (431.), 2 MPa), son los ensayos donde se tiene mayor resistencia en la union soldada, los resultados de máquina INSTRON se muestran en el capítulo anterior.

## CAPITULO VI

**CONCLUSIONES.**

A partir de las pruebas realizadas y del análisis de resultados se concluye lo siguiente:

- Se ha comprobado que mientras más grande sea el voltaje aplicado, mayor será el ancho de cordón obtenido en una soldadura.
- Si la densidad de corriente en el proceso se incrementa, la penetración de la soldadura en el metal base se incrementará proporcionalmente, con lo que se logra un incremento en la resistencia de la unión. Por lo que se concluye que la penetración es un factor de fundamental importancia para lograr una buena resistencia en las piezas soldadas.

Esto se cumple bajo ciertos límites de corriente, en este caso en particular trabajando con el alambre electrodo y el material base propuesto, se establece un amperaje de 160 A - 190 A, ya que a mayores amperajes se presentan problemas en el proceso de soldadura.

- Si la velocidad de la antorcha se reduce o se incrementa la cantidad de material de aporte depositado en el charco de soldadura se incrementará o reducirá respectivamente, cabe destacar que la velocidad de alimentación del alambre electrodo esta en función de el flujo de corriente programado, determinando que la velocidad con la que se obtienen las mejores condiciones del depósito son 50 mm/s.
- Se comprueba también que si no hay flujo de gas cuando se efectúa la soldadura las imperfecciones a lo largo del cordón se incrementan enormemente (poros, distorsiones, soevado, mala calidad superficial, poca resistencia, etc.).

Al variar los parámetros a la inversa sucede lo contrario.

- Así mismo se determinó que el flujo adecuado de gas es 30 ft<sup>3</sup>/hr, ya que a partir de esta cantidad de flujo los poros en la superficie de la soldadura desaparecen, aún cuando el flujo de gas se aumente al máximo 65 ft<sup>3</sup>/hr, la calidad superficial en el cordón de soldadura sigue siendo la misma. Por lo tanto el flujo de gas recomendable es de 30 ft<sup>3</sup>/hr, dado que a partir de este valor la calidad superficial en la soldadura se incrementa, las salpicaduras son mínimas y los costos por consumo de gas se reducen; por lo cual no es necesario manejar un flujo mayor que el recomendado.
- De igual forma se comprobó que la estructura intergranular que presentan todas las probetas en la soldadura y en la zona afectada por el calor, después de realizar la soldadura, sigue siendo la misma. Es decir, que la variación en los parámetros de soldadura no afectaron la distribución de los granos.

- Por las razones anteriores se concluye que los parámetros de soldadura que permiten obtener una soldadura de buena calidad, en su apariencia superficial, y buena resistencia mecánica son los siguientes:

1. Voltaje = 26 V.
2. Corriente = 190 A.
3. Velocidad de desplazamiento del soplete = 50 mm/s.
4. Flujo de gas = 30 ft<sup>3</sup>/hr.



**BIBLIOGRAFÍA.**

- **HOWARD B. CARY " MANUAL DE SOLDADURA MODERNA "**  
**( TOMOS, II y III ).**
- **HUNT " SMART ROBOTS. "**
- **RICHARD K. MILLER " INDUSTRIAL ROBOT HANDBOOK. "**
- **KOREN " ROBOTICS FOR ENGINEERS. "**
- **" METALS HANDBOOK DESK EDITION. "**
- **OLEH ZABARA CZORNA " SOLDADURA Y TÉCNICAS AFINES "**  
**( TOMOS I, II y III ).**
- **SHIMON Y. NOE " HANDBOOK OF INDUSTRIAL ROBOTICS. "**
- **ARTHUR J. CRITTELOW " INTRODUCTION TO ROBOTICS. "**
- **" 1º CONGRESO INTERNACIONAL DE LA SOLDADURA EN MÉXICO "**  
**( MEMORIAS I y II ).**
- **SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL ( DIRECCIÓN**  
**GENERAL DE NORMAS ) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - II - 7 - 1978**  
**" MÉTODOS DE PRUEBAS MECÁNICAS PARA JUNTAS SOLDADAS. "**

BIBLIOGRAFIA

- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL ( DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS ), NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - II - 97 - 1985 " SOLDADURA - METALES DE APORTE DE ACEROS PARA SOLDADURA POR ARCO PROTEGIDA CON GAS. "
- THE WELDING INSTITUTE RESEARCH BULLETIN " ROBOTICS FOR THE WELDING ENGINEER " ( JULY 1985, SEPTEMBER 1985, OCTOBER 1985, DECEMBER 1985, JANUARY 1986, MARCH 1986 ).