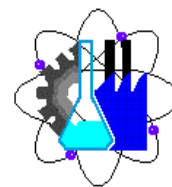




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería



**PROPUESTA PARA LA INSPECCIÓN Y DETECCIÓN DE DEFECTOS
DEL PROCESO DE SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO PARA LA
FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MORALES BARÓN CLILTON CLEMEN

Director de tesis: M en C. Andrés Aguilar Negrete

Cuernavaca, Morelos; 5 de octubre del 2021.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el apoyo y la paciencia que me han tenido durante toda mi preparación académica, por todo ese gran sacrificio que han tenido que hacer desde que inicie con mi preparación como profesionista.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. Marco Contextual	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	3
• General	3
• Específico	4
1.3 Justificación	4
Capítulo II. Marco Teórico	5
2.1 Pruebas destructivas y no destructivas	5
2.2 Líquidos penetrantes	20
2.3 Partículas Magnéticas	22
2.4 Procesos de soldadura (general)	25
2.5 Arco eléctrico	49
2.6 M.I.C (soldadura por Micro alambre)	53
2.7 Aceros para estructuras metálicas	56
Capitulo III. Procedimiento Experimental	57
3.1 Metodología o propuesta de certificación	57
3.2 Detección de defectos de soldadura por arco eléctrico	61
3.3 Proceso de soldadura	62
3.4 Líquidos penetrantes	70
3.5 Partículas magnéticas	72
3.6 Técnicas de análisis de defectos de soldadura	74
Capitulo IV Resultados y discusión	78
4.1 Aprobación de equipo	78
4.2 Calificación del personal	78
4.2.1 Organigrama	79

4.2.2 Examen teórico	80
4.2.3 Programa de capacitación	85
4.2.3.1 Objetivo del programa	86
4.2.3.2 Alcances del programa	86
4.3 Detección de defectos de soldadura por arco eléctrico	87
4.3.1 Análisis visual	87
4.3.2 Líquidos penetrantes	88
4.3.3 Partículas magnéticas	90
4.4 Propiedades mecánicas	91
4.4.1 Dureza	91
Conclusiones	94
Recomendaciones para trabajos posteriores	95
Bibliografía	96

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías en la soldadura en los diferentes sectores productivos, desde hace unos años se han convertido en una de las áreas con más ingresos en el país.

En la actualidad, la tecnología y la capacitación resultan fundamentales para la soldadura, indicando esto, que soldadores capacitados en las técnicas más recientes de soldado y aparatos de soldadura, cuentan con mayor seguridad y mejor paga, por el contrario, aquellos que no están capacitados en las últimas tecnologías y equipos es posible que tengan demanda más baja. [1]

En la actualidad de la soldadura, en lo referente a procesos convencionales, se da prioridad a la calidad, producción y optimización de los recursos. Sin embargo, hablar de la soldadura es hablar de toda una ciencia, que tiene que verificar qué tipo de materiales vas a soldar, el proceso, variables, amperaje, velocidad, aplicación, etcétera. Para tener un producto de calidad que cumpla con lo que te solicita el cliente y mantener un proceso estable, tenemos que evaluar tipos de materiales que se van a soldar, que sean similares y que no tengan problemas al soldar, ya que se generaría scrap o desperdicio; y todo el proceso de reciclado genera costos y consumo de energía.

Con respecto al futuro de la soldadura, hay bastante trabajo porque todo lo que vemos tiene algo de soldadura, desde un automóvil y con mayor razón edificios, cuya falla fundamental se debe al empalme o unión de dos elementos de acero capaces de no resistir y absorber los esfuerzos a los cuales va a ser sometido la estructura metálica.

El presente trabajo de tesis se enfocará principalmente en generar una metodología o propuesta para garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados del proceso de soldadura de arco eléctrico en la fabricación de estructuras metálicas, apegada a la Norma ISO 9001 versión 2015.

En el capítulo I se muestra la justificación de la tesis, su objetivo general y objetivos específicos; así como el alcance de la misma.

En el capítulo II se muestra el marco teórico del proceso de soldadura de arco eléctrico y de más procesos de soldadura; así como también, los procesos de análisis de pruebas no destructivas que darán validez a nuestro proceso para determinar la calidad de la unión de soldadura.

En el capítulo III se propondrán una serie de métodos y procedimientos para validar el proceso y la inspección del mismo, y así lograr nuestros objetivos específicos, y por consecuencia nuestro objetivo general.

Por último, en el capítulo IV se darán los resultados de la propuesta o metodología del capítulo III y se revisará el cumplimiento con los objetivos planteados.

CAPITULO I. MARCO CONTEXTUAL

La soldadura es una actividad central en la fabricación de estructuras metálicas, realizada por operarios capacitados y calificados que trabajan con un sistema de gestión de la calidad bajo el control de un Coordinador de soldadura responsable. Se utiliza para preparar juntas para la conexión en el taller y en el sitio, y para la fijación de otros accesorios. Se utilizan diferentes técnicas de soldadura en distintas actividades dentro de la fabricación en planta.

Esencialmente, el proceso de soldadura utiliza un arco eléctrico para generar calor para derretir el material principal en la junta. Un material de relleno separado suministrado como un electrodo consumible también se funde y se combina con el material principal para formar un baño de soldadura fundido. A medida que avanza la soldadura a lo largo de la junta, el baño de soldadura se solidifica fusionando el metal principal y el de soldadura. Es posible que se requieran varias pasadas o recorridos para rellenar la junta o para construir la soldadura al tamaño de diseño.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con los requisitos 7.1.5.2 y 7.2 la norma ISO 9001 en su versión 2015, para el cumplimiento de las especificaciones de partes interesadas, a través del control y la validación de los procesos existentes, en este trabajo se busca:

- Una metodología o propuesta para determinar y proporcionar los recursos necesarios para garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados mediante un sistema de inspección y detección de defectos del proceso de soldadura de arco eléctrico dentro de la fabricación de estructuras metálicas.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

1. Generar una metodología o propuesta para garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados mediante un sistema de inspección y detección de defectos del

proceso de soldadura de arco eléctrico en la fabricación de estructuras metálicas, apegada a la Norma ISO 9001 versión 2015.

2. Identificar mediante ensayos no destructivos los defectos de soldadura que determinen la calidad de la unión de soldadura por arco eléctrico en un acero estructural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características microestructurales del material base y afectado térmicamente por el proceso de soldadura de arco eléctrico.
2. Identificar los principales defectos de soldadura.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Debido a que los procesos de soldadura son una de las mayores actividades industriales del día a día en la vida del ser humano y una de las áreas con más demanda laboral por la sociedad obrera, hemos realizado este estudio para aportar la información necesaria al personal especializado y no especializado en el tema de soldadura y al público en general que esté interesado en cierta área de conocimientos, ya que debido a las actualizaciones que se le han hecho a las Normas ISO 9001 en su versión 2015 identificamos la necesidad de validar el proceso de soldadura por arco eléctrico con dicha norma de calidad, con el fin de que los trabajadores puedan actualizar sus conocimientos, habilidades y desarrollar nuevas aptitudes para dicho trabajo, también proponemos una certificación del personal y del equipo necesario para llevar a cabo dicha actividad de trabajo que nos permita demostrar que tan preparado está el obrero a cargo de dicha labor y así poder asegurar la calidad tanto de la realización como del material y herramientas a utilizar en dicho proceso, con la intención de conocer todos sus defectos, sus causas y como evitarlos así como con el objeto de asegurar la integridad de la soldadura aplicada al proceso de soldadura de arco eléctrico.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Para poder llevar a cabo el estudio de un proceso de soldadura, es necesario familiarizarse con los conceptos de los distintos procesos, así como de las pruebas destructivas y no destructivas que existen y sus diferentes metodologías.

2.1 Pruebas destructivas y no destructivas

¿Que son las pruebas no destructivas (PND)?

Como su nombre lo indica, las PND son pruebas o ensayos de carácter NO destructivo, que se realizan a los materiales, ya sean estos metales, plásticos (polímeros), cerámicos o compuestos. Este tipo de pruebas, generalmente se emplea para determinar cierta característica física o química del material en cuestión. [2] [3] [4]

Las principales aplicaciones de las PND las encontramos en:

- Detección de discontinuidades (internas y superficiales).
- Determinación de composición química.
- Detección de fugas.
- Medición de espesores y monitoreo de corrosión.
- Adherencia entre materiales.
- Inspección de uniones soldadas.

Las PND son sumamente importantes en el continuo desarrollo industrial. Gracias a ellas es posible, por ejemplo, determinar la presencia de defectos en los materiales o en las soldaduras de equipos tales como recipientes a presión, en los cuales una falla catastrófica puede representar grandes pérdidas en dinero, vida humana y daño al medio ambiente.

Las principales PND se muestran en Tabla 1, en la cual se han agregado las abreviaciones en inglés, ya que estas, en México, son comúnmente utilizadas.

Tabla 1. Principales pruebas no destructivas.

Tipo de prueba	Abreviación Español	Abreviación Ingles
Inspección visual	IV	VI
Líquidos penetrantes	LP	PT
Pruebas magnéticas principalmente Partículas Magnéticas	PM	MT
Ultrasonido	UT	UT
Pruebas radiográficas	RX	RT
Pruebas electromagnéticas principalmente corrientes Eddy	PE	ET
Pruebas de fuga	PF	LT
Emisión acústica	EA	AE
Pruebas infrarrojas	PI	IT

2.1.1 Inspección visual

La inspección visual (IV), es sin duda una de las Pruebas No Destructivas (PND) más ampliamente utilizada, ya que, gracias a ésta, uno puede obtener información rápidamente, de la condición superficial de los materiales que se estén inspeccionando, con el simple uso del ojo humano.

Durante la IV, en muchas ocasiones, el ojo humano recibe ayuda de algún dispositivo óptico, ya sea para mejorar la percepción de las imágenes recibidas por el ojo humano

(anteojos, lupas, etc.) o bien para proporcionar contacto visual en áreas de difícil acceso, tal es el caso de la IV del interior de tuberías de diámetro pequeño, en cuyo caso se pueden utilizar baroscopios, ya sean estos rígidos o flexibles, pequeñas videocámaras, etc. [2] [3] [4]

Es importante marcar que, el personal que realiza IV debe tener conocimiento sobre los materiales que esté inspeccionando, así como también, del tipo de irregularidades o discontinuidades a detectar en los mismos. Con esto, podemos concluir que el personal que realiza IV debe tener cierto nivel de experiencia en la ejecución de la IV en cierta aplicación (Por ejemplo, la IV de uniones soldadas como lo muestra la Figura 1).



Figura 1. Verificación dimensional de una soldadura.

2.1.2 Ultrasonido

Este método se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar y tiene aplicación en todo tipo de materiales.

Sus distintas técnicas permiten su uso en dos campos de ensayos no destructivos: Control de calidad y mantenimiento preventivo, siendo en esta última especialidad muy utilizados en la aeronáutica por su precisión para determinar pequeñas fisuras de fatiga en, por ejemplo, trenes de aterrizaje, largueros principales, medición de espesores

(véase Figura 2) blocks de motores, engrane de ventiladores(véase Figura 3) bielas, etc. la manifestación de estas y otro tipo de fallas es la interpretación, generalmente en un osciloscopio, lo cual lo distingue de otros métodos, ya que no nos presenta un cuadro directo de las fallas, como en el caso de las películas radiográficas. Esto trae aparejado que los resultados de este ensayo no constituyan de por si un documento objetivo si no una información subjetiva, cuya fidelidad no puede comprobarse sin recurrir, a menudo, a otros medios. [2] [3] [4]

Por lo tanto, requiere un conocimiento profundo, tanto de las bases del método como del dominio de la técnica, por parte del operador.



Figura 2. Medición de espesores.



Figura 3. Engrane de un Ventilador. [2]

2.1.3 Emisiones acústicas

Con el fin de obtener una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren en el ensayo no destructivo de ultrasonido se citarán algunos términos y principios básicos de la física que comprende la acústica. [2] [3] [4]

Primeramente, debe destacar que no se utilizará la suposición de que los cuerpos son perfectamente rígidos, con lo cual se utilizará el siguiente modelo: *La materia se*

encuentra formada por pequeñas moléculas cuya forma de distribución y fuerza de atracción depende del estado en que se encuentra dicha materia. Estos estados son los siguientes:

- **Sólido:** Está formado por moléculas fuertemente atraídas entre sí y que se encuentran distribuidas en forma regular y geométrica en posiciones de equilibrio. Estas fuerzas de atracción son del tipo elásticas, es decir, que mientras no se sobrepase el llamado “Limite de Elasticidad”, las deformaciones que se produzcan no serán permanentes.
- **Líquido:** Cuando al suministrar calor a un sólido se rompe su estado de equilibrio entre sus moléculas esta pasa a estar en un estado líquido. Las moléculas en el estado líquido ocupan posiciones al azar que varían con el tiempo. Las distancias intermoleculares son constantes dentro de un estrecho margen.
- **Gaseoso:** Al seguir suministrando calor, las moléculas se aceleran y dejan el estado líquido, formando el gas.

Este estado de la materia no tiene forma ni volumen propio. Su principal característica son moléculas no unidas, expandidas y con poca fuerza de atracción, haciendo que no tengan volumen y forma definida, provocando que este se expanda para ocupar todo el volumen del recipiente que la contiene.

Si tomamos ahora un sólido y provocamos en él una perturbación (un golpe, por ejemplo) Produciremos una agitación en sus moléculas que se propagará por el sólido hasta sus extremos, la llamaremos ONDA. Dicha onda puede ser estudiada a una distancia cualquiera de la fuente. Este tipo de ondas puede ser provocado en cualquier medio que sea ELÁSTICO, o sea, que cumpla con la ley de Hooke.

Cabe destacar que las ondas sólo provocan la propagación de energía y no de materia, y eso se debe al acoplamiento de las partículas del medio en que viaja.

Principios básicos de la acústica (términos):

- Oscilación (ciclos): Es el cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo.
- Onda: Es una propagación de una oscilación y sucede cuando las partículas de un material oscilan transmitiendo su vibración a la adyacente.
- Periodo (T): Tiempo necesario para llevar a cabo una oscilación.
- Frecuencia (f): Es la inversa del período.
- Amplitud (A): Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera como desamortiguada (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada, en este caso la disminución de dicha amplitud se debe a la disipación de energía (cuando los materiales no son perfectamente elásticos).
- Amortiguación o Atenuación: es el decremento en el tiempo de la amplitud de una oscilación.
- Velocidad de propagación: Es la velocidad a la que se propaga la onda que, en nuestro caso, es la velocidad del sonido (C), esta depende de las propiedades del material que hace de medio (las cuales se verán más adelante).
- Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos puntos adyacentes de condición de oscilación equivalente mirando en la dirección de propagación.
- Frente de onda: Es el lugar geométrico en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda. Dada una onda propagándose en el espacio o sobre una superficie, los frentes de ondas pueden visualizarse como superficies o líneas que se desplazan a lo largo del tiempo alejándose de la fuente sin tocarse.

2.1.4 Radiografía

La radiografía como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza principalmente a los Rayos X y a los Rayos Gama. Con este tipo de radiación es posible irradiar un material y, si internamente, este material presenta cambios internos considerables como para dejar pasar, o bien, retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de dichas irregularidades

internas, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material. [2] [3] [4]

Comúnmente, una forma de determinar la radiación que pasa a través de un material, consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación. Este mecanismo se puede observar más fácilmente en la figura de abajo. En la parte de arriba se encuentra una *fente radiactiva*, la cual emite radiación a un material metálico, el cual a su vez presenta internamente una serie de poros, los cuales, por contener aire o algún otro tipo de gas, dejan pasar más cantidad de radiación que en cualquier otra parte del material. El resultado queda plasmado en la película radiográfica situada en la parte inferior del material metálico.

Como puede observarse el método de radiografía es sumamente importante, ya que nos permite obtener una visión de la condición interna de los materiales. De aquí que sea ampliamente utilizada en aplicaciones tales como:

- Medicina.
- Evaluación de Soldaduras.
- Control de calidad en la producción de diferentes productos.
- Otros

Sin embargo, este método también tiene sus limitaciones. El equipo necesario para realizar una prueba radiográfica puede representar una seria limitación si se considera su costo de adquisición y mantenimiento. Más aún, dado que en este método de prueba se manejan materiales radiactivos, es necesario contar con un permiso autorizado para su uso, así como también, con detectores de radiación para asegurar la integridad y salud del personal que realiza las pruebas radiográficas. (Véase Figuras 4 y 5)

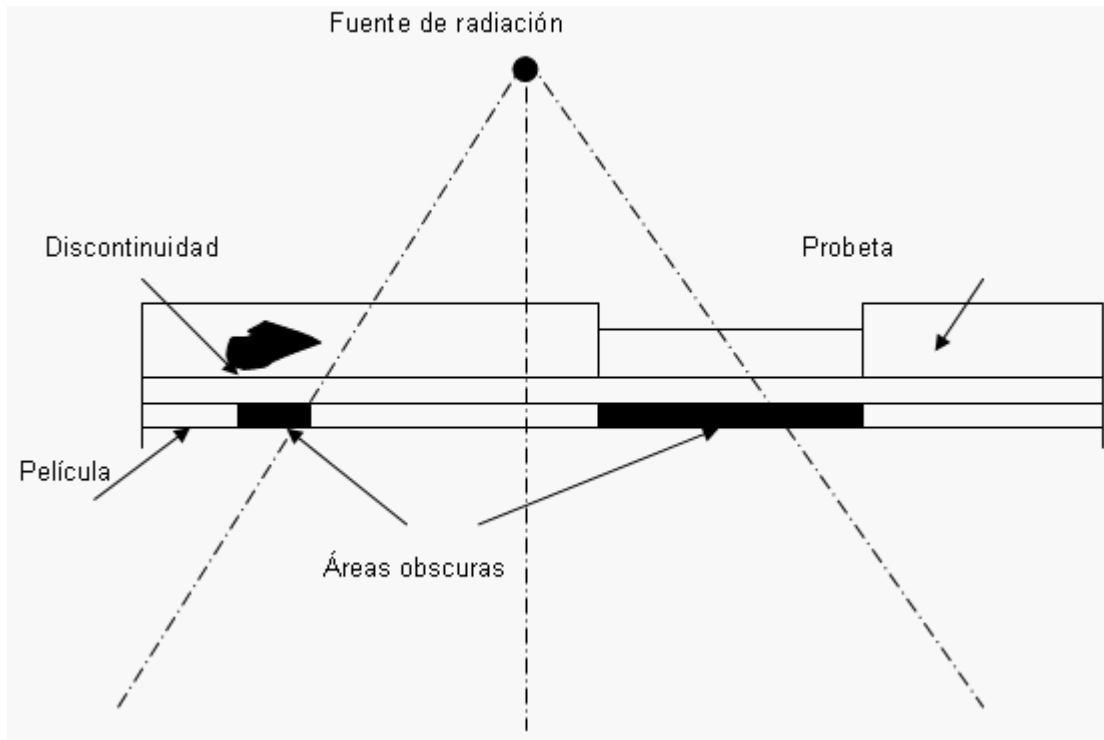


Figura 4. *Proceso de prueba de radiografía.*

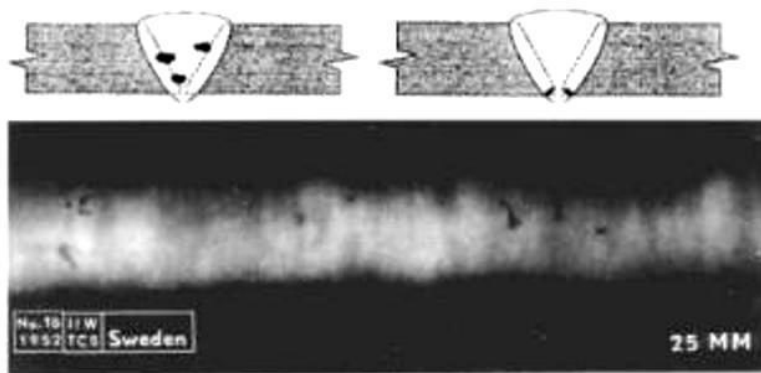


Figura 5. *Radiografía.*

2.1.5 Pruebas electromagnéticas

Las pruebas electromagnéticas se basan en la medición o caracterización de uno o más campos magnéticos generados eléctricamente e inducidos en el material de prueba. Distintas condiciones, tales como discontinuidades o diferencias en conductividad eléctrica pueden ser las causantes de la distorsión o modificación del

campo magnético inducido. Con mayor presencia las llamadas corrientes de Eddy (véase Figura 6)

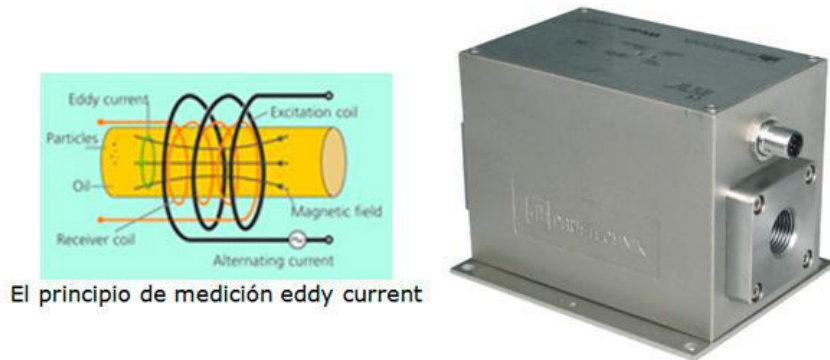


Figura 6. Corrientes de Eddy.

La técnica más utilizada en el método electromagnético es la de Corrientes de Eddy. Esta técnica puede ser empleada para identificar una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en materiales metálicos ferromagnéticos y en materiales no metálicos que sean eléctricamente conductores. [2] [3] [4]

De esta forma, la técnica se emplea principalmente en la detección de discontinuidades superficiales. Sus principales aplicaciones se encuentran en la medición o determinación de propiedades tales como la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética, el tamaño de grano, dureza, dimensiones físicas, etc., también sirve para detectar, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones. (Véase Figura 7)

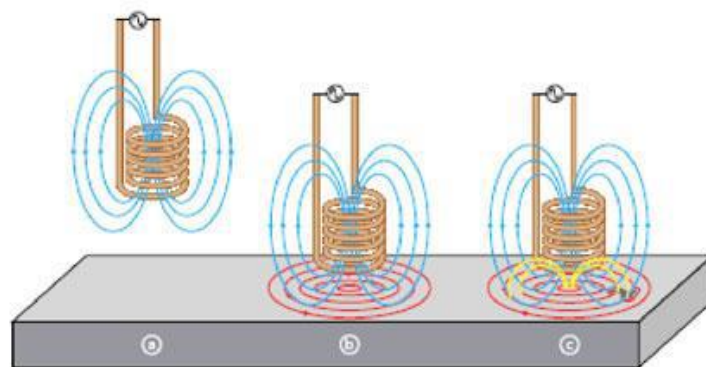


Figura 7. Detección de propiedades químicas y físicas.

Este tipo de pruebas ofrecen la ventaja de que los resultados de prueba se obtienen casi en forma instantánea, además dado que lo único que se requiere es inducir un campo magnético, no hay necesidad de tener contacto directo con el material de prueba, con esto se minimiza la posibilidad de causar algún daño al material de prueba. Sin embargo, la técnica está limitada a la detección de discontinuidades superficiales y a materiales conductores.

2.6 Pruebas de fuga

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido. [2] [3] [4]

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío. Los componentes o sistemas a los cuales generalmente se les realiza pruebas de detección fugas son:

- Recipientes y componentes herméticos

Para prevenir la entrada de contaminación o preservar internamente los fluidos contenidos. Por ejemplo: dispositivos electrónicos, circuitos integrados, motores y contactos sellados.

- Sistemas herméticos

Para prevenir la pérdida de los fluidos contenidos. Por ejemplo: sistemas hidráulicos y de refrigeración; en la industria petroquímica: válvulas, tuberías y recipientes.

- Recipientes y componentes al vacío

Para asegurar si existe un deterioro rápido del sistema de vacío con el tiempo. Por ejemplo: tubos de rayos catódicos, artículos empacados en vacío y juntas de expansión.

- Sistemas generadores de vacío

Para asegurar que las fugas se han minimizado y mejorar su desempeño. Las pruebas de fuga comúnmente utilizadas se basan en uno o más de los siguientes principios:

- Ultrasonido.

Este ensayo comúnmente se aplica en la detección de fugas de gas en líneas de alta presión. Dependiendo de la naturaleza de la fuga, el gas al escapar, produce una señal ultrasónica que puede detectarse con una sensibilidad aproximada de 10-3 cm³/s.

- Por burbujeo.

Este ensayo se basa en el principio de generación o liberación de aire o gas de un contenedor, cuando este se encuentra sumergido en un líquido. Se emplean frecuentemente en instrumentos presurizados, tuberías de proceso y recipientes. Es una prueba más bien cualitativa que cuantitativa, ya que es difícil determinar el volumen de la fuga.

- Tintas penetrantes

Consiste en rociar tintas penetrantes en las zonas de alta presión donde se desea detectar fugas. Si existe alguna fuga, la presión diferencial del sistema hará filtrar la tinta hacia el lado de baja presión del espécimen ensayado.

- Por medición de presión.

Este tipo de prueba se utiliza para determinar si existen flujos de fuga aceptables, determinar si existen condiciones peligrosas y para detectar componentes y equipo defectuoso. Se puede obtener una indicación de fuga relativamente exacta al conocer el volumen y presión del sistema y los cambios de presión respecto al tiempo que provoca la fuga.

Algunas ventajas de este método son que se puede medir el flujo total de la fuga independientemente del tamaño del sistema y que no es necesario utilizar fluidos trazadores.

- Por detección de halógenos (diodo de halógeno)

Este tipo de prueba es más sensitivo que los anteriores. Fugas tan pequeñas como 10-5 cm³/s pueden detectarse con facilidad. Las dos limitantes de este ensayo son que se necesitan gases de trazado especiales y el uso de calentadores de alta temperatura, lo cual resulta inconveniente en ambientes peligrosos.

- Por Espectrómetro de Helio

Se considera la técnica de detección de fugas, tanto industrial como de laboratorio, más versátil. Tiene las mismas limitantes que el ensayo por detección de halógenos porque se requiere de helio como gas de trazado y, el tubo del espectrómetro se mantiene a alta temperatura mediante filamentos calefactores. Sin embargo, el helio es completamente inerte y menos caro que los gases halógenos. La sensibilidad es del orden de 10-11 cm³/s.

- Con Radioisótopos trazadores

En esta técnica se utilizan radioisótopos de vida corta como fluidos trazadores para probar cavidades selladas herméticamente y circuitos cerrados de tubería. La pérdida de flujo o la detección del gas trazador en sitios no esperados son la evidencia de fuga. Esta técnica tiene la misma sensibilidad que el ensayo por Espectrómetro de Helio, aunque es más caro y es necesario establecer medidas de seguridad adecuadas debido a la radiación.

La selección del método a utilizar generalmente se basa en el tipo de fuga a detectar, el tipo de servicio del componente en cuestión y el costo de la prueba. En cualquier caso, es necesario, al igual que en otros métodos de pruebas no destructivas, que el personal que las realice este calificado en la aplicación de las mismas.

- Emisión Acústica

Hoy en día, uno de los métodos de pruebas no destructivas más recientes y, que ha venido teniendo gran aplicación a nivel mundial en la inspección de una amplia variedad de materiales y componentes estructurales, es sin duda el método de Emisión Acústica (EA). (Véase Figura 8)

Este método detecta cambios internos en los materiales o, dicho de otra manera, detecta micro movimientos que ocurren en los materiales cuando, por ejemplo: existe un cambio micro estructural, tal como lo son las transformaciones de fase en los metales, el crecimiento de grietas, la fractura de los frágiles productos de corrosión, deformación plástica, etc. La detección de estos mecanismos mediante EA, se basa en el hecho de que cuando ocurren, parte de la energía que liberan es transmitida hacia el exterior del material en forma de ondas elásticas (sonido), es decir, emiten sonido (emisión acústica). La detección de estas ondas elásticas se realiza mediante el uso de sensores pieza-eléctricos, los cuales son instalados en la superficie del material. Los sensores, al igual que en el método de ultrasonido, convierten las ondas elásticas en pulsos eléctricos y los envía hacia un sistema de adquisición de datos, en el cual se realiza el análisis de los mismos.

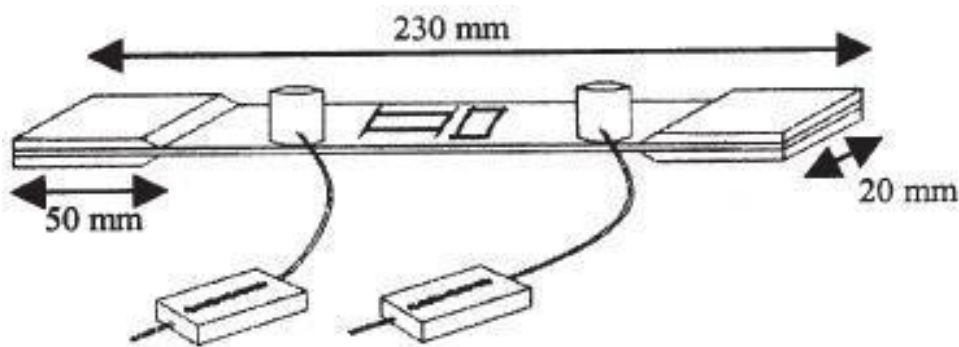


Figura 8. Emisión acústica.

2.1.7 Rayos Infrarrojos

La principal técnica empleada en las pruebas infrarrojas es la *Termografía Infrarroja (TI)*. Esta técnica se basa en la detección de áreas calientes o frías mediante el análisis de la parte infrarroja del espectro electromagnético. La radiación infrarroja se transmite

en forma de calor mediante ondas electromagnéticas a través del espacio. De esta forma, mediante el uso de instrumentos capaces de detectar la radiación infrarroja, es posible detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en los materiales. Generalmente, en la técnica de TI se emplean una o más cámaras que proporcionan una imagen infrarroja (termograma), en la cual las áreas calientes se diferencian de las áreas frías por diferencias en tonalidades. [2] [3] [4]

Como ejemplo, podemos observar la termografía de abajo (Figura 9), en la cual los tonos amarillos y rojizos representan las áreas calientes y los tonos azules y violetas representan las áreas frías.

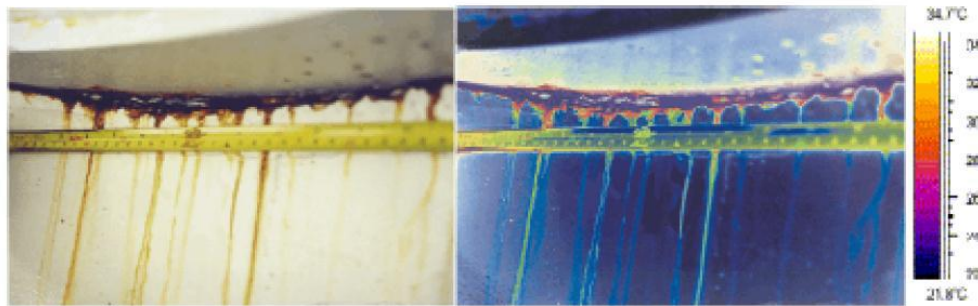


Figura. 9. Rayos infrarrojos.

De esta forma uno puede obtener un termograma típico de una pieza o componente sin discontinuidades. Posteriormente, si hubiese alguna discontinuidad, ésta interrumpirá el flujo o gradiente térmico normal, lo cual será evidente en el termograma. La técnica de TI ofrece grandes ventajas: no se requiere contacto físico, la prueba se efectúa con rapidez incluso en grandes áreas, los resultados de la prueba se obtienen en forma de una imagen o fotografía, lo cual agiliza la evaluación de los mismos.

En general, existen dos principales técnicas de TI: La *termografía pasiva* y la *termografía activa*.

Termografía Pasiva

Consiste en simplemente obtener un termograma del componente en cuestión, sin la aplicación de energía. El componente por sí mismo proporciona la energía para generar la imagen infrarroja. Ejemplos de la aplicación de esta técnica los encontramos

por ejemplo en la evaluación de un motor funcionando, maquinaria industrial, conductores eléctricos, etc.

Termografía Activa

En esta técnica, para obtener un termograma, es necesario inducir cierta energía al material o componente en cuestión. Muchos componentes, dados sus condiciones de operación y servicio, son evaluados en forma estática o a temperatura ambiente, lo cual da lugar a que el termograma que se obtenga, presente un patrón o gradiente térmico uniforme, es en este tipo de situaciones en que la termografía activa tiene uso. Así, esta técnica puede ser empleada en la detección de laminaciones o inclusiones, las cuales representan variaciones en conducción de calor y por lo tanto son evidentes en el termograma.

Hoy en día la termografía infrarroja se utiliza exitosamente en numerosas aplicaciones, entre las cuales podemos nombrar: discontinuidades sub-superficiales y superficiales como la corrosión, resistencia eléctrica, inclusiones, pérdida de material, grietas, esfuerzos residuales, deficiencias.

En espesores de recubrimiento, etc. El principal inconveniente puede ser el costo del equipo. Sin embargo, los resultados se obtienen rápidamente y la evaluación es relativamente sencilla, por lo que no se requiere mucho entrenamiento en el uso y aplicación de la técnica.

La inspección de tanques atmosféricos de almacenamiento, recipientes a presión tuberías, puentes, reactores, transformadores, etc., son solo algunos ejemplos de las numerosas aplicaciones que tiene el método de EA a escala mundial.

Es importante mencionar que el método de EA, solamente indica áreas con actividad acústica asociada con la presencia de discontinuidades y no proporciona información acerca del tipo, dimensiones y orientación de la discontinuidad que genera dicha actividad acústica. Por tal, este método en muchas ocasiones se utiliza complementariamente con otros métodos de inspección. Primero, con el método de EA se detectan aquellas áreas con actividad acústica significativa y, posteriormente se aplica algún otro método no destructivo como el ultrasonido o las partículas magnéticas

y se obtiene el detalle de la discontinuidad que generó dicha actividad acústica. Actualmente, muchas investigaciones se están llevando a cabo con el objetivo de poder determinar no solamente áreas con actividad acústica sino también el tipo de discontinuidad que la está generando. Estas investigaciones incluyen estudios más avanzados acerca de la forma de onda de las señales, su procesamiento mediante algoritmos de redes neurales, modos de propagación de ondas, simulación mediante elementos finitos, etc.

2.2 Líquidos penetrantes

El método o prueba de líquidos penetrantes (LP), se basa en el principio físico conocido como "*Capilaridad*" y consiste en la aplicación de un líquido, con buenas características de penetración en pequeñas aberturas, sobre la superficie limpia del material a inspeccionar. Una vez que ha transcurrido un tiempo suficiente, como para que el líquido penetrante recién aplicado, penetre considerablemente en cualquier abertura superficial, se realiza una remoción o limpieza del exceso de líquido penetrante, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.) y, a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en las aberturas superficiales. [2] [3] [4]

Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales (grietas, perforaciones, etc.)

En la Figura 10, se puede visualizar el procedimiento general de ejecución del método de LP.

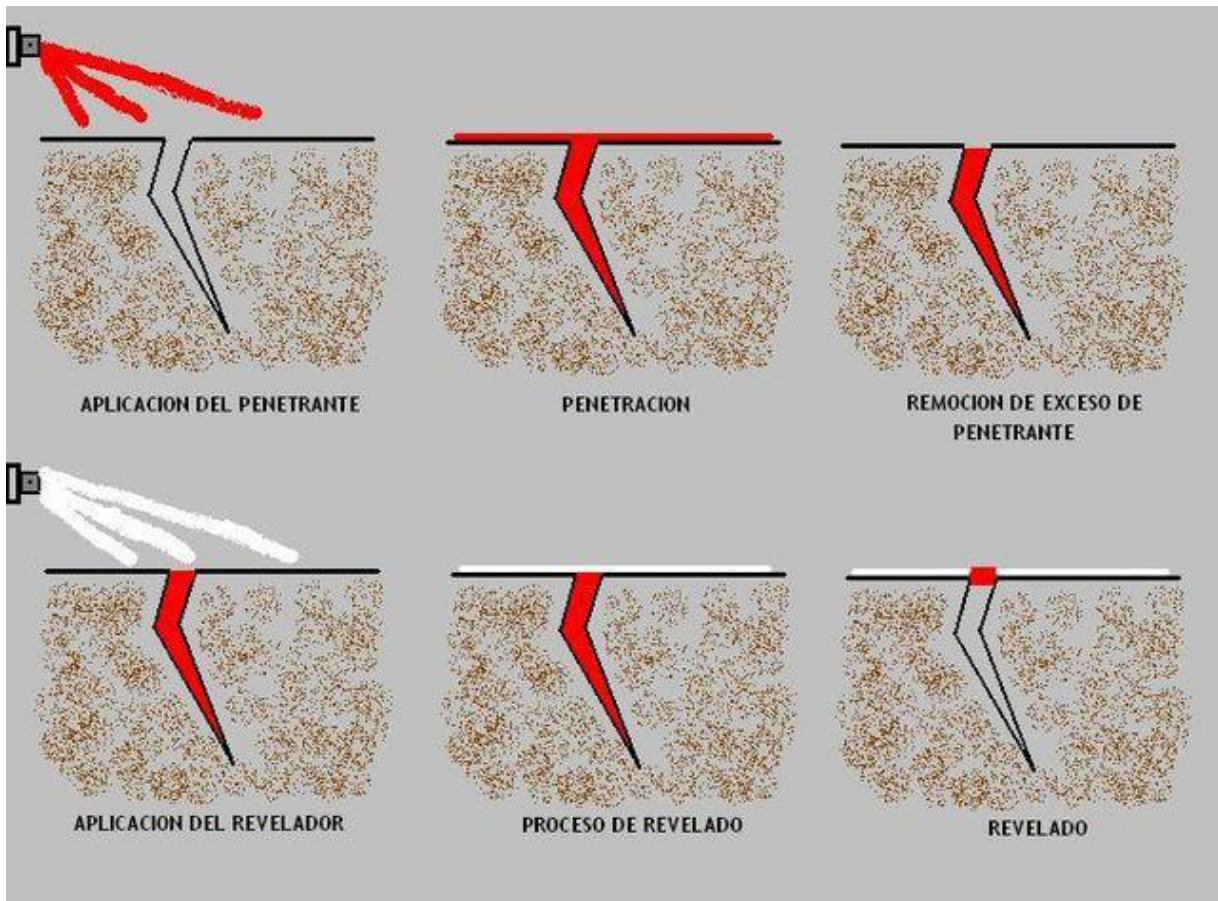


Figura 10. Prueba de líquidos penetrantes.

En general, existen dos principales técnicas del proceso de aplicación de los LP: la diferencia entre ambas es que, en una se emplean líquidos penetrantes que son visibles a simple vista o con ayuda de luz artificial blanca y, en la segunda, se emplean líquidos penetrantes que solo son visibles al ojo humano cuando se les observa en la oscuridad y utilizando luz negra o ultravioleta, lo cual les da un aspecto fluorescente.

Estas dos principales técnicas son comúnmente conocidas como: Líquidos Penetrantes Visibles y Líquidos Penetrantes Fluorescentes. Cada una de estas, pueden a su vez, ser divididas en tres sub-técnicas: aquellas en las que se utiliza líquidos removibles con agua, aquellas en las que se utiliza líquidos removibles con solvente y aquellas en las que se utilizan líquidos post-emulsificables.

Cada una de las técnicas existentes en el método de LP, tiene sus ventajas, desventajas y sensibilidad asociada. En general, la elección de la técnica a utilizar

dependerá del material en cuestión, el tipo de discontinuidades a detectar y el costo. En la tabla 2. Se muestran las técnicas de aplicación de los LP.

Tabla 2. Principales técnicas de aplicación de los líquidos penetrantes.

Técnica	Sub-técnica
Líquidos visibles	Lavables con agua Lavables con solvente Post-emulsificables
Líquidos fluorescentes	Lavables con agua Lavables con solventes Post-emulsificables

2.3 Partículas Magnéticas

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como *Magnetismo*, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero y, consiste en la capacidad o poder de atracción entre metales. Es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse.

De acuerdo con lo anterior, si un material magnético presenta discontinuidades en superficie, éstas actuarán como polos, y por tal, atraerán cualquier material magnético o ferromagnético que esté cercano a las mismas.

De esta forma, un metal magnético puede ser magnetizado local o globalmente y se les pueden esparcir sobre su superficie, pequeños trozos o diminutas *Partículas Magnéticas* y así observar cualquier acumulación de las mismas, lo cual es evidencia de la presencia de discontinuidades sub-superficiales y/o superficiales en el metal. [2]

[3] [4]

Este mecanismo puede observarse en la Figura 11.



Figura 11. Prueba de Partículas magnéticas.

Este método de PND está limitado a la detección de discontinuidades superficiales y en algunas ocasiones sub-superficiales. Así mismo, su aplicación también se encuentra limitada por su carácter magnético, es decir, solo puede ser aplicada en materiales ferromagnéticos. Aun así, este método es ampliamente utilizado en el ámbito industrial y algunas de sus principales aplicaciones las encontramos en:

- El control de calidad o inspección de componentes maquinados.
- La detección discontinuidades en la producción de soldaduras.
- En los programas de inspección y mantenimiento de componentes críticos en plantas químicas y petroquímicas (Recipientes a presión, tuberías, tanques de almacenamiento, etc.)
- La detección de discontinuidades de componentes sujetos a cargas cíclicas (Discontinuidades por Fatiga).

En general, existen dos principales medios o mecanismos mediante los cuales se puede aplicar las partículas magnéticas, estos son: vía húmeda y vía seca. Cuando

las partículas se aplican en vía húmeda, éstas normalmente se encuentran suspendidas en un medio líquido tal como el aceite o el agua. En la aplicación de las partículas magnéticas vía seca, éstas se encuentran suspendidas en aire.

Así mismo, existen dos principales tipos de partículas magnéticas: aquellas que son visibles con luz blanca natural o artificial y aquellas cuya observación debe ser bajo luz negra o ultravioleta (véase la Figura 12), conocidas comúnmente como partículas magnéticas fluorescentes.

Cada medio de aplicación (húmedo o seco) y cada tipo de partículas magnéticas (visibles o fluorescentes) tienen sus ventajas y desventajas. El medio y el tipo de partícula a utilizar lo determinan distintos factores entre ellos podemos enunciar: el tamaño de las piezas a inspeccionar, el área a inspeccionar, el medio ambiente bajo el cual se realizará la prueba, el tipo de discontinuidades a detectar y el costo.

El personal que realiza este tipo de pruebas, generalmente realiza un análisis de los factores anteriores para determinar cuál es el medio y tipo óptimo de partícula magnética a utilizar para cierta aplicación específica.

Otro factor importante a considerar, es la forma o mecanismo mediante el cual se magnetizarán las piezas o el área a inspeccionar, lo cual puede conseguirse de distintas formas, ya sea mediante el uso de un yugo electromagnético, puntas de contacto, imanes permanentes, etc.



Figura 12. *Partículas magnéticas fluorescentes.*

2.4 Procesos de soldadura en General

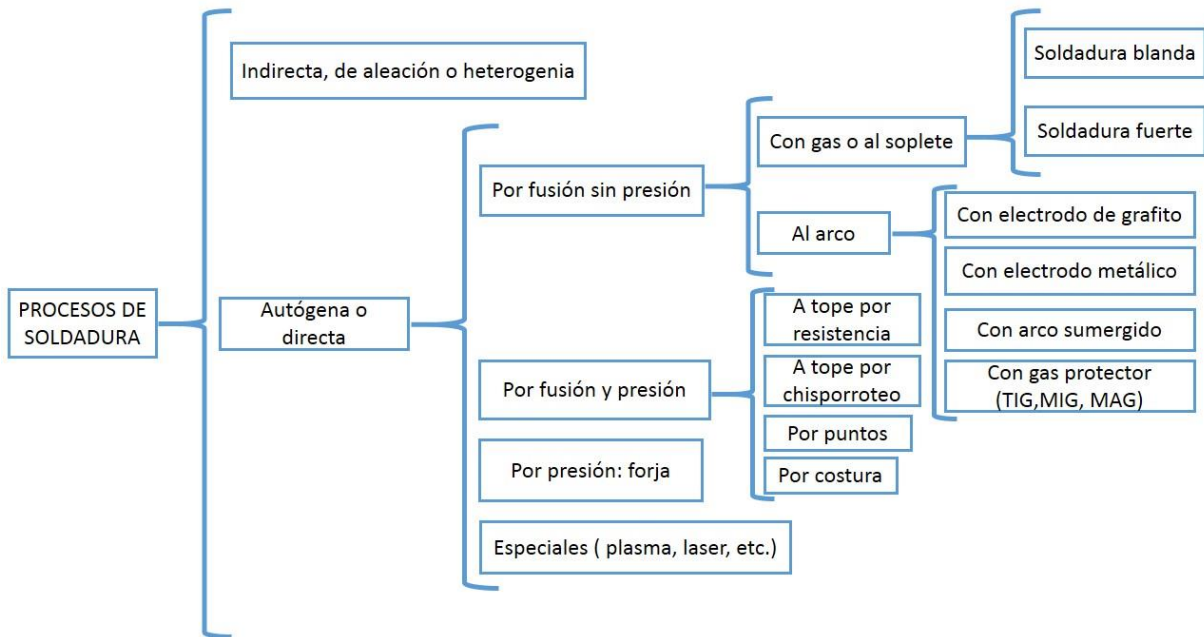


Figura 13. Mapa conceptual de los Procesos de soldadura.

2.4.1 Indirecta, de aleación o heterogénea, soldadura blanda.

La soldadura blanda consiste en unir piezas por medio de una aleación metálica, fácilmente fundible (debajo punto de fusión) tal como el estaño, el plomo, etc. Esta soldadura ofrece una resistencia generalmente inferior a la de los metales a los cuales se aplica, y no puede someterse en uniones que deban emplearse a más de 200° C. Está indicada especialmente para la unión de piezas que no estarán sometidas a grandes cargas o fuerzas, uniones de hojalata, chapas galvanizadas, piezas de latón y bronce, algunas veces en piezas de hierro y sobre todo en tubos de plomo y en conexiones de electricidad y electrónica. [5] [8] [9]



Figura 14. Tipos de soldaduras blandas.

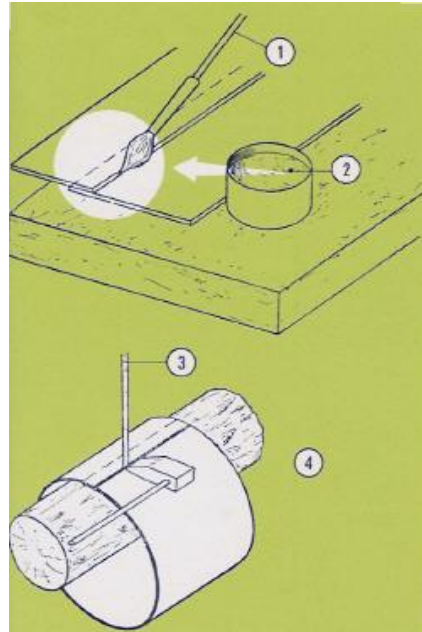


Figura 15. Elementos de una soldadura blanda.

Para efectuar este tipo de soldadura se necesita un soldador de cobre que puede ser calentado con una lámpara de soldar, o también se puede utilizar un soldador de calentamiento eléctrico. El metal de aportación se emplea, generalmente en barra. Además, es necesario emplear ciertos cuerpos como desoxidantes (que evitan la oxidación) y fundamentes (que ayudan a fundir la escoria). Para hacer una buena soldadura se han de limpiar con cuidado las partes que han de unirse.

2.4.2 Indirecta, de aleación o heterogénea, soldadura fuerte.

La soldadura fuerte, llamada también amarilla consiste en unir piezas mediante la fusión de un metal que tiene un punto de fusión relativamente elevado, como los latones, el cobre o las aleaciones de plata. La temperatura de fusión debe ser inferior a la de los metales a unir. El metal de aportación se usa en forma de grano, de hilos o chapitas, según la forma de las piezas que se han de soldar, el desoxidante empleado es el llamado bórax u otros preparados comerciales. Se recurre a este tipo de soldadura cuando hay que efectuar una unión sólida y resistente, sin fundir las piezas a enlazar. Se puede efectuar sobre metales y aleaciones de elevado punto de fusión como son: el acero, la fundición y los broncees. [5] [8] [9]

En esta soldadura se aplica también metal de aporte en estado líquido, pero este metal, por lo regular no ferroso, tiene su punto de fusión superior a los 430°C y menor que la temperatura de fusión del metal base. Por lo regular se requiere de fundentes especiales para remover los óxidos de las superficies a unir y aumentar la fluidez al metal de aporte.



Figura 16. *Material sometido a temperatura.*



Figura 17. *Sopletes.*

Algunos de los metales de aporte son aleaciones de cobre, aluminio o plata. A continuación, se presentan algunos de los más utilizados para las soldaduras denominadas como fuertes:

1. Cobre. Su punto de fusión es de 1083°C.
2. Bronces y latones con punto de fusión entre los 870 y 1100°C.
3. Aleaciones de plata con temperaturas de fusión entre 630 y 845°C.
4. Aleaciones de aluminio con temperatura de fusión entre 570 y 640°C

La soldadura fuerte se puede clasificar por la forma en la que se aplica el metal de aporte. A continuación, se describen algunos de estos métodos:

- **Inmersión.** El metal de aporte previamente fundido se introduce entre las dos piezas que se van a unir, cuando este se solidifica las piezas quedan unidas.
- **Horno.** El metal de aporte en estado sólido, se pone entre las piezas a unir, estas son calentadas en un horno de gas o eléctrico, para que con la temperatura se derrita al metal de aporte y se genere la unión al enfriarse.

- **Soplete.** El calor se aplica con un soplete de manera local en las partes del metal a unir, el metal de aporte en forma de alambre se derrite en la junta. Los sopletes pueden funcionar con los siguientes comburentes: aire inyectado a presión, aire de la atmósfera, oxígeno o aire almacenado a presión en un tanque. Los combustibles pueden ser: alcohol, gasolina blanca, metano, propano-butano, hidrógeno o acetileno.
- **Electricidad.** La temperatura de las partes a unir y del metal de aporte se puede lograr por medio de resistencia a la corriente, por inducción o por arco, en los tres métodos el calentamiento se da por el paso de la corriente entre las piezas metálicas a unir.
- Autógena o directa, por fusión sin presión, con gas o al soplete.

Este proceso incluye a todas las soldaduras que emplean un gas combustible para generar la energía que es necesaria para fundir el material de aporte. Los combustibles más utilizados son el metano, acetileno y el hidrógeno, los que al combinarse con el oxígeno como comburente generan las soldaduras autógena y oxiacética.

La soldadura autógena se logra al combinar al acetileno y al oxígeno en un soplete. Se conoce como autógena porque con la combinación del combustible y el comburente se tiene autonomía para ser manejada en diferentes medios. El acetileno se produce al dejar caer terrones de carburo de calcio en agua, en donde el precipitado es cal apagada y los gases acetileno. Uno de los mayores problemas del acetileno es que no se puede almacenar a presión por lo que este gas se puede obtener por medio de generadores de acetileno o bien en cilindros los que para soportar un poco la presión 1.7 MPa, se les agrega acetona.

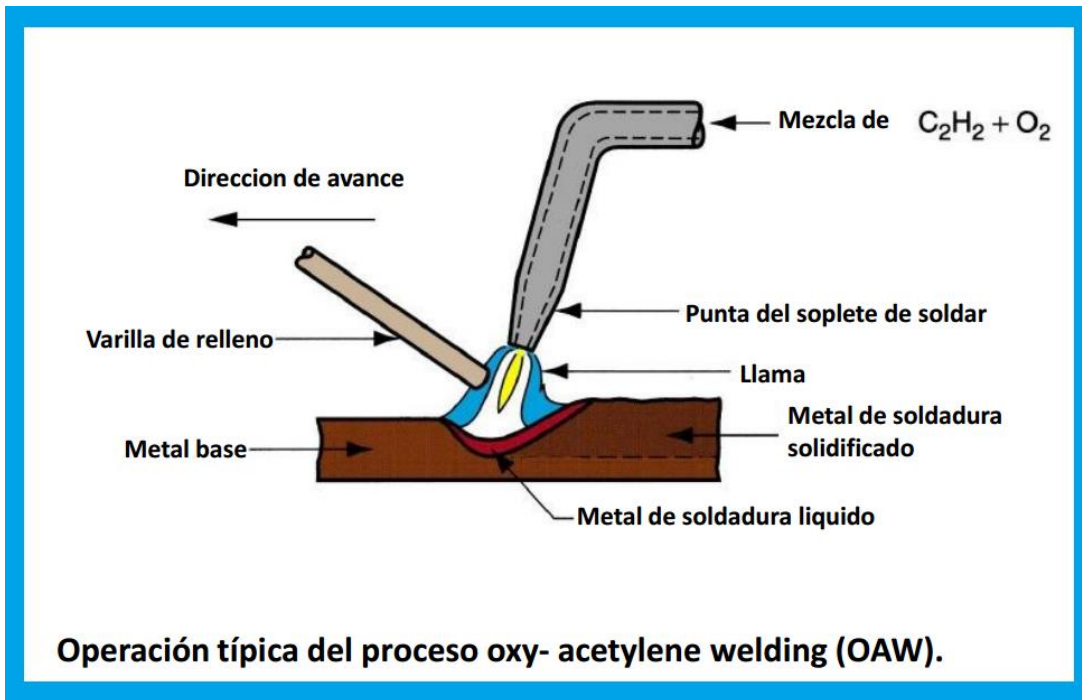


Figura 18. Partes de un soplete.

En los sopletes de la soldadura autógena se pueden obtener tres tipos de flama las que son reductora, neutral y oxidante. De las tres la neutral es la de mayor aplicación. Esta flama, está balanceada en la cantidad de acetileno y oxígeno que utiliza. La temperatura en su cono luminoso es de 3500°C, en el cono envolvente alcanza 2100°C y en la punta extrema llega a 1275°C.

En la flama reductora o carburizante hay exceso de acetileno lo que genera que entre el cono luminoso y el envolvente exista un cono color blanco cuya longitud está definida por el exceso de acetileno. Esta flama se utiliza para la soldadura de monel, níquel, ciertas aleaciones de acero y muchos de los materiales no ferrosos.

La flama oxidante tiene la misma apariencia que la neutral excepto que el cono luminoso es más corto y el cono envolvente tiene más color, Esta flama se utiliza para la soldadura por fusión del latón y bronce. Una de las derivaciones de este tipo de flama es la que se utiliza en los sopletes de corte en los que la oxidación súbita genera el corte de los metales. En los sopletes de corte se tiene una serie de flamas pequeñas alrededor de un orificio central, por el que sale un flujo considerable de oxígeno puro que es el que corta el metal.

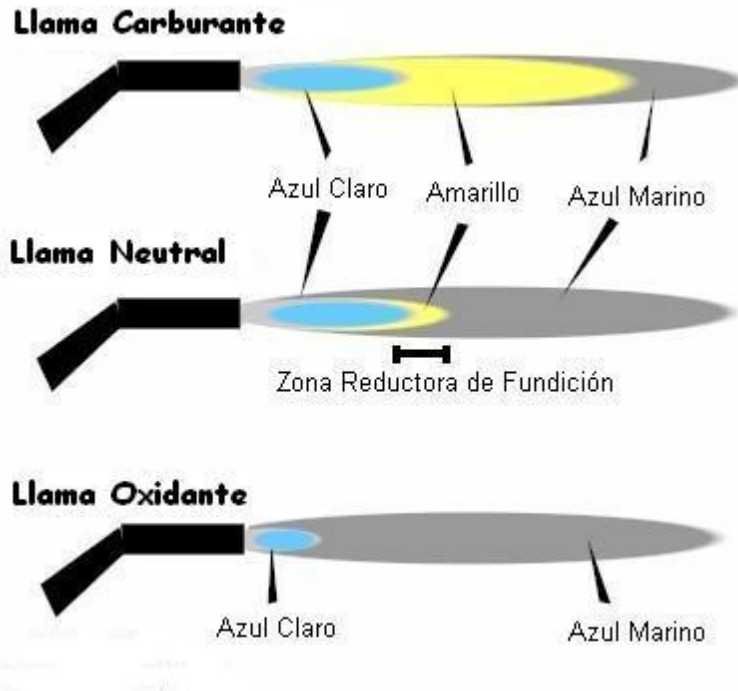


Figura 19. Tipos de llama de un soplete.

En algunas ocasiones en la soldadura autógena se utiliza aire como comburente, lo que genera que la temperatura de esta flama sea menor en un 20% que la que usa oxígeno, por lo que su uso es limitado a la unión sólo de algunos metales como el plomo. En este tipo de soldadura el soplete es conocido como mechero Bunsen. En los procesos de soldadura con gas se pueden incluir aquellos en los que se calientan las piezas a unir y posteriormente, sin metal de aporte, se presionan con la suficiente fuerza para que se genere la unión.

Elementos de que consta una instalación para soldadura oxiacetilénica:

- Un gasógeno de acetileno o bien una botella que lo contenga comprimido en sus válvulas igmanómetras. El acetileno es un gas incoloro de olor característico que arde en el aire con llama muy luminosa.
- Una botella cargada de oxígeno con sus válvulas de cierre y reducción con manómetros de alta y baja presión. Son cilindros de acero muy resistentes.

- Las tuberías necesarias para la conducción de ambos gases con una válvula de seguridad en la de acetileno. La válvula de seguridad es la encargada de que no se ocasione un retroceso del oxígeno con la tubería del acetileno.
- Sopletes con varias boquillas que permite la soldadura de piezas de distintos espesores y estarán destinados a mezclar íntimamente los gases oxígeno y acetileno para lograr una perfecta combustión.

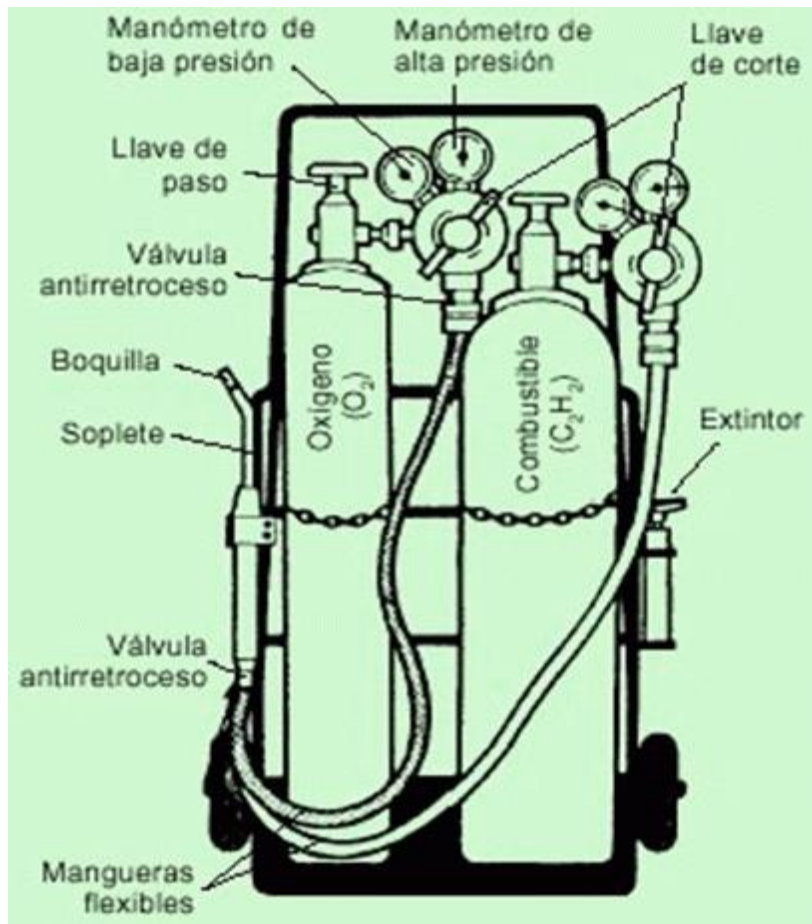


Figura 20. Sopletes con varias bombillas.

2.4.3 Autógena o directa, por fusión sin presión, al arco, con electrodo de grafito.

Este tipo de soldadura no requiere aporte de material y prácticamente no lo admite a menos que sean varillas muy finas. No se trata de soldadura por arco eléctrico. Lo que funde el metal es la punta de grafito que en cortocircuito se pone al blanco brillante. [5]

Lo que se caliente por la corriente es más que nada el grafito, no el metal, porque el primero tiene una resistencia mucho mayor y disipa la mayoría de la potencia. Es importante que la punta de grafito esté afilada por dos razones:

1. Cuanto más fino sea el punto de contacto entre el material y la punta más resistencia a la corriente y más temperatura alcanza.
2. Si es demasiado gruesa el calor se transmite con facilidad desde la punta al soldador y se disipa gran parte de él sin alcanzar la temperatura necesaria.

Aunque no se aporta material el electrodo se desgasta porque está hecho con polvo de grafito aglomerado, y se nota que se va deshaciendo con el calor.



Figura 21. *Electrodo de grafito.*

2.4.4 Autógena o directa, por fusión sin presión, al arco, con electrodo metálico.

Es el proceso en el que su energía se obtiene por medio del calor producido por un arco eléctrico que se forma entre la pieza y un electrodo. Por lo regular el electrodo también sirve de metal de aporte, el que con el arco eléctrico se funde, para que así pueda ser depositado entre las piezas a unir. La temperatura que se genera en este proceso es superior a los $5,500^{\circ}\text{C}$. La corriente que se utiliza en el proceso puede ser directa o alterna, utilizándose en la mayoría de las veces la directa, debido a la energía es más constante con lo que se puede generar un arco estable. Las máquinas para corriente directa se construyen con capacidades hasta de 1,000 A, con corrientes de 40 a 95 V. Mientras se efectúa la soldadura el voltaje del arco es de 18 a 40 A. Este tipo de soldadura ha permitido la solución de todas aquellas uniones imposibles de realizar con la soldadura por resistencia. [5] [8] [9]

El método de trabajo más difundido fue el de Slavianoff, en el que se conecta uno de los polos de la maquina con la pieza a soldar (masa), en tanto que el otro los forma una varilla de metal especial, llamada electrodo, que esquemáticamente está representada en la figura 22 mientras el electrodo y la pieza estén en contacto circulara corriente por ambas cerrándose el circuito, pero si se pretende separarlos, aunque sea un milímetro, la corriente va a procurar no interrumpirse. Ya sabemos que tal cosa no es posible si la continuidad del material varía repentinamente y la corriente vence esta dificultad formando un puente luminoso entre ambos materiales. El efecto luminoso se obtiene a consecuencia de la transformación de la energía eléctrica de la corriente en energía luminosa y de esta en energía térmica.

Este fenómeno ya lo habrá podido apreciar el lector al ver la colada de un metal de fusión (1200°C), la llama de oxígeno con 3000°C , la de gas oxiacetilénico (3500°C) y finalmente el arco eléctrico, con el que se han conseguido temperaturas hasta 3800°C .

El nombre electrodo se le da por similitud con las piezas del mismo nombre que en la industria sirven para conducir corriente de polaridad distinta. Son varillas de unos pocos milímetros y de material distinto según los usos a dársele. El electrodo conectado al polo positivo de una maquina eléctrica se llama ánodo, y cátodo el que es alimentado por el negativo. En la actualidad se emplea un solo electrodo, sustituyendo al otro por la pieza a soldar.

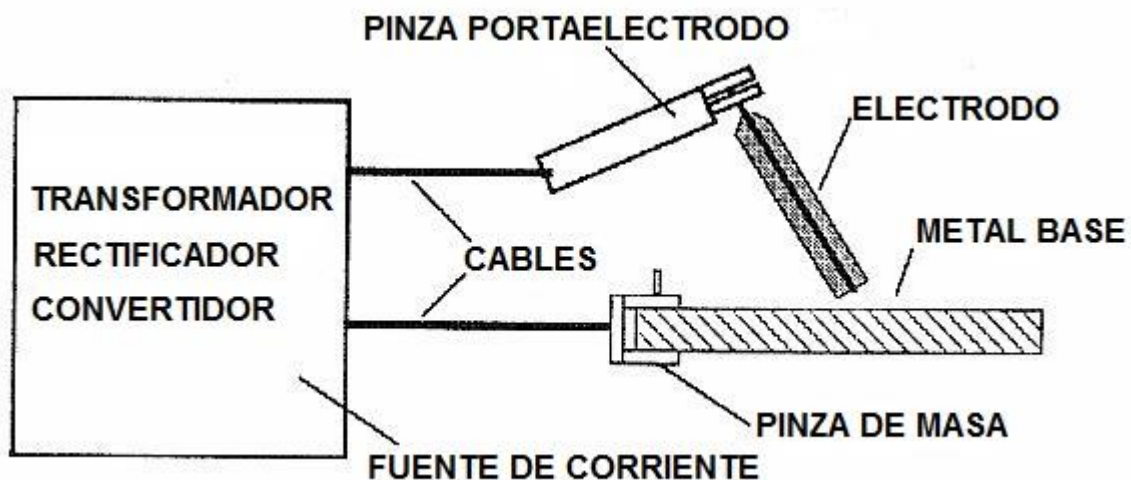


Figura 22. Esquema de soldadura por arco.

Para esta soldadura sirven ambas corrientes. Si la fuente es la corriente continua, es necesario saber correctamente cuál de los dos polos es el que ha sido conectado al electrodo, porque el polo positivo permite obtener temperaturas 500°C más elevadas que el otro polo, lo que representa conseguir un 30 % más de energía calorífica en un caso que en el otro. Conectado el electrodo en los casos comunes de soldadura en el polo positivo, se consigue mayor penetración y mejor estabilidad en el arco. Para localizar la polaridad de una línea eléctrica en forma rápida y sencilla, se sumergen los dos conductores en un recipiente con agua; al cabo de unos minutos se observa un desprendimiento enérgico de burbujas, que no es otra cosa que el hidrogeno separado del agua como gas, en las proximidades del polo negativo. Para un soldador experimentado basta colocar una varilla de carbón en lugar del electrodo metálico y provocar el arco. Si este se mantiene estable, suave y se estira con facilidad, entonces el porta-electrodo está conectado al polo negativo. Si así no fuera, el arco es irregular y se deposita hollín sobre la chapa.

Únicamente en los casos de soldaduras de chapas delgadas, conecta el polo negativo a la pieza para evitar la quemadura del material. Algunos electrodos de aleaciones especiales requieren ser conectados al polo positivo, como son los revestidos. Todos los electrodos desnudos y casi todos lo recubiertos ligeramente deben emplearse con el polo negativo. El cambio de polaridad consiste simplemente en la inversión de los cables sobre la línea o sobre la misma máquina.

Empleando corriente alternada, el campo de aplicación es mayor para los casos de soldadura común de uniones y reparaciones, siendo importante saber que no hay que usar electrodos desnudos. Como ya se explicó anteriormente, no existe polaridad en la corriente alternada por variar ésta constantemente. Por esta razón no hay peligro en conectar cualquiera de los conductores de corriente alternada con la pieza a soldar o con los electrodos. En la práctica uno de los cables se fija por tornillo o pinza de presión a la pieza y el otro va fijo al porta-electrodo o pinza soporte de mango aislado pero que deja pasar la corriente a la varilla. Con corriente alternada ambos conductores desarrollan la misma cantidad de calor; pero ésta es superior en un 15 % a la del negativo de un circuito de corriente continua en las mismas condiciones de trabajo.

2.4.5 Autógena o directa, por fusión sin presión, al arco, con arco sumergido.

El sistema de soldadura automática por Arco Sumergido permite la máxima velocidad de deposición de metal, entre los sistemas utilizados en la industria, para producción de piezas de acero de mediano y alto espesor (desde 5 mm aproximadamente) que puedan ser posicionadas por soldar en posición plana u horizontal: vigas y perfiles estructurales, estanques, cilindros de gas, bases de máquinas, fabricación de barcos, etc. También puede ser aplicado con grandes ventajas de relleno de ejes, ruedas de ferrocarriles y polines. En el sistema de soldadura por Arco Sumergido, se utiliza un alambre sólido recubierto por una fina capa de cobrizado para evitar su oxidación y mejorar el contacto eléctrico. [5] [8] [9]

En esta soldadura el arco voltaico es mantenido debajo de un fundente granular. Puede usar corriente CA o CC. El fundente provee completa protección del metal fundido y, por lo tanto, se obtienen soldaduras de alta calidad. Es una modificación de arco sumergido en donde se utiliza un fundente magnetizado por el campo eléctrico del electrodo de alambre originado por la corriente que fluye por el alambre. Tiene un control de cantidad de fundente más preciso y virtualmente no hay fundente sin usar.

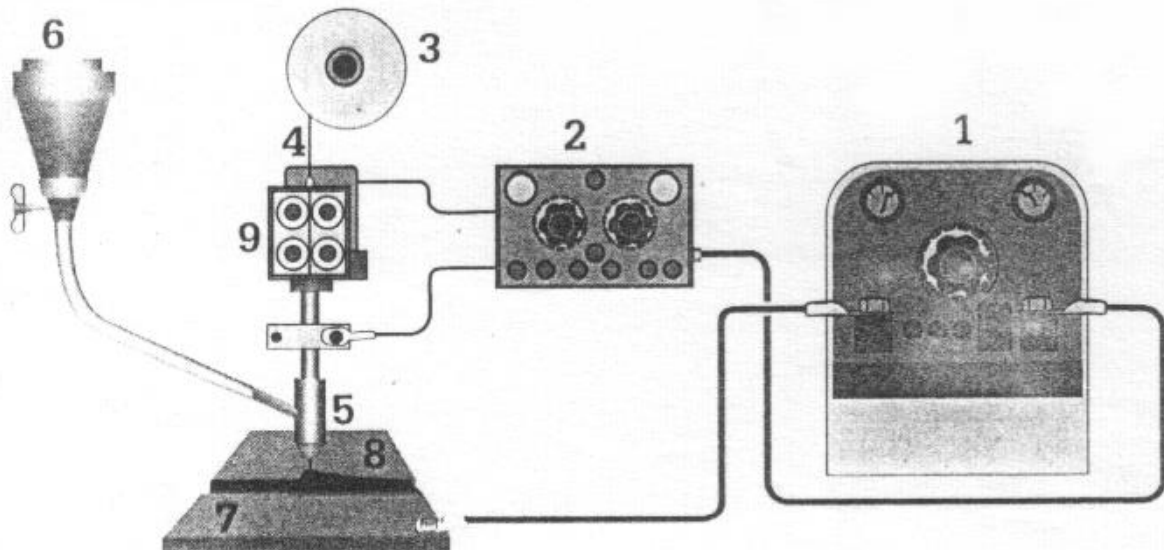


Figura 23. 1-fuente de poder de CC O CA. 2- sistema de control.3- porta carrete de alambre. 4- alambre-electrodo.5- tobera para boquilla. 6-recipiente porta-fuente.7- metal base. 8- fundente.9- alimentador de alambre.

2.4.8 Autógena o directa, por fusión sin presión, al arco, con gas protector.

En este proceso la unión se logra por el calor generado por un arco eléctrico que se genera entre un electrodo y las piezas, pero el electrodo se encuentra protegido por una copa por la que se inyecta un gas inerte como argón, helio o CO₂. Con lo anterior se genera un arco protegido contra la oxidación y además perfectamente controlado. Existen dos tipos de soldadura por arco protegido la TIG y la MIG/MAG. [5] [6] [8] [9]

Soldadura de arco de metal con gas (**MIG, MAG**): Es una alternativa a la soldadura de arco de tungsteno con gas. Con el CO₂, Helio, o Argón como bases protectores una pistola de soldar y un mecanismo de alimentación especiales renuevan el electrodo a medida que este se consume. No se forman rebabas que deban ser removidas. Con un gas inerte tal como los mencionados, este proceso puede usarse para soldar casi cualquier material, el proceso es usualmente más caro y es usado para soldar aluminio, magnesio, o aleaciones de acero inoxidable, en donde es necesario un acabado perfecto. El proceso de arco de metal con gas permite mantener un arco muy corto. Para soldar espesores más grandes de acero se combina a menudo fundente granular con CO₂.

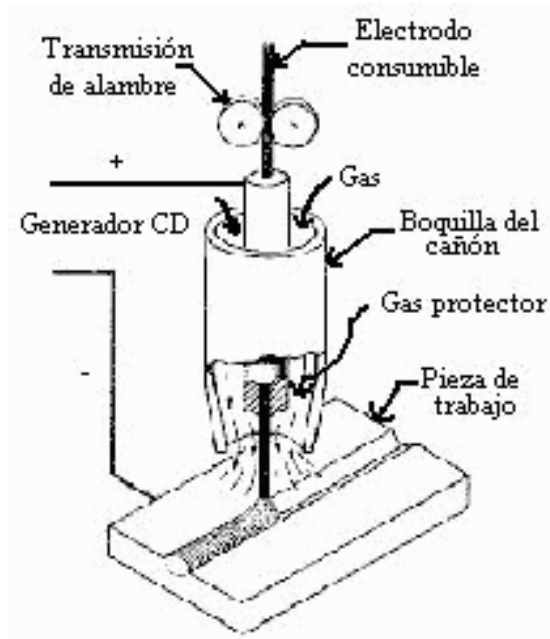


Figura 24. Soldadura a base de gas.

Soldadura de arco de Tungsteno con gas (**TIG Tungsten Inert Gas**): Se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Normalmente se emplea para acero emplea un electrodo de tungsteno en un soporte especial del cual a través de este un gas puede ser provisto a baja presión a fin de entregar suficiente flujo como para formar una protección alrededor del arco y del metal fundido, protegiéndolos de la atmósfera. Se usan los gases inertes como ser Argón o Helio, pero en la soldadura de acero puede sustituirse por CO₂.

En el proceso con electrodo no consumible, cualquier metal de aporte adicional necesario se provee por una varilla separada. Para aplicaciones donde hay ajuste perfecto entre las partes no hace falta metal de aporte. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410°C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado.

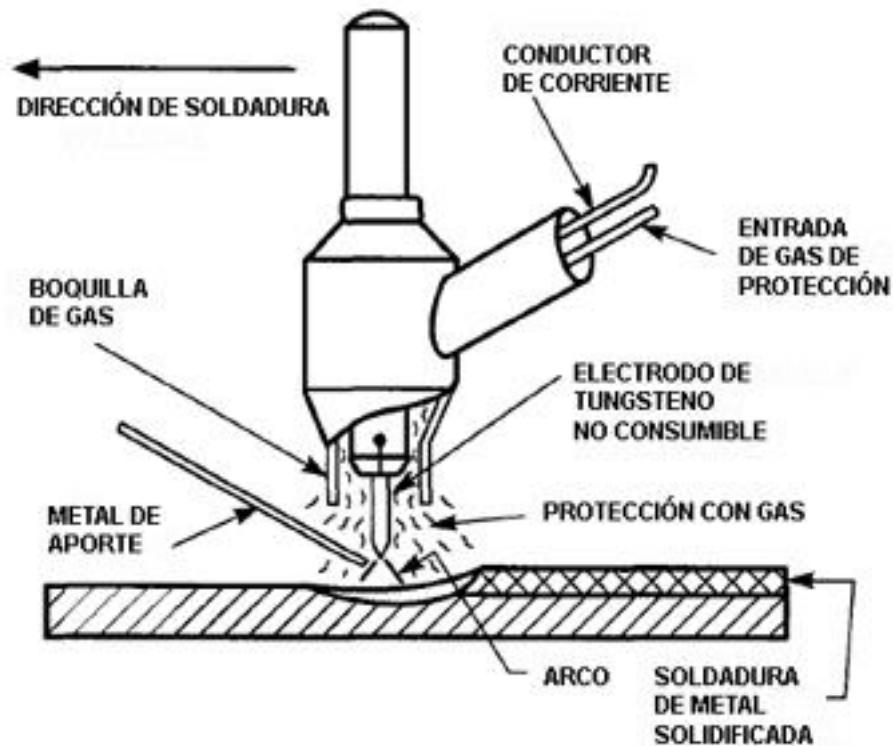


Figura 25. *Maquina soldadora TIG.*

2.4.9 Autógena o directa, por fusión y presión, a tope por resistencia y a tope por chisporroteo.

El principio del funcionamiento de este proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir, como en la unión de los mismos la resistencia es mayor que en sus cuerpos se generará el aumento de temperatura, aprovechando esta energía y con un poco de presión se logra la unión. La corriente eléctrica pasa por un transformador en el que se reduce el voltaje de 120 o 240 a 4 o 12 V, y se eleva el amperaje considerablemente para aumentar la temperatura. [5] [8] [9]

La soldadura por resistencia es aplicable a casi todos los metales, excepto el estaño, zinc y plomo. No hay fusión del metal, ya que la presión ejercida produce un forjado resultando de grano más fino la soldadura.

La temperatura se obtiene en fracción de segundo por ende es muy rápida y económica y apropiada para la producción en masa. El calor se obtiene por el pasaje de corriente eléctrica a través de la pieza a soldar, usa corriente alterna. En este tipo de soldadura el control de la presión es de suma importancia dado que un exceso de presión hace que el material fundido salte de las superficies de empalme, y la baja presión provoca quemadura de las superficies y picadura de los electrodos. La corriente generalmente se obtiene de un transformador reductor.

Aunque la forma de realizar una soldadura a tope por resistencia es casi idéntica a la soldadura por chisporroteo, se diferencia en que esta utiliza menos intensidad.

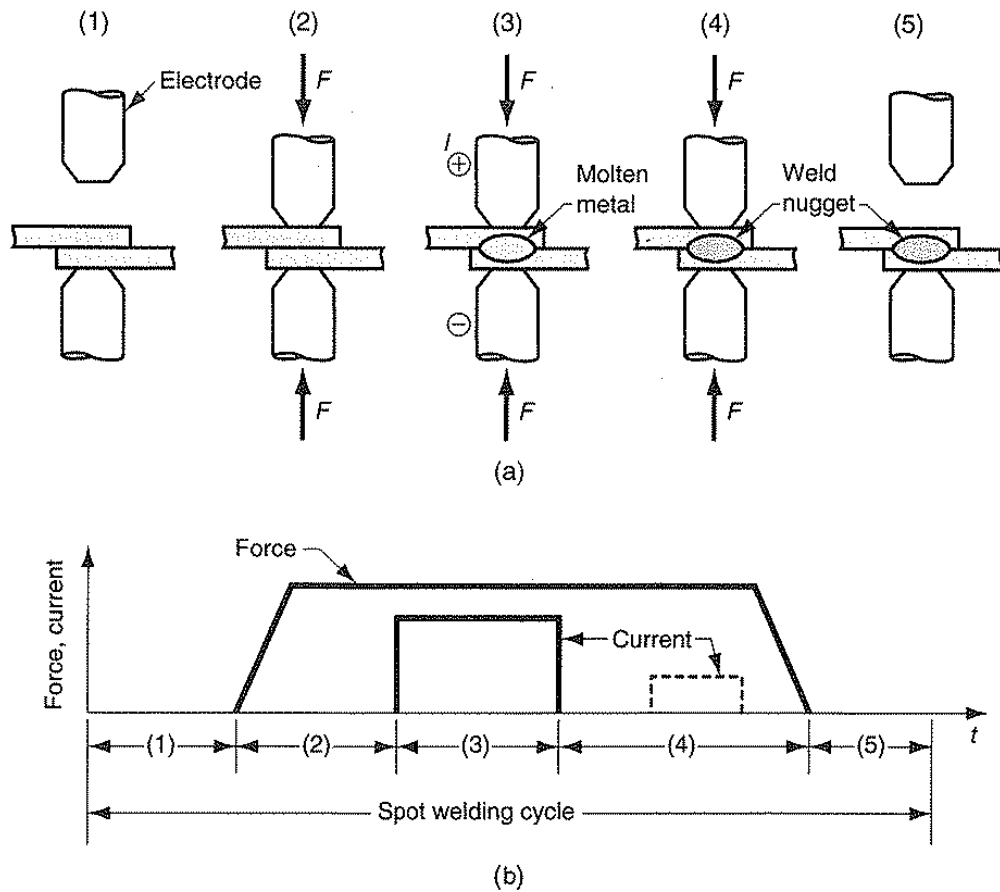


Figura 26. Ciclo de soldadura.

2.10 Autógena o directa, por fusión y presión, por puntos.

La soldadura de punto es el tipo más simple y más usada de las soldaduras de resistencia. Se conecta y desconecta la corriente por medios automáticos y semiautomáticos. Esto produce una pepita de metal unido con muy poca o ninguna fusión y sin que salte el material. [5] [8] [9]

En la soldadura por puntos la corriente eléctrica pasa por dos electrodos con punta, debido a la resistencia del material a unir se logra el calentamiento y con la aplica de presión sobre las piezas se genera un punto de soldadura. Las máquinas soldadoras de puntos pueden ser fijas o móviles o bien estar acopladas a un robot o brazo mecánico.

Máquinas de soldadura por puntos:

1. Con brazo oscilante: el electrodo inferior está quieto y se mueve el superior, oscila alrededor de un pivote
2. de presión: electrodo superior comandado por cilindro neumático; para trabajos pesados o de alta producción; gran variedad de tamaños de máquinas.
3. portátil: transportable, usa una pistola conectada a la fuente de energía. La pistola puede uno de sus electrodos para dar la presión necesaria. Muy utilizada en la industria por su alta velocidad de producción.

Tienen una variedad muy grande, casi todos los materiales dúctiles y aleaciones pueden ser soldados a punto, como ser chapa dulce (el más común), fundiciones, aluminio (altas corrientes, intervalo corto, baja presión), magnesio (limpieza superficial), cobre (es difícil), plata (difícil por su conductibilidad). El límite práctico del espesor es de 1/8 pulgadas si cada pieza tiene el mismo espesor.

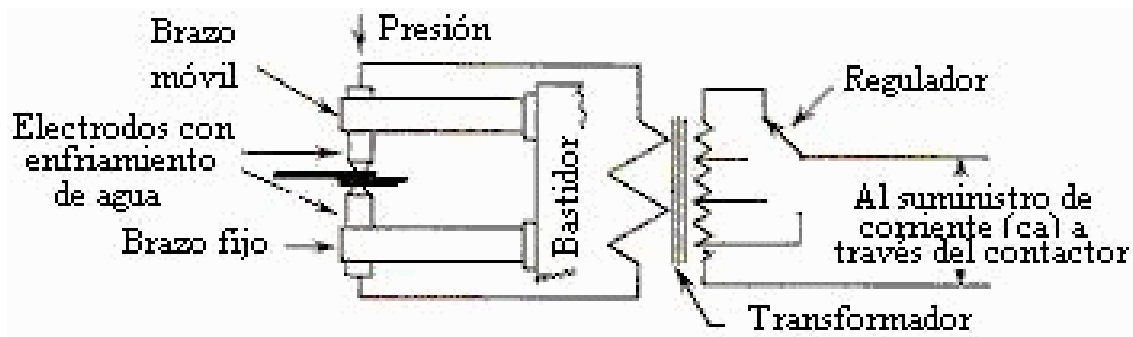


Figura 27. Diagrama de una maquina soldada por puntos.

La soldadura por resaltes es un proceso similar al de puntos, sólo que en esta se producen varios puntos a la vez en cada ocasión que se genera el proceso. Los puntos están determinados por la posición de un conjunto de puntas que hacen contacto al mismo tiempo. Este tipo de soldadura se puede observar en la fabricación de malla lac.

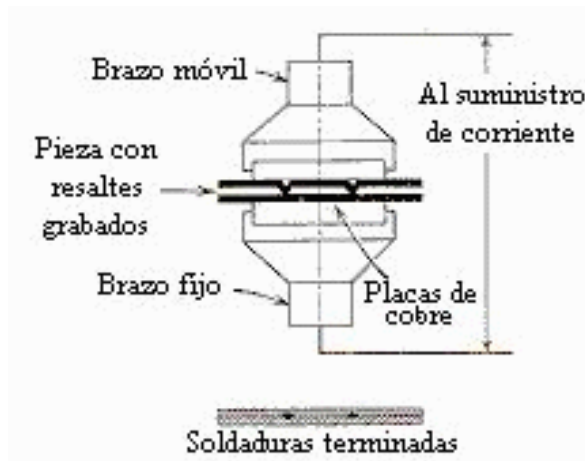


Figura 28. Soldadura con resaltes.

2.4.11 Autógena o directa, por fusión y presión, por costura.

La soldadura por costura consiste en el enlace continuo de dos piezas de lámina traslapadas. La unión se produce por el calentamiento obtenido por la resistencia al paso de la corriente y la presión constante. Constituida por dos discos que giran, cuando el material pasa por estos electrodos se conecta y desconecta corriente de soldadura, de modo que forma soldaduras elípticas individuales que se superponen formando una hilera. La duración debe ser regulada de manera que las piezas no se calienten demasiado y por ello se usa enfriamiento externo. [5] [8] [9]

Se usa la soldadura de costura para tanques herméticos, de gasolina, silenciadores de automóvil, etc. Para formas especiales se pueden usar electrodos recortados. Tiene un alto nivel de producción.

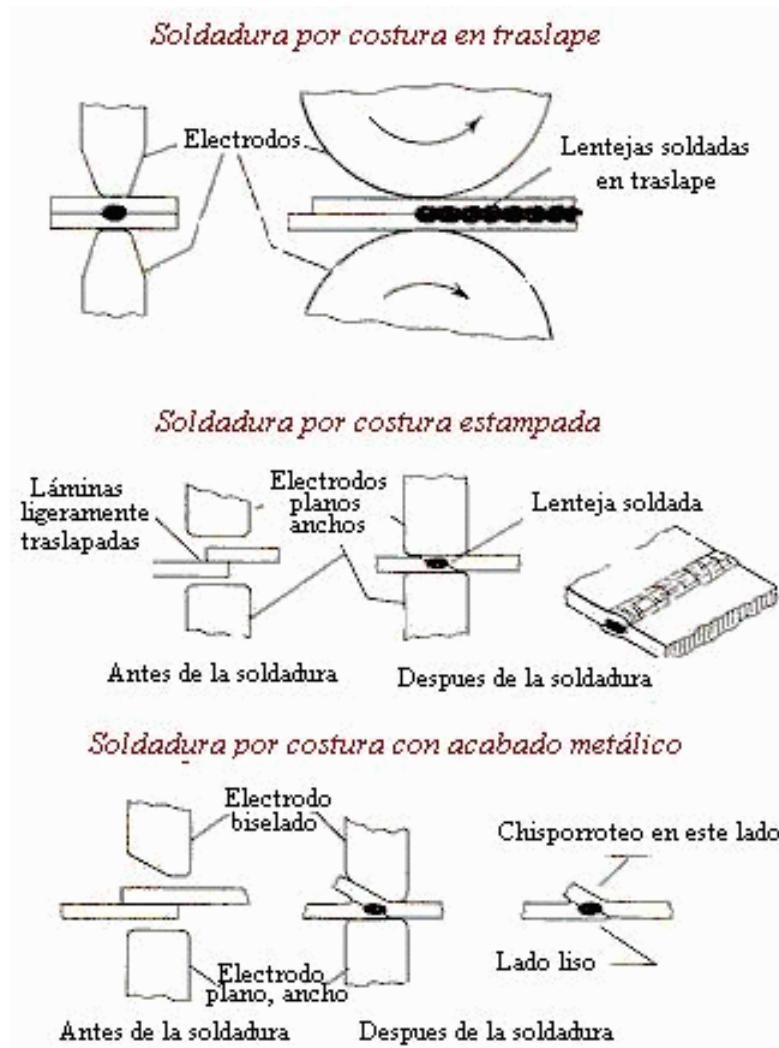


Figura 29. Tipos de soldadura.

2.4.12 Autógena o directa, por presión, forja.

Es el proceso de soldadura más antiguo. El proceso consiste en el calentamiento de las piezas a unir en una fragua hasta su estado plástico y posteriormente por medio de presión o golpeteo se logra la unión de las piezas. En este procedimiento no se utiliza metal de aporte y la limitación del proceso es que sólo se puede aplicar en piezas pequeñas y en forma de lámina. La unión se hace del centro de las piezas hacia afuera y debe evitarse a como dé lugar la oxidación, para esto se utilizan aceites gruesos con un fundente, por lo regular se utiliza bórax combinado con sal de amonio. [5] [8] [9]



Figura 30. Forja.



Figura 31. Martillo de forja.

2.4.13 Autógena o directa, especiales.

Soldadura por Fricción “FSW” (Friction Stir Welding)

La soldadura por fricción es un proceso de fase total de penetración sólida, el cual puede ser implementado en la unión de láminas de metal (hasta ahora principalmente para aluminio) sin llegar a su punto de fusión. FSW” la soldadura por fricción ha sido inventada, patentada y desarrollada para su propósito industrial por TWI (The Welding Institute), en Cambridge, UK. En la soldadura por fricción, un cilindro de sección plana y un rotor perfilado, son suavemente aproximados a las áreas a juntar las cuales son enfrentadas de tope. Las partes tienen que ser aseguradas a una mesa de respaldo para evitar que sean separadas por la fuerza a la que son sometidas. El calor de la fricción entre el cilindro rotatorio de alta resistencia al desgaste y las piezas a ser soldadas causan que los materiales se suavicen sin llegar al punto de fusión permitiendo al cilindro rotatorio seguir la línea de soldadura a través de las piezas a trabajar. El material pastificado es transferido al riel de borde del cilindro y forjado por el contacto directo del soporte y el rotor perfilado. En el proceso de enfriamiento, el proceso deja a su paso un cordón de fase sólida entre las dos piezas. [5] [8] [9]

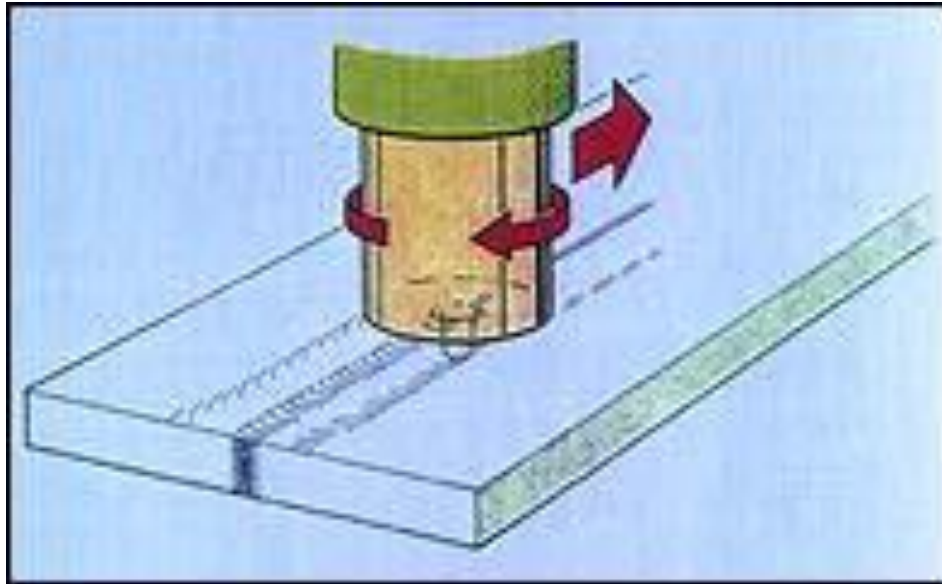


Figura 32. Soldaduras por fricción.

La soldadura por fricción puede ser usada para unir láminas de aluminio y planchas sin la necesidad de usar material de aporte o ningún tipo de gases y materiales de un espesor de 1.6 hasta 30 mm pueden ser soldados con total penetración, sin porosidad o evasiones internas. Soldaduras altamente integrales y de muy baja distorsión pueden ser logradas con éxito en la mayoría de las aleaciones de aluminio, incluyendo aquellas consideradas "difíciles de soldar" con las técnicas regulares.

Entre los materiales que han sido soldados exitosamente con Fricción hasta la actualidad se incluye una gran variedad de aleaciones de aluminio (las series 2xxx, 5xxx, 7xxxx, 8xxx) y las aleaciones Al-Li son las más recientes, la soldadura por fricción también ha demostrado ser efectiva en la unión de Plomo, Cobre, Magnesio y hasta aleaciones de Titanio

2.4.14 Soldadura por Arco de Plasma "PAW" (Plasma Arc Welding)

La soldadura de arco de plasma PAW, es un proceso muy similar al proceso de soldadura TIG "GTAW", de hecho, es una evolución de este método, el cual está diseñado para incrementar la productividad. [5] [8] [9]

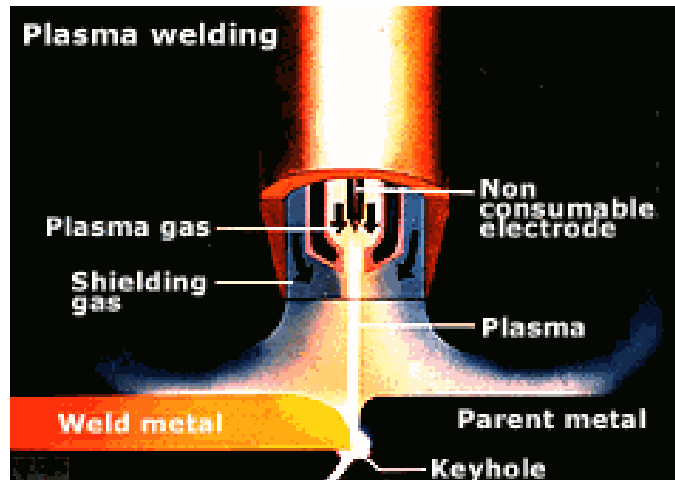


Figura 33. Soldadura a base de plasma.

En la soldadura por arco de plasma PAW, el uso del gas es algo más complejo, dos flujos de gases separados trabajan cada uno cumpliendo un papel diferente.

Las partes que componen el proceso básico tenemos: un gas que fluye envolviendo el electrodo de Tungsteno y, por consiguiente, formando el núcleo del arco de plasma y el escudo de gas que provee protección a la soldadura fundida.

PAW es usado de tres maneras:

1. Soldadura Micro plasma, con corrientes de soldadura de entre 0.1 Amperios hasta 20Amperios.
2. Soldadura de plasma-mediano, con corrientes de soldadura de entre 20 Amperios hasta 100 Amperios.
3. Soldadura de Cerradura, por encima de 100 Amperios, donde el arco de plasma penetra el espesor de la pared. Es muy usado, por dejar juntas de alta calidad, en la industria de la aviación y espacial, procesos, química y las industrias petroleras.

2.4.15 Soldadura por Electro Escoria ESW (Electro Slag Welding)

Un arco es establecido entre la pieza a ser soldada y un electrodo. Cuando el fundente, que es colocado en las juntas, se derrite, produciendo un baño de escoria que se hace

más profundo cada vez., cuando la temperatura de este baño de escoria, y, por consiguiente, sus capacidades eléctricas, se incrementan, el arco se extingue, se apaga, y la corriente es conducida a través del cordón de escoria que cubre las juntas, donde la energía para la soldadura es producida a través de la resistencia generada.

La soldadura es formada entre unas mandíbulas fijas y móviles de cobre enfriadas por agua y la cara de la pieza a ser soldada. La cabeza de soldadura se mueve hacia arriba según el proceso avanza. Uno o más electrodos pueden ser usados como material consumible, dependiendo del espesor de las láminas a ser soldadas, si el material base es de un diámetro muy alto, entonces un movimiento oscilatorio puede ser agregado. [5] [8] [9]

La parte mala de este proceso es que la alta cantidad de energía aplicada contribuye a que el proceso de enfriamiento se haga muy lento, lo que resulta en una poderosa alteración de la granulometría en la zona afectada de calor (HAZ).

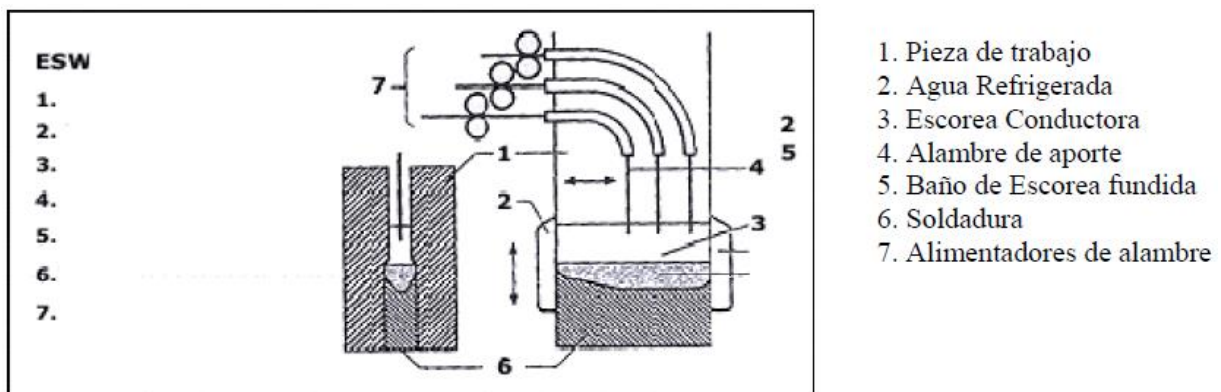


Figura 34. *Proceso de soldadura por Electro Escoria*

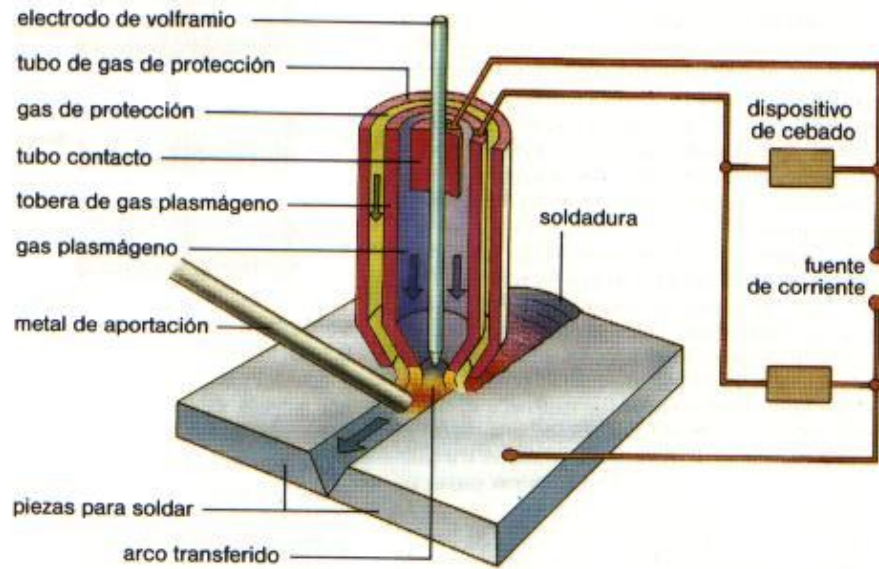
2.4.16 Soldadura por rayo láser

La soldadura por rayo láser es un proceso de soldadura por fusión que utiliza la energía aportada por un haz láser para fundir y recristalizar el material o los materiales a unir, obteniéndose la correspondiente unión entre los elementos involucrados. En la soldadura láser comúnmente no existe aportación de ningún material externo y la soldadura se realiza por el calentamiento de la zona a soldar, y la posterior aplicación de presión entre estos puntos. Mediante espejos se focaliza toda la energía del láser

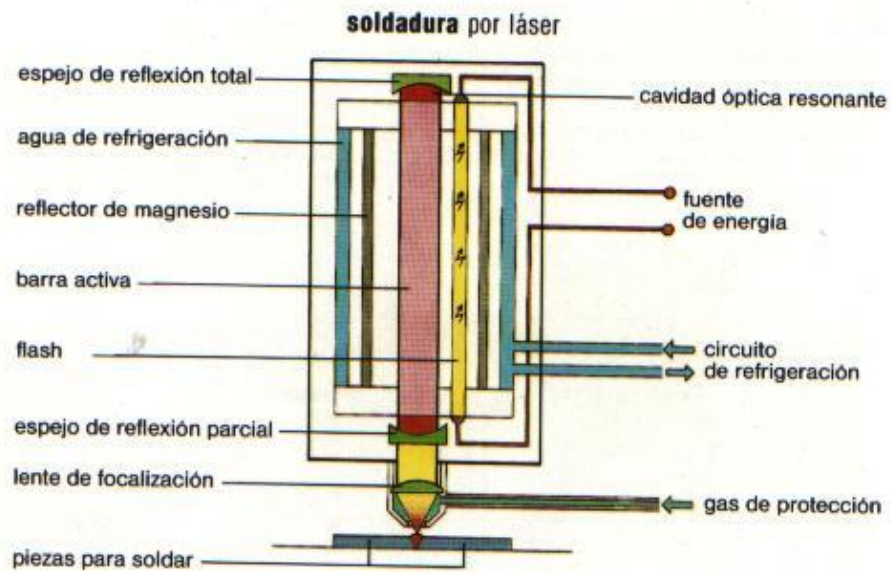
en una zona muy reducida del material. Cuando se llega a la temperatura de fusión, se produce la ionización de la mezcla entre el material vaporizado y el gas protector (formación de plasma). La capacidad de absorción energética del plasma es mayor incluso que la del material fundido, por lo que prácticamente toda la energía del láser se transmite directamente y sin pérdidas al material a soldar. [5] [8] [9]

La alta presión y alta temperatura causadas por la absorción de energía del plasma, continúa mientras se produce el movimiento del cabezal arrastrando la "gota" de plasma rodeada con material fundido a lo largo de todo el cordón de soldadura. De esta manera se consigue un cordón homogéneo y dirigido a una pequeña área de la pieza a soldar, con lo que se reduce el calor aplicado a la soldadura reduciendo así las posibilidades de alterar propiedades químicas o físicas de los materiales soldados.

Dependiendo de la aplicación de la soldadura, el láser de la misma puede ser amplificado en una mezcla de itrio, aluminio, granate y neodimio, si se requiere un láser de baja potencia, o el amplificado por gas como el dióxido de carbono, con potencias superiores a los 10 kilovatios y que por tanto son empleados en soldaduras convencionales.



soldadura por plasma



soldadura por láser

Figura 35. Soldaduras a base de plasma y laser.

2.5 Arco eléctrico

Generalidades del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo manual revestido.

Definición.

Proceso para soldar por fusión, donde la unión es producida por un arco eléctrico obtenido entre un electrodo metálico recubierto y el trabajo. El material de aporte es suministrado por el electrodo y para efectos de lograr la unión, no se utiliza presión. La protección del metal fundido es obtenida por la descomposición del revestimiento. [6] [12]

A continuación, explicaremos en detalle todos los elementos que, de una u otra manera están relacionados con el proceso, los cuales se agrupan en tres divisiones a saber:

1. MÁQUINAS DE SOLDAR Y ARCO ELÉCTRICO.
2. ELECTRODO REVESTIDO
3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

MÁQUINAS DE SOLDAR Y ARCO ELÉCTRICO.

Por estar estos elementos directamente relacionados con la electricidad, a continuación, se explican y definen los términos necesarios para efectos de poder comprender claramente la generación y características del arco eléctrico.

Al frotar un peine en el cabello, éste adquiere la propiedad de atraer cuerpos ligeros. Al interpretar esta propiedad decimos que el peine está electrizado, que posee una carga eléctrica o bien que está cargado eléctricamente.

Existen dos tipos de carga eléctrica llamados CARGA NEGATIVA y CARGA POSITIVA, lo que representa que un cuerpo cargado negativamente ha adquirido alguna cosa, mientras que uno cargado positivamente ha perdido algo de la misma cosa.

Las cargas eléctricas no son engendradas ni creadas, sino que el proceso de adquirir una carga eléctrica consiste en ceder algo de un cuerpo a otro, de tal manera que, uno

de ellos tenga un exceso y el otro un déficit de ese algo. Ese algo, son porciones muy pequeñas de energía negativa llamada ELECTRONES.

Los electrones son uno de los constituyentes esenciales de la materia. El átomo está formado por un núcleo de protones (cargados positivamente), de neutrones (con carga neutra) y de electrones (cargados negativamente) que se mueven alrededor del núcleo. La presencia de partículas de carga positiva y de carga negativa, hacen que el átomo en conjunto sea eléctricamente neutro.

Al perder el átomo uno o más electrones, queda con carga positiva, que se denomina **ion positivo** y si por el contrario los gana, se denomina **ion negativo**.

Una partícula cargada negativamente es atraída por una carga positiva y repele otra carga negativa o viceversa. La presencia de una partícula cargada, bien sea positiva o negativa genera un **campo eléctrico** capaz de atraer o repeler con una fuerza determinada a otra partícula cargada eléctricamente.

Un conductor, es un cuerpo en cuyo interior hay cargas libres que se mueven por la fuerza ejercida sobre ellos por un campo eléctrico. Este movimiento constituye una corriente.

Las cargas libres en un conductor metálico, son **electrones** y en un gas o líquido (en condiciones apropiadas), las cargas libres son **iones positivos, iones negativos y/o electrones libres**.

Si el campo siempre tiene el mismo sentido (positivo – negativo) la corriente se denomina **continua**. Si el campo se invierte periódicamente, el flujo de carga se invierte también y la corriente es **alterna**.

Si el campo eléctrico o **voltaje** como usualmente se conoce, hace que la corriente (los electrones) se muevan a través de un conductor, caso similar a la diferencia de altura entre dos tanques de agua, conectados con una tubería que hace que el líquido fluya del tanque superior al tanque inferior.

El voltaje se expresa en voltios y se mide con el voltímetro. La cantidad de agua que pasa por el tubo, se mide por su cantidad en una unidad de tiempo (metros cúbicos

por segundo), en forma análoga, la magnitud de la corriente se expresa en cantidad de electricidad por segundo. El término que se utiliza para expresar lo anterior es **amperios** (columbio de electricidad por segundo), y se mide con un amperímetro.

Necesariamente todo el líquido que sale del tanque superior tiene que llegar al tanque inferior, de la misma manera toda la corriente que fluye a través de un conductor tiene que salir de un terminal de un generador de corriente y llegar al otro, y si en la tubería existe una interrupción, el agua no pasa, lo que equivaldría en una corriente eléctrica, a no circular si no tiene un camino cerrado, sobre sí, éste camino se llama **circuito eléctrico**.

Hay gran variedad de procedimientos en que, como resultados de los mismos, se mantiene un campo eléctrico que origina el movimiento de cargas libres a través de un conductor.

En estos procedimientos hay una transformación de energía química o mecánica a energía eléctrica.

La pila seca o la batería de acumuladores transforman energía química a eléctrica, mientras que en el dinamo de un automóvil o en el generador de una Central Hidroeléctrica, la transformación es de energía mecánica eléctrica.

El principio de funcionamiento de los generadores de corriente consiste en el hecho de que el enrollar un alambre metálico en forma de «anillos» y mover dentro de éste un imán, las cargas libres del conductor se desplazan creándose una corriente y por consiguiente se genera un campo eléctrico entre los extremos del alambre (Figura 36).

El movimiento de imán se representa como energía mecánica, mientras que la corriente inducida o puesta en juego es energía eléctrica.

En los generadores de corriente, la energía mecánica se representa en forma de movimiento rotacional, movimiento que se obtiene con motores de combustión interna, o con turbinas hidráulicas, de gas o de vapor. Dependiendo de la cantidad de corriente que se quiere generar y de los recursos disponibles, se utiliza una u otra fuente de movimiento, por ejemplo: cuando en una región hay grandes yacimientos de carbón,

se utiliza este combustible para alimentar calderas que producen vapor, fluido que mueve este tipo de turbinas.

De otro lado, si en la región hay una caída de agua se aprovecha este fenómeno natural para impulsar turbinas hidráulicas; o si por el contrario el lugar no presenta ninguna ventaja de orden geológico o geográfico se puede utilizar motores de combustión interna como fuente de movimiento.

Los terminales de un **generador de corriente continua**, se denominan polo positivo (+) y polo negativo (-). El negativo es el lugar de donde salen los electrones y el positivo es el terminal a donde llegan. En un generador de corriente alterna no es posible diferenciar los terminales por los polos porque la electricidad fluye por ellos, alternando su sentido o su dirección.

La corriente alterna es generada de dos maneras: trifásica o monofásica. En el primer caso la corriente es transportada por tres cables y en el segundo por dos.

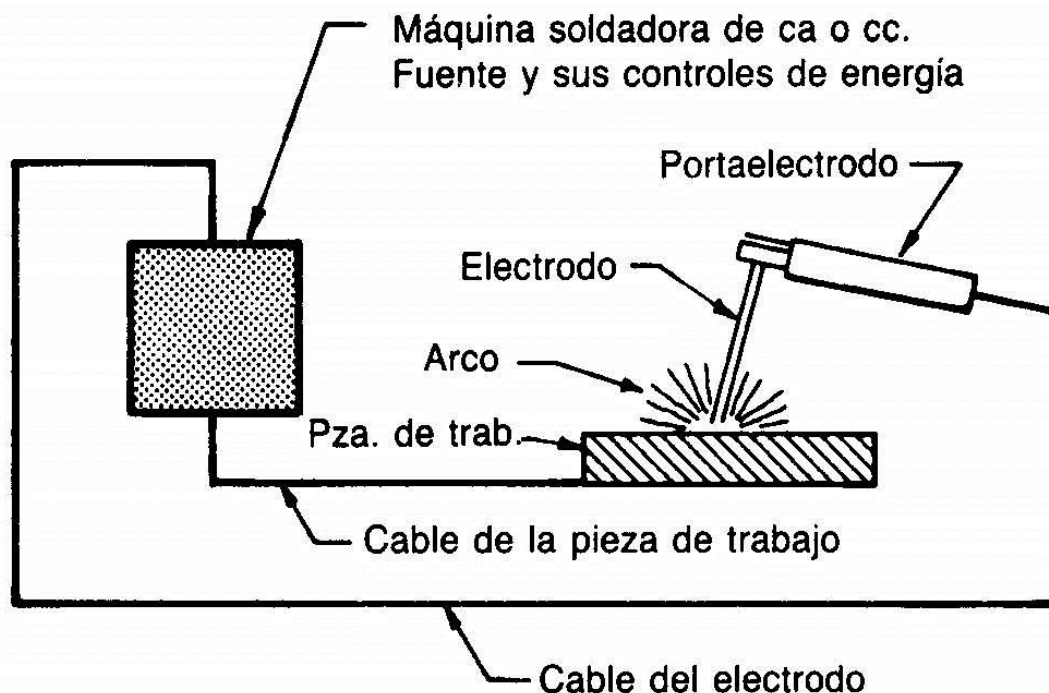


Figura 36. *Circuito eléctrico en el proceso de soldadura.*

La Figura 36, ilustra el circuito eléctrico utilizado normalmente en el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo manual revestido.

Por la acción de un campo eléctrico mantenido en la máquina de soldar se inicia el flujo de corriente en el terminal No.1. La corriente fluye por un cable al porta-electrodo y por este al núcleo del electrodo, por el extremo salta a la pieza formando el arco eléctrico, continúa viajando por el metal base y a través de un cable conectado entre el trabajo y la máquina de soldar regresa al terminal No. 2 y de esta manera recorre la totalidad del camino cerrado sobre sí. El flujo de corriente ocurre única y exclusivamente cuando el arco se encuentra encendido.

2.6 M.I.C (soldadura por micro alambre)

Procedimiento MIG y MAG:

La soldadura por arco con hilo electrodo fusible y protección gaseosa (procedimiento MIG y MAG) utiliza como material de aportación un hilo electrodo continuo y fusible, que se alimenta automáticamente, a través de la pistola de soldadura, a una velocidad continua pero regulable. El baño de fusión está completamente cubierto por un chorro de gas protector, que también se suministra a través de la pistola.

El procedimiento puede ser totalmente automático o semiautomático. Cuando la instalación es totalmente automática, la alimentación del alambre, la corriente de soldadura, el caudal de gas y la velocidad de desplazamiento a lo largo de la unión, se regulan previamente a los valores adecuados, y luego, todo funciona de forma automática.

En la soldadura semiautomática la alimentación del alambre, la corriente de soldadura y la circulación de gas, se regulan a los valores convenientes y funcionan automáticamente, pero la pistola hay que sostenerla y desplazarla manualmente. El soldador dirige la pistola a lo largo del cordón de soldadura, manteniendo la posición, longitud del arco y velocidad de avance adecuados. [6] [10] [11]

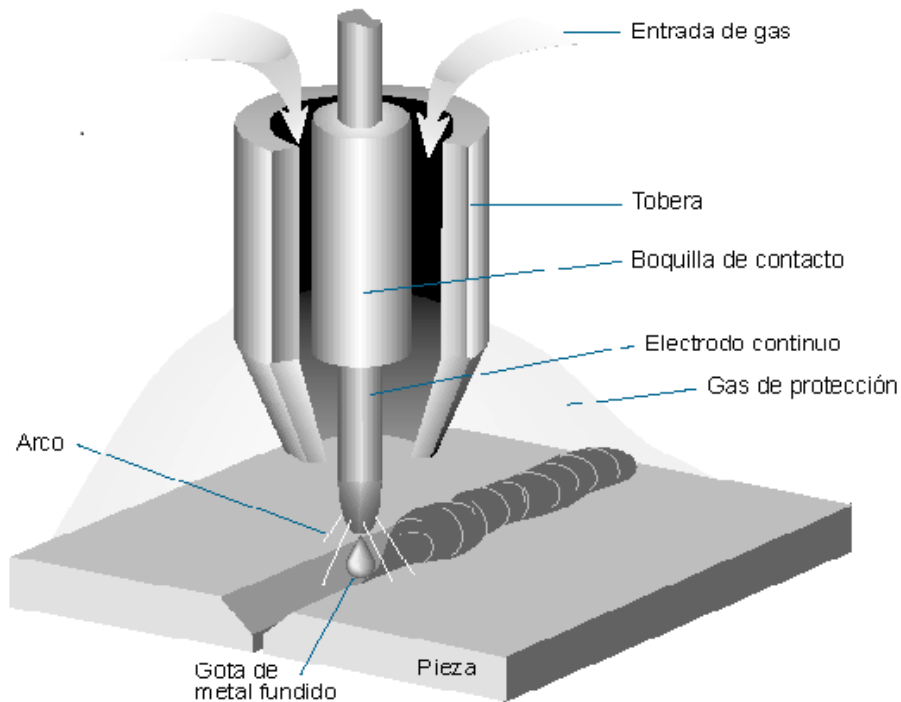


Figura 37. Soldadura por micro alambre.

Antes de nada, vamos a aclarar que dependiendo del tipo de gas que utilizemos nos referiremos a:

MIG: Si empleamos un gas inerte como protección (131).

MAG: Si empleamos un gas activo como protección (135).

Denominaciones.

Según la AWS A3.0 (American Welding Society):

Con hilo macizo o de polvo de hierro GMAW (Gas Metal Arc Welding); si usamos gas inerte se denomina MIG, mientras que si es activo se denomina MAG. Con hilo tubular con escoria se denomina FCAW (Flux Cored Arc Welding).

Según la EN 24063 (Norma Europea):

- Genéricamente se denomina 13, Soldeo por arco con gas; en caso de emplear gas inerte se denomina 131, mientras que si es activo se denomina 135.

- Con hilo tubular y gas inerte se denomina 136, mientras que si empleamos gas activo se denomina 137.

El equipo de soldeo para la soldadura MIG/MAG está constituido fundamentalmente por:

1. Cable de masa.
2. Agua o aire hacia la pistola.
3. Agua o aire desde la pistola.
4. Conexión del interruptor de la pistola.
5. Gas de protección hacia la pistola.
6. Conjunto de cables.
7. Gas de protección desde el cilindro o botella.
8. Conexión de control.
9. Cable de la pistola.
10. Suministro de energía

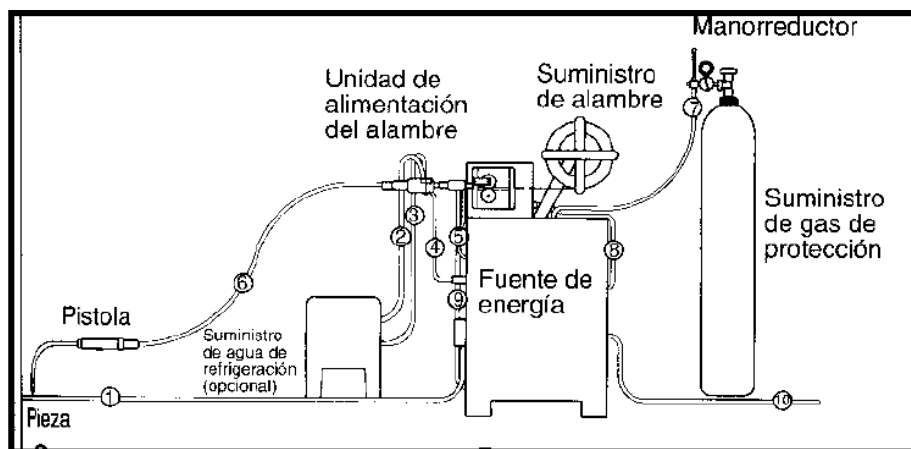


Figura 38. Equipo de soldeo.

2.7 Aceros para estructuras metálicas

Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos

Las especificaciones de acero estructural para las secciones huecas estructurales (HSS) son ASTM A 500, A 501, A 618 y A 847, para tubos de acero es ASTM A 53. [7]

Los más importantes se describen a continuación:

ASTM A 53: A 53 está disponible en los tipos E y S, donde E designa a una resistencia a la soldadura y S a tubos sin costura. El grado B es apto para usos estructurales, con el esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión de 35 y 50ksi (2,460 kg/cm² y 3,515 kg/cm²)

ASTM A 500: A 500 está disponible para perfiles redondos formados en frío HSS en tres grados, y también en tres grados para cuadrados o rectangulares formados en frío HSS. Las propiedades de HSS cuadrados y rectangulares difieren de las del HSS redondos. El grado más común es el A500 grado B, cuyo esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción se encuentra en el orden de los 46 y 58 ksi (3,250 y 4,100 kg/cm²)

ASTM A 501: A 501 es idéntico al A 36 para todos los efectos prácticos. Se utiliza para las secciones circulares, así como HSS cuadrados y rectangulares.

CAPITULO III PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Metodología o propuesta de certificación.

Uno de los desafíos más interesante dentro de un proceso de soldadura en general es el cumplimiento de las especificaciones de partes interesadas, a través del control y la validación de los procesos existentes.

En el presente estudio se enfocará principalmente una metodología o propuesta para determinar y proporcionar los recursos necesarios para garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados mediante un sistema de inspección y detección de defectos del proceso de soldadura de arco eléctrico dentro de la fabricación de estructuras metálicas, bajo la Norma ISO 9001 en su versión 2015 enfocándonos en los requisitos 7.1.5.2 y 7.2. [13]

3.1.1 Requisito 7.1.5.2 Trazabilidad de las mediciones.

Cuando la trazabilidad de las mediciones es un requisito, o es considerada por la organización como parte esencial para el equipo de medición debe:

- a) Calibrarse o verificarse, o ambas, a intervalos especificados, o antes de su utilización, contra patrones de medición trazables a patrones de medición internacionales o nacionales; cuando no existan tales patrones, debe conservarse como información documentada la base utilizada para la calibración o la verificación.
- b) Identificarse para determinar su estado.
- c) Protegerse contra ajustes, daño o deterioro que pudieran invalidar el estado de calibración y los posteriores resultados de la medición.

La organización debe determinar si la validez de los resultados de medición previos se ha visto afectada de manera adversa cuando el equipo de medición se considere no apto para su propósito previsto, y debe tomar las acciones adecuadas cuando

sea necesario. [13]

- Tomaremos a la empresa Lincoln Electric como la encargada de llevar a cabo la propuesta de verificación de equipo para la validez de la calibración y verificación del mismo, así como considerar su estado actual, ya que es una de las empresas líderes en el análisis de verificación de equipo de soldadura y otros procesos, esto con respecto al inciso a) del apartado 3.1.
- Por su parte para el inciso b) de la misma norma, con respecto a la propuesta de verificación realizada por Lincoln Electric identificaremos las partes esenciales y especificaciones requeridas para el buen funcionamiento del equipo y así determinaremos su estado actual.
- Por último, para el inciso c) del requisito 7.1.5.2 de la norma ISO 9001 en su versión 2015, llevaremos a cabo una inspección constante del equipo o mantenimiento por horas de jornada de trabajo establecidas para protegerlo contra ajustes, daños o deterioro del mismo y así correr el menor riesgo de invalidar el estado de calibración y asegurar el buen funcionamiento de las mediciones requeridas.

3.1.2 Propuesta de verificación de equipo por Lincoln Electric

Para poder verificar equipo y personal de soldadura en el proceso de soldadura por arco eléctrico de acuerdo a la norma ISO 9001 en su versión 2015 se propone la empresa LINCOLN ELECTRIC la cual es una de las empresas más reconocidas en el ámbito de calibración-certificación de equipo y personal al nivel latinoamericano, y debido a ello creemos que nos proporciona confianza en la validez de los resultados de la medición. [14]

Lincoln Electric es la única empresa en el mercado latinoamericano en ofrecer 5 certificaciones en:

- ASME
- ISO TS 16949
- ISO 9001
- ISO 14001
- ATF

Tal como se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Empresa de certificación. [14]

Con base al resultado obtenido de la verificación realizada por Lincoln Electric al equipo requerido para el proceso de soldadura por arco eléctrico, tomaremos los parámetros para designar en qué condiciones actuales se encuentra dicho equipo así identificar si hay anomalías o anormalidades en su calibración y mediciones requeridas.

Se propone un periodo de re-calibración del equipo anual basado en un programa de mantenimiento preventivo para el equipo de soldadura que nos permita mantener y evitar desajustes de calibración y así evitar daños y desgastes.

3.1.3 Requisito 7.2 Competencia

La organización debe:

- a) determinar la competencia necesaria de las personas que realizan, bajo su control, un trabajo que afecta al desempeño y eficacia del sistema de gestión de la calidad.
- b) asegurarse de que estas personas sean competentes, basándose en la educación, formación o experiencia apropiadas.
- c) cuando sea aplicable, tomar acciones para adquirir la competencia necesaria y evaluar la eficacia de las acciones tomadas.
- d) conservar la información documentada apropiada como evidencia de la competencia. [13]

Para determinar las competencias necesarias del personal que realizara el proceso de soldadura in situ de Arco Eléctrico, se consideró y se realizó de acuerdo a la siguiente estrategia:

- Se realizaron algunas pruebas teóricas de conocimientos para ser puestos a competencia y medir su nivel de aptitudes, esto con respecto al inciso a) del apartado 7.2.
- Con respecto al inciso b) aplicaremos una evaluación teórica al personal para medir sus aptitudes de conocimientos básicos en el proceso de soldadura por arco eléctrico, la cual deberá ser aprobada con un mínimo de 80 puntos de los 100 que estarán establecidos en la prueba por el personal que esté dispuesto

a someterse a dicha competencia y también evaluaremos su perfil y formación académica para determinar si son aptos para realizar un proceso de soldadura por Arco eléctrico.

- Por su parte para el inciso c) en caso de que alguno de los trabajadores no cumpla con la calificación mínima establecida en la prueba de conocimientos teóricos, será sometido a un periodo de capacitación tanto teórica como experimental para que desarrolle las habilidades necesarias para realizar el proceso de soldadura por Arco eléctrico.
- Por último, con base al inciso d) recopilaremos toda la información requerida para llevar a cabo dicha competencia como evidencia de la evaluación que se llevó a cabo para la validación del personal.

3.2 Detección de defectos de soldadura por arco eléctrico.

El nivel de investigación de este proyecto fue de manera experimental con el fin de poder describir por qué o de qué manera se produce una situación en particular, además de poder generar la validación de propuesta de los requisitos 7.1.5.2 y 7.2 de la Norma ISO 9001 en su versión 2015.

Para efectos de análisis de soldadura por arco eléctrico se utilizaron principalmente las técnicas de pruebas no destructivas de líquidos penetrantes y partículas magnéticas, las cuales fueron utilizadas sobre una placa de acero estructura A50 de un área de 6 x 6 x 3/8 de espesor, la cual fue obtenida de manera comercial, tal como se muestran en las Figuras 40 y 41.

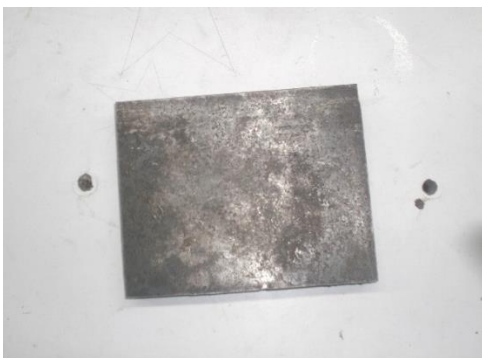


Figura 40. *Placa de 6x6x3/8.*



Figura 41. *Placa de 6x6x3/8 vista lateral.*

Para poder realizar la prueba de partículas magnéticas y líquidos penetrantes se utilizaron las normas ASTM E-165 y la ASTM E-3024/3024M esto para verificar el desarrollo de su aplicación al proceso de soldadura por arco eléctrico que se había realizado previamente y así poder validar su aplicación con respecto a estas normas. [15][16]

3.2.1. Material utilizado

El material que se utilizó para este trabajo de investigación del proceso de soldadura por arco eléctrico fue un acero A-50 cuya composición química se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición Químicas del acero A50 (porciento en peso). [17]

Composición química del acero A50 (porciento en peso)	
Carbono (C)	0.23 %máx.
Manganeso (Mn)	1.23% máx.
Fosforo (P)	1.04% máx.
Azufre (S)	0.05% máx.
Silicio (Si)	0.40% máx.
Cobre (Cu)*	No especificado
* Cuando se especifique	

3.3 Proceso de soldadura.

3.3.1 Corte y maquinado de la placa.

A partir de una placa de acero A50 con dimensiones 6 x 6 x 3/8 de pulg. Se realizó el corte de la placa en dos partes iguales de la siguiente manera:

1. Mediante la utilización de una cortadora de disco abrasivo tal como se muestra en el paso 1 y 2 de la Figura 42.
2. El maquinado del bisel fue realizado mediante el proceso de fresado utilizando una fresadora vertical de marca McClain como se muestra en el paso 3 de la Figura 42.



Figura 42. *Pasos del corte y maquinado de la placa.*

3.3.2 Preparación de la placa y junta:

1. Cortar la placa, para obtener 2 piezas. (dos mitades de igual tamaño ver paso 1 de la Figura 43).
2. Preparación de la junta en "V" (de acuerdo a la norma AWS D1.1:2015). Se maquina entre caras de placas el ángulo de bisel de 30° (ver paso 2 de la Figura 43). [18]
3. La verificación del ángulo de bisel se realizó mediante la utilización de una plantilla de 60° , tal como se muestra en el paso 3 de la Figura 43.



Figura 43. *Pasos para la preparación de la placa de acero A50.*

3.3.3 Proceso de soldadura de arco eléctrico

Para poder llevar a cabo el proceso de soldadura por arco eléctrico se utilizó una planta de soldar marca MILLER, como se muestra en la Figura 44.

- Máquina para soldar.



Figura 44. *planta soldadora miller.*

Desarrollo del proceso de soldadura

Material utilizado

- Máquina para soldar. (paso 1 de la Figura 45)
- Conectores, porta-electrodo a (+), cable de tierra a (-) en la máquina para soldar. (paso 2 de la Figura 45)
- Equipo de protección (guantes de carnaza, careta electrónica o careta con vidrio de color números 12 o 14, bata, botas o zapato cerrado). Paso 3 de la Figura 45.
- Material metálico (material base) 6 x 6 x 3/8 pulg. (paso 4 de la Figura 45)
- Mesa de trabajo. (paso 5 de la Figura 45)
- Tornillo de banco.
- Instrumentos de trazo o medición. (paso 6 de la Figura 45)
- Herramientas para la preparación o terminado de cincel.

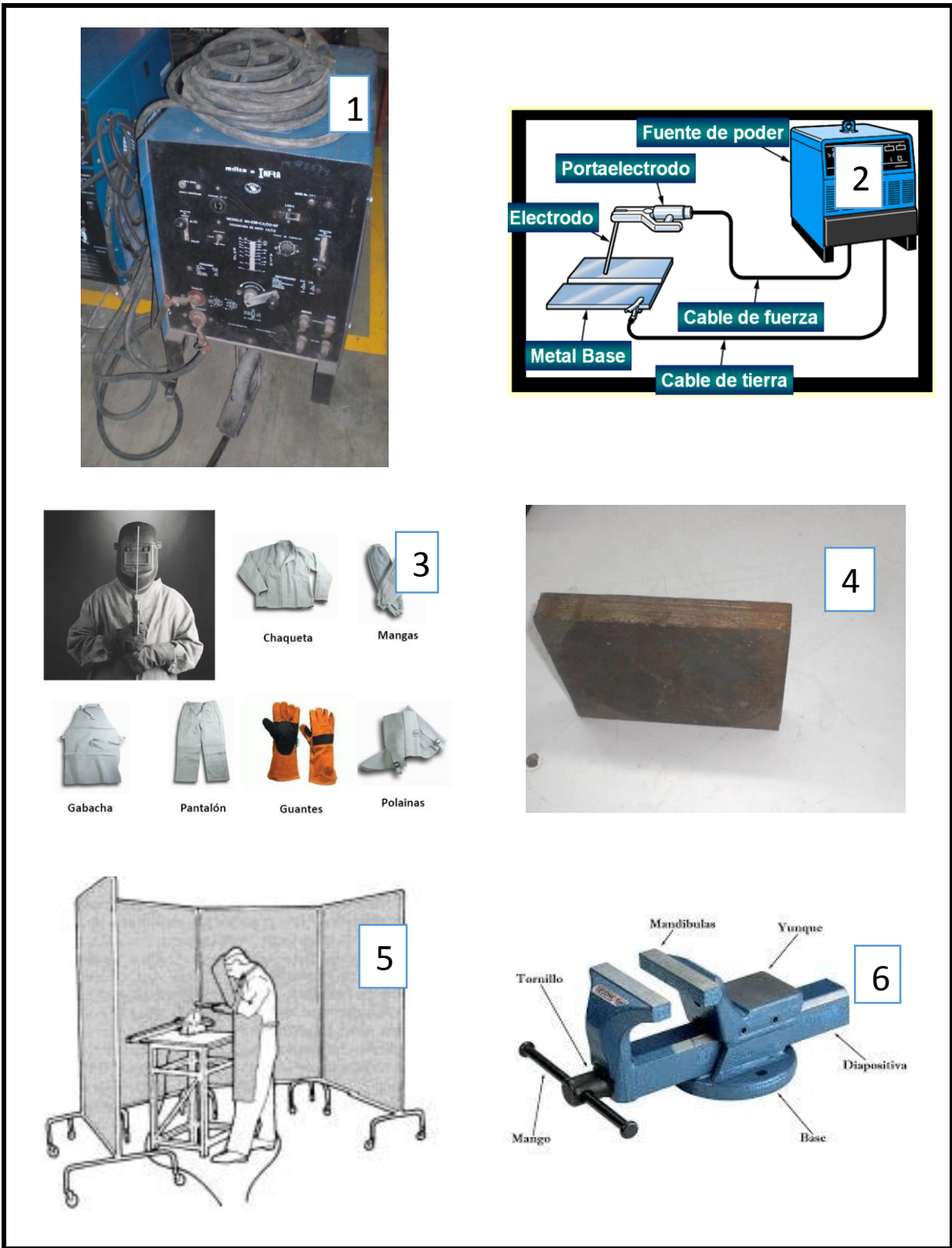


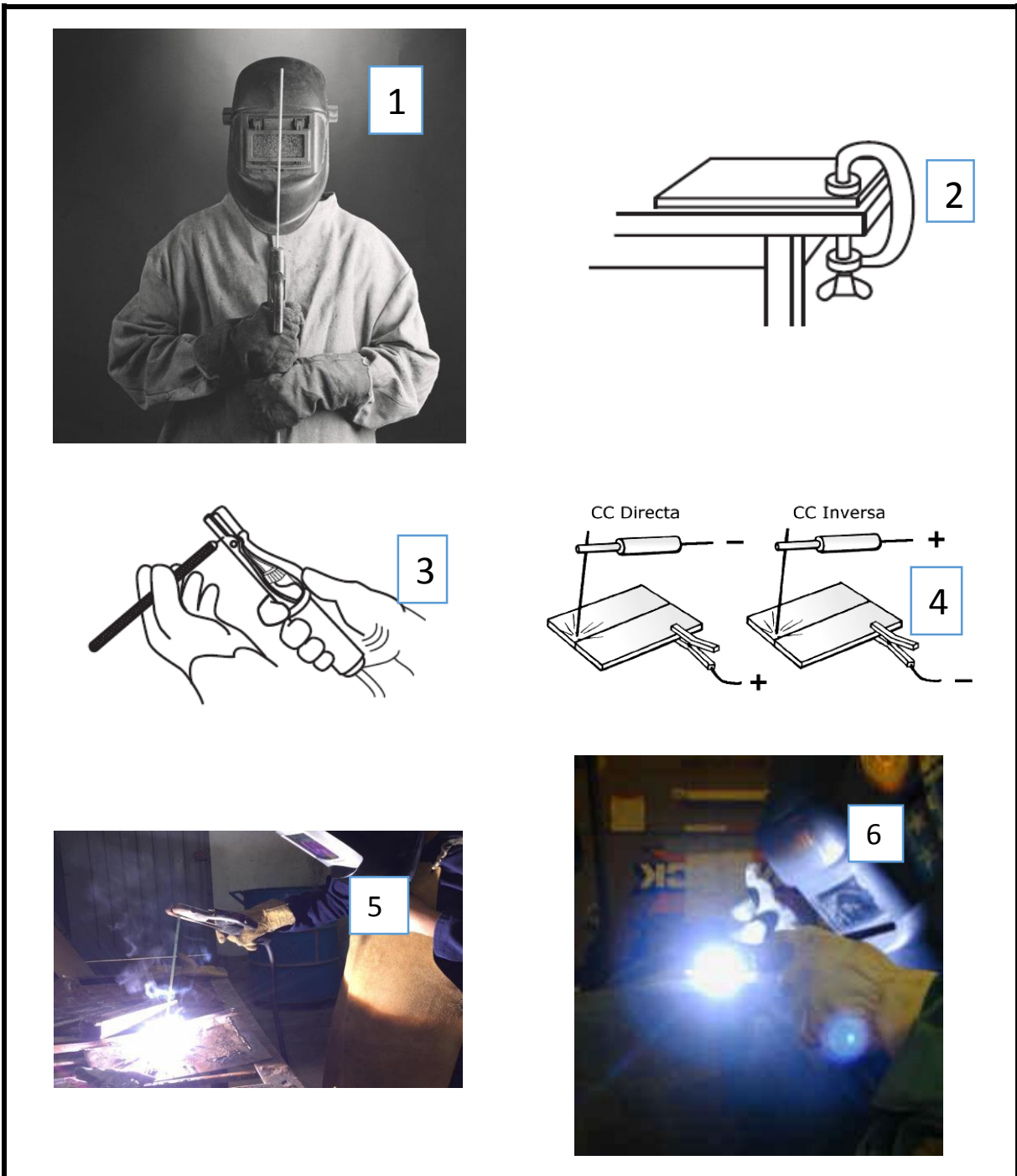
Figura 45. Material utilizado para el proceso de soldadura.

Procedimiento

1. Preparar el material (placa de acero A50) y colocarse el equipo necesario de seguridad. (paso 1 de la Figura 46)
2. Colocar el acero sobre la mesa de trabajo, sujetándola en caso de ser necesario. (paso 2 de la Figura 46)
3. Con la máquina de soldar apagada, insertar el electrodo en el porta-electrodo, a 90° en relación con las mandíbulas; y la toma de tierra a la mesa de trabajo. (paso 3 de la Figura 46)
4. Seleccionar el arreglo de polaridad y el amperaje según el diámetro del electrodo. (paso 4 de la Figura 46)
5. Poner en marcha la maquina soldadora.
6. Colocarse en posición de altura correcta a la mesa de trabajo para soldar.
7. Encontrar la longitud de arco. Colocar el electrodo de 2.5 a 3 mm del metal base y perpendicular a este.
8. Encontrar el ángulo del electrodo. Inclinar el electrodo a 20 a 30° en dirección del avance.
9. Hacer el movimiento con la cabeza para que baje y proteja su vista con la careta.
10. Encender el arco raspando el electrodo contra el metal rápido y suavemente y efectuando un movimiento de muñeca. (paso 5 de la Figura 46)
11. Apenas generado el arco, retirar inmediatamente el electrodo para mantener el arco, se considera que se requiere 7 volts por cada milímetro de longitud que tiene el arco. Aunque varía con el tipo electrodos a usar, una recomendación general es que la longitud del arco debe ser ligeramente inferior al diámetro del electrodo. (paso 6 de la Figura 46)
12. Transcurrido uno o dos segundos, acerca el electrodo a una distancia entre 1.5 a 3.0 mm, según el tipo de electrodo. (paso 7 de la Figura 46)
13. Inclinar el electrodo dirección del avance. Las inclinaciones más usuales son las que van de 25° a 45° en dirección del avance.
14. Una vez adoptado el ángulo de avance, mantener constante.
15. Depositar un cordón corto de 7 cm de longitud y 1 cm de ancho, 3 con movimiento semicircular o de media luna. (paso 8 de la Figura 46)

16. Limpiar el cordón un cincel o cepillo de alambre. (paso 9 de la Figura 46)

17. Apagar máquina de soldar y recoger todo el material. (paso 10 de la Figura 46)



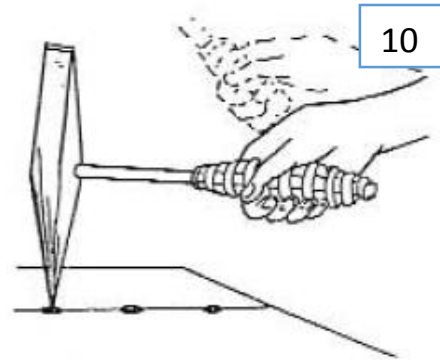
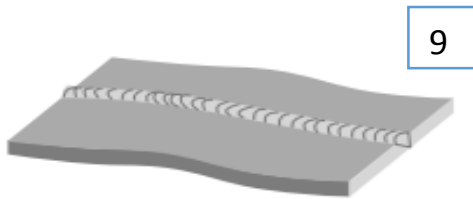
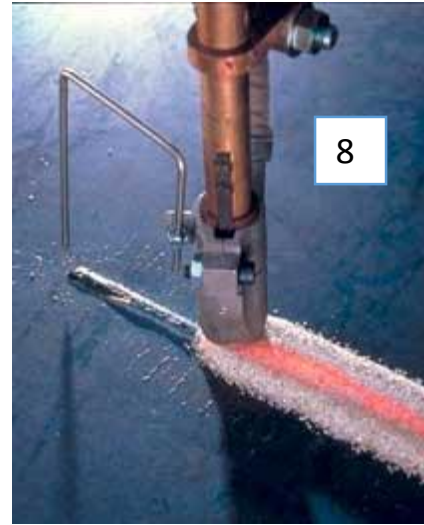


Figura 46. Pasos del proceso de soldadura.

3.4 Líquidos penetrantes

La técnica de inspección por líquidos penetrantes se realizó de acuerdo a la Norma ASTM E-3024; y consta de los siguientes pasos: [15]

1. Antes de iniciar el proceso de líquidos penetrantes se retiran todos los residuos del material sobrante de soldadura. (paso 1 de la Figura 47)
2. limpieza previa. En toda la pieza se eliminó contaminantes de la superficie a ser inspeccionadas, tales como óxidos, grasas, pinturas etc.; aplicando el removedor, tal como se muestra en el paso 2 de la Figura 47.
3. Aplicación del penetrante. Una vez aplicado el removedor aplicar el penetrante (paso 3 de la Figura 47); es importante dejarlo actuar por un tiempo de 20 a 30 minutos; con el fin de accionar capilarmente la introducción del líquido en las discontinuidades de la soldadura.
4. Eliminar el exceso del penetrante. Remover el penetrante no introducido en las discontinuidades, mediante la utilización de un paño secó.
5. Aplicación del removedor. Aplicar el revelador de manera esparcida sobre la superficie de la placa, se formó uniforme, paso 4 de la Figura 47.
6. Examen visual e interpretación de resultados. Una vez reveladas las discontinuidades deben ser interpretadas y evaluadas.
7. Limpieza final. Eliminar todos los residuos de penetrante y revelador de la pieza examinada, removiendo con un paño los líquidos, paso 5 de la Figura 47.

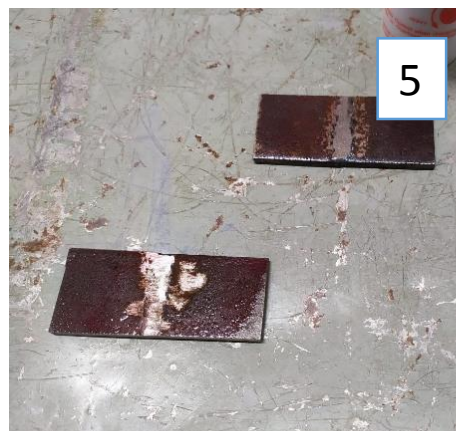
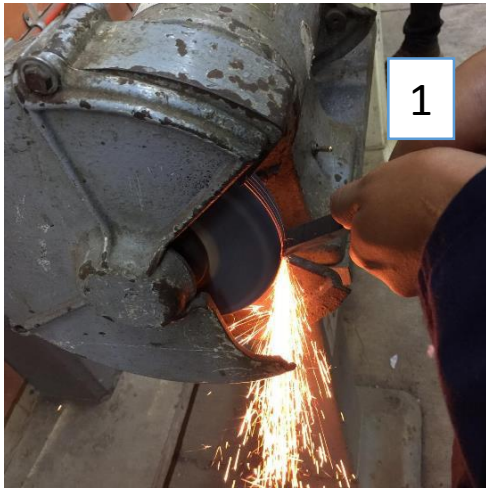


Figura 47. Pasos de la aplicación de líquidos penetrantes.

3.5 Partículas Magnéticas

La técnica de partículas magnéticas, se realizó de acuerdo a la Norma ASTM E-3024/3024M, de acuerdo a los siguientes pasos: [16]

Procedimiento:

1. Limpieza mecánica. Remover todo el material ajeno a la unión soldada tal como: Escoria, residuos de pintura, etc. (paso 1 de la Figura 48)
2. Limpieza química. Aplicar el removedor, con lo cual se logrará liberar la limpieza de partículas pequeñas que no se puedan eliminar con la limpieza mecánica. (paso 2 de la Figura 48).
3. Aplicación de las partículas de hierro teñido en el área en que se hará la inspección, paso 3 de la Figura 48.
4. Aplicación del campo magnético a través del electroimán en la zona de inspección; en el mismo instante se deberá aplicar una vibración por medio de golpes, cerca de la zona, paso 4 de la Figura 48.
5. Tomar nota de las discontinuidades encontradas.
6. Retirar el equipo y hacer la limpieza mecánica en la pieza inspeccionada.
7. Comprobar que la pieza ha quedado desmagnetizada. (paso 5 de la Figura 48)

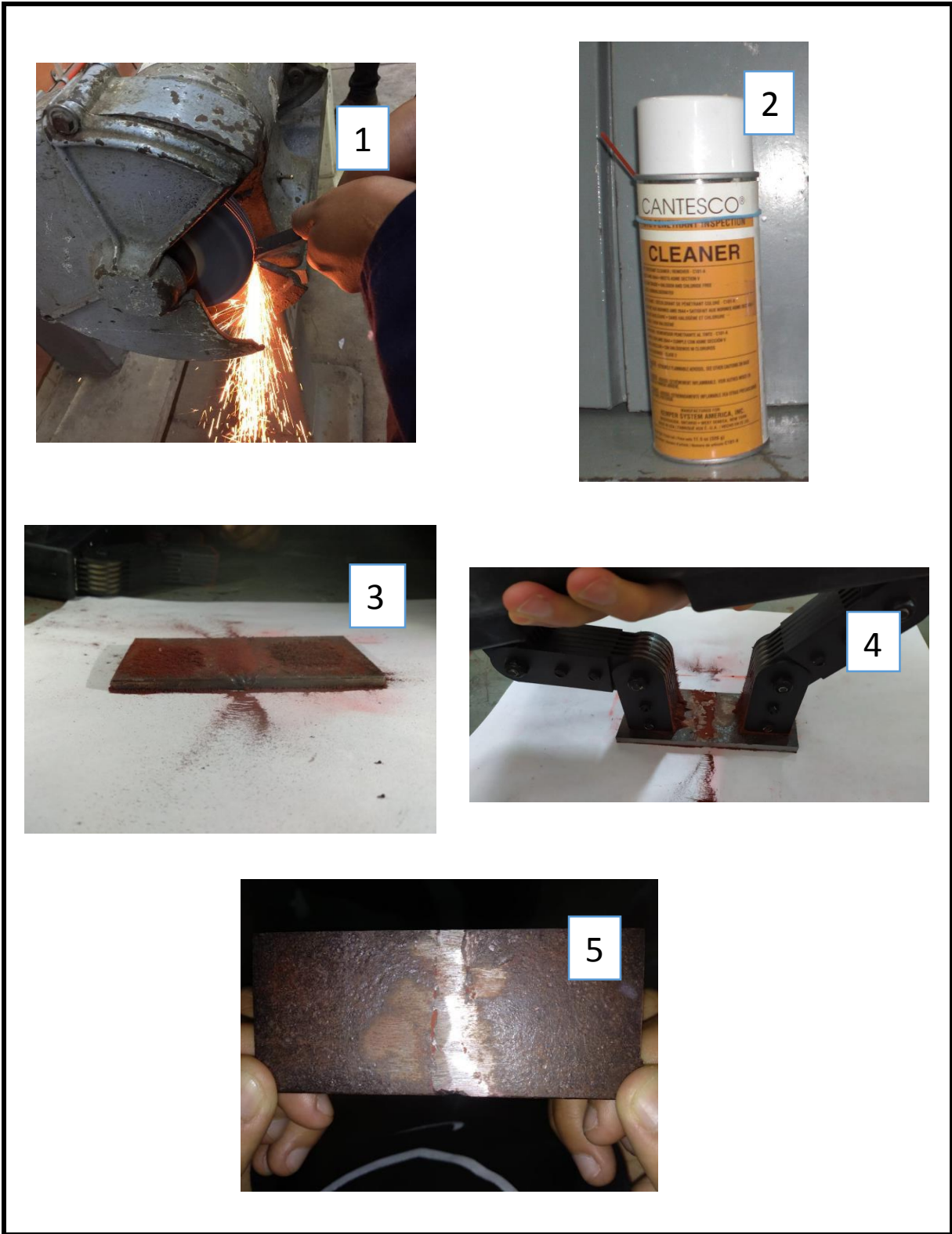


Figura 48. Pasos de la aplicación de partículas magnéticas.

3.6 Técnicas de análisis de defectos de soldadura

Dentro de las técnicas que normalmente se utilizan para el análisis de las pruebas no destructivas que nos permitan verificar la sanidad, homogeneidad, y continuidad de la pieza examinada, se encuentra la inspección visual la cual es una prueba elemental que proporciona de manera rápida la información más efectiva de los resultados de la prueba. El examen visual se realizó después del proceso de soldadura.

3.6.1 Examen visual

El examen visual se realizó mediante la observación de lupas o lentes (Figuras 49 y 50).



Figura 49. lupa 15x.



Figura 50. lupa 7x.

Para poder detectar los defectos del proceso de soldadura tales como:

- a) Fracturas
- b) Poros
- c) Inclusiones de solidos
- d) Laminaciones
- e) Socavados
- f) Falta de penetración
- g) Chisporroteo.

3.6.2 Propiedades Mecánicas

Para poder determinar las propiedades mecánicas del acero A-50 como material base y con soldadura; se realizó la prueba de dureza en la escala Rockwell B de acuerdo a la norma ASTM E384. El Equipo utilizado fue un durómetro de la marca Wilson, tal como se muestra en la Figuras 51A Y 51B. [19]

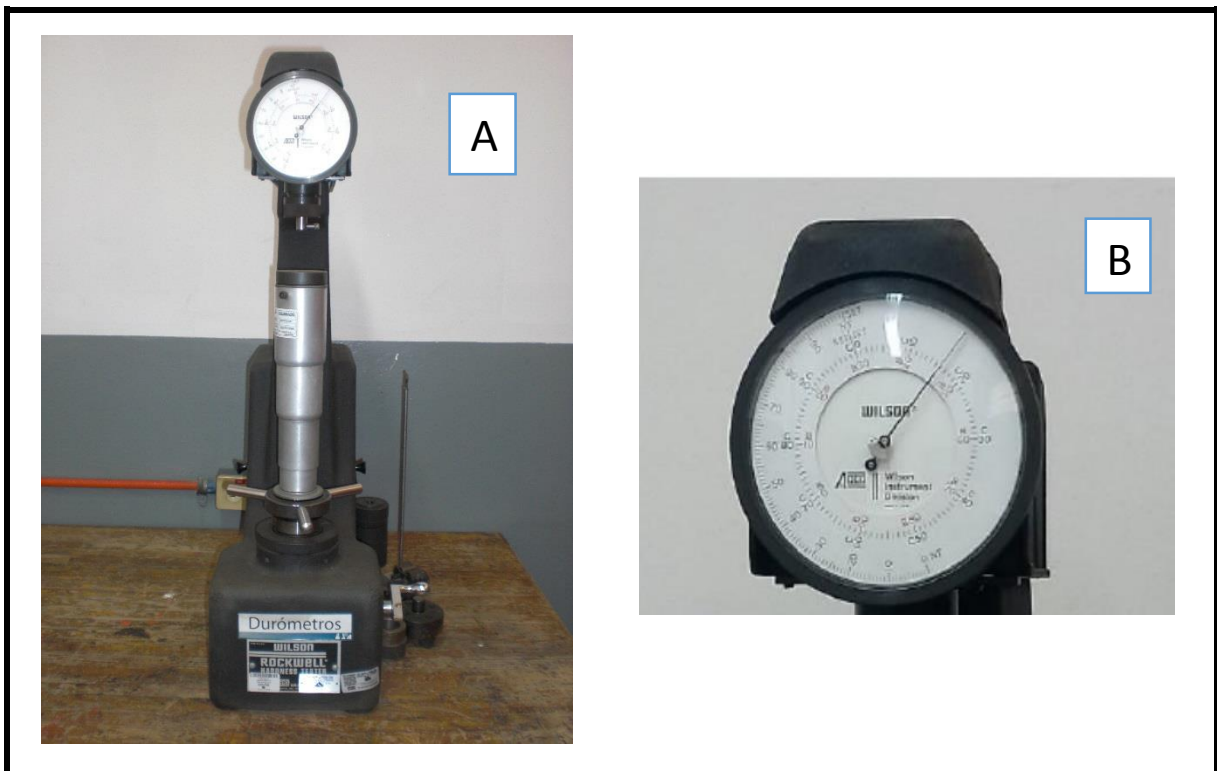


Figura 51. Durómetro marca Wilson.

Los datos utilizados de la prueba de dureza se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos de prueba de dureza.

Material	Escala	Carga aplicada (kgf)	Tipo de indentador
Acero A50	Rockwell B	100	De bola de un diámetro de 1/16 pulg.

Procedimiento del ensayo de dureza: [19]

- 1) Preparar la muestra para el ensayo. La muestra fue preparada mediante la técnica de metalografía, la cual consistió en el desbaste, pulido a espejo y ataque químicamente con Nital 2. (98% de alcohol etílico y 2% de ácido nítrico). paso 1 de la Figura 52.
- 2) Seleccionar la carga a aplicar y colocar el indentador. (paso 2 de la Figura 52).
- 3) Colocar la muestra preparada sobre la platina. Considere que la muestra debe estar totalmente plana sobre la superficie y apoyada rígidamente para evitar efectos de desplazamiento durante la prueba. (paso 3 de la Figura 52).
- 4) Gire el volante en sentido positivo de las manecillas del reloj hasta que haga contacto el indentador con la muestra y la manecilla pequeña este en el punto negro de la carátula. En este momento se aplicó la precarga. (paso 4 de la Figura 52).
- 5) Ajustar la manecilla grande al cero (punto SET) por medio del movimiento de la carátula hacia la escala roja Rockwell B (HRB).
- 6) Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse para regresar la palanca hacia su posición original. (paso 5 de la Figura 52).
- 7) Lea el número de dureza directamente en la carátula. (paso 6 de la Figura 52).
- 8) Ensaye cada una de las muestras en estudio.

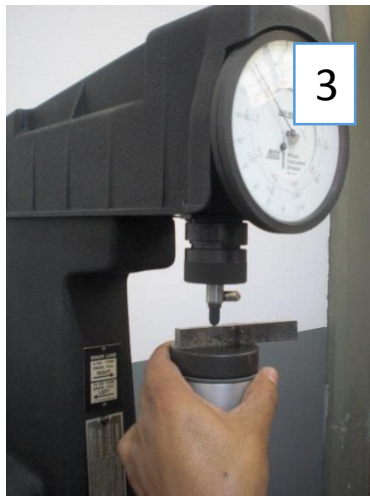
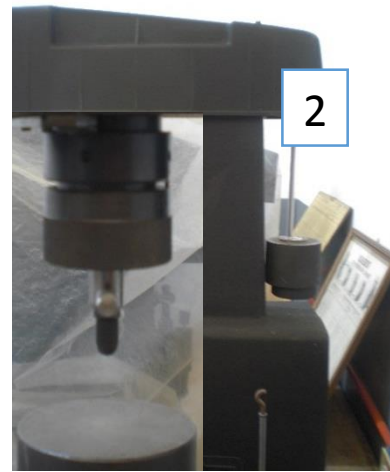


Figura 52. Pasos de la prueba de Dureza.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestra la propuesta a implementar para la aprobación de equipo y calificación del personal basado en la norma ISO 9001 en su versión 2015, además de los resultados de las pruebas no destructivas y destructivas realizadas de manera experimental al material de estudio acero A50.

4.1. Aprobación del equipo.

Para poder verificar el equipo de soldar, que esté en condiciones pertinentes, y sea utilizado, se tomará como propuesta la empresa LINCOLN ELECTRIC la cual es una de las empresas con tecnología y seguridad transformada en máquina, además de contar con 5 certificaciones y 125 años que la respaldan. LINCOLN ELECTRIC es una empresa de soluciones para la industria, proporciona todo lo que necesites para tus procesos de soldadura y corte, materiales de aporte, automatización, control de humos, seguridad y protección de personal. [13]

4.2. Calificación del personal.

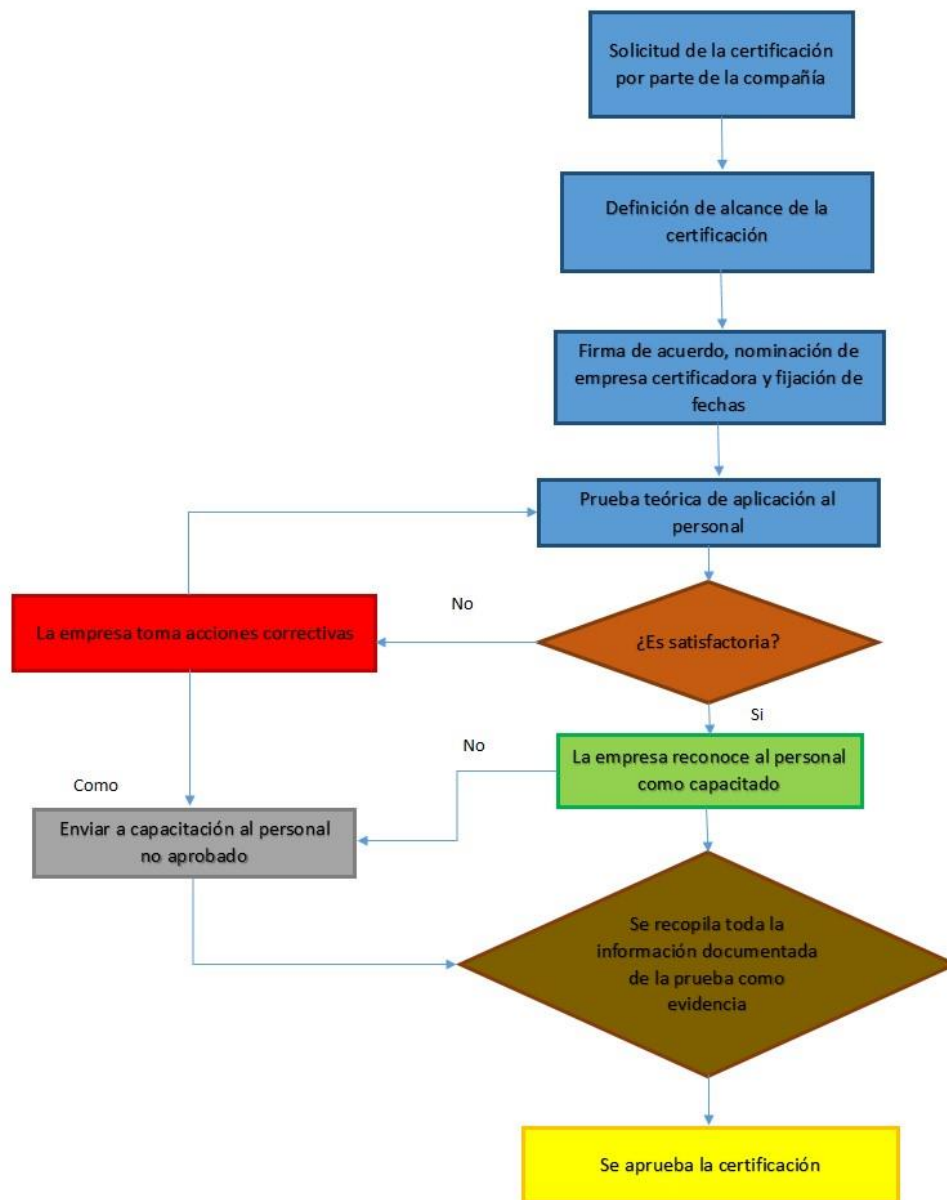
A continuación, se muestra el procedimiento propuesto para la evaluación del personal, con el fin de asegurar la calidad en la aplicación de la soldadura manual durante el proceso.

El proceso de certificación ofrecerá dos niveles generales de certificación de soldadores, los cuales han sido definidos principalmente por las habilidades cognitivas manejadas en el área de la soldadura. Estos niveles son:

- **Soldador Calificado:** Es aquel candidato que aprobó satisfactoriamente las pruebas prácticas, pero no obtuvo el porcentaje de respuestas aprobadas requeridas en la prueba escrita.
- **Soldador Certificado Nivel I:** Es aquel candidato que aprobó satisfactoriamente las pruebas prácticas, y que además obtuvo el porcentaje de respuestas aprobadas requeridas para este nivel. [20]

4.2.1 Organigrama

En el siguiente mapa se muestra el proceso de certificación bajo pruebas a realizar de aptitudes y conocimientos teóricos de personal, así como de la verificación y calibración de equipo.



Mapa 1. Organigrama del proceso de certificación.

4.2.2 Examen teórico

Se propone en siguiente examen teórico al personal para evaluarlo y determinar si tiene los conocimientos necesarios para realizar el proceso de soldadura por arco eléctrico. Y deberá ser aprobada con un mínimo de 80 puntos de los 100 que están establecidos como máximo, de no ser así al personal no aprobado se le recomendará someterse a un periodo de entrenamiento o capacitación en el lugar donde el crea conveniente y presentar un documento que sirva como evidencia de dicho entrenamiento para poder aplicar nuevamente las pruebas establecidas y poder participar en la reevaluación o reexaminación según sea su caso para obtener la certificación del personal cumpliendo con todos los pasos anteriores y los requisitos establecidos también anteriormente, la siguiente evaluación consiste:

Cuestionario de 30 preguntas teóricas

1.- Definición del proceso de soldadura por arco eléctrico.

Se define como el proceso en el que se unen dos metales mediante una fusión localizada producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que desea unir.

2.- ¿De qué depende la selección del amperaje correcto?

- a) Tamaño del electrodo seleccionado
- b) El tipo de recubrimiento que el electrodo posea
- c) El tipo de soldadura utilizado CA; CC directa e inversa

3.- ¿Cuáles son los factores para seleccionar un electrodo?

- a) Espesor del material a soldar
- b) Preparación de los bordes o filos de la unión a soldar
- c) La posición en que se encuentra la soldadura a efectuar (plana, vertical, horizontal sobre la cabeza)
- d) Pericia del soldador

4.- ¿Cuáles son los factores principales para obtener un buen proceso de soldadura?

- a) Posición correcta para ejecutar la soldadura
- b) Longitud del arco eléctrico
- c) Angulo del electrodo respecto a la pieza
- d) Velocidad de avance
- e) Corriente eléctrica aplicada
- f) Protección facial

5. Enumere del 1 al 4 las siguientes tareas en el orden en que se deben realizar:

- () Soldar las piezas
- () Verificar la soldadura
- () Calibrar/regular la máquina
- () Preparar las piezas

6.- Una buena soldadura se considera cuando:

- a) Tiene un cordón homogéneo de buen aspecto sin importar la penetración
- b) Existe completa fusión entre el metal base y el metal fundido
- c) Tiene penetración completa y discontinuidades relevantes
- d) Cualquiera de las anteriores

Indique si los siguientes planteamientos son verdaderos (v) o falsos (f).

1. ____ El arco eléctrico se define como el paso de una corriente eléctrica a través de una masa gaseosa que proporciona alta temperatura para fundir y soldar.
2. ____ El electrodo está formado por un núcleo metálico y un revestimiento.
3. ____ El núcleo metálico nos permite eliminar el oxígeno en nuestro lugar de trabajo (piezas metálicas).
4. ____ Polaridad invertida es electrodo en negativo y tierra en positivo.
5. ____ Las máquinas rectificadoras, rectifican la corriente alterna transformándola en corriente continua.
6. ____ Al regular amperaje se considera el espesor del metal base y el núcleo del electrodo.
7. ____ El sistema semiautomático M.I.G posee mejor rendimiento comparado con el arco eléctrico.
8. ____ El flujo metro nos da la presión que queda en el cilindro.
9. ____ La velocidad de alambre se mide en metros por minuto.
10. ____ El gas utilizado en el proceso de soldadura MIG, es una combinación entre argón e hidrógeno.
11. ____ La deformación y cambio de propiedad mecánica en un material soldado e producto de exceso de temperaturas.
12. ____ La irritación de los ojos son producidos por la proyección ultravioleta generada por la soldadura.

Responde brevemente las siguientes preguntas

1. Responda brevemente el significado de las siguientes siglas y conceptos.
 - A.W.S
 - Polaridad directa
 - ISO
 - Calidad
 - Auto control

2. Mencione los tipos de revestimiento que existen en el proceso de soldadura por arco manual.

Responda a las siguientes preguntas teóricas.

1. ¿Qué es un electrodo y cuantos tipos existen?

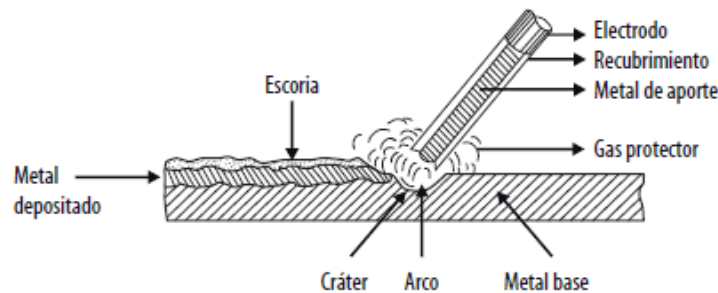
El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura.

Existen dos tipos: el electrodo revestido y el electrodo desnudo.

2.- ¿Cuál es la principal función de un electrodo?

Tiene las siguientes funciones:

- Dirige el arco, conduciendo a una fusión equilibrada y uniforme.
- Crea gases que actúan como protección evitando el acceso de oxígeno y de nitrógeno.
- Produce una escoria que cubre el metal de aporte, evitando el enfriamiento brusco y también el contacto del oxígeno y del nitrógeno.
- Contiene determinados elementos para obtener una buena fusión con los distintos tipos de metales.
- Estabiliza el arco.



3. mencione el equipo de protección del personal que debe utilizar para soldar:

- Anteojos
- Guantes de carnaza
- Pechera
- Polainas
- Botas anti-derrapantes
- Equipo adecuado para soldar
- Extractor de gases
- Ambiente ventilado

Observe la fotografía e identifique los componentes del equipo de seguridad.



4. ¿El soldador de la fotografía 1 desarrolla sus actividades en condiciones de seguridad? Explique:



Fotografía 1



fotografía 2

Realice una comparación de la fotografía 1 con la fotografía 2

5. ¿Qué diferencias encontró? Justifique su respuesta a continuación:
 6. ¿Cuántas posiciones para soldar conoce y cuál es su ángulo recomendado para cada una de ellas?

Según el plano de referencia fueron establecidas cuatro posiciones:

POSICIÓN	INCLINACIÓN DEL EJE	ROTACIÓN DEL FRENTE DE LA SOLDADURA
Sobre cabeza	0°- 60°	300°- 60°
Horizontal	0°- 30°	60°-150°
Plana	0°- 30°	210°- 300°
Vertical	30°- 60° 60°- 90°	150°- 210° 60°- 300° 0°- 360°

7. menciona los movimientos que se deben realizar para llevar a cabo una soldadura y que es lo que los caracteriza a cada uno.

MOVIMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Zig-zag longitudinal	Se usa en posición plana para mantener el cráter caliente y obtener una buena penetración. Cuando se suelda en posición vertical ascendente, sobre cabeza y en juntas muy finas, se utiliza este movimiento para evitar acumulación de calor e impedir así que el material aportado se gotee.
Circular	Se utiliza esencialmente en cordones de penetración donde se requiere poco depósito. Su aplicación es frecuente en ángulos interiores, pero no para relleno o capas superiores. A medida que se avanza, el electrodo describe una trayectoria circular.
Semicircular	Garantiza una fusión total de las juntas a soldar. El electrodo se mueve a través de la junta, describiendo un arco o media luna, lo que asegura la buena fusión de los bordes. Es recomendable en juntas chaflanadas y recargue de piezas.
Zig-zag transversal	El electrodo se mueve de lado a lado mientras avanza se utiliza preferentemente para efectuar cordones anchos. Se obtiene un buen acabado en sus bordes. Facilita que suba la escoria a la superficie, permite el escape de los gases con mayor facilidad y evita la porosidad del material depositado. Este movimiento permite soldar en toda posición.
Entrelazado	Se usa generalmente en cordones de terminación. Es de gran importancia que el movimiento sea uniforme, ya que se corre el riesgo de tener una fusión deficiente en los bordes de la unión.

8. ¿Qué son las contracciones y dilataciones que sufre un material?

Son fenómenos físicos producidos por la acción de la temperatura, que provocan deformaciones en las piezas soldadas.

Los mismos están presentes en todos los procesos, donde hay aplicación de calor y enfriamiento; produciendo así dilataciones y contracciones respectivamente.

9. ¿Qué es lo que pasa cuando una contracción se hace presente en el material soldado y que se podría hacer en dicho caso?

Las contracciones son perjudiciales en la soldadura, ya que, al no poderse eliminar totalmente, producen tensiones y grietas internas en las piezas.

Para neutralizar estos efectos, se tomarán las medidas siguientes:

- a. Se fija la pieza por medio de prensas o refuerzos.
- b. Se distribuye en forma equilibrada el calor en la pieza.
- c. Se procede al pre y post calentamiento.
- d. Se compensan los efectos del cordón.

10. Qué son las juntas y mencione cuantos tipos de ellas conoce.

Son las diversas formas que presentan las uniones en las piezas, y que están estrechamente ligadas a la preparación de las mismas.

Estas formas de uniones, se realizan a menudo en los montajes de estructuras y otras tareas que efectúa el soldador.

Generalmente se presentan en los tipos siguientes:

- Juntas a tope.
- Juntas de solape.
- Juntas en ángulo.

4.2.3 Programa de capacitación

Para el número de aspirantes que no obtengan un resultado aprobatorio en la prueba teórica o práctica se les recomendará realizar un curso de entrenamiento o capacitación que les permitirá adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para que puedan aplicar el examen teórico-práctico nuevamente y así puedan aprobar

satisfactoriamente y cumplir con los requisitos establecidos por la certificación como soldadores.

Objetivo del programa

Que los aspirantes logren desarrollar sus habilidades y aptitudes necesarias para que puedan complementar o desarrollar las competencias de una categoría de soldador y así poder alcanzar las labores requeridas a desempeñar eficientemente con base a las funciones del puesto de trabajo y que cumplan con las especificaciones y estén libres de defectos.

Alcances del programa

La capacitación proporcionara los conocimientos y las aptitudes que se requieren para que el personal pueda realizar un proceso de soldadura adecuado y libre de defectos, así como también, proporcionar la información general, fundamental y específica de todo lo que se requiere para poder aprobar la prueba teórica-práctica establecida por la certificación del personal y así obtener una calificación aprobatoria en dicha prueba como categoría de soldador certificado.

Reevaluación para la certificación.

Reevaluación Práctica. Cuando un soldador u operario de la soldadura no aprueba el ensayo de calificación, o si existe alguna razón específica para cuestionar su habilidad en soldadura, o el periodo de validez ha caducado, se deberán aplicar las siguientes disposiciones:

- **Reevaluación inmediata:** Puede realizarse una re-evaluación inmediata que consiste en dos soldaduras de cada tipo y posición en la que el soldador u operario de la soldadura malogró. Estas probetas deberán alcanzar los requisitos especificados por el personal de la certificación.
- **Reevaluación luego de un entrenamiento adicional:** Puede realizarse una reevaluación práctica, si existe evidencia de que el soldador u operario de la soldadura ha tenido un entrenamiento adicional. La reevaluación deberá realizarse conforme a las especificaciones establecidas por la certificación.

- **Reevaluación luego de vencer el periodo de validez:** Cuando el periodo de validez de la certificación de un soldador u operario de la soldadura ha vencido, se deberá realizar un ensayo de recalificación conforme a las especificaciones de la certificación.[20]
- **Excepción – Falla en una reevaluación práctica:** No deberá permitirse una reevaluación práctica inmediata luego de fracasar en una reevaluación. Para este caso el soldador u operario de la soldadura deberá presentar evidencia de entrenamiento adicional o capacitación.

Reevaluación Teórica. El candidato que no alcance el porcentaje mínimo de respuestas acertadas requeridas, podrá realizar una reexaminación adicional dentro de los 2 meses posteriores al primer examen teórico sin necesidad de entrenamiento adicional. Pasado este periodo, el aspirante podrá iniciar nuevamente el proceso de certificación, siempre y cuando demuestre entrenamiento adicional.

4.3 Detección de defectos de soldadura por arco eléctrico.

A continuación, se muestra las técnicas de análisis de proceso de soldadura como parte de una propuesta que describen las actividades que se deben seguir para realizar la inspección de la soldadura en el producto, mediante pruebas no destructivas, utilizando como material de estudio un acero A50 para estructuras metálicas.

4.3.1 Análisis Visual

La inspección visual es una prueba que utilizamos de manera rápida y a bajo costo es una técnica muy oportuna, siendo que en los resultados suele brindar información efectiva. En este caso se utilizaron un par de lupas de contacto uno de 7X y el otro de 15X de identificación para ayudar en la visualización de las discontinuidades de la soldadura obteniendo resultados sorprendentes en la determinación de la estructura que se observa.

En la Figura 53 se muestran los resultados de la inspección visual que se llevó a cabo después de haber realizado el proceso de soldadura, en donde se puede observar la

presencia de defectos de soldadura tales como poros y grietas como resultado de una mala aplicación del proceso de la soldadura.

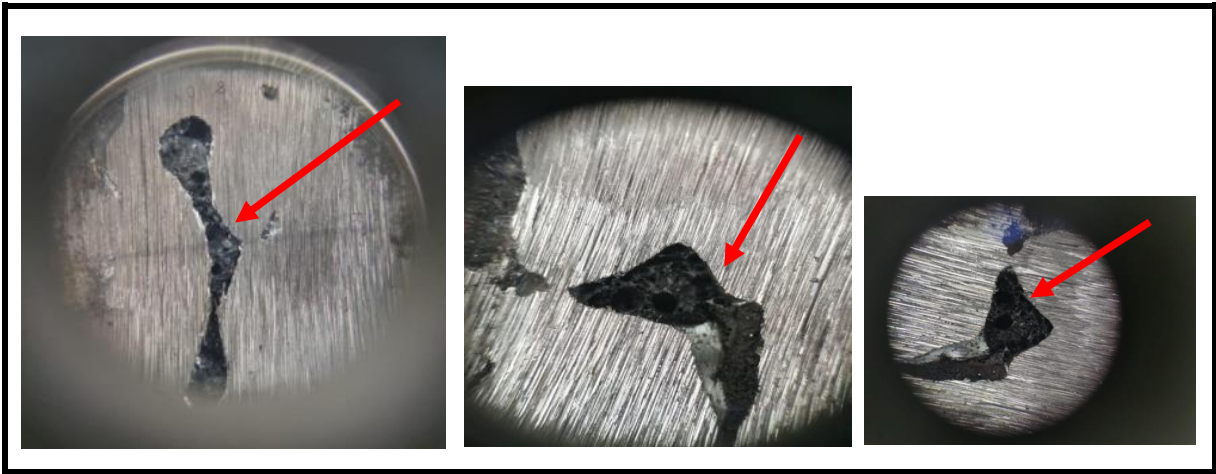


Figura 53. Resultado del análisis visual.

4.3.2 Líquidos penetrantes

Mediante el uso de esta técnica de análisis se pueden exponer o detectar discontinuidades superficiales en un material. [15]

Los resultados arrojados de esta técnica en el material de estudio, nos permitieron demostrar que es una técnica sencilla y fácil de utilizar, sin embargo, es de gran importancia la preparación de la muestra a analizar después del proceso de soldadura y seguir paso a paso la norma establecido para esta técnica.

De acuerdo a lo estudiado sobre esta prueba se notó claramente que el líquido penetrante visible entra a cualquier discontinuidad que se encuentra abierta a la superficie del material debido al fenómeno de capilaridad. Y una vez aplicando el revelador y después de cierto tiempo se empezaron a notar el delineado del contorno de los defectos de soldadura, tal como se muestra en las Figuras 54A Y 54B.

En la Figura 54C, se muestran los defectos superficiales tales como grietas y poros en la muestra soldada.

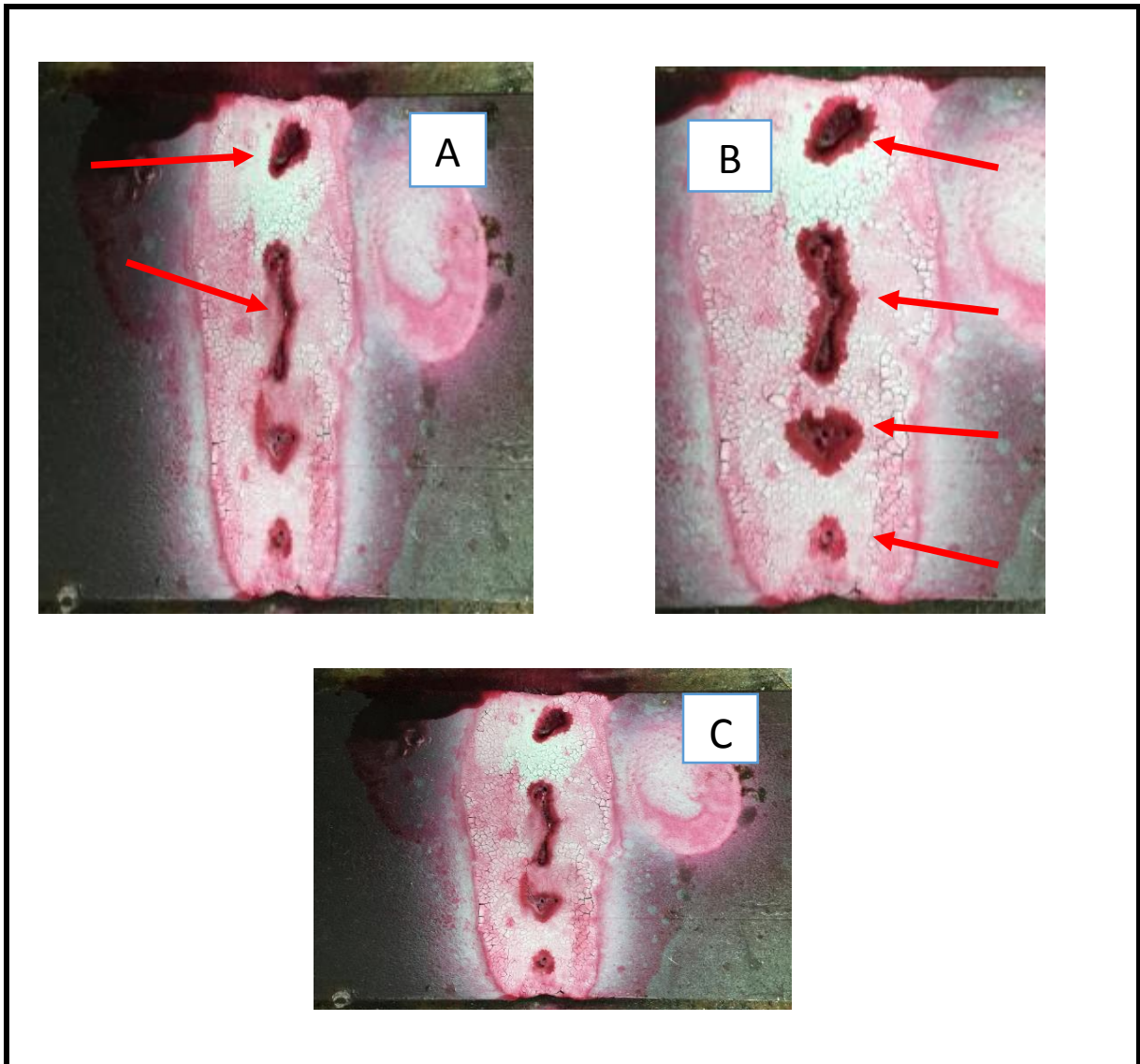


Figura 54. Resultados de la aplicación de líquidos penetrantes.

Podemos identificar fácilmente que hay ventajas en esta prueba, pero, así también existen las limitaciones, mencionando algunas:

- Fácil de usar e interpretación sencilla
- Aplicación a materiales ferromagnético y no ferromagnéticos
- Bajo costo, detectables a simple vista
- Solo se detectan defectos superficiales
- El proceso requiere de mucho tiempo
- No registra resultados de forma permanente

4.3.3 Partículas Magnéticas

En esta prueba no destructiva está basada en el principio de campo de las líneas magnéticas que se presentan en un material ferromagnético, que serán distorsionadas al haber un cambio en la continuidad del material. [16]

Es importante recalcar que esta prueba funciona para obtener discontinuidades superficiales y sub-superficiales en el material, también no dejar por un lado que únicamente se revelan grietas perpendiculares a la soldadura.

En la Figura 55A, se muestran los pasos por los cuales el material fue evaluado normativamente y revelando de manera superficial los defectos del proceso de soldadura, en donde se puede observar la concentración de partículas metálicas en las zonas de las grietas, tal como se muestra en la Figura 55B.

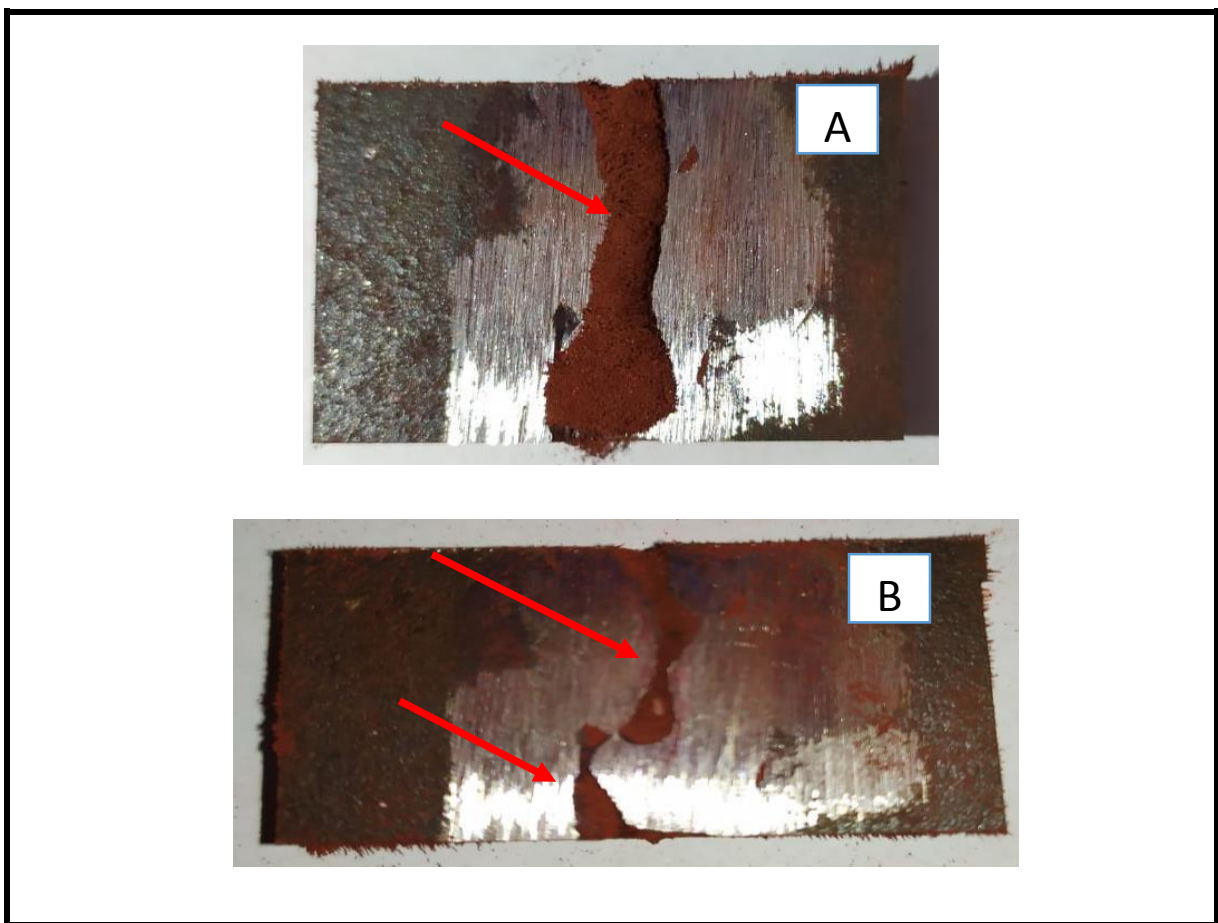


Figura 55. Resultados de la aplicación de partículas magnéticas.

4.4 Propiedades mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas en el material soldado, nos permitirán hacer énfasis sobre el material base y material afectado térmicamente por ser sometido a un proceso soldadura convencional de arco eléctrico. Además de hacer un perfil de dureza, que nos permita determinar el valor en cada zona de la soldadura.

4.4.1 Dureza

Para realizar las pruebas de dureza la muestra fue preparada metalográficamente mediante un proceso de desbaste, pulido a espejo y atacado químicamente (Nital 2%: 98% de Alcohol Etílico y 2% de Ácido Nítrico), para revelar las tres zonas de interés material base, zona afectada térmicamente y zona de soldadura (haz), Figura 56A y 56B. [19]

Se realizaron tres mediciones en cada una de las zonas del material con y sin ataque, en cada zona de interés. Los resultados de la prueba de dureza se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la prueba de Dureza.

Zona medida	Resultado obtenido de la medición sin ataque en la zona (Rockwell B kg fuerza)	Resultado obtenido de la medición en la zona atacada (Rockwell B kg fuerza)
Zona de material base	84	81
	85	82
	81	79
Zona de soldadura HAZ	94	92
	93	90
	90	88
Zona de interface o térmicamente	86	83
	85	82
	88	84

Con base a los resultados obtenidos de las pruebas de dureza realizadas en las tres zonas medidas con y sin ataque, se puede observar que el valor promedio de dureza con ataque 90 RB y sin ataque 92.3 en la zona del HAZ, muestran los valores de dureza mayores comparados con las otras zonas; esto nos hace suponer probablemente, que las condiciones de operación durante de trabajo de la aplicación de la soldadura, estuvieron dentro de un rango aceptable y que bajo ese contexto, creemos que los defectos presentados internos y superficiales hicieron la discrepancia en las tres zonas y son el resultado de baja experiencia en la aplicación de soldadura de arco eléctrico, y haciendo un acto de reflexión falta de capacitación.

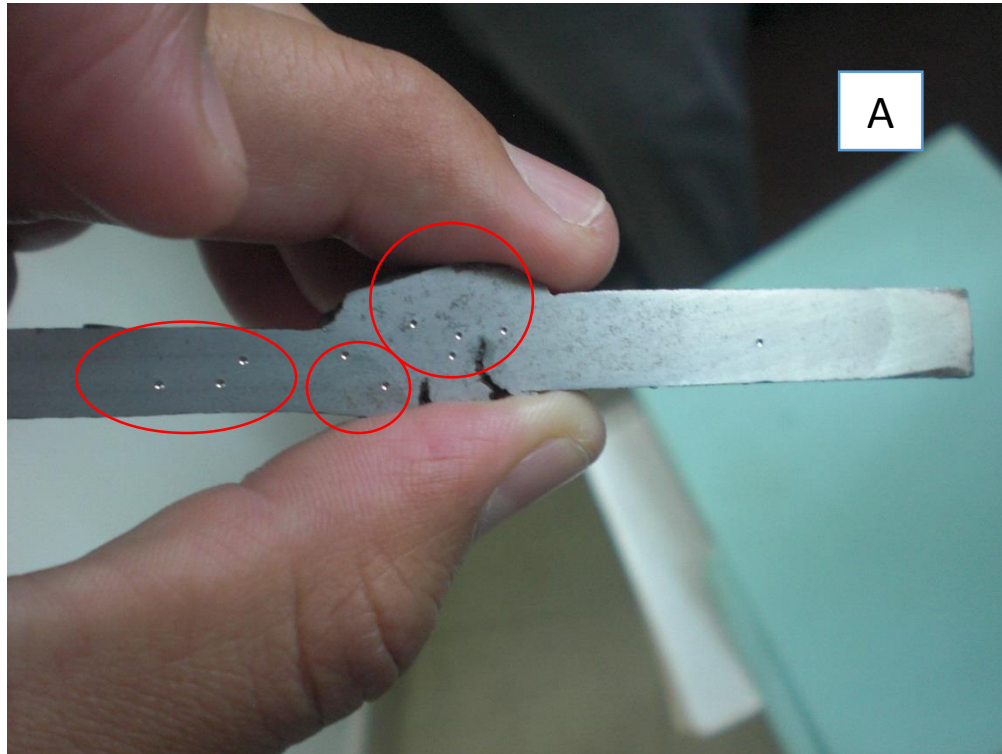


Figura 56A. *Distintas zonas de interés, en orden de izquierda a derecha, material base, zona afectada térmicamente y HAZ.*

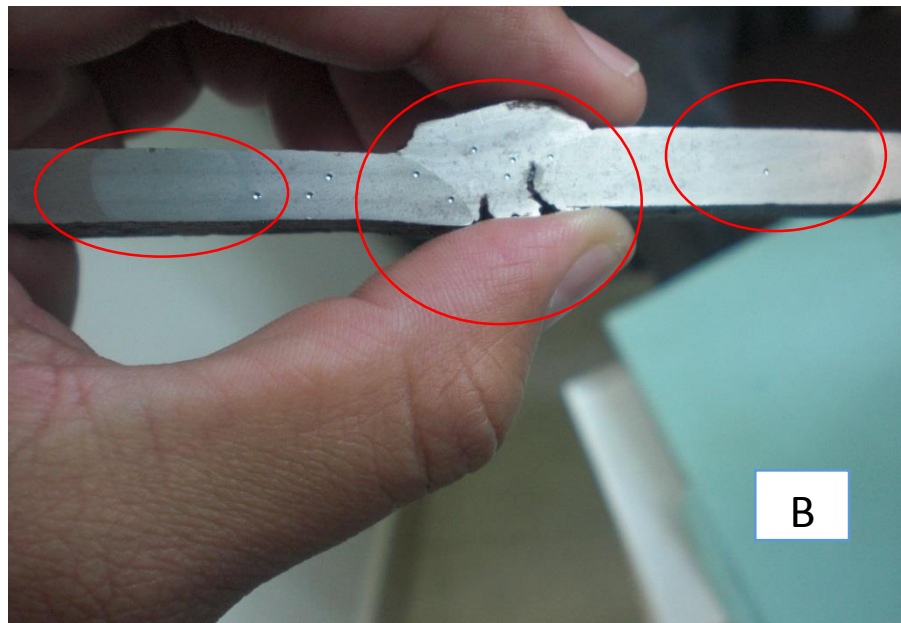


Figura 56B. *Visualización de las distintas zonas de ataque, en orden de izquierda a derecha, material base, zona afectada térmicamente y HAZ.*

Figura 56. *Resultados de la prueba de Dureza.*

CONCLUSIONES

1.- Este proyecto de investigación nos permitió ampliar nuestros conocimientos teóricos y prácticos en el aspecto de desarrollo de un proceso de soldadura y llevarlo a la práctica, lo cual me sirvió para identificar las diversas dificultades y requerimientos que se necesitan durante el proceso de soldadura, así como también ampliar mis conocimientos en el área normativa que da las pautas para validar tanto un proceso de soldadura como al personal y equipo que lo realiza.

2.- Por medio de las técnicas no destructivas realizadas en el material utilizado, se pudo detectar e identificar los defectos superficiales del acero A50, bajo la aplicación de un proceso de soldadura convencional de arco eléctrico para determinar la calidad de la soldadura. Siendo estas una puerta al conocimiento de análisis de fallas de los materiales y sistemas de remediación por los cuales los materiales pueden fallar en diferentes condiciones de manufactura y trabajo.

3.- Basado en los requisitos 7.1.5.2 y 7.2 de la norma de la ISO 9001: 2015 se logró en este trabajo de tesis llevar a cabo una propuesta de certificación del personal y equipo, la cual es necesaria e indispensable para el aseguramiento de la calidad del proceso de soldadura por arco eléctrico, así como, información documentada de los defectos obtenidos que validen la calidad, fiabilidad y eficacia de la soldadura. [13]

4.- Derivado de este trabajo de investigación, se identifican las discontinuidades superficiales generadas por la aplicación de líquidos penetrantes y partículas magnéticas, permitiendo determinar el nivel de calidad final de la unión y validar la metodología de inspección, siguiendo las normas ASTM. [15] [16]

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES

- Estudiar con detalle y profundidad la propuesta de detección de defectos de soldadura que se realizó en este proyecto para futuros trabajos.
- Estudiar e implementar otras técnicas diferentes a la propuesta de este trabajo de análisis de pruebas destructivas y no destructivas para el análisis de estructuras metálicas tales como radiografía industrial, ultrasonido, medición de espesores, pruebas de tensión, entre otras.
- Implementar un programa de capacitación de futuros especialistas en el proceso de soldadura que puedan validar clientes de la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mortera C. (2020) Modern Machine Shop México, industria automotriz: una recuperación necesaria. No.00. P 89-91.

2. Díaz, F. (2017) SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Soldadura%20y%20pruebas%20no%20destructivas_2017_2.pdf.

3. West Arco, (2015) MANUAL DE SOLDADURA, solución integral en unión y corte de materiales. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

<https://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/manual-de-soldadura-2015v2.pdf>.

4. Espinosa M. (2015) Pruebas no destructivas para soldadura industrial. 1ª Edición. P120-145. Editorial McGraw-Hill

5. (S/A) (2010) PROCESOS DE SOLDADURA. Revista digital para profesionales de la enseñanza. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6712.pdf>.

6. RepMan, (2018) Nociones básicas sobre el procedimiento MIG-MAG. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

<http://www.repmansoldaduras.com/Nociones%20basicas%20sobre%20el%20procedimiento%20MIG-MAG.pdf>.

7. Grupo Azero, (2013) MANUAL DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCION CON ACERO. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

https://grupoazero.mx/docs/MANUAL_AHMSA_2013-2.pdf.

8. Burgos J. (2000) Tecnología de soldadura. 1ª Edición. P 153-160. Editorial pueblo y educación.

9. James A. Pender (2003) Soldadura. 3ª edición. P 127-135, 142-151. Editorial McGraw-Hill.

10. Manual (2020) Mexicana de Radiografías. 1ª Edición. P80-93. Editorial McGraw-Hill.

11. Loureiro M. (2015) Manual de soldadura y catálogo de productos. 6ª Edición. P56-89. Consultado en la página de internet en Enero del 2019.

http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual_catalogo%20soldadura.pdf.

12. Aguilar J.A. (2013) Soldadura de arco eléctrico. 1ª Edición. P 1-84. Editorial McGraw-Hill.

13. NMX-CC-9001-IMNC-2015, Sistema de gestión de calidad. (Comité ISO). 28 de noviembre del 2020. P18-19.

14. Consultado en la página de internet en Diciembre del 2020.

<https://www.lincolnelectric.com/en/>

15. NOM ASTM E-165-15 (2009) Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<https://elmundodelacalidad.files.wordpress.com/2009/07/asme-sec-v-b-se-165-examen-con-liquidos-penetrantes.pdf>

16. NOM ASTM E-3024/E3024M-16 (2019) Practica estándar para pruebas de partículas magnéticas para la industria en general. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<https://tajhizkala.ir/doc/ASTM/E3024E3024M-16.pdf>

17. Mejía E. Padilla R. (2017) NORMA ASTM ACERO A572 GR50. Propiedades químicas. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17349/1/CD-7848.pdf>.

18. AWS D1.1:2015 (2015) Código de soldadura estructural-Acero. 23ª Edición. P15. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<https://toaz.info/doc-viewer>

19. NOM ASTM E384-17 (2017) Método de prueba estándar para la dureza por microindentación de materiales. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<https://www.koopaco.com/standards/ASTM-E384-17-03-01-standard-test-microindentation-hardness.pdf>.

20. Hurtado, J.A. (2015) ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN PARA LA CERTIFICACIÓN DE SOLDADORES BAJO EL CODIGO API 650 Y CON BASE A LA NORMA NTCISO/ IEC 17024. Consultado en la página de internet en Mayo del 2021.

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5327/67152092H967.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Cuernavaca, Mor., a 5 de Agosto del 2021

DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA
MTRO. JUAN MANUEL ZAGAL SÁNCHEZ
MTRO. ANDRES AGUILAR NEGRETE
MTRO. RENE GUARDIAN TAPIA
ING. CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:

TESIS

Titulado:

**PROPUESTA PARA LA INSPECCIÓN Y DETECCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO
DE SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO PARA LA FABRICACIÓN DE
ESTRUCTURAS METALICAS**

Que presenta (el) o (la) C. Clilton Clemen Morales Baron

Del programa educativo de: **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
Directora de la FCQel
Firmado Electrónicamente

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQel
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que los abajo firmantes otorgan su voto aprobatorio y firman electrónicamente para dar validez.

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA	
	MTRO. JUAN MANUEL ZAGAL SÁNCHEZ	
	MTRO. ANDRES AGUILAR NEGRETE	
	MTRO. RENE GUARDIAN TAPIA	
	ING. CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA	

VALH/kgss



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2021-08-05 18:01:48 | Firmante
Qqu9K3Y1KBHCJZUBOJGQTrwEJslhhUgZxGTcZcLrDhInFn5t22NH621ufwjUuaNmMDQcy6II2JV0ngFRknC1PF+V09KXkqLvxkSwAnUroOm6eYWIAOs2FwvqskSrMIYR9otUwG
L2vUPam9qJR80huNutZaWAD2v1MBKk3NvdzWM9PK9g2DRmf6kh3rdxrdqSfh9FJwMqHFo3useNX1O3MAZWmOweLxqKaHoKGHqWMNfYW9S52yF4Wj1d4kh4XEqm2HsFj
qOxbzSF59kcOusm3m5+OnFnxV/EmHvj3IjJhN8gT3k9meQl+p+VM51Ule/ZjlrY7GJdXJGfN1Qwuw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



1AbPLS

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/WCSYNP4J2VT1CZYKjm3yrQjxbrJmPwN8>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ANDRES AGUILAR NEGRETE | Fecha:2021-08-31 23:26:41 | Firmante
kCYOqkEZifnyUoq97mC6F0sKfY61uC1VG0y7s32FwdQfKk8lpZaAaGaZa+FP6+lnCnO/CPFaEd0T9henW7Vio8bkw8+WWGFCRxc1bshraxjYlcZoGzLTxMGN9i1iNS8LvCE8P
cEw16rrwvpi3GQw3BbEkA5dAPqnGsMRRZIOi69dqBz075JvMom5gZafhODKQkF4D+nu0cmplTtsUG5uPLJUyI0GTJd1BbL1/jjBZ51iCyvaqH0nd+Jdo+T8u1M/cmoJwZY0lywq
UhZT4KPUEIEOFbly/GoVMi8FZ1mdsqaryKfdqRHU13MH36bbH4HHi8TkTrMwZS8+62tw==

CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA | Fecha:2021-09-01 09:37:32 | Firmante
N8GCgqiiPPsiOsdUpYN8vSfzfcPCvK4PqE110P6xkTbzc1vEhvD28xrBerzJ0zzJCJvgX+00EOEOxSE2Rsyma4KIFFp/d+U4fVGgnHwZzReWntS57PvyRHk9Hgr5v01jfiDkiWiilWF
Up5KB7r7MnT6ttzTktfKiGfgEmTc05gTuW3rG5naLMS0iZs4TPHaSipaJJfOTHvwyia5Htzov0i8TbiNbf6dKAGGLhgAFu6iB6UjuN+XQHfYEHX5Mgmosc88fRa0ci0IAAtsEtSbk
5Q3uCbEM/QKuF12O+bgJEpK55aOmr4vPoVwo/1IEFWKOVsDXRCYWs22krblo4g==

RENE GUARDIAN TAPIA | Fecha:2021-09-04 20:34:53 | Firmante
i+ajd+k6mTG/BykTuL7Y8diEpsH0SouFL12NOPkWW6R+2p6brlGJE4CRoxSy3ViKEg6kgj2YFFZjCeqvWIFUkolj5RefCci7+fP5367LVuTTzJu2WR0ndM5jBm51uaXJyaaD2p+Pu9
aTQ+IbLWPCAzC/bxB+UM2TkStB0fPIRz+jFVtjFslmsG0HNqj8QjSHxtVvWUW1Uze2h7Of+Hb4swu8Zhx7/nsNZCDPeiPeSmGuQkEJkyri2kCBq6r1oYmriVAS3WXWYU8TTsc
DILw+ZrEA2ysLr60a4QsA8+x262wWG9RluXKqd4AEsVHINKZu9AGPJ6m5zWY7oLJYQ==

JUAN MANUEL ZAGAL SANCHEZ | Fecha:2021-09-08 16:25:16 | Firmante
TZSQRYAer1rBvza7Mrsp1Yzj7xMikPuFohkuWUIMF0aHy0QTXTtsi9KD3UnaOCg36OFLY53I2YjYjNbsJtJU6HUTR2eU5OGeTJPFqNHkujiEUjBBqxUzAAwK5olsBPZMUPMrr
0eZwx2ZsjurPttz10BZMykVlgRcYYVWVxbWCjKqf0OJxm0r015QcERDytO5FWFRNp3vI0CH7YTYZLWz8xu7BfcGaajy58XhgovUK5WU/puQ+yItrgPmBQpGtOUATKIUFYx8+huA
Nh8lbdmQLTzcccvGeHocLBSL19RAB7itE7s7WGeQqTqniRN/gEJ3V3EP9IXf7EAK+aQ==

JESUS DEL CARMEN PERALTA ABARCA | Fecha:2021-09-20 21:16:50 | Firmante
LBy47y5wOOG+hVsm5Oj2koVpvmRvrmKWfmQGof7r1qV1FUvX+6YzreljzclUj2iu+3i8xk9HI0vjVh67Wf31TKPFC+x3fZ14udnqYK6ZeQ4eR98oJ9vuTR74RKhmJVB+V06FFTN7/
7sMK6zv7XVOmedXv03uMc0iNMK2MPPIHsxmFuvYuvZKsunacQhwsYsxRi1Zqs/Cr/2rIUUxony+1iE9Ulw69sPNz1KQHrZxVsMfEYkXo8Dk153qhNGXOy9MNz35Vsm8dBgzUuu
YqY9v9uDDJqXqj7jgm84HQjMKKTWSnrak8TPHvb8yRWajzvDraO1WGObeQLTgrfQ6/a8A==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



JvnSIE

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/NzY4OVu8QhhARjxjR7bdOZrUTMZrg>