

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**IMPACTO DE LA PREPARACIÓN PREVIA EN LA CALIDAD DE LAS
UNIONES SOLDADAS EN ACEROS AL CARBONO UNIDOS POR
SOLDADURA POR ARCO**

POR

ING. MIGUEL ÁNGEL SORIANO MORÍN

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN
TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA. OCTUBRE DE 2013

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**IMPACTO DE LA PREPARACIÓN PREVIA EN LA CALIDAD DE LAS
UNIONES SOLDADAS EN ACEROS AL CARBONO UNIDOS POR
SOLDADURA POR ARCO**

POR

ING. MIGUEL ÁNGEL SORIANO MORÍN

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN
TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA. OCTUBRE DE 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A COMIMSA y a CONACYT por el apoyo que me brindaron durante el periodo de estudio de este posgrado, por abrirme los ojos a nuevas posibilidades de crecimiento que parecían lejanas para mí. A la empresa CATERPILLAR por su valiosa contribución y apoyo en mi investigación.

A mis padres, por su cariño y mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme. Por lo que soy y por todo el tiempo que les robé pensando en mí.

A Fátima, mi mejor amiga y compañera en esta aventura, por impulsarme y creer en mí, por que sin importar lo difícil que se tornaran las cosas me inspiró siempre a seguir adelante.

A la doctora Gladys Pérez, por su invaluable apoyo y confianza, por no perder la fe en mí, por guiarme en este camino y por mostrarme que aun el viaje más largo comienza siempre con el primer paso.

Y a todos los que directa o indirectamente colaboraron en la realización de esta meta en mi vida, gracias a aquellos que me brindaron su apoyo durante esta búsqueda de conocimiento y superación personal.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 Justificación	11
1.4 Planteamiento del problema	11
1.5 Aportación científica y tecnológica	12
1.6 Alcances	12
CAPÍTULO II	13
2.1 Proceso de soldadura GMAW y su aplicación en el sector de maquinaria para la construcción y la minería	13
2.1.1 Fundamentos del proceso	13
2.1.2 Equipo	15
2.1.3 Consumibles	16
2.1.3.1 Electroodos	17
2.1.4 Gases de protección	18
2.1.5 Ventajas y limitantes	21
2.1.6 Inspección y calidad de la soldadura	23
2.1.7 Seguridad	28
2.2 Procesos de manufactura previos a la soldadura de aceros al carbono	30
2.2.1 Operaciones de corte	30
2.2.1.1 Cizallado	30

2.2.1.2 Punzonado.....	31
2.2.1.3 Corte por chorro de agua abrasivo.....	31
2.2.1.4 Corte por láser.....	32
2.2.1.5 Corte por plasma.....	33
2.2.2 Maquinado.....	35
2.2.2.1 Torneado.....	36
2.2.2.2 Taladrado.....	36
2.2.2.3 Fresado.....	36
2.2.3 Rolado o laminado.....	37
2.3 Aceros utilizados en la manufacturación de maquinaria para minería y construcción.....	38
2.3.1 Definición y características del acero.....	38
2.3.2 Clasificación de aceros para construcción de partes de maquinaria.....	40
2.3.3 Aceros de alta resistencia y baja aleación.....	42
2.3.3.1 Clasificación de aceros HSLA.....	43
2.3.3.3 Microestructura de los aceros HSLA.....	46
2.4 Proceso de manufactura de piezas de maquinaria para minería y construcción.....	47
2.4.1 Proceso de corte por flama.....	47
2.4.1.1 Remanentes del corte por flama.....	48
2.4.2 Proceso de maquinado en aceros para la industria manufacturera de maquinaria de construcción y minería.....	50
2.4.2.1 Efecto de la temperatura del maquinado en los materiales.....	51
2.5 Efecto de los remanentes de procesos de manufactura en la calidad de las uniones.....	54
2.5.1 Óxido presente en el metal de soldadura.....	54
2.5.2 Fluidos para maquinado.....	61

2.6 Métodos de preparación de superficies metálicas para soldadura.....	63
2.6.1 Técnicas de descontaminación para metales.....	65
CAPÍTULO III.....	67
CAPÍTULO IV.....	70
4.1 Objetivos del caso de estudio.....	70
4.1.1 Objetivo general.....	70
4.1.2 Objetivos específicos.....	71
4.2 Material.....	71
4.2.1 Material base.....	71
4.2.2 Metal de aporte.....	72
4.3 Metodología experimental.....	73
4.3.1 Soldadura de probetas mediante el proceso GMAW.....	73
4.3.2 Corte de muestras soldadas para caracterización.....	75
4.3.3 Preparación de muestras con desbaste.....	76
4.3.4 Ataque químico de las probetas con nital.....	76
4.3.5 Microscopía óptica con microscopio Olympus a 50, 100, 200, 500 y 1000 aumentos.....	77
4.3.6 Análisis de imagen por microscopia electrónica de barrido (MEB) a 2000 y 5000 aumentos.....	78
4.3.7 Prueba de microdureza.....	78
4.3.8 Caracterización.....	79
4.4 Resultados.....	80
CAPÍTULO V.....	85
LISTADO DE TABLAS.....	94
LISTADO DE FIGURAS.....	95
ANEXOS.....	97

- RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO..... 99

SÍNTESIS

El proceso de soldadura por arco metálico con protección de gas es uno de los procesos de unión mas utilizados en la actualidad a nivel industrial, debido a sus múltiples ventajas ante otros procesos como lo son la facilidad de automatizar gracias al electrodo continuo y a su limpieza al no generar escoria, pero al igual que en otros procesos existe la inminente probabilidad de encontrar discontinuidades en los cordones de soldadura. La importancia del estudio de las discontinuidades presentes en el cordón de soldadura radica principalmente en identificar las posibles causas por las cuales una unión podría llegar a fallar.

El proceso de manufactura que se lleva acabo para la fabricación de maquinaria pesada, destinada a la construcción o minería, conlleva a una serie de múltiples estaciones de trabajo, consecuentemente dichas estaciones elevan la cantidad de contaminantes que un acero puede obtener antes de ser soldado, aumentando así, la posibilidad de generar discontinuidades en el cordón de soldadura, como es el caso de los procesos de corte y maquinado al que es sometida una pieza.

En el corte de las piezas, por la naturaleza de los metales a altas temperaturas es probable la generación de óxidos que si no son retirados afectan la calidad del cordón de soldadura, por otro lado en el maquinado es necesario la utilización de fluidos que permitan disipar el calor y a su vez lubricar el área de contacto entre el herramental y la pieza a trabajar, estos fluidos al estar en contacto con la pieza por lo general dejan residuos sobre la superficie.

La importancia del conocimiento de los contaminantes presentes en cada estación de trabajo, en el proceso de manufactura de un acero, esta en la acción que se debe realizar para contrarrestar o evitar los efectos de éstos contaminantes.

En base a los resultados obtenidos por diversos autores se estudia la formación y la tipificación de los contaminantes que pudiesen ser encontrados dentro de dicho flujo, siendo los óxidos formados durante el almacenaje y el corte, al igual que los residuos grasos del fluido para maquinado los principales contaminantes a estudiar, abarcando desde la formación o adición de estos contaminantes hasta algún método de limpieza o una posibilidad de aplicación de un método no convencional para evitar alguno de estos contaminantes.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente, la soldadura se utiliza en prácticamente todos los sectores productivos, entre los que destacan la industria automotriz, la petroquímica, la naval, la ligada a los bienes de equipo, y en la construcción en general. [1]

La soldadura es una actividad importante en el sistema productivo que ofrece muchas ventajas entre las cuales podemos mencionar:

- Proporciona una unión permanente, convirtiendo las partes soldadas en una sola unidad.
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales base, si se usa un material de aporte que tenga propiedades de resistencia superiores, y se aplican las técnicas correctas de soldar.
- La soldadura es la forma más económica y ligera de unir componentes, siendo el ensamble mecánico (adición de remaches y tuercas) más pesado que la soldadura.

El proceso de soldadura por arco metálico con gas (GMAW por sus siglas en inglés), se ha convertido en uno de los principales métodos de unión en el mundo, se encuentra altamente posicionado en la industria metalmeccánica gracias a que incrementa la productividad, mejora la presentación de los cordones de soldadura, produce menos escoria y cumple con las medidas para la protección ambiental [2].

El estudio de los defectos en soldadura consiste en encontrar las posibles causas por las cuales una soldadura no llegaría a ser funcional y puede ser causante de errores que a la larga requeriría de retrabajo, reparación o en última instancia, la no aceptación de una junta soldada, y por consecuencia toda una estructura. Es necesario considerar que un proceso de soldadura debe funcionar en total sincronía, lo cual requiere realizar una revisión detallada de todo el sistema, con el fin de eliminar defectos en la soldadura, que sean motivos de rechazo.

Hoy en día, en la industria manufacturera de equipos de construcción y minería se presentan algunas incógnitas durante los procesos en donde interviene la soldadura, la cual podría estar siendo afectada por algún tipo de contaminación adquirida en los procesos previos a los que es sometido el metal base que será soldado, la pureza de la soldadura tiene un gran efecto en la parte terminada y el número de rechazos. Por consiguiente entender los efectos de la contaminación de la soldadura obviamente puede llevar a mejorar la calidad de las partes producidas a un costo reducido.

Los altos niveles de impureza pueden provocar problemas en las líneas de producción en masa y en la calidad de los productos que se ofrecen al cliente, por lo que el conocer de manera clara y cuantificable la contaminación que provocan los procesos a los que es sometido el material a soldar es de gran importancia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar mediante el análisis de investigaciones recientes el impacto de la preparación previa en la calidad de las uniones soldadas en aceros al carbono unidos por el proceso de soldadura por arco eléctrico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener información relevante del estado del arte de las principales causas de defectos en la soldadura y su relación con los procesos de manufactura previos.
- Investigar el nivel de contaminantes dentro del proceso de soldadura y el método de cuantificación de estos.
- Obtener información que permita realizar un análisis de respuesta para contrarrestar los efectos de cada contaminante.

1.3 Justificación

La realización de la presente monografía es de suma importancia, ya que el estudio y la valoración del impacto de los contaminantes que adquieren los materiales durante los procesos a los que son sometidos, permite realizar un análisis de respuesta para contrarrestar el efecto de estos contaminantes en la calidad de las uniones soldadas, lo que conlleva a elevar la calidad del producto que se ofrece en la empresa, dentro de su proceso de manufactura.

La calidad en la soldadura es un tema de economía y seguridad, ya que la soldadura representa una parte muy importante en los costos de fabricación, y así mismo se puede argumentar que una falla en la soldadura podría ocasionar daños a personas o equipos [3]. Es por esto que el estudio de las discontinuidades que se podrían presentar en la soldadura por eventos previos dentro del proceso de manufactura cobra una gran importancia.

1.4 Planteamiento del problema

En la actualidad los procesos de soldadura son los métodos de unión más utilizados en la industria, y la calidad en estas uniones es primordial para que este método de unión este posicionado en ese lugar.

Las discontinuidades en las uniones soldadas pueden provenir de procesos previos dentro del flujo de manufactura de la pieza y es necesario conocer los contaminantes que provocan los defectos, así como conocer la respuesta para evitar las imperfecciones dentro de la soldadura.

1.5 Aportación científica y tecnológica

La soldadura GMAW de aceros al carbono puede ser relativamente simple si se tiene cuidado al ajustar el equipamiento correcto y al asegurarse de que los productos a soldar estén limpios y bien preparados.

Si la superficie del componente a soldar está contaminada con materiales tales como grasa, aceite, pintura o humedad, estos pueden, con el calor del arco de soldadura, descomponerse para formar gases que serán atrapados a medida que se enfría la soldadura.

El presente documento recopila información relevante sobre el impacto que tiene cada uno de los contaminantes que se encuentran dentro del proceso de manufactura y expone un análisis de respuesta ante los efectos que se producen en la calidad de las uniones soldadas.

1.6 Alcances

El alcance del presente documento es dar a conocer la información científica y tecnológica sobre el impacto que tienen los contaminantes de eventos previos del proceso de manufactura de un producto en la calidad de las uniones soldadas en aceros al carbono por el proceso GMAW.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1 Proceso de soldadura GMAW y su aplicación en el sector de maquinaria para la construcción y la minería

2.1.1 Fundamentos del proceso

GMAW es esencialmente un proceso que funde y une a los metales al calentarlos por medio de un arco de corriente directa con polaridad invertida formado entre un electrodo y el metal base, dicho arco es protegido de la atmosfera por medio de una capa protectora proporcionada de forma externa, en general de bióxido de carbono, de mezclas de argón y bióxido de carbono, o de gases con base de helio [4].

La antorcha que sostiene el electrodo está conectada a un cilindro de gas de protección, así como a una terminal de la fuente de alimentación, para calentar la zona de soldadura, el electrodo se hace avanzar hacia el charco de soldadura manteniéndose a una velocidad de aproximación regulada, el arco

formado entre el electrodo y la pieza de trabajo queda protegido por un gas que lo rodea haciendo las funciones de un escudo. El electrodo está normalmente en contacto con un tubo de cobre refrigerado por agua, llamado tubo de contacto. La pieza de trabajo está conectada a la otra terminal de la fuente de alimentación a través de un cable diferente [5]. En este proceso los controles manuales requeridos por parte del soldador para el funcionamiento semiautomático son la velocidad de desplazamiento en una dirección y el posicionamiento de la pistola [6].

En el proceso GMAW, el consumible para la unión de las partes puede transferirse con tres métodos: cortocircuito, globular y spray (atomización) [2].

- Transferencia por corto circuito: El metal se deposita en forma de pequeñas gotas individuales, entre 50 y 200 por segundo, cuando la punta del electrodo toca el metal fundido de soldadura y hace cortocircuito.

- Transferencia globular: El metal se transfiere en gotas de gran tamaño y ocurre por gravedad cuando el peso de éstas excede la tensión superficial. Se usan gases ricos en dióxido de carbono y argón, produce altas corrientes que posibilitan mayor penetración de la soldadura y mayores velocidades que las que se alcanzan con la transferencia por corto circuito y spray.

- Transferencia spray (atomización): El metal de aporte es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco, entre 500 y 2 000 partículas por segundo. La fuerza electromagnética es alta, lo que permite atomizar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal hacia el área de soldadura.

2.1.2 Equipo

El equipo básico para llevar a cabo el proceso GMAW está conformado por una fuente de energía, una antorcha, el contenedor de gas y el alimentador de alambre los cuales se pueden observar en la figura 2.1. Por lo general la fuente de energía eléctrica cuenta con una salida de voltaje constante, regulable entre 15 y 50V, la cual es complementada por un sistema alimentador de alambre con velocidad regulable [7].

- La fuente de potencia eléctrica que se encarga de suministrar la suficiente energía para poder fundir el electrodo en la pieza de trabajo.

Son de tipo DC (corriente directa) con característica de salida de voltaje constante (CV).

- El alimentador de alambre es el mecanismo que permite que el alambre llegue continuamente a través de la pistola hasta la zona donde se produce el arco de soldadura con la ayuda de un motor y unas ruedas impulsoras llamadas rodillos de alimentación. Los alimentadores pueden ser de velocidad constante o sensores de voltaje de arco (velocidad variable).

- La pistola de soldadura, que se encarga de dirigir el electrodo de alambre, el gas protector y la corriente hacia la zona de soldadura. Pueden tener refrigeración natural (por aire) o refrigeración forzada (mediante agua). Algunas pistolas llevan incorporado un sistema de tracción constituido por unos pequeños rodillos que tiran del alambre, ayudando al sistema de alimentación. Otras, no disponen de este mecanismo de tracción, limitándose a recibir el alambre que viene empujado desde la unidad de alimentación. Las pistolas con sistema de tracción incorporado son adecuadas cuando se trabaja con alambres de pequeño diámetro o con materiales blandos como el aluminio y el magnesio.

- El cilindro de gas con regulador, contiene el gas a alta presión y está provisto de un regulador que permite medir el flujo gaseoso. Es útil para la adecuada protección del charco de soldadura. [2]

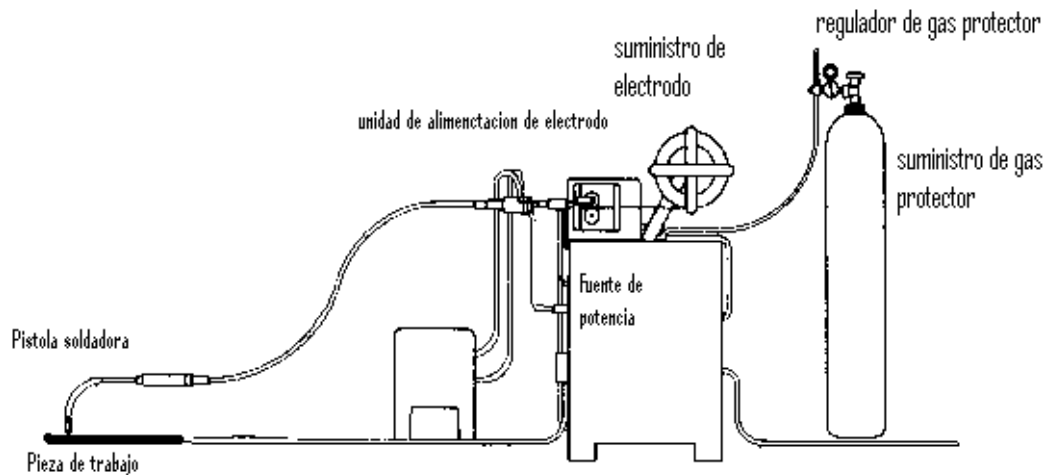


Figura 2. 1 Equipo necesario para el proceso GMAW [6]

2.1.3 Consumibles

La composición química que determinará la composición del metal de soldadura por lo general está dado principalmente por la química del electrodo, del metal base y del gas protector. Esta composición determinará en gran medida las propiedades mecánicas y químicas del ensamble soldado.

Además de los componentes de equipo que se desgastan y deben ser reemplazados los consumibles para el proceso GMAW son los electrodos y el gas protector, en los cuales influye en la selección de estos diferentes factores como lo son el metal base, las propiedades que debe tener la soldadura, la condición y limpieza del metal base, posición de soldadura y la modalidad de transferencia de metal que se piensa utilizar. [6]

El gas de protección sirve para evitar que el metal de la soldadura se contamine, además influye en la forma y penetración del arco, así como en la cantidad de salpicadura.

2.1.3.1 Electrodo

Por lo general para aplicaciones de unión, la composición del electrodo es similar a la del metal base, por otra parte para algunas aplicaciones se requiere de un electrodo con una composición química muy diferente a la del metal base con el fin de obtener características de soldadura y propiedades del metal satisfactorias. Por ello, las aleaciones del electrodo se diseñan de modo que produzca las propiedades de metal de soldadura deseadas con características de operación aceptables. Además de estas modificaciones a la composición del electrodo, generalmente se agregan desoxidantes u otros elementos limpiadores, con el objetivo de minimizar la porosidad de la soldadura o para asegurar las propiedades mecánicas del metal. [6]

En la tabla 2.1 se muestran las especificaciones de la american welding society para los electrodos que se deben utilizar dependiendo del material que se desea soldar.

Tabla 2. 1 Especificaciones para diversos electrodos para GMAW [6]

Tipo de material base	Especificaciones de la AWS
Acero al carbono	A5. 18
Acero de baja aleación	A5. 28
Aleaciones de aluminio	A5.10
Aleaciones de cobre	A5.7
Magnesio	A5.19
Aleaciones de níquel	A5.14
Acero inoxidable de la serie 300	A5.9
Acero inoxidable de la serie 400	A5.9
Titanio	A5.16

2.1.4 Gases de protección

La función primaria del gas protector es impedir que la atmosfera entre en contacto con el metal de soldadura fundido. Esto es necesario porque la mayoría de los metales al calentarse hasta su punto de fusión tienden a formar óxidos y en menor grado nitruros. Estos productos pueden causar deficiencias en la soldadura como escoria, porosidad y pérdida de ductilidad del metal de soldadura.

El factor principal a considerar para la elección de un gas de protección es el tipo de material a unir y los resultados que se deseen.

En el caso de los cordones de soldadura producidos con argón, dióxido de carbono y helio el ancho de los cordones aumenta en ese orden, así mismo que se ven afectados los costos en la producción.

En la tabla 2.2 se muestran los principales gases que se usan como protección así como propiedades y aplicaciones.

Tabla 2. 2 Gases de protección, propiedades y aplicaciones [28]

<u>Gas</u>	<u>Propiedades</u>	<u>Aplicaciones</u>	<u>Comentarios</u>
Argón (Ar)	<ul style="list-style-type: none"> · Conductividad térmica baja (provoca cordón estrecho con elevada penetración en el centro) · Gas inerte (no reactivo) · Excelente estabilidad de arco · Arco spray posible para mezclas $\geq 80\%$ Ar 	<ul style="list-style-type: none"> · <u>Puro</u>: Metales no férricos (Ni, Cu, Al, Mg, Ti Zr) · <u>Mezcla</u>: Aceros 	<ul style="list-style-type: none"> · Ar puro tiende a provocar mordeduras al usarse en aceros
Helio (He)	<ul style="list-style-type: none"> · Conductividad térmica elevada (provoca cordón menos afilado) · Gas inerte · Más ligero que el aire (peor protección que Ar en posición plana) · Arco errático y proyecciones en aceros · Voltaje arco mayor que Ar (mayor cambio de voltaje al cambiar la longitud de arco) · Más proyecciones que Ar · Peor apariencia del cordón que Ar 	<ul style="list-style-type: none"> · <u>Puro</u>: Metales no férricos, cuando se necesita más aporte de calor que con Ar 	<ul style="list-style-type: none"> · He puro provoca arco errático y proyecciones al usarse en aceros · El gas más caro en general

Tabla 2. 3 Gases de protección, propiedades y aplicaciones (continuación) [28]

CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Gas reactivo · Permite mayores velocidad de avance y penetración · Menor coste · Modo corto circuito y globular sólo · Elevado nivel de salpicaduras · Cordón de superficie rugosa y peor mojado de paredes que Ar 	<ul style="list-style-type: none"> · GMAW con acero al carbono y baja aleación 	<ul style="list-style-type: none"> · Único gas reactivo adecuado para ser usado puro como gas de protección · Para disminuir las proyecciones hay que bajar el voltaje (longitud de arco)
Hidrógeno (H ₂)	<ul style="list-style-type: none"> · Elevada conductividad térmica · Elevada reactividad (inflamable) · Gas más ligero 	<ul style="list-style-type: none"> · Corte por plasma · Tratamientos térmicos 	
Nitrógeno (N ₂)	<ul style="list-style-type: none"> · No combustible · Reactivo a muy altas temperaturas con Ti, Mg, Al · Más ligero que el aire 	<ul style="list-style-type: none"> · <u>Puro</u>: Corte por plasma · <u>Mezcla</u>: Soldadura 	<ul style="list-style-type: none"> · Puro no se recomienda como gas de soldadura porque reacciona con metal fundido
Ar-O ₂	<ul style="list-style-type: none"> · El O₂ estabiliza el arco, mejora la apariencia del cordón y el mojado de paredes 	<ul style="list-style-type: none"> · <u>Inoxidable</u>: 1% O₂ máx. · <u>Acero-C o baja aleación</u>: 2% O₂ máx. 	<ul style="list-style-type: none"> · Hasta 5% O₂ permite velocidad de avance mayor y baño más caliente
Ar-CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · A más CO₂ más corriente necesaria para arco spray · CO₂ 20% Arco spray inestable · A más CO₂ baño más caliente · Elevado nivel de proyecciones 	<ul style="list-style-type: none"> · Amplias en acero-C y baja aleación · CO₂ 25% No arco spray, pero en corto circuito máxima productividad y mínima penetración en chapa fina 	<ul style="list-style-type: none"> · No se recomienda para inoxidable
Ar-He	<ul style="list-style-type: none"> · Gas inerte · Perfil cordón típico He (ancho y parabólico) + arco spray típico Ar 	<ul style="list-style-type: none"> · Metales no férricos · Inoxidable y baja aleación 	<ul style="list-style-type: none"> · En corto circuito se añade 60-90% He para aumentar el aporte de calor
Ar-O ₂ -CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Todos los modos de transferencia · Menor aportación de calor (disminución penetración excesiva) 	<ul style="list-style-type: none"> · Aceros-C, baja aleación e inoxidables cuando se quiere mayor tasa deposición y velocidad avance que Ar-CO₂ sólo (en arco spray) 	
Ar-He-CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Mejor mojado de paredes, fluidez y apariencia del cordón (más aporte de calor) · Menor porosidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Aceros baja aleación e inoxidables 	<ul style="list-style-type: none"> · Mayor retención de aleaciones · Mayor penetración

Si se usa solamente dióxido de carbono como gas de protección el arco que se obtiene es brusco y con cantidad considerable de soldadura, por otra parte al utilizar una mezcla de argón con una pequeña porción de CO₂ se obtendrá un arco estable y con poca salpicadura, como se muestra en la figura 2.2 la transferencia de metal de aporte depende en parte de las mezclas de gas utilizadas.

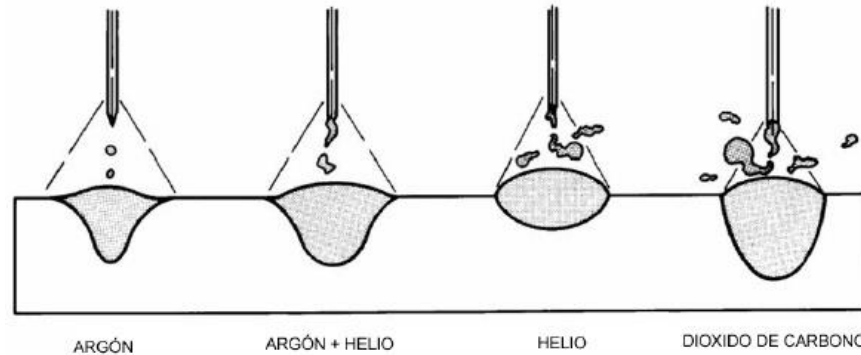


Figura 2. 2 Perfil del cordón y patrones de penetración para diversos gases de protección [10]

2.1.5 Ventajas y limitantes

La soldadura GMAW, cuenta con grandes ventajas que la destacan frente a otros procesos de soldadura entre las cuales se encuentran:

- Es la soldadura más limpia que se encuentra en la industria, no produce escoria, solamente produce un polvillo de óxido que es muy fácil de retirar al concluir el trabajo. Genera menor cantidad de salpicaduras en comparación con otros sistemas como el electrodo revestido.
- Por los diámetros tan pequeños del fundido algunos soldadores consideran que este proceso proporciona menor resistencia, pero en realidad esta soldadura cumple con todas las especificaciones técnicas para que resista tensiones iguales o mayores a cualquier otra, dependiendo del alambre que se elija para el trabajo a realizar.

- Otra ventaja es la velocidad de soldadura, ya que la aportación es mediante un alambre continuo y no es necesario la interrupción del proceso por cambio de electrodo.

- El acceso a puntos difíciles en diferentes posiciones y la soldadura con bordes más cerrados. Este proceso permite reducir el espesor del cordón en relación con otros procedimientos, lo que representa un ahorro en material y tiempo.

- Por su eficiencia es de gran utilidad en la producción en serie obteniendo con este proceso menor desperdicio de material y simplificación de operaciones de limpieza.

- El efecto del gas protector impide el contacto entre la atmosfera y el charco de soldadura lo que permite obtener uniones menos sensibles a la corrosión.

- Dependiendo del tipo de transferencia que se emplee y la habilidad del soldador este proceso proporciona facilidad para trabajar en diferentes posiciones.

- Versatilidad para soldar la mayor parte de los metales usados en la industria como el aluminio, el magnesio, aceros al carbono, aceros inoxidables, cobre, níquel y titanio.

Sin embargo entre sus limitantes se debe tener en cuenta que este proceso requiere mayor inversión que otros, y no es recomendable para montajes al aire libre por la afectación que producen las corrientes de aire sobre la protección gaseosa.

La variedad de consumibles y el alto costo de los equipos lo hace un proceso que por su eficiencia beneficia especialmente a la producción en serie. [2]

2.1.6 Inspección y calidad de la soldadura

La inspección de soldadura se realiza para comprobar el estado y la calidad de los trabajos de soldadura realizados en la fabricación, construcción, montaje y reparación de equipos [8]

El objetivo de la inspección es determinar si los ensamblados unidos por soldadura satisfacen los requisitos de calidad que se contemplan en las especificaciones o normas en vigor. [9]

Existen gran cantidad de características de una unión soldada que pueden ser evaluadas durante el proceso de inspección ya sea relacionadas con las dimensiones o con la presencia de discontinuidades. En cuanto a las características que involucran dimensiones se puede mencionar la importancia que tiene el tamaño de la soldadura relacionado directamente con la resistencia mecánica de la unión, ya que si se tiene una soldadura de tamaño inferior al requerido en consecuencia esta unión no podrá resistir las cargas a las que será sometida durante su servicio. Por otra parte las discontinuidades en un cordón de soldadura son también de gran importancia, estas son imperfecciones dentro de la soldadura que pueden llegar a disminuir la resistencia para la cual fue diseñada. Estas discontinuidades pueden causar fallas prematuras, y reducir la resistencia de la unión a través de concentraciones de esfuerzos dentro de los componentes soldados.

Los criterios para la aceptación de la soldadura pueden provenir de diversas fuentes es por eso que se requieren diversos conocimientos por parte del inspector:

- Comprensión de dibujos de soldadura.
- Símbolos de soldadura.
- Diseño de juntas soldadas.
- Elaboración de procedimientos de soldadura.

- Conocer e interpretar los requerimientos de códigos y normas.
- Conocer las pruebas destructivas y no destructivas, aplicadas a soldadura.

Los ensayos aplicados a la soldadura tienen diversos objetivos como determinar la calidad, composición, y propiedades mecánicas. La soldadura debe hacerse de acuerdo al tamaño especificado en los planos y en el procedimiento y algunos de los defectos que se pueden detectar en la soldadura por estos ensayos para la inspección son, poros, grietas, cráteres, socavaciones, bajos rellenos, sobre rellenos, salpicaduras, escorias y rugosidad.

Entre los ensayos para la inspección de la soldadura están:

- **Inspección visual.** Es sin duda una de las pruebas no destructivas más ampliamente utilizada, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo inspeccionados.
- **Líquidos penetrantes.** El método o prueba de líquidos penetrantes, basado en el principio físico conocido como "Capilaridad", consiste en la aplicación de un líquido con buenas características de penetración, a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado, revelando las aberturas superficiales.
- **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 de atracción entre metales. De acuerdo con lo anterior, si un material presenta alguna discontinuidad en su superficie, ésta actuará formando polos magnéticos, atrayendo cualquier material magnético o ferromagnético que esté cercano a la

misma. Son utilizados pequeños trozos o diminutas partículas magnéticas, las cuales revelarán la presencia de discontinuidades superficiales y/o sub-superficiales en el metal.

- **Prueba de ultrasonido.** El método de ultrasonido se basa en la generación o propagación de ondas sonoras a través del material. Un sensor, que contiene un elemento piezo-eléctrico, convierte los pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, con una frecuencia imperceptible al oído humano. Estas vibraciones se propagan a través del material, y cuando su camino es interrumpido por una interface, sufren reflexión, refracción o distorsión. Dicha interrupción se traduce en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación, cambio que es detectado y registrado a través de una pantalla o monitor especialmente diseñado para tal finalidad.

- **Prueba radiográfica.** La radiografía como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza a los Rayos X y a los Rayos Gama. Con este tipo de emisiones es posible irradiar un material y, si internamente este material presenta cambios considerables como para dejar pasar o retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de estas irregularidades, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material. 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. El resultado queda plasmado en la película radiográfica situada en la parte inferior del material metálico.

No existe soldadura perfecta todas las soldaduras tienen discontinuidades o pérdida de homogeneidad en el material, algunas discontinuidades comunes para el proceso GMAW se mencionan a continuación.

Socavación.

Algunas posibles causas de este defecto pueden ser:

- Velocidad de avance excesiva
- Tensión de soldadura demasiado alta
- Corriente de soldadura excesiva
- Insuficiente permanencia
- Ángulo de la pistola

Este tipo de defectos se puede corregir controlando la velocidad de alimentación así como la velocidad de desplazamiento y el voltaje aplicado. También es necesario conocer el ángulo de ataque adecuado y el tiempo en que se debe permanecer en el charco de soldadura.

Porosidad.

Las causas más comunes para que este defecto aparezca son:

- Cobertura de gas de protección insuficiente
- Contaminación por gas
- Contaminación del alambre
- Contaminación de la pieza
- Excesiva tensión del arco
- Tubo de contacto demasiado retirado de la pieza

Algunas acciones que se deben aplicar para evitar este defecto son, la limpieza, es necesario limpiar todas las caras de los cordones y las superficies

de la zona de soldadura, eliminando todas las impurezas de forja antes de soldar. También se deben eliminar fugas en las líneas de gas, así como asegurarse de no tener corrientes de aire que pudieran incidir en el arco de soldadura.

Fusión incompleta

Este defecto se presenta cuando:

- Las superficies de la zona de soldadura no están libres de películas o de exceso de óxido
- Insuficiente entrada de calor
- Charco de soldadura demasiado grande
- Técnica de soldadura inadecuada
- Diseño incorrecto de las juntas

Para corregir este defecto es muy importante la limpieza, se debe limpiar todas las caras de los surcos y las superficies de la zona de soldadura, con esta limpieza se eliminará las impurezas de los procesos de manufactura previos también es importante tener un control de la velocidad de alimentación del alambre y del voltaje aplicado.

Perforación excesiva por fusión

Este defecto es causado por:

- Excesiva entrada de calor
- Preparación incorrecta de las uniones

Este defecto se puede corregir controlando la velocidad de alambre y el voltaje aplicado así como la velocidad de desplazamiento.

Grietas en el metal de soldadura

- Diseño incorrecto de las uniones
- Relación profundidad / ancho de la soldadura demasiado alta
- Cordones de soldadura demasiado pequeños, sobretodo en cordones de filete y de raíz
- Excesiva entrada de calor, que causa demasiada contracción y distorsión
- Fragilidad en caliente

La elección correcta del electrodo es muy importante para evitar este defecto, el voltaje y la corriente adecuadas es de suma importancia, al igual que el ángulo de ataque y la velocidad de desplazamiento. [10]

2.1.7 Seguridad

La soldadura es un proceso por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión o una combinación de ambos, la ejecución de un trabajo de soldadura exige utilizar equipo y maquinaria de trabajo específico y un espacio e instalaciones adecuadas. Como resultado de las condiciones y variables que se manejan durante el proceso de soldadura como lo son el calor o la presión se tiene una serie de riesgos para la seguridad y salud. Estos riesgos pueden desarrollar en accidentes, cuyas causas pueden ser evitadas identificando y controlando los factores que los producen.

Existen diferentes causas para que se produzca un accidente por el proceso de soldadura entre los cuales están los actos incorrectos del operador, el equipo, herramientas, maquinaria o lugares de trabajo en condiciones que no son las adecuadas para trabajar.

Las causas humanas se relacionan directamente con el comportamiento del trabajador y se traducen en conductas imprudentes o falta de respeto a las normas y/o a los procedimientos de trabajo.

Estas causas son las de más difícil corrección ya que dependen de la formación y la motivación de las personas. Algunos ejemplos de estas conductas son: distracciones, exceso de confianza, falta de conocimiento de las actividades u operaciones a realizar, no usar los equipos de protección individual y adoptar posiciones inseguras o inadecuados procedimientos de trabajo.

Las causas técnicas hacen referencia a condiciones peligrosas o inseguras del entorno de trabajo. Estas causas son las de más fácil solución, solo hay que descubrir dónde se origina el riesgo y adoptar las medidas técnicas necesarias para evitarlo. Algunos ejemplos son: falta de mantenimiento preventivo de los equipos y maquinaria, déficit de equipos de protección individual, carencia de dispositivos de seguridad en los equipos de trabajo, inadecuadas condiciones de los lugares de trabajo, deficiente señalización, escasa comunicación entre la empresa y los trabajadores, falta de orden y limpieza e instalaciones eléctricas inadecuadas. [1]

2.2 Procesos de manufactura previos a la soldadura de aceros al carbono

Existen un amplio grupo de procesos de manufactura en los cuales las herramientas ejercen esfuerzos sobre la pieza de trabajo que las obliga a tomar una forma geométrica diferente.

2.2.1 Operaciones de corte

2.2.1.1 Cizallado

Es la operación de corte de una lámina de metal a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte como se observa en la figura 2.3. El cizallado se usa típicamente para reducir grandes láminas a secciones más pequeñas para operaciones posteriores de prensado. Se ejecuta en una máquina llamada cizalla de potencia o cizalla recta. La cuchilla superior de la cizalla de potencia está frecuentemente sesgada, para reducir la fuerza requerida de corte. [11]

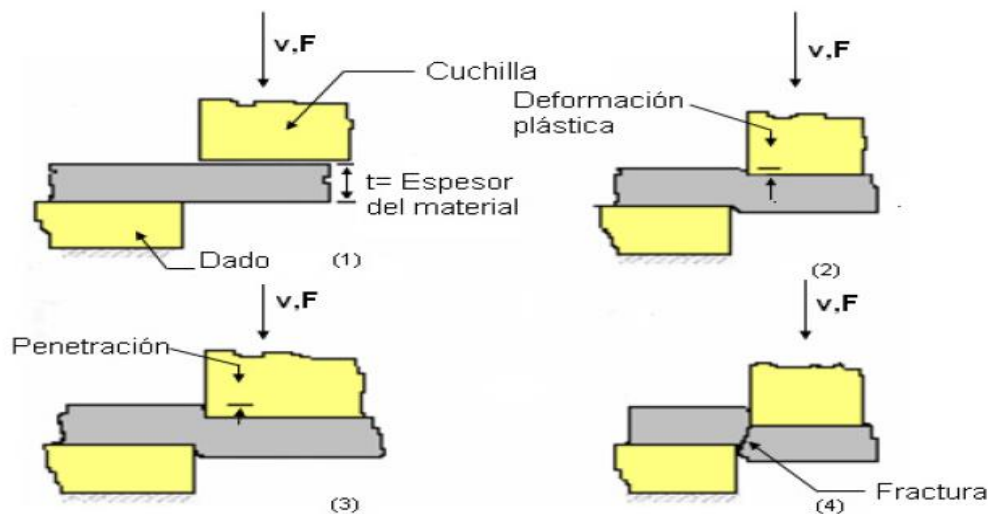


Figura 2. 3 Esquema de proceso de cizallado [11]

2.2.1.2 Punzonado

El punzonado implica el corte de una lámina de metal a lo largo de una línea cerrada en un solo paso para separar la pieza del material circundante como se observa en la figura 2.4. La parte que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o pieza deseada. El perforado es muy similar al punzonado, excepto que la pieza que se corta se desecha y se llama padecería. El material remanente es la parte deseada. [11]

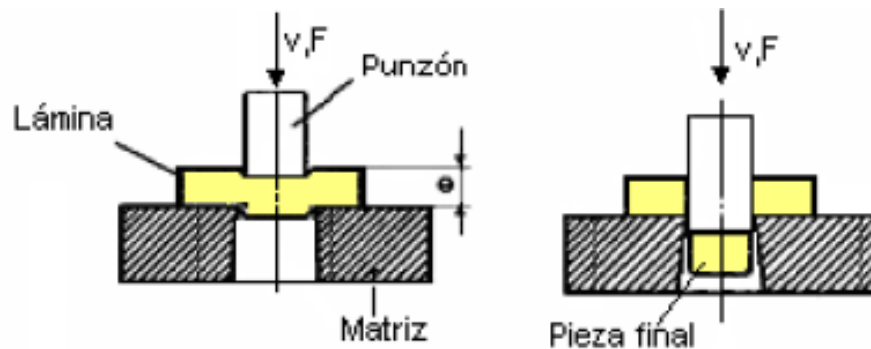


Figura 2. 4 Esquema de proceso de punzonado [11]

2.2.1.3 Corte por chorro de agua abrasivo

El corte por chorro de agua abrasivo consiste en un sistema de agua presurizada a 55.000 libras por pulgada cuadrada (psi), utilizando granate como abrasivo mezclado en el chorro de agua. El agua es forzada a través de un orificio de precisión de aproximadamente 0.013 pulgadas de diámetro. Un abrasivo, usualmente granate, se le agrega al agua.

La mezcla agua/abrasivo, que viaja a una velocidad de más de tres veces la velocidad del sonido, corta rápida y precisamente materiales duros con una precisión de ± 0.005 " y una repetibilidad de ± 0.0025 " [12].

2.2.1.4 Corte por láser

Durante su evolución, desde una nueva tecnología hasta llegar a ser un proceso comprobado, eficiente y flexible, el corte por láser se ha consolidado como la herramienta indicada para la producción justo a tiempo, con almacenamiento mínimo de piezas y como un medio indispensable en el proceso moderno de láminas.

El efecto láser se genera al excitar las moléculas de las sustancias “láser activas”, es decir, aquellas que emiten radiación láser como el CO₂, cristales de rubí, mezclas cristalinas de neodimio, aluminio, óxido de itrio y granate-NdYag-láser, tal excitación puede ser hecha mediante alta frecuencia (HF), descargas eléctricas (DC) o mediante impulsos de luz. La sustancia es sometida a la excitación en un ambiente físico denominado resonador. Inicialmente, el rayo láser es transportado desde el resonador al cabezal de corte y enfocado mediante lentes especiales en una zona que abarca entre 0.1 a 0.3 mm de diámetro, la cual se ubica sobre la superficie del material a unas cuantas décimas de milímetro de éste.

El corte por láser puede ser 100 por ciento energético: en este caso el intenso calor del rayo láser concentrado, funde el material a trabajar (acero inoxidable o aluminio típicamente) en un área muy estrecha –normalmente entre 0.2 mm o menos.

En seguida, un flujo de gas (aire o nitrógeno) que actúa junto con el rayo láser, expulsa al material fundido por la parte inferior de la lámina y finalmente, la zona de corte debe moverse en la lámina a trabajar para producir el perfil de corte requerido. Así mismo el corte puede incluir un proceso de oxidación (en el caso de los aceros al carbono) en el cual el oxígeno es el gas de corte. La cabeza de corte, la lámina a procesar, o ambos, pueden ser movidos dependiendo del diseño de la máquina [13].

Tabla 2. 4 Fases de generación de láser [13]

<p>1. Medio interno – Dióxido de carbono</p>		<p>El compresor hace circular la mezcla de gas láser a través del resonador y los intercambiadores de calor. Estos últimos tienen a su vez la función de enfriar el gas láser con el fin de mantener la potencia de salida y eficiencia.</p>
<p>2. Fuente de excitación – corriente DC</p>		<p>Un alto voltaje DC se aplica al gas láser, causando un resplandor y un estado de plasma en la descarga.</p>
<p>3. Amplificación Óptica – Resonador láser.</p>		<p>La corriente DC excita las moléculas de CO₂ a un estado de energía más alto, estimulándolas a emitir fotones o unidades de energía luminosa.</p>
<p>4. Rayo láser dentro de la cavidad del resonador láser</p>		<p>Los fotones se mueven de un lado hacia otro debido a que se reflejan en los espejos ubicados en los extremos del resonador, mientras estimulan la emisión de más fotones. Un porcentaje de los fotones emitidos “pasan” a través de un elemento óptico parcialmente transmisivo denominado acoplador de salida.</p>

2.2.1.5 Corte por plasma

El corte con plasma es un proceso térmico de alta velocidad que utiliza un arco eléctrico finamente controlado para cortar la mayoría de los metales comunes [27].

El corte por plasma emplea una temperatura extremadamente alta, un arco constrictor de alta velocidad que se establece entre el electrodo ubicado en la pistola y la pieza a cortar.

El arco se contrae haciéndolo pasar a través de una boquilla de orificio pequeño.

El arco se localiza de tal forma que su energía se concentra en una pequeña área de la plancha que se cortará, donde su intenso calor funde el metal.

El gas que es precalentado por el arco, se expande y se acelera ya que es forzado a fluir a través del orificio constrictor. El metal fundido es expulsado continuamente por la acción del chorro de gas inyectado a través del orificio constrictor.

En general el sistema de corte por plasma es un proceso en que un arco establecido entre un electrodo de tungsteno y la boquilla forma una columna gaseosa altamente ionizada que es forzada a pasar a través de un pequeño orificio como se muestra en la figura 2.5, produciendo temperaturas superiores a 17 000 C°. Cuando este plasma a gran velocidad y alta temperatura choca con la pieza, el calor funde rápidamente el metal y lo expulsa lejos.

Este proceso tiene como ventaja cortes limpios, precisos, baja pérdida de material y mínima zona afectada por el calor.

El sistema plasma es una herramienta de corte y ranurado altamente versátil y altamente productivo. La habilidad del proceso de plasma para desempeñar varios procesos y aplicaciones, para operar en lugares variados, y para trabajar sobre tipos, formas y grosores de metal variados le dan ventajas que lo distinguen por encima de tecnologías de corte competitivas.

La versatilidad del plasma hace, además, que el trabajo sea más fácil para la compañía ya que los trabajadores pueden usar la misma máquina de corte con plasma para casi cualquier cosa que estén cortando [27].

Los sistemas de corte con arco de plasma proporcionan lo siguiente:

- Altas velocidades de corte
- Versatilidad de aplicaciones
- Alta productividad
- Operación costo-efectiva

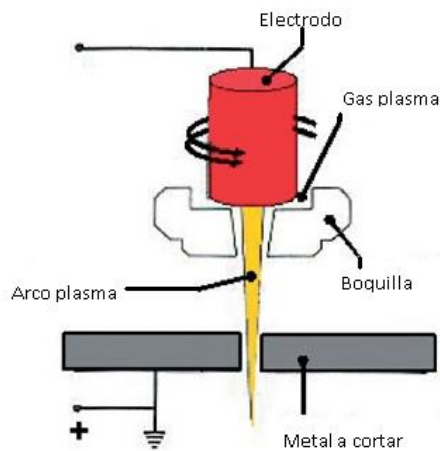


Figura 2. 5 Corte por plasma [22]

2.2.2 Maquinado

El maquinado es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la parte deseada. La acción predominante del corte involucra la deformación cortante de material de trabajo para formar viruta, al removerse la viruta queda expuesta una nueva superficie.

Existen muchas clases de operaciones de maquinado, cada una de las cuales es capaz de generar una cierta geometría y textura superficial. Los tres tipos más comunes son, torneados, taladrado y fresado.

2.2.2.1 Torneado

En esta operación se usa una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de la pieza de trabajo giratoria para dar forma a un cilindro. El movimiento de velocidad del torneado lo proporciona la parte de trabajo giratoria y el movimiento de avance lo realiza la herramienta de corte, moviéndose lentamente en una dirección.

2.2.2.2 Taladrado

Este proceso se usa para crear un agujero redondo. Esto se realiza generalmente con una herramienta rotatoria que tiene dos filos cortantes. La herramienta avanza en una dirección paralela a su eje de rotación dentro de la parte de trabajo para formar el agujero redondo.

2.2.2.3 Fresado

En el fresado, una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento de velocidad lo proporciona la fresa rotatoria. Hay varias formas de fresado siendo las dos básicas el fresado periférico y el fresado de frente [14].

2.2.3 Rolado o laminado

El laminado es el proceso de reducir el espesor o modificar la sección transversal de una pieza larga mediante fuerzas de compresión aplicadas a través de un juego de rodillos. La laminación, que representa aproximadamente el 90% de todos los metales producidos usando procesos de metalurgia.

La laminación primero se efectúa a temperaturas elevadas, durante esta fase, la estructura de grano basta, frágil y porosa del lingote o del metal continuamente colado se reduce a una estructura laminada con un tamaño de grano más fino y mejores propiedades. [15]

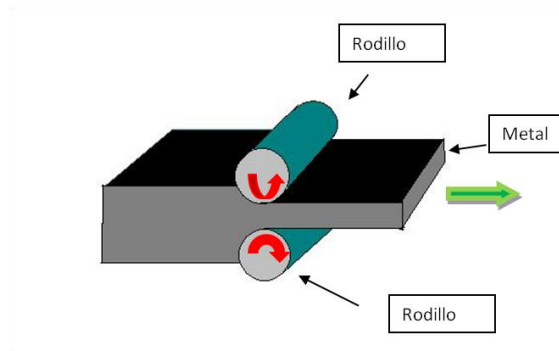


Figura 2. 6 Esquema de rolado

2.3 Aceros utilizados en la manufacturación de maquinaria para minería y construcción

Actualmente las exigencias derivadas de la competitividad existente en la industria manufacturera de equipos y maquinaria para construcción han llevado a las empresas de este ramo a buscar los mejores materiales para entregar la mayor calidad a sus clientes. Es por esto que se tiene un creciente interés en las propiedades con las que cuentan los materiales utilizados como materia prima para la elaboración de su producto.

En la manufacturación de equipos y maquinaria para la construcción es claramente observable que la principal materia prima es el acero. El acero tiene diferentes clasificaciones según las propiedades con las que cuenta y según el trabajo que se desea que realice. En especial cuando éste será sometido a grandes cargas y esfuerzos durante ciclos continuos de trabajo, esta gran exigencia se debe tener en cuenta al considerar las propiedades que puede entregar el acero que se utilizará.

2.3.1 Definición y características del acero

Esencialmente, el acero es una aleación de dos elementos: hierro y carbono, con este último en una proporción que varía de unas pocas centésimas de uno por ciento, a cerca de 1.60 por ciento [16]. Todos los aceros contienen porciones variables de otros elementos que imparten propiedades especiales. En general se puede entender como acero a aquella aleación de hierro y carbono, que recibe propiedades específicas de elementos como el cromo y el níquel, donde también pueden estar presentes el silicio, manganeso, cobre, y otros elementos [17].

En todo caso, es el resultado de una transición metalúrgica, que se desarrolla en el horno. En el cual se obtiene la refinación del hierro en lingotes y acero viejo, lo que se realiza en virtud de reacciones de temperatura y escoria, en las cuales se reducen cantidades de carbono y silicio, mientras el contenido de otros elementos se aumenta o disminuye, de acuerdo con la clase de acero que se desea fabricar[16].

Dichos elementos de aleación inciden directamente en las propiedades con las que contará el acero, estos elementos se incorporan principalmente por las siguientes razones:

- 1) Mejorar las propiedades mecánicas por regulación de los factores que influyen en la templabilidad.
- 2) Mejorar las propiedades mecánicas a elevadas y bajas temperaturas.
- 3) Mejorar la resistencia a la corrosión,
- 4) Influir en otras propiedades especiales.

La acción general de los elementos de aleación sobre las propiedades del acero está relacionada, principalmente, por la forma como se hallan en el mismo, ya sea a temperatura ambiente o en el estado austenítico, y a la conexión que existe entre una situación y otra [18].

2.3.2 Clasificación de aceros para construcción de partes de maquinaria

En 1912, la Sociedad Americana de Ingenieros Automotores (SAE) promovió una reunión de productores y consumidores de acero, con el fin de establecer una nomenclatura de la composición de los aceros. Más tarde, el Instituto Americano de Hierro y del Acero (AISI) tomó esa nomenclatura y la expandió.

En el sistema AISI / SAE, los aceros para partes de maquinaria se clasifican con cuatro dígitos.

El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos dan la cantidad de carbono en centésimas más 0.02 % o menos 0.03 %. En algunos aceros al cromo de alto carbono hay números de cinco dígitos, los tres últimos dan el porcentaje de carbono [19].

Las convenciones para el primer dígito son:

1. Carbono
2. Níquel
3. Níquel - Cromo. Principal aleante el níquel
4. Molibdeno
5. Cromo
6. Cromo - vanadio
7. No se fabrican.
8. Níquel - cromo - molibdeno, principal aleante el molibdeno
9. Níquel - cromo - molibdeno, principal aleante el níquel

La siguiente tabla muestra las principales series de aceros AISI-SAE que se producen para construcción de partes de máquinas.

Tabla 2. 5 Principales aceros para construcción de partes de maquinaria [19]

Designación	Tipo
10XX	Aceros ordinarios al carbono
11XX	Aceros al carbono resultados
12L14	Aceros al plomo con 0.14 % de carbono
13XX	Aceros con 1.75 % de Mn (1.5 - 2.0 % de Mn)
15XX	Aceros al Mn (1.0 - 1.65 %)
23XX	Aceros al níquel, 3.5 % de Ni.
31XX	Aceros al níquel - Cromo, 1.25 % Ni - 0.65 % Cr
34XX	Aceros al níquel - Cromo, 3.0 % Ni - 0.70 % Cr
40XX	Aceros al molibdeno. 0.25 Mo
41XX	Aceros con cromo (0.40 - 1.20 %), Mo (0.08 - 0.25%)
43XX	Aceros al Ni- Cr- Mo.(1.8%Ni- 0.65%Cr- 0.25%Mo)
50XX	Aceros al Cr. (Bajo cromo 0.28-0.40 %)
51XX	Aceros medio cromo. (0.80-1.05 %)
50XXX	Aceros resistentes al desgaste con 0.50 % Cr
51XXX	Aceros medio cromo (0.80 - 1.05 %)
52XXX	Aceros resistentes al desgaste, alto cromo 1.45 % Cr
61XX	Aceros al cromo vanadio. (0.75 %Cr- 0.15% V)
8XXX	Aceros de triple aleación
86XX	0.55%Ni; 0.50% Cr; 0.20 % Mo
92XX	Aceros al silicio- manganeso (2.0% Si- 0.80 % Mn)
98XX	Aceros de triple aleación. 1.0% Ni- 0.8% Cr-0.2Mo)
XXBXX	Aceros con boro. Mínimo 0.0005 % B)
XXBVXX	Aceros al boro-vanadio
XXXXH	Aceros con banda de templabilidad
EX	Nuevos tipos de aceros con designación temporal

2.3.3 Aceros de alta resistencia y baja aleación

El acero presenta excelentes características mecánicas referentes a rigidez., resistencia, aptitud para el mecanizado, conformación plástica, además de ser relativamente barato de obtener. Para mejorar sus propiedades mecánicas o químicas, el acero constituye una buena base para obtener aleaciones específicas, y admite asimismo, diferentes tratamientos mecánicos o químicos [20].

Para fabricar los aceros de alta resistencia se utilizan en la aleación: el titanio, niobio, cromo o boro. En las propiedades termomecánicas del acero influyen aspectos como la temperatura de laminación, las velocidades de enfriamiento o los ciclos de recocido [20].

Los aceros de alta resistencia y baja aleación resultan más baratos que los aceros aleados convencionales al contener cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo estos aceros reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono [20]. Los aceros hsla se caracterizan típicamente por su relación entre la resistencia a la cedencia y su porcentaje de elongación como se muestra en la figura 2.7.

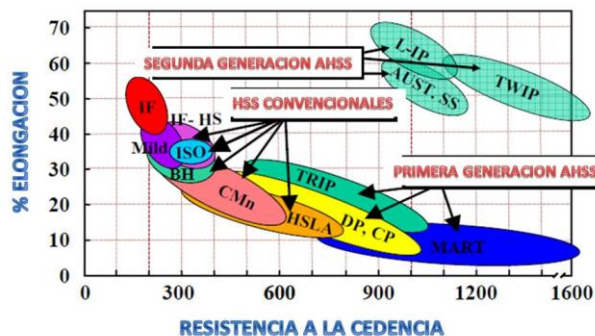


Figura 2. 7 Comparación de resistencia a la cedencia y % de elongación para aceros de alta resistencia [25]

2.3.3.1 Clasificación de aceros HSLA

Los aceros de alta resistencia baja aleación incluyen muchos grados estándar designados para proveer combinaciones de propiedades deseadas entre las cuales se pueden mencionar la resistencia, tenacidad, formabilidad y soldabilidad. Los aceros HSLA son clasificados como una categoría separada de los aceros de aleación, con propiedades mecánicas mejoradas obtenidas por la adición de pequeñas cantidades de elementos de aleación y técnicas de procesamiento especiales.

Aceros microaleados ferrítico- perlíticos

Este tipo de aceros contienen pequeñas cantidades de elementos formadores de carburos o carbonitruros tales como el niobio, el vanadio y/o titanio para el endurecimiento por precipitación, refinamiento de grano y posiblemente control de la temperatura de transformación. Las propiedades mecánicas pueden incrementarse y mejorar la microestructura mediante la adición de manganeso y silicio [24].

Aceros perlíticos laminados

Estos aceros pueden incluir aceros al carbono- manganeso, pueden tener algunas pequeñas adiciones de aleantes para mejorar la resistencia, tenacidad, formabilidad, y soldabilidad [25].

Aceros de ferrita acicular

En el caso de estos aceros son de bajo carbono aproximadamente menos de 0.05% con una excelente combinación de esfuerzo de cedencia, soldabilidad, formabilidad y buena tenacidad [25].

Aceros de doble fase

Poseen una muy buena combinación de ductilidad y alta resistencia a la tensión gracias a una microestructura de martensita que se encuentra dispersa en una matriz de ferrita [25].

Aceros con inclusiones de forma controlada

En estos aceros gracias a pequeñas adiciones de calcio, zirconio y titanio para que la forma de las inclusiones de azufre sea cambiada de tiras alargadas, a pequeños glóbulos casi esféricos, proveen propiedades como ductilidad y tenacidad [25].

2.3.3.2 Elementos microaleantes

Dentro de los elementos aleantes para los aceros HSLA se consideran el Nb, V, Ti, Al y B. los cuáles serán abordados brevemente a continuación.

Vanadio (V).- El efecto principal que tiene este elemento sobre este tipo de acero es la refinación de grano, además de mejorar las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, la dureza en caliente y reduce el crecimiento de grano, siendo por tanto un elemento que mejora la resistencia a la tensión y al punto de cedencia [23].

Se emplea principalmente para la fabricación de aceros de herramientas, y disminuye la templabilidad. Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene una gran tendencia a formar carburos, por esta razón, basta con añadir pequeñas cantidades. Pocos aceros, excepto los de herramientas, contienen más de 0.02% de Vanadio. Una característica de los aceros con vanadio es su gran resistencia por ablandamiento por revenido [23].

Niobio (Nb).- Este elemento es principalmente utilizado como estabilizador, evita la precipitación de carburos entre 500-800°C, mejora la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas, refina el grano de ferrita.

En niobio en cantidades pequeñas de alrededor de 0.002% incrementan significativamente la resistencia a la tensión y la resistencia a la cedencia de aceros al carbono [23].

Titanio (Ti).- Es un elemento microaleante empleado principalmente para formar carburos, además de tener excelentes propiedades de refinamiento de grano. Favorece la resistencia por envejecimiento [23].

Aluminio (Al).- Este elemento es un desoxidante y empleado en cantidades pequeñas restringe el crecimiento de grano, si está en combinación con nitrógeno reduce la susceptibilidad de deformación por envejecimiento y además forma nitruros de alta dureza, así como mejora la resistencia a la

desoxidación a temperaturas elevadas. Es un fuerte refinador de grano lo cual hace aumentar la resistencia a la cedencia [23].

Boro (B).- El Boro es un fuerte endurecedor sólido, este elemento funde aproximadamente a 2300°C, se adiciona en los aceros fabricados al boro. Logra incrementar la dureza en los aceros cuando es adicionado en pequeñas cantidades que van entre 0.0005 y 0.005%, así también permite reducir el contenido de otros elementos de aleación costosos manteniendo las mismas características. En cantidades adecuadas mejora sus propiedades mecánicas de maleabilidad y maquinabilidad [23].

2.3.3.3 Microestructura de los aceros HSLA

La microestructura de los aceros HSLA consiste en una matriz de granos de ferrita equiaxiales a través de la cual se encuentra una pequeña fracción volumétrica de perlita localizada en los bordes de grano.

Esta ferrita contiene una baja densidad de dislocaciones y es conocida como ferrita poligonal teniendo como característica el pequeño tamaño de grano de la ferrita. La perlita presenta una morfología laminar en bandas elongadas en el sentido de rolado.

En este tipo de aceros tener una combinación correcta entre el electrodo que se utilizará para soldar con el proceso GMAW y el gas de protección que se utiliza es de suma importancia ya que en estudios anteriores como el realizado por S. Mukhopadhyay y T.K. Pal en 2004 se ha observado que algunos constituyentes microestructurales están influenciados por el contenido de oxígeno y dióxido de carbono en el gas de protección, en el caso del alambre sólido se vio un aumento en el límite de tensión y en el esfuerzo de fatiga con el aumento de oxígeno, por lo tanto se puede decir que el gas de soldadura en el proceso GMAW en combinación adecuada de alambre de relleno en aceros HSLA puede modificar las propiedades del metal de soldadura para entregar las características deseadas y aceptables [26].

2.4 Proceso de manufactura de piezas de maquinaria para minería y construcción

2.4.1 Proceso de corte por flama

Los procesos de corte por gas oxicomcombustible separan o eliminan metal mediante la reacción química del oxígeno con el material a temperaturas elevadas, la temperatura se mantiene con una flama de gas que arde en oxígeno. En el caso de metales resistentes a la oxidación, la reacción se acelera mediante la utilización de fundentes o polvos metálicos introducidos al chorro de oxígeno de corte.

La operación de corte propiamente dicha la realiza el chorro de oxígeno, la llama de oxígeno-gas es utilizada para el precalentamiento del metal a una temperatura aceptable para realizar y mantener el corte.

El soplete es una herramienta muy versátil y manejable con la cual se pueden realizar tanto cortes rectos como curvos, el equipo es de fácil manipulación, transporte y económico.

El principio de funcionamiento se basa en el calentamiento de metal por medio de la oxidación y la remoción del metal con el mismo oxígeno.

Al aumentar el espesor del material es necesario aumentar el flujo del oxígeno de corte y de los gases de precalentamiento. Se necesitan boquillas de corte más grandes para aumentar el flujo de gases, en consecuencia el ancho del corte incrementa al aumentar el espesor del material cortado.

El oxígeno empleado para las operaciones de corte debe tener 99.5% de pureza mínimo. Una disminución de 1% de pureza resultara en una disminución de 15% en la velocidad de corte y un aumento de 25% de consumo de oxígeno de corte.

El corte con gas oxicomcombustible se utiliza para cortar espesores dentro de un intervalo muy amplio, desde aproximadamente 3 hasta 2100 mm (1/8 a 84 pulg.)

Entre las limitaciones de este proceso de corte se puede observar que la quema de combustible y la oxidación de metal requiere un control de emisiones apropiado y una ventilación adecuada, además en cuanto al corte de acero endurecible se puede requerir precalentamiento, poscalentamiento, o ambas cosas, para controlar sus estructuras metalúrgicas y propiedades mecánicas en la vecindad de bordes cortados [29].

2.4.1.1 Remanentes del corte por flama

La propiedad excepcional de los óxidos de Fe, de fundirse a temperaturas menores que el Hierro puro, hace posible el fenómeno del oxicorte. Por ello, la condición para que funcione adecuadamente el proceso, es verificar que el metal a cortar tenga puntos de fusión superiores a los de sus óxidos; requisito que se cumple, básicamente, en los aceros.

El Hierro puro alcanza un calentamiento máximo de 1.530 °C (2.790°F) mientras sus óxidos logran un punto de fusión en 1.400 °C (2.550 °F); en comparación, el óxido de Aluminio posee un punto de fusión que se encuentra a más de 1.000 °C (3.830°F) por encima del metal puro; precisamente por éste motivo metales como el Al, Mg o Cr no pueden ser cortados por este proceso.

Trabajar con materiales compuestos por elementos como carbono, níquel, cromo, manganeso y silicio puede provocar un efecto negativo en el oxicorte, incluso en concentraciones bajas, ya que cada uno de ellos actúa como contaminante y presenta una composición tan compacta que el haz de oxígeno no logra oxidar el metal con facilidad.

Algunos metales llegan a producir grandes cantidades de escoria y óxido, por ello el operario debe tener presente que estos materiales requieren un

mayor precalentamiento para penetrar en la superficie protectora que es menos reactiva al oxígeno; además trabajar con metales laminados o con alguna composición afecta notablemente el quemador, pues ambos actúan como barreras que impiden la oxidación continua del metal y origina una pérdida del corte. [30]

Algunos defectos en la superficie del corte son caracterizados por la pérdida de continuidad del corte, produciendo separación, total o parcial, entre las superficies de corte como se observa en la figura 2.8.

Por ejemplo zonas aisladas de corte interrumpido en donde se manifiesta la aparición de material remanente, no cortado. Este defecto se debe a una velocidad de corte excesiva o a una llama demasiado débil que no traspasa todo el espesor del material, este defecto también se puede producir en grupos aislados e irregularidades distribuidos a lo largo de una zona.

Otro defecto que puede presentar el corte por flama en la cara de corte son las zonas erosionadas en la parte inferior, este fenómeno esta caracterizado por grandes zonas erosionadas durante intervalos irregulares, situados en la parte inferior como consecuencia usual de una velocidad de corte excesivamente lenta [31].

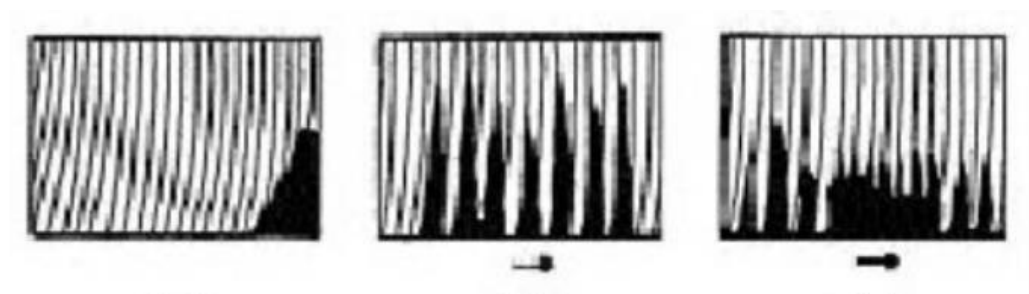


Figura 2. 8 Defectos principales en la superficie de corte [31]

Otro de los principales defectos que se pueden encontrar en el corte por flama es la aparición de escoria los depósitos de escoria en la parte inferior o

central de la superficie del corte son un defecto muy perjudicial puesto que sólo pueden ser eliminados con dificultad.

Las inclusiones de escoria en la cara de corte se deben a un contenido en aleantes demasiado alto en conjunto con las inclusiones de escoria se encuentran los defectos de agrietamiento estas grietas pueden aparecer dentro o sobre la superficie de corte y son atribuibles al material. Las grietas visibles son mucho más frecuentes que las internas, en el proceso de corte por flama se pueden presentar grietas dadas por el contenido de carbono o una elevada cantidad de aleantes, por un acero susceptible a rotura térmica, insuficiente tratamiento térmico de la pieza o enfriamiento demasiado rápido de la pieza [31]

2.4.2 Proceso de maquinado en aceros para la industria manufacturera de maquinaria de construcción y minería

Todos los procesos de maquinado involucran la formación de virutas a través de la deformación de la pieza de trabajo en la superficie de trabajo con ayuda de una herramienta de corte. Además la cantidad de deformación que el material sufre no solo determina el tipo de viruta sino también determina la calidad de las superficies maquinadas (por ejemplo la rugosidad, la microestructura y los esfuerzos residuales)

Los tipos de viruta formada son un indicador de la deformación y la calidad de la superficie durante el proceso de corte, estas virutas pueden ser continuas, discontinuas y continuas con filo de aportación dependiendo de los aceros que se maquinen y la herramienta que se utilice.

2.4.2.1 Efecto de la temperatura del maquinado en los materiales

La temperatura tiene un efecto muy significativo en casi todas las propiedades de los materiales. Los materiales tienen menor resistencia y una menor ductilidad a temperaturas elevadas. La mayoría de los metales pueden conformarse más fácilmente cuando están a temperaturas elevadas.

Las propiedades térmicas juegan un papel muy importante en el procesado de metales, por que la generación de calor es común en muchos procesos. En algunas operaciones, el calor aportado es la propia energía que realiza el proceso y en otros procesos se genera calor a consecuencia del mismo proceso.

La conductividad térmica sirve para disipar el calor en los procesos de mecanizado, algunas veces benéficamente y otras no. En algunos procesos mecánicos, tales como conformados de metales y mecanizado, una gran parte de la potencia requerida para realizar dichos procesos es convertida en calor.

La capacidad del material de trabajo y de las herramientas para conducir el calor fuera de la fuente donde se genera es muy deseable en estos procesos.

La potencia consumida en el corte se invierte en la deformación plástica de la viruta y en los distintos rozamientos. Estos trabajos se convierten en calor que se invierte en aumentar las temperaturas de la viruta, la herramienta y la pieza de trabajo.

Un calentamiento excesivo de la pieza de trabajo puede variar las propiedades del material debido a cambios microestructurales por efectos térmicos, también puede afectar a la precisión del mecanizado al estar mecanizando una pieza dilatada que a temperatura ambiente se puede contraer.[32]

El hierro sufre cambios estructurales con la temperatura antes de fundir. A temperatura ambiente la forma estable es la ferrita o Fe- α (estructura CCI). A 912 °C la ferrita sufre una transformación polimórfica a austenita o Fe- γ (CCC). La austenita se transforma a otra fase CCI a 1394 °C que se conoce como ferrita- δ , la cual funde a 1538 °C.

En aleaciones Fe-C la microestructura que se desarrolla depende tanto del contenido en carbono como del tratamiento térmico. Si el enfriamiento es muy lento se dan condiciones de equilibrio pero si los enfriamientos son muy rápidos se producen procesos que cambian la microestructura y por tanto las propiedades mecánicas.

La temperatura es uno de los principales factores que influyen en el desgaste de la herramienta, y las deformaciones en la pieza. Determinar técnicamente con precisión las temperaturas en el área de corte es muy difícil, pues existen tres fuentes principales de calor en la zona de formación de la viruta, siendo estas:

- La zona primaria de generación de calor: es el área de cizallamiento dónde la deformación plástica de la viruta es la fuente de generación de calor más grande del proceso.
- La zona secundaria de generación de calor: es la zona de interface viruta-herramienta donde ocurre una deformación plástica adicional de las virutas generándose una considerable cantidad de calor debido a la fricción de las virutas con la superficie de salida de la herramienta.
- La zona terciaria de producción de calor: según el Jasper (1998) puede despreciarse cuando se considera una herramienta afilada, pues ocurre en la superficie de incidencia de la herramienta al estar en contacto con la pieza y cuando esta no tiene desgaste el contacto entre la pieza y la herramienta es mínimo.

Sales en 1999 dentro de su investigación “No siempre el fluido con mayor poder de refrigeración asegura temperaturas de corte mas bajas”, menciona que el calor generado por el cizallamiento en el interior de la zona de corte puede ser considerado beneficioso, pues este calor aumenta la temperatura en las zonas primarias y secundarias, contribuyendo a aumentar la deformación plástica. De esta manera, el calor generado en el proceso de formación de virutas es un aliado de la herramienta debido al ablandamiento de la zona de formación de la viruta reduciendo la resistencia mecánica del material, pero al mismo tiempo aumenta la temperatura de la herramienta, perjudicando su resistencia. [33].

Según L. Cardoso Brandao y colaboradores en 2005 al realizar un estudio teórico-experimental de la conducción del calor en los materiales al maquinarlos con altas velocidades de corte, demostraron mediante pruebas la variación de la temperatura en función de los diferentes sistemas de refrigeración utilizando aire comprimido, aire comprimido frio y comparando las temperaturas de las probetas con el sistema sin refrigeración de ningún tipo. Evaluaron también las deformaciones sufridas por la superficie maquinada, debido a las variaciones de temperatura teniendo en cuenta la influencia de los sistemas de refrigeración empleados y concluyendo que los dos métodos de enfriamiento utilizados para el maquinado, alternativo a los fluidos de uso tradicional, se mostraron eficaces para el enfriamiento de los cuerpos de prueba, permitiendo reducir la temperatura de las piezas satisfactoriamente. La medición de la topografía de la superficie maquinada mostró que los diferentes sistemas de enfriamiento permitieron distorsiones de $30\mu\text{m}$ hasta $85\mu\text{m}$ dependiendo del acero [34].

2.5 Efecto de los remanentes de procesos de manufactura en la calidad de las uniones

2.5.1 Óxido presente en el metal de soldadura

Los metales sometidos a altas temperaturas tienden a formar capas de óxido en la superficie, estas capas pueden formarse durante distintas operaciones, por ejemplo, en la fundición, forja, laminado en caliente, recocido y corte de placas.

La composición de estos óxidos y su estructura física depende en gran medida de las condiciones en que se forma. [35] Los óxidos de hierro presentan diferentes formas cristalinas como se aprecia en la figura 2.9, en el diagrama de hierro-oxígeno se observa que los óxidos estables a altas temperaturas son:

La wustita (FeO). Esta fase es la de menor concentración de oxígeno, tiene arreglo cristalográfico cúbico tipo NaCl formado por grandes iones de oxígeno con pequeños iones de hierro en sitios intersticiales [36].

Hematita (Fe_2O_3) Se considera a este compuesto como estequiométrico y tiene un arreglo romboédrico, el cual se puede considerar como una hexagonal compacta distorsionada, en donde los iones de oxígeno forman la hexagonal compacta, y los iones de hierro se colocan en los intersticios [36].

Magnetita (Fe_3O_4) Este óxido tiene una concentración baja de oxígeno, existe una región en la cual varía la concentración de oxígeno [36].

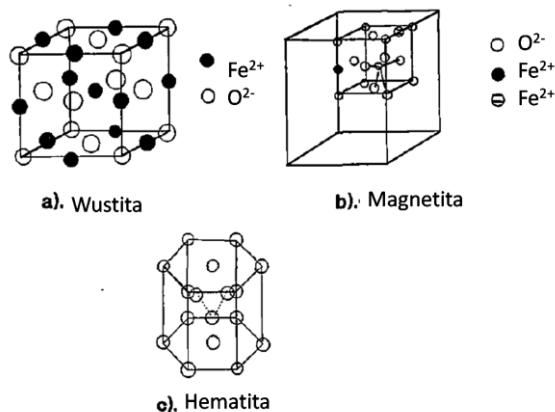


Figura 2. 9 Estructura cristalina de los óxidos de hierro [36]

En 2012 Chan-Woo Yang y colaboradores llevaron a cabo un estudio en cual se presentan las relaciones estructura-propiedad, de las escalas de óxido e interfaces formadas en aceros al carbono. En el cual seleccionaron cuatro aceros diferentes que tienen los mismos elementos de aleación, pero diferentes composiciones los cuales se muestran en la tabla 2.5. [37]

Tabla 2. 6 Composición química (% en peso) de aceros sometidos a estudio [37]

Nombre de las aleaciones muestra	C	Si	Cr	Mn	Ni	Cu
ULCS	<0.003	2.0	0.01	0.15	0.007	0.009
MCS	.500	0.04	0.06	0.70	0.010	0.029
MCS-Si	.470	0.195	0.020	0.708	0.010	0.006
HCS	.800	0.170	0.163	0.397	0.008	0.008

De acuerdo al análisis de microscopía óptica se definió el promedio de espesor de la cascarilla de óxido que se mantuvo en el sustrato estos resultados se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2. 7 Promedio de espesor de cascarilla de óxido en cada acero [37]

Nombre de las aleaciones muestra	Promedio de espesor de cascarilla de óxido
ULCS (Bajo carbono)	42 μm
MCS (Medio carbono)	Se desprendió la cascarilla del sustrato
MCS-Si (Medio carbono alto silicio)	50 μm
HCS (Alto carbono)	65 μm

La cascarilla de oxido de cada acero fue sometida a un análisis por medio de difracción de rayos x de alta resolución en donde se encontró la formación de diferentes configuraciones de óxidos como se muestra en la figura 2.10 y se caracterizan en la tabla 2.7

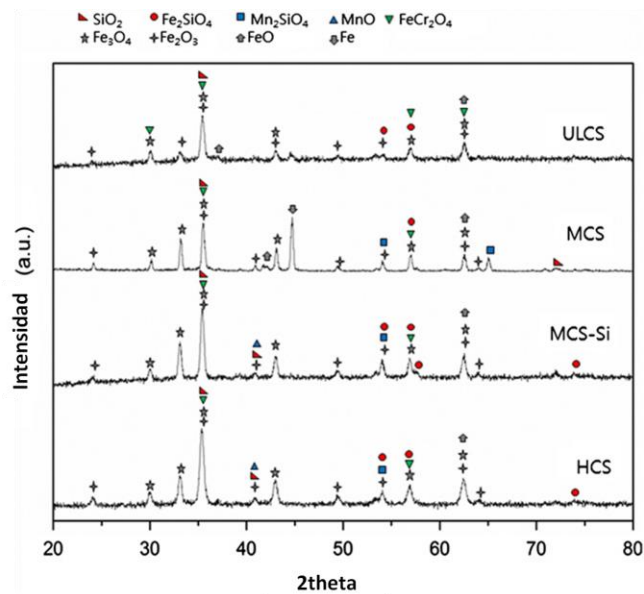


Figura 2. 10 Análisis por difracción de rayos X [37]

Tabla 2. 8 Óxidos presentes en los aceros [37]

SiO ₂	Oxido de silicio
Fe ₂ SiO ₄	Fayalita
Mn ₂ SiO ₄	Tefroita
MnO	Oxido de manganeso
FeCr ₂ O ₄	Cromita
Fe ₃ O ₄	Magnetita
Fe ₂ O ₃	Oxido férrico
FeO	Oxido ferroso

Las microestructuras se analizaron por sonda electrónica de micro-análisis (EPMA) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Mediante estas técnicas fue posible observar en las figuras 2.11 y 2.12 la concentración de oxido en las muestras con cascarilla de oxido adherido, en las cuales la muestra ULCS de bajo carbono mostro una concentración de oxido notablemente mayor en comparación a la concentración encontrada en las muestras MCS-Si de medio carbono y concentración de silicio considerable y la muestra HCS de alto carbono y una concentración de silicio similar a la anterior [37].

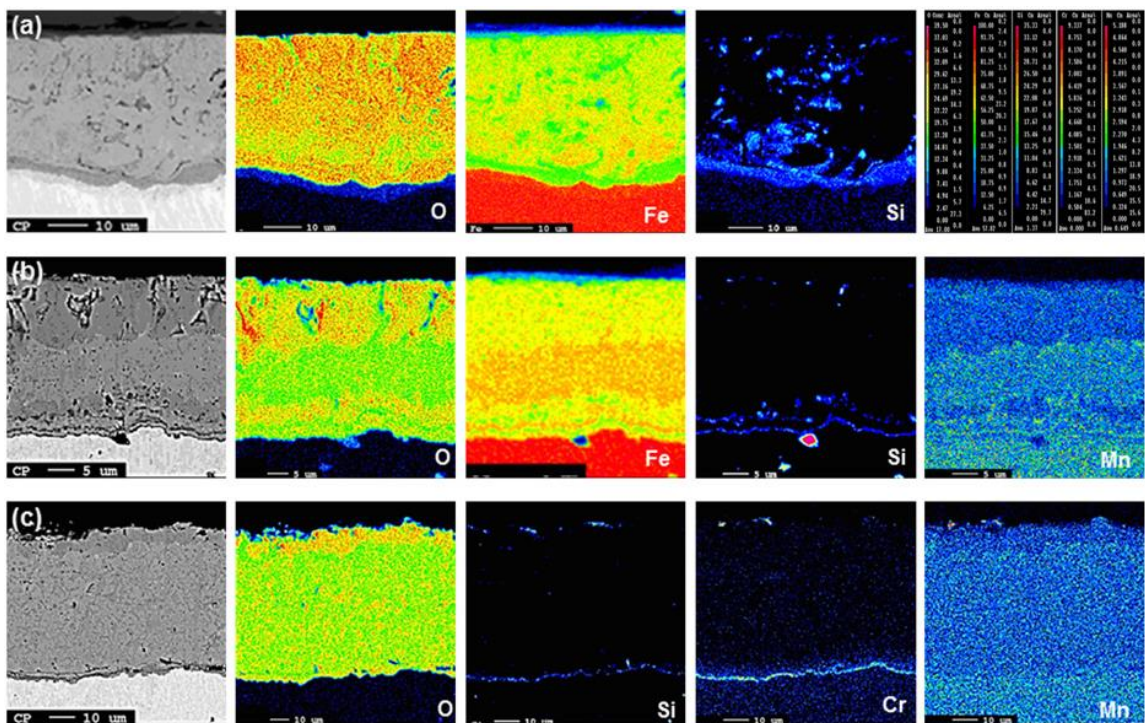


Figura 2. 11 Imágenes transversales de la cascarilla de óxido por MEB y mapeo de los elementos en a) ULCS b) MCS-Si c) HCS [37]

En los resultados del análisis que se realizó por medio del microscopio electrónico de transmisión fue posible observar las concentraciones y la ubicación de los tipos de óxido presentes en la cascarilla lo cual se aprecia en la figura 2.12. Las imágenes del microscopio revelan en la muestra de acero MCS-Si una mezcla de FeO , Fe_3O_4 Y Fe_2SiO_4 , mientras que en la muestra de acero HCS se aprecia una capa mucho mas gruesa de oxido de silicio.

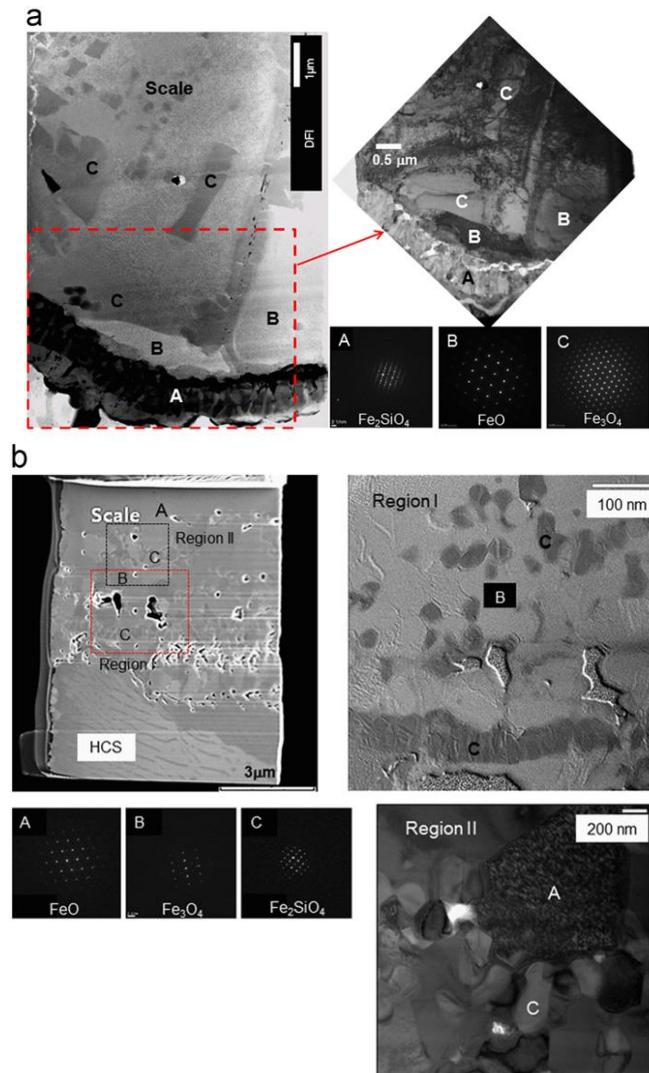


Figura 2. 12 Resultados de imágenes de TEM de las interfaces de la cascarilla de óxido y el sustrato de acero a) MCS – Si b) HCS [37]

Finalmente se realizo el ensayo de tensión a las muestras de acero MCS-Si al igual que a la muestra HCS en donde se apreció mediante una cámara de alta velocidad el cambio que tiene la cascarilla de oxido y el limite al cual comienza a desprenderse del sustrato, dando como resultado que la muestra HCS con una mayor concentración de oxido de silicio, obtuvo mayor resistencia en comparación con la muestra MCS-Si tal como se muestra en la figura 2.14.

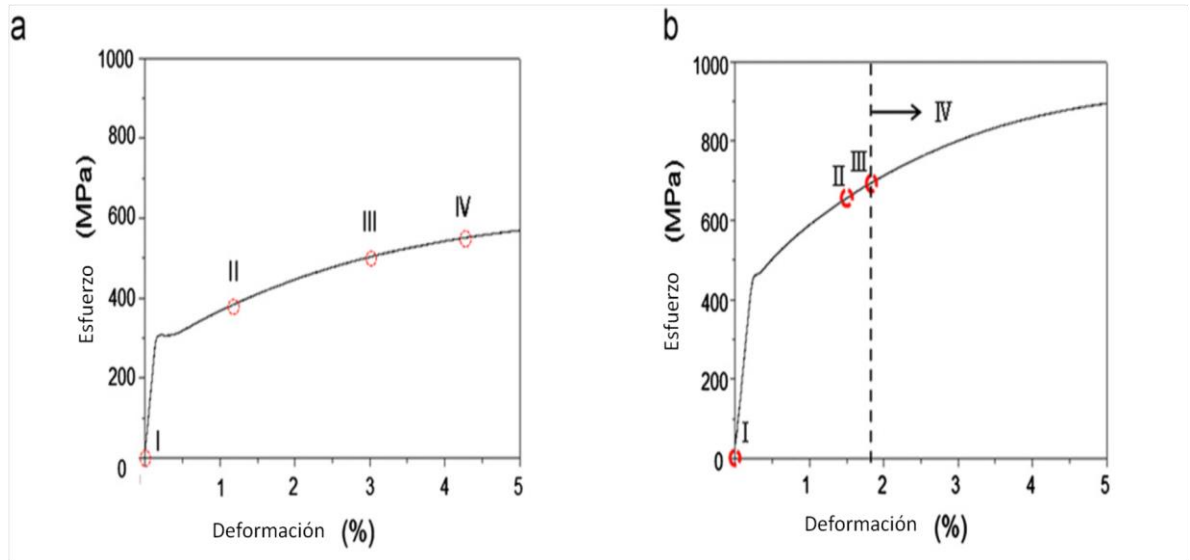


Figura 2. 13 Grafica de esfuerzo deformación en la cascarilla de oxido a) Muestra MCS-Si b) Muestra HCS [37]

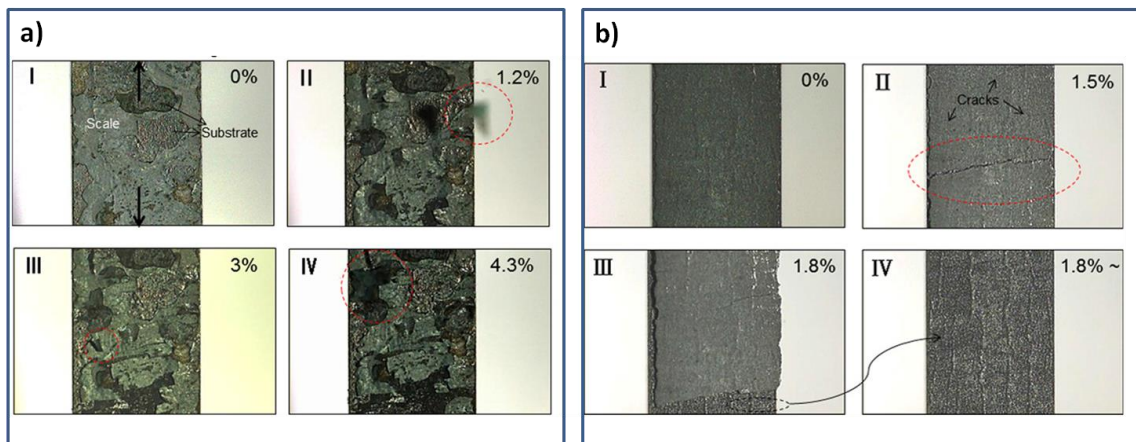


Figura 2. 14 Imágenes de la cascarilla de oxido durante el ensayo de tensión a) Muestra MCS-Si b) Muestra HCS [37]

La resistencia mecánica y los patrones de fractura de las muestras se analizaron mediante la prueba de tensión y de acuerdo con el análisis y resultados de la prueba, concluyeron en su estudio que la fuerza de adhesión de las cascarillas están determinadas por el contenido de elementos reactivos tales como Si y Cr que forman capas de óxido a lo largo de las interfaces del acero y que esta fuerza de cohesión depende de la concentración de oxígeno presente y es controlada por el contenido de carbono.

Lo que permite considerar para efectos de estudio de óxidos presentes en el metal base, que la composición química del acero y el electrodo que se usa para realizar la unión afecta las propiedades tanto mecánicas como microestructurales, trayendo consigo discontinuidades que afectan directamente en la calidad de la unión [37].

2.5.2 Fluidos para maquinado

Los fluidos de corte se utilizan en la mayoría de las operaciones de mecanizado por arranque de viruta. Estos fluidos, generalmente en forma líquida, se aplican sobre la zona de formación de la viruta, para lo que se utilizan aceites, emulsiones y soluciones. La mayoría de ellos se encuentran formulados en base a un aceite de base mineral, vegetal o sintética, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos como antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, e inhibidores de corrosión [38].

La definición y clasificación de los fluidos utilizados en el maquinado dependen generalmente de la cantidad de aceite que contenga la solución para los fluidos de trabajo de metales, así como también del tamaño de la gota de aceite que se encuentre emulsificada en esa solución. La llamada emulsión acuosa es físicamente una dispersión de microscópicas gotas de aceite en una solución acuosa. Las moléculas de aceite se mantienen dispersas en la solución gracias a un químico llamado emulsificante el cual provee a estas gotas de una carga eléctrica negativa la cual hace que por repulsión las moléculas se mantengan separadas [39].

Dentro de las clasificaciones de estos fluidos se pueden encontrar las siguientes:

- Aceite soluble. Esta clasificación se define como emulsiones oleoacuosas que contienen más del 40% de aceite en su formulación y con un tamaño de partícula de 1.0 a 50.0 micras. Esta clasificación cuenta con algunas desventajas referentes a la limpieza de las piezas y los remanentes provenientes de esta solución como su capacidad para tener una alta captación de aceite, proveniente de fugas en las maquinarias debido a la cantidad de emulsificante presente en la solución, además de crear un ambiente sucio y el mantenimiento de sólidos en suspensión [39].

- **Semi- sintético.** Esta clasificación se caracteriza ya que las microemulsiones contienen entre un 5 y un 35% de aceite en la formulación y el tamaño de la partícula de aceite varía de 0.01 micras a 0.10 micras de diámetro, además contiene una serie de aditivos químicos que mejoran las condiciones de estabilidad en el pH e inhibidores de corrosión. En cuanto a los problemas que pudieran ocasionar estos fluidos para maquinado en los procesos de manufactura consecuentes se cuenta con la captación de aceite además que puede reaccionar con algunos materiales y generar residuos o jabones insolubles [39].
- **Sintético.** Esta clasificación no contiene nada de aceite mineral en su formulación, en su lugar poseen un polímero lubricante que trata de emular las necesidades de lubricación. Estos fluidos pueden formar residuos pegajosos cuando se tiene una alta concentración de iones en el agua [39].

La tabla 2.8 muestra las características principales de los fluidos de maquinado más utilizados a nivel industrial y sus diferencias entre estos.

Tabla 2. 9 Comparación de características de los fluidos para maquinado [39]

	Control de calor	Lubricidad física	Limpieza	Características de residuo
Aceites de corte	Malo	Excelente	Malo	Aceitoso
Aceites solubles	Bueno	Bueno	Malo	Aceitoso
Semi – sintéticos	Bueno	Aceptable	Aceptable	Aceitoso
Sintéticos	Excelente	Malo	Bueno	Poco aceitoso y pegajoso

Las diferentes clasificaciones de fluidos para maquinado son utilizadas dependiendo del material que se maquine en una selección de herramienta utilizada y tipo de material a maquinar.

Si se trabaja con hierro fundido debe hacerse una lubricación en seco o utilizar emulsiones, con el inconveniente que se produzcan lodos, lo que obliga a filtrar el fluido de corte con frecuencia.

Para los aceros al carbono y de baja aleación en mecanizados de mediana severidad se puede emplear un fluido de corte sin aditivos de extrema presión.

Para los aceros de alta aleación, cuya maquinabilidad es más elevada, se requiere fluidos de corte con aditivos de extrema presión [40].

2.6 Métodos de preparación de superficies metálicas para soldadura.

Es de suma importancia el remover las grasas y aceites de las superficies a soldar además de las películas de óxido que aparecen en los metales esto para prevenir el efecto que causan estos en las juntas soldadas. Los desengrasantes de superficies se basan principalmente en disolventes orgánicos y soluciones alcalinas, mientras que la limpieza para el óxido está basada en soluciones alcalinas y ácidos convencionalmente.

En 2004 E.I. Storchai examino algunos agentes de limpieza alcalinos y ácidos basándose en especificaciones técnicas de productos de limpieza manufacturados por ESTOS TEKhNO en dicho estudio se analizó el comportamiento de los aceros al carbono y mediante un método óhmico-capacitancia se examinó como el modo de tratamiento afecto el espesor y la deficiencia de la película de óxido, en cuanto al desengrasante se seleccionaron aquellos agentes que proporcionan un desengrasado con solo una ligera

formación de espuma y también eliminando o transformando con óxidos de disolución mínima del metal.

La tabla 2.9 proporciona recomendaciones habituales sobre el uso de agentes que proporcionan un buen desengrasante para los trabajos de soldadura.

Tabla 2. 10 Comparación de limpiador alcalino y ácido [42]

Limpiador	Propósito	Método de tratamiento de la superficie	Velocidad de disolución del metal
Alcalino Naftol Aspo 10 -20 %	Desengrasante de acero dulce y acero resistente a la corrosión.	Inmersión $T = 55(\pm 5)^{\circ}\text{C}$; $\tau \leq 60$ min	$(1-5) \cdot 10^{-4}$ (aceros)
Acido Deskaler FF 20-30%	La transformación de óxido y la cascarilla, la preparación de las superficies de aceros dulces y aceros resistentes a la corrosión para la soldadura, galvanoplastia y recubrimiento de pintura química	Inmersión $T = 55(\pm 5)^{\circ}\text{C}$; $t = 15-60$ min	0.02-0.05
Concentrado	La transformación de óxido y la cascarilla, la preparación de las superficies de aceros dulces y aceros resistentes a la corrosión para la soldadura, galvanoplastia y recubrimiento de pintura química	Cepillado cada 10- 15 minutos para completar el tratamiento de óxido y la cascarilla	—

Naftol´Aspo es el más eficaz para el desengrasado de aceros suaves, y aceros resistentes a la corrosión cuando hay aceites minerales sobre ellos. Para retirar los contaminantes como grasas de origen vegetal, se debe utilizar una solución de 10% de la alcalina EKSTRA ES- Promol.

La preparación de metales para la soldadura, es por inmersión en soluciones o cepillado, mientras que los componentes de acero se desengrasan tras la elaboración mecánica o revestimiento químico por inmersión en una solución al 20% de Naftol' Aspo [42].

2.6.1 Técnicas de descontaminación para metales.

La descontaminación es un proceso físico o químico que permitirá remover o neutralizar los contaminantes que puedan haber quedado en forma residual, sobre las piezas manufacturadas. La elección de los descontaminantes se realiza basándose en la eficacia respecto a algunos criterios según sean los requerimientos de los contaminantes presentes y el metal del cual este constituida la pieza de trabajo.

Algunos de los procesos de descontaminación mas utilizados son:

Descontaminación química. La descontaminación química utiliza reactivos químicos concentrados o diluidos en contacto con el material contaminado, para disolver la capa de contaminante que cubre el metal base.

Descontaminación electroquímica. Este tipo de descontaminación se puede considerar como una descontaminación química asistida por un campo eléctrico. Se puede considerar como el contrario de la galvanoplastia ya que esta técnica retira capas de la superficie metálica en lugar de añadirse como un revestimiento.

La descontaminación electroquímica se aplica por inmersión de material contaminado en un baño de electrolito, la corriente eléctrica provoca la disolución anódica y la eliminación de capas de oxido del componente.

Descontaminación mecánica. Son técnicas físicas entre las cuales se incluyen el lavado para eliminar agentes de formación de espuma y recubrimientos. Estas técnicas también pueden incluir el granallado abrasivo

húmedo o seco y son utilizadas principalmente en la descontaminación de superficies estructurales.

Los sistemas de limpieza abrasivos se han utilizado con éxito. Proporcionan métodos mecánicos, derivados de la industria convencional, que dan factores de descontaminación muy elevados. Sin embargo, los sistemas abrasivos húmedos producen una mezcla de polvo y gotas de agua que pueden ser difíciles de tratar.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA

BIBLIOGRAFÍA

Los procesos de unión en la industria manufacturera de maquinaria para construcción y minería representan en la actualidad uno de los procesos mas importantes dentro del flujo de manufactura de las piezas. Estos procesos son variados, sin embargo resalta en gran medida el proceso de soldadura de arco metálico protegido por gas GMAW el cual cuenta con grandes ventajas ante otros procesos utilizados en la industria, pero al igual que en todo proceso presenta diferentes limitaciones, las cuales pueden ser traducidas en discontinuidades dentro del cordón de soldadura, estas discontinuidades se generan por diferentes factores que pueden estar presentes en el flujo que lleva el material, acumulando contaminantes que si no son retirados satisfactoriamente llegaran a provocar defectos en el cordón que afectaran la calidad de la unión.

Dicha acumulación de contaminantes para el caso especifico de la manufactura de maquinaria de construcción y minería están dados por el almacenamiento, corte y maquinado, que son los procesos previos a los que es sometida la pieza antes de llegar a la estación de unión por soldadura. Dentro

de estos procesos de manufactura previos es común la utilización de grasas y aceites para lubricar o refrigerar la pieza y el herramental, estos fluidos comúnmente quedan adheridos a la superficie del metal que se esta maquinando lo que implica una limpieza posterior al proceso de maquinado pero anterior al proceso de unión.

En base a esto en 2005 L. Cardoso Brandao y un grupo de colaboradores realizaron un estudio en el cual por medio de pruebas demostraron la eficacia de métodos de refrigeración poco convencionales en el maquinado, en estas pruebas se utilizaron sistemas de refrigeración con aire comprimido, aire comprimido frio y un maquinado en seco, con las cuales compararon las variaciones de temperatura en cada probeta, evaluando también las deformaciones sufridas en la superficie maquinada y arrojando resultados satisfactorios para los métodos de enfriamiento por aire comprimido y aire comprimido frio los cuales mostraron eficacia para reducir temperatura y una mínima deformación de la pieza, teniendo como relevancia para esta monografía la posibilidad de implementar diferentes tipos de refrigeración durante el maquinado para evitar la utilización de aceites y grasas que dejen algún tipo de contaminantes en la superficie de la pieza.

Otro tipo de remantes que probablemente se pudieran encontrar antes de realizar el proceso de unión es la capa de oxido común en los metales, la cual podría estar dada según sea el caso por las condiciones de almacenaje o por procesos de corte a los que es sometida la pieza.

En 2012 resaltando la importancia de conocer la formación de las escamas de oxido; Chan- Woo Yang y colaboradores presentaron un estudio en el cual se seleccionaron cuatro tipos de acero diferentes los cuales contenían los mismos elementos de aleación pero en diferentes composiciones para mostrar las relaciones de estructura- propiedad de las escalas de oxido. En dicho estudio mediante el uso de cálculos termodinámicos, se predijeron las fases de las escalas formadas.

Las microestructuras de las escalas se analizaron por medio de microscopia electrónica de transmisión y por sonda electrónica de análisis, y las propiedades mecánicas de las escalas se pusieron a prueba mediante ensayos de tensión con cámaras de alta velocidad. Los resultados en combinación de las pruebas realizadas arrojan que el contenido de elementos reactivos tales como el Si y el Cr que forman capas de óxido a lo largo de las interfaces del acero determinan la fuerza de adhesión de las escamas de óxido.

Lo que permite tener en consideración la importancia de la composición del óxido presente en el metal base para el proceso de soldadura ya que en esto se diferencia la fuerza de adición y las propiedades de cada tipo de óxido.

Para la prevención de discontinuidades en las uniones debido a contaminación de la pieza es importante tener en cuenta una buena preparación previa, la cual puede constar de varios métodos según sea el contaminante que se desee eliminar.

Un ejemplo de esto es que en 2004 E.I. Storchai examinó algunos agentes de limpieza alcalinos y ácidos, todo esto basándose en especificaciones técnicas de productos de limpieza manufacturados por una empresa dedicada a este rubro. En este estudio se analizó el comportamiento de los aceros al carbono y se examinó cómo cada técnica afecta el espesor y la deficiencia de la película de óxido realizando una comparación entre los limpiadores alcalinos y ácidos y su efectividad en la eliminación de contaminantes.

Es de gran relevancia para el estudio de la preparación previa de las uniones a soldar tener conocimiento de las técnicas de limpieza y preparación de piezas. Las cuales según la literatura es posible clasificarlas por su método de aplicación y su elección debe estar basada en el material que se desee descontaminar al igual que en el contaminante que se desee eliminar.

CAPÍTULO IV

CASO DE ESTUDIO

“Impacto de la preparación previa en la calidad de las uniones soldadas en aceros al carbono unidos por soldadura por arco”

El presente caso de estudio se realizó con el propósito de investigar el impacto que tiene una adecuada preparación de los materiales a ser soldados para lograr una aceptable calidad en el proceso de soldadura por arco GMAW. Esto mediante la caracterización por medio de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido de piezas soldadas, en busca de diferencias notables en cuanto a microestructura o inclusiones que afecten la calidad de la unión.

4.1 Objetivos del caso de estudio

4.1.1 Objetivo general

Conocer las técnicas de caracterización microestructural que ayuden a identificar las fases presentes en aceros HSLA soldados por el proceso GMAW, determinando también discontinuidades en el cordón de soldadura que pudieran presentarse.

4.1.2 Objetivos específicos

- Estudiar las técnicas de caracterización microestructural que se pueden aplicar en uniones soldadas afectadas por contaminantes presentes en la manufactura de las piezas. Con el objetivo de conocer el efecto de estos en la microestructura.
- Identificar cambios microestructurales y las propiedades mecánicas de las muestras al aplicar la metodología de preparación de uniones adecuada.
- Investigar la existencia de técnicas de caracterización de piezas soldadas para cuantificar los contaminantes contenidos en los materiales y el efecto en la calidad de la unión.

4.2 Material

4.2.1 Material base

Se utilizaron placas de acero el cual puede ser equiparable a un acero de tipo ASTM A572 del cual se muestran sus propiedades mecánicas en la tabla 4.1 y su composición química en la tabla 4.2.

Tabla 4. 1 Propiedades mecánicas del acero utilizado en el estudio

Resistencia a la tensión MPa	Limite elástico MPa	Elongación	Reducción de área	Dureza de la superficie BH	Dureza de la superficie HV
450	240	13%	18%	130-170	140-180

Los aceros HSLA son clasificados como una categoría separada de los aceros de aleación, con propiedades mecánicas mejoradas obtenidas por la adición de pequeñas cantidades de elementos de aleación y técnicas de procesamiento especiales

Tabla 4. 2 Composición química (% e. p.) del acero ASTM A572

	C	S	Mn	P	Si	V	Nb
ASTM A572	0.23	0.05	1.35	0.04	0.40	0.01-0.15	0.005-0.05

4.2.2 Metal de aporte

El metal de aporte que se utiliza en la línea de producción y el cual fue utilizado en la unión de las probetas para el estudio es un microalambre de 0.045” de diámetro con clasificación AWS ER70S-3 la cual describe una resistencia a la tensión mínima de 70 000 Lb/pulg² además de ser una alambre solido. Cuyas propiedades mecánicas y composición química se muestran en las tablas 4.3 y 4.4 respectivamente.

Tabla 4. 3 Propiedades mecánicas del electrodo utilizado en el estudio

Electrodo	Resistencia a la tensión KSI(MPa)	Limite elástico KSI (MPa)	% de elongación mínimo	Resistencia al impacto mínimo Joules a °C
ER70S-3	70 (480)	58 (400)	22	27 a – 18°C

Tabla 4. 4 Composición química (% e. p.) del electrodo utilizado en el estudio

Electrodo	C	Mn	Si	P	S	Cu
ER70S-3	0.06-0.15	0.90-1.40	0.40-0.70	.025	0.035	0.50

4.3 Metodología experimental

4.3.1 Soldadura de probetas mediante el proceso GMAW

Cuando las industrias trabajan con diferentes tipos de metales, realizando procesos de transformación como corte o punzonado entre otras, es de vital importancia que las piezas terminadas queden limpias y sin ningún tipo de impureza para que, posteriormente pasen al siguiente proceso de manufactura.

En la empresa donde se realizó el estudio y proporcionó los materiales para este, se aplica una limpieza a las piezas por medio de granallado. En donde las granalladoras expulsan micropartículas metálicas redondas o angulares, que chocan contra la superficie de piezas metálicas para limpiar las impurezas y generar una textura requerida con el fin de que sea más resistente y tenga una vida útil prolongada, por esta razón se decidió limpiar una de las muestras por este proceso para su posterior unión por medio de soldadura GMAW como se aprecia en la figura 4.1, por otra parte a la segunda muestra no se le aplicó ningún tipo de preparación dichas muestras se aprecian en la figura 4.2. Esta limpieza se dio después de simular lo más posible los procesos de manufactura a los que son sometidas las piezas en la línea de producción.

Las probetas de acero utilizado en la línea de producción son equiparables al tipo ASTM A572 y fueron cortadas en una cama de corte por flama, cuyas dimensiones se muestran en la figura 4.3. Las muestras permanecieron almacenadas bajo las mismas condiciones a las piezas que se utilizan en la línea de producción.



Figura 4. 1 Proceso de soldadura GMAW [cortesía CATERPILLAR]



Figura 4. 2 Muestras soldadas de piezas con diferente preparación previa [cortesía CATERPILLAR]

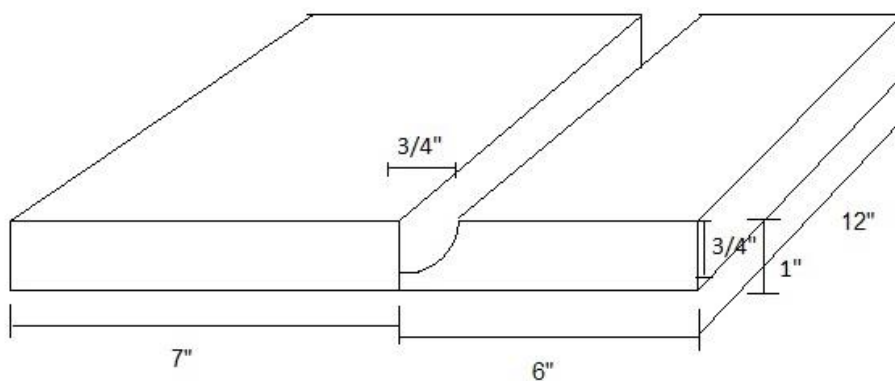


Figura 4. 3 Dimensiones de piezas disponibles para realizar el estudio

Se realizaron dos uniones de acero con una junta tipo J diferenciando las uniones por la preparación que se le aplicó tanto a una como a otra, una unión con probetas de limpieza previa y otra sin condiciones de limpieza, estas uniones se realizaron con parámetros que se muestran en la tabla 4.5

Tabla 4. 5 Parámetros utilizados en el estudio

Voltaje	Mezcla de gas en % Ar-CO ²	Flujo Ft ³ /hr	Vel. De alambre	Vel. de avance promedio in/min
31	90-10	45 ± 5	15.3	10.43

4.3.2 Corte de muestras soldadas para caracterización

El material al cual se tuvo acceso en la empresa limitó las dimensiones de las piezas disponibles para las cuales fue necesario cortar las piezas a una dimensión adecuada para el manejo y la caracterización de las mismas.

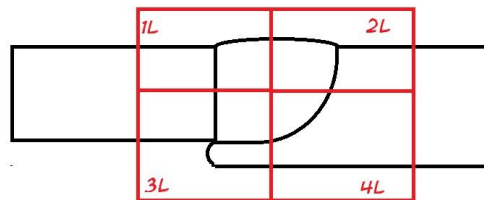


Figura 4. 4 Distribución de muestras en la pieza limpia

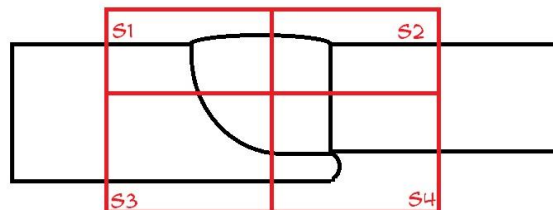


Figura 4. 5 Distribución de muestras en la pieza sucia

4.3.3 Preparación de muestras con desbaste

La obtención de muestras metalográficas consta en desbastar la muestra, se emplearon diferentes lijas para lograr un desbastado cada vez más fino. El propósito es crear una superficie lo más perfecta y pareja posible antes del pulido, habrá líneas que jamás van a poder eliminarse con el pulido, así que el proceso de desbastado y lijado debe ser cuidadoso y bien hecho.

Pulir el material es lo que posibilita que la luz del microscopio refleje de manera continua y directa, lo que permitirá observar las características que se buscan. Un buen pulido cobra importancia al llegar al microscopio y no encontrar rayas o suciedad en la probeta. Antes del ataque químico hay que asegurarse de haber pulido perfectamente la superficie de estudio. Este proceso de preparación se llevo acabo con una pulidora manual Taula-2.



Figura 4. 6 Pulido de muestras

4.3.4 Ataque químico de las probetas con nital

Nital al 2% es suficiente para revelar los límites de grano del material, el ataque químico es una técnica muy común y debe aplicarse antes de la observación al microscopio, en los gráficos que se mostrarán más adelante se puede ver la diferencia de lo que se ve en el microscopio antes y después del ataque químico.

El secreto es que este ácido es suficiente para colarse por los huecos que hay entre los granos del material para así revelar su forma, la reacción se lleva a cabo casi instantáneamente y oscurece la fase perlítica del material.

4.3.5 Microscopía óptica con microscopio Olympus a 50, 100, 200, 500 y 1000 aumentos.

Después de ser atacada químicamente la muestra está lista para ser observada en el microscopio, la búsqueda de inclusiones y de fases dará una idea mucho más exacta de la composición y estado de la muestra, esto por supuesto ayudará a determinar las propiedades mecánicas de la misma.

Para esta etapa se utilizó el microscopio óptico Olympus el cual cuenta con las siguientes características principalmente:

- El microscopio metalográfico cuenta con una resolución de 1000 aumentos, mientras que en el estereográfico de 115 aumentos.
- Técnicas de iluminación de campo claro, campo oscuro, luz polarizada y contraste interferencial diferencial.
- Cámara digital de 7 Mp adaptada con el software de análisis de imágenes el cuál abarca las aplicaciones más utilizadas en la industria e investigación.



Figura 4. 7 Utilización de microscopio óptico Olympus

4.3.6 Análisis de imagen por microscopía electrónica de barrido (MEB) a 2000 y 5000 aumentos.

El estudio por MEB se realizó con un JSM 6400 SEM el cual se muestra en la figura 4.8, con detectores, para la generación de imágenes de alta y baja resolución que permite observación de la morfología de materiales sólidos orgánicos e inorgánicos, y también cuenta con detectores rayos X, EDS y WDS para análisis químico cuantitativo y cualitativo en muestras conductoras y no conductoras.



Figura 4. 8 Microscopio electrónico de barrido

4.3.7 Prueba de microdureza

La dureza Vickers se define como el cociente de la carga de ensayo entre el área de la huella, que se considera como una pirámide recta de base cuadrada y con el mismo ángulo en el vértice que el penetrador, para determinar el perfil de microdureza Vickers de las uniones soldadas se utilizó un microdurómetro Akashi/MVK-HO.

4.3.8 Caracterización

- Se aplicaron técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido para observar la microestructura que presentan las muestras en estudio y se caracterizaron las fases presentes en las mismas.
- Se compararon las imágenes captadas de las técnicas de microscopía tanto de la pieza a la que se le realizó limpieza previa como a la que no se le aplicó limpieza, detectando defectos en la pieza a la que no se le realizó limpieza además de gran cantidad de inclusiones.

4.4 Resultados

En las imágenes del microscopio óptico fue posible observar y caracterizar las fases presentes tanto en el metal base como en la zona afectada por el calor y el metal de soldadura, observando la diferencia entre las microestructuras de las diferentes zonas, así mismo fue posible detectar discontinuidades presentes en la pieza a la cual no se le realizó una limpieza previa a ser soldada.

Las fases presentes en el metal base consisten de una matriz ferrítica con islas de perlita, mientras que en la zona afectada por el calor se encuentra una mezcla de ferrita perlita pero con un grano recristalizado y en la zona de fusión se observa la presencia de ferrita acicular y ferrita Widmanstätten secundaria. No hubo diferencia de fases presentes entre la muestra que previamente se limpió y la que no recibió ningún trato previo. Los resultados se observan en las figuras 4.9 y 4.10.

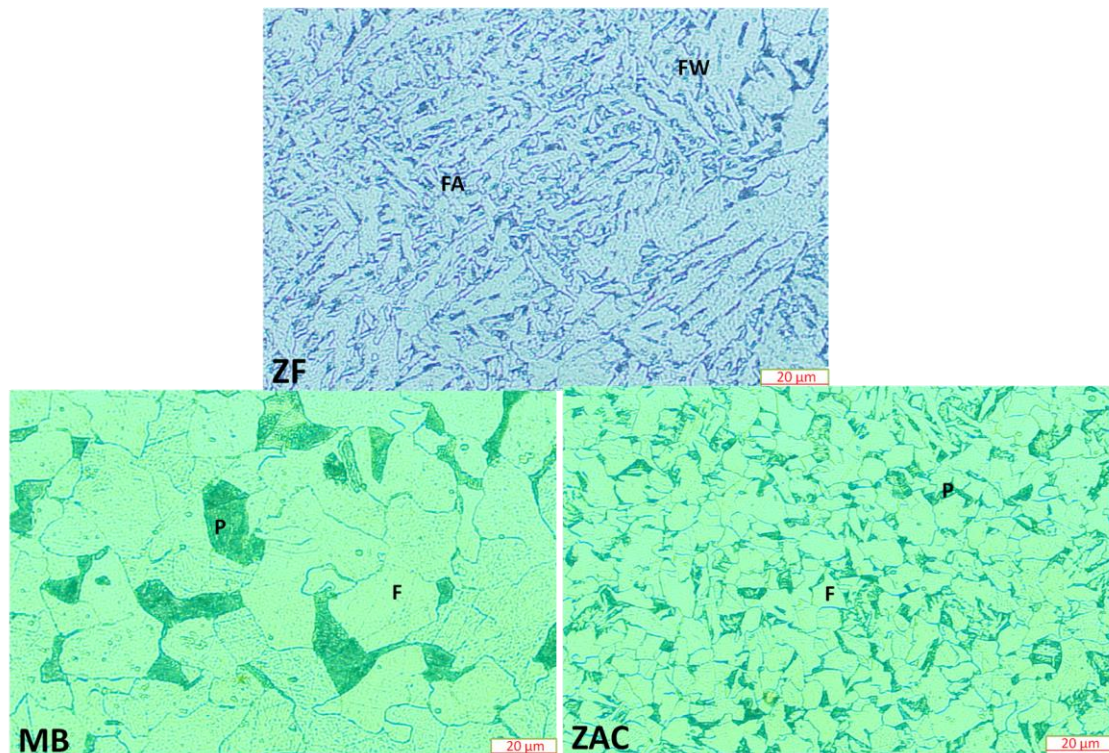


Figura 4. 9 Caracterización de pieza limpia por MO (MB: Metal Base ZF: Zona de fusión ZAC: Zona afectada por el calor; F: ferrita, P: perlita, FW: ferrita Widmanstätten, FA: ferrita acicular)

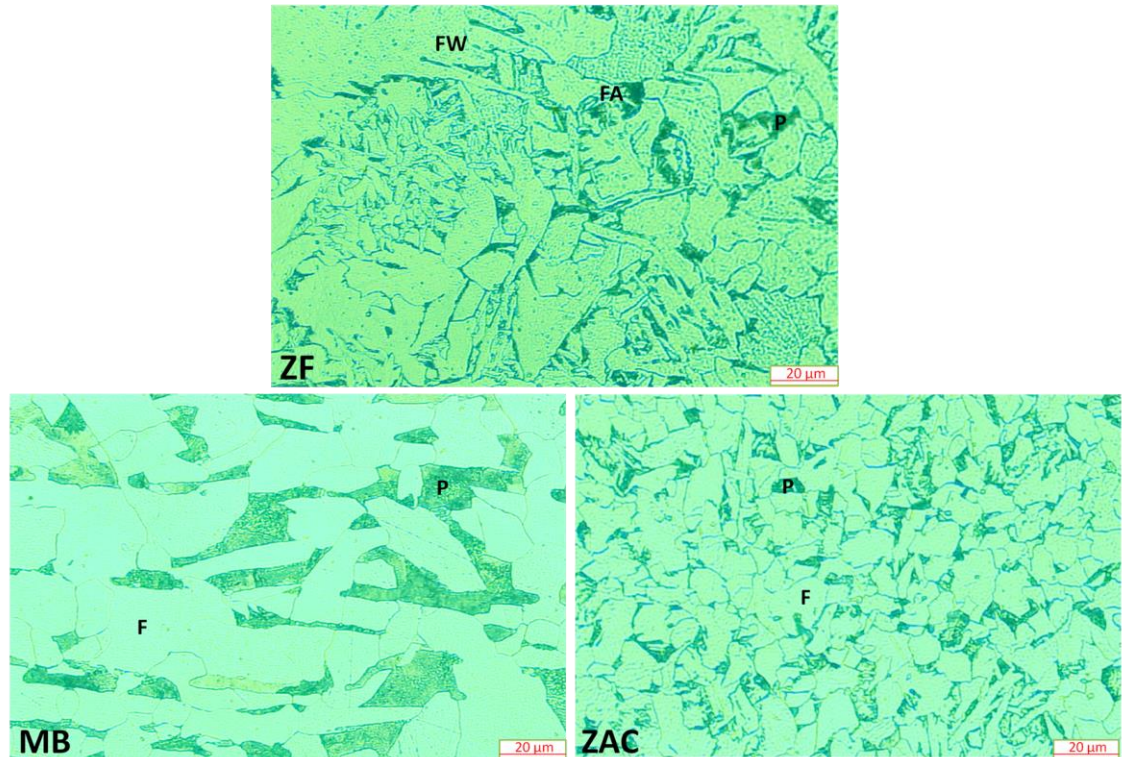


Figura 4. 10 Caracterización de pieza sucia por MO (MB: Metal Base ZF: Zona de fusión ZAC: Zona afectada por el calor; F: ferrita, P: perlita, FW: ferrita Widmanstätten, FA: ferrita acicular)

Por otro lado en el microscopio electrónico de barrido fue posible magnificar las imágenes hasta 2000 aumentos, observando con mayor claridad las fases presentes de cada zona (figura 4.11 y 4.12), las cuales se mencionaron en la caracterización por MO. En la muestra soldada sin limpieza previa se observó tanto en MO como en MEB (figura 4.13) la presencia de porosidad en la interfase del metal base y la zona afectada por el calor de la muestra S4, según el estándar AWS A3.0 de términos y definiciones para soldadura, la porosidad, es una discontinuidad tipo cavidad formada por el atrapamiento de gas durante la solidificación, la formación del poro se llevo a cabo por residuos de grasa y aceite ya que estos contaminantes liberan volúmenes de gas cuando se exponen a las temperaturas utilizadas en el proceso de soldadura.

Cuando se aplica un proceso de soldadura sobre residuos de óxido o escarillas formadas en el metal, se generan gases de descomposición y comienza la oxidación rápida del metal, la cual ocurre cuando se aplican cantidades apreciables de calor y se da principalmente en sustancias que contienen carbono e hidrógeno lo cual puede involucrar la presencia de humedad. Cuando un metal se oxida, en realidad ya no es un metal y no puede esperarse que responda a la soldadura como tal.

El manual de soldadura AWS en el capítulo cuatro muestra algunas posibles causas de la aparición de porosidad en el cual se menciona la contaminación de la pieza como probable causa de esta discontinuidad y hace referencia a la limpieza de grasa, aceite y humedad como acción correctiva, además de la utilización de un electrodo desoxidante.

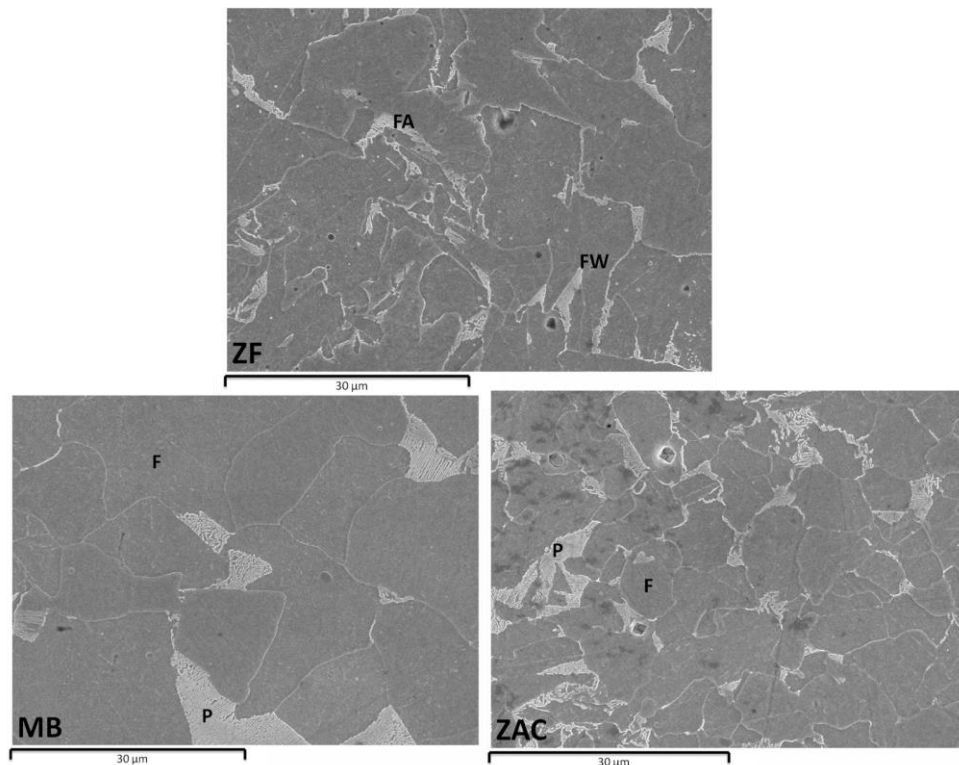


Figura 4. 11 Caracterización de pieza limpia por MEB (MB: Metal Base ZF: Zona de fusión ZAC: Zona afectada por el calor; F: ferrita, P: perlita, FW: ferrita Widmanstätten, FA: ferrita acicular)

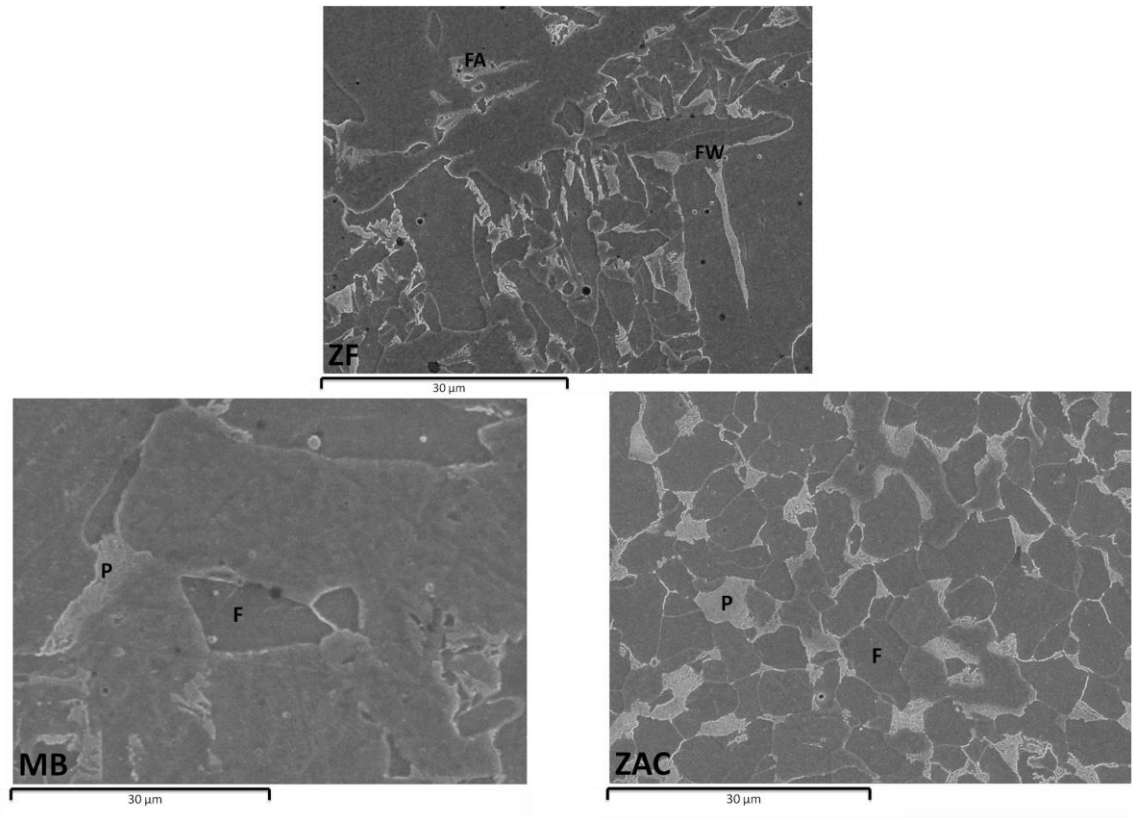


Figura 4. 12 Caracterización de pieza sucia por MEB (MB: Metal Base ZF: Zona de fusión ZAC: Zona afectada por el calor; F: ferrita, P: perlita, FW: ferrita Widmanstätten, FA: ferrita acicular)

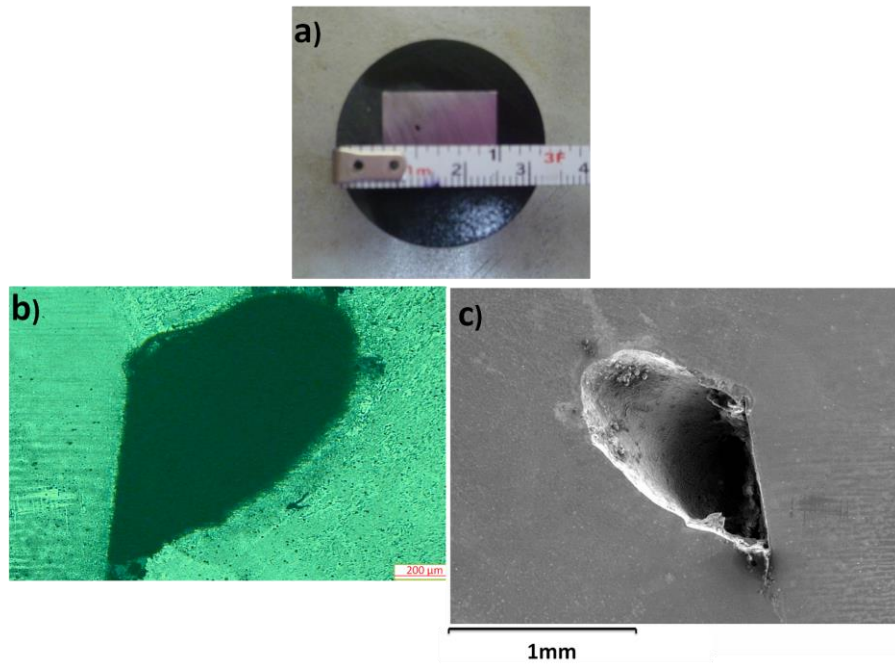


Figura 4. 13 a) Muestra S4 b) imagen del poro en MO c) imagen del poro en MEB

Finalmente mediante la utilización del microdurometro Akashi/MVK-HO se realizaron indentaciones en las diferentes zonas identificadas en las muestras para comparar la dureza que se obtiene al aplicar un proceso de soldadura sin una preparación adecuada de los materiales al ser soldados. Encontrando que existe un ligero incremento de dureza en la zona afectada por el calor de 145 HV de la muestra limpia en comparación a los 165 HV de la muestra sucia, en donde se presento la discontinuidad del poro de casi 1mm de diámetro.

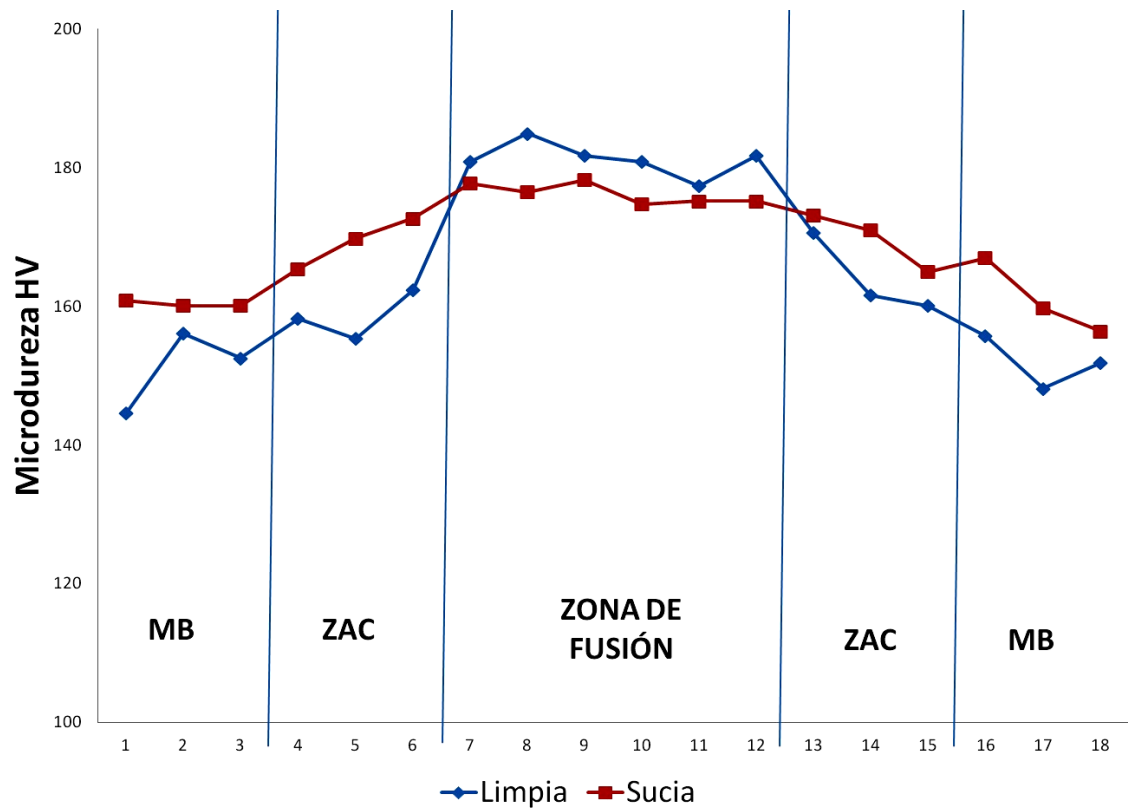


Figura 4. 14 Perfil de microdureza

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Tomando como base la literatura revisada se puede concluir lo siguiente:

- En cuanto al proceso de soldadura GMAW y los defectos que comúnmente se llegan a presentar en las uniones realizadas mediante el mismo, se observa que es de suma importancia cuidar el balance de cada situación presente en dicho proceso, esto incluyendo la mezcla de gases de protección, la velocidad de avance, los ángulos de trabajo y las condiciones de las piezas a ser unidas, esto ultimo mediante una correcta configuración de junta, así como una adecuada preparación previa del material a soldar.
- Los diferentes tipos de contaminantes que se encuentran en las piezas a soldar en la industria manufacturera de piezas de maquinaria pesada para construcción y minería se adquieren a lo largo del proceso de manufactura de dichas piezas como lo es el almacenaje al aire libre de las placas de acero y el corte mediante flama, en donde es claro la

formación de óxidos por las condiciones y la naturaleza del proceso de corte, otro tipo de contaminante que está presente en la antesala de la soldadura son los fluidos de maquinado que resultan ser de suma importancia para este proceso en cuanto a la disipación de calor y la lubricación que ofrecen pero que a su vez dejan residuos sobre la pieza que ameritan limpieza. La literatura ofrece técnicas destructivas para la cuantificación de contaminantes como lo es la microscopía óptica, la microscopía electrónica de barrido, la microscopía electrónica de transmisión de alta resolución o el microanálisis por sonda de electrones, esto permitiendo conocer el espesor de la capa de contaminante siendo esta una de las características principales de las técnicas de microscopía las cuales se ilustran en el anexo A de este documento.

- Para brindar una respuesta adecuada a la presencia de contaminantes en las piezas a soldar, la literatura hace evidente la necesidad de conocer la composición y características de los contaminantes presentes en el material que se desea unir, ya que en estudios previos se ha demostrado que la composición química del material influye en la formación de óxidos y la tipificación de estos varía, teniendo como resultado diferentes fuerzas de adhesión en el material, al igual que en la reacción que ofrecen los fluidos de maquinado dependiendo de su naturaleza, los cuales pueden dejar residuos grasos o incluso pegajosos en donde se necesitará un método de limpieza adecuado según sea el caso.
- La presencia de discontinuidades como la porosidad según los criterios de aceptación AWS descritos en el código D1.1 para soldadura de ranura de dimensiones de $\frac{3}{4}$ de pulgada aceptan indicaciones redondeadas de hasta 0.25" por lo cual el poro encontrado en la muestra S4 cuyas

dimensiones aproximadas son de 0.042" no se tomara en cuenta para rechazar la pieza soldada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Suelda seguro y protege tu salud ahora y en el futuro, guía de prevención de riesgos en los trabajos de soldadura. Internet. 2009. Instituto de formación y estudios sociales de castilla y león. Disponible en: <http://www.slideshare.net/BIZKOR/soldadura-suelda-seguro>
2. Carolina Llano Uribe, Soldadura G.M.A.W - MIG/MAG Un proceso rápido, limpio y versátil. Revista METAL ACTUAL
3. Infanzón Silvia 2002. La calidad en la soldadura. Terceras jornadas de divulgación tecnológica, talleres don Bosco.
4. Luis Arturo Reyna Narváez. Febrero 2012. Modelo de enseñanza para el proceso de soldadura GMAW soldadura con gas y arco de metal en aceros al carbono, para un aprendizaje significativo. Tesis. Villa hermosa, Tabasco, México.
5. Sindo Kou . 2003. WELDING METALLURGY. Segunda edición. Wile intercience.
6. Carter S.R., Defreitas L., Fink D.A., Folkening R.W., Hodson D.D., Mann R.H. SOLDADURA POR ARCO DE METAL Y GAS. American Welding Society. Handbook.

7. Eyheralde Miguel. 2012 Inspección en soldadura. Internet. Disponible en: http://www.utu.edu.uy/webnew/modulos/utu/Novedades/CETP%20UTU/2012/Mayo/Capacitacion_InspeccionSoldadura.pdf

8. Ingeniería de calidad en ensayos no destructivos s.c. Disponible en: <http://ingenieriadecalidad.com/inicio/?p=178>

9. ISO Inspección de soldadura. 2010. Disponible en: <http://www.inspecciondesoldaduras.es/>

10. Infante coronado Henry Alberto. 2005. Soldadura por arco protegido con gas y alambre electrodo GMAW. Centro Nacional Colombo Alemán.

11. Conformado de metales protocolo curso de materiales. Internet. Facultad de ingeniería industrial, laboratorio de producción. Escuela colombiana de ingeniería. Disponible en : http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1578_conformado.pdf

12. Castro Guillermo. Técnicas modernas de conformado plástico, corte y electroerosión parte I. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%20067.17/Tecnicas%20Modernas%20de%20Conformado%20Plastico,%20Corte%20y%20Electroerosion%20Parte%20I.pdf

13. Rojas Gutiérrez Ana María. Corte por láser en 3D, la imaginación no tiene límites. Revista METAL ACTUAL.

14. Groover Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing, materials, processes, and systems 1a Ed. Prentice Hall. P. 544-548.

15. Kalpakjian Serope y Schmid Steven R. 2002. Manufactura, ingeniería y tecnología. PEARSON EDUCACION. México.

16. Antonio Erniz. 1955. Manual de hierros y aceros. Editorial Alsina. Buenos Aires, Argentina.

17. José O. Valderrama. 1999. Información Tecnológica. Centro de información tecnológica. Chile.

18. F.R. Morral, Emilio Jimeno, P. Molera. 1985. Metalurgia General, Volumen 2. Editorial REVERTÈ, S.A. España.

19. Asdrúbal Valencia. 1992. Tecnología de los metales. Ed. Universidad de Antioquia.

20. Tomas Gómez Morales, José Martin Navarro, Eduardo Águeda Casad, Joaquín Gonzalo García, José Luis García Jiménez. 2009. Elementos estructurales del vehículo. Paraninfo S.A. España.

21. Manual de soldadura VENETOOL Herramientas + Equipos, Proceso de corte por plasma. Disponible en : http://venetool.com/yahoo_site_admin/assets/docs/MANUAL_SOLDADOR_CORTE_PLASMA.145125911.pdf

22. Ferran Puig Vilar. 01/02/2003. Revista digital Metalmechanica, Tecnologías de corte de chapa.

23. Prado Contreras Miguel. 2009. Fabricación, tratamientos térmicos y caracterización de aceros microaleados. Tesis. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo.

24. Angarita Cesar, Moewis Philippe, Sáenz Laura. 2003. Evaluación del comportamiento mecánico de un acero microaleado X-60 laminado en frío y sometido a un tratamiento térmico de recocido. Ingeniería Universidad de Carabobo. Valencia Venezuela.

25. Meza Vázquez Salvador. 2004. Soldabilidad de aceros HSLA termogalvanizados para aplicaciones automotrices. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en materiales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, división de estudios de posgrado.

26. S. Mukhopadhyay • T.K. Pal .2004. Effect of shielding gas mixture on gas metal arc welding of HSLA steel using solid and flux-cored wires. Springer-Verlag.

27. Reese Madden. Octubre 2008. Sistemas de corte con plasma combinan versatilidad y eficiencia. WELDING JOURNAL EN ESPAÑOL.

28. Lincoln Electric. Duero Soldadura S. L. – 2012. Internet. Disponible en: <http://www.duerosoldadura.es/tema8.php>

29. Arcos Villacis Pablo Antonio; Fiallos Ortiz Jorge David; Barragán Homero. 2010. Análisis comparativo de los procesos de corte por plasma, oxicorte y arc air aplicados a metales. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. Facultad de ingeniería mecánica. Escuela politécnica nacional. Quito Ecuador.

30. Luisa Fernanda Castro Patiño. 2010. Siete claves para un oxicorte exitoso. Revista METAL ACTUAL. Edición 14.
31. Luis Roberto Morales Perez. Aportacion al tema: corte por oxicorte. Documento PDF Disponible en : <http://procesoscorteciateq.wikispaces.com/file/view/aportaci%C3%B3n+o+xicorte.pdf>
32. Manuel Estrems Amestoy. 2007. Principios de mecanizado y planificación de procesos. Departamento de ingeniería de materiales y fabricación; Universidad Politecnica de Cartagena. Cartagena, Colombia.
33. Sales, W.F.et al. .1999. Nem sempre o fluido com maior poder de refrigerante garante temperaturas de corte mais baixas. Máquinas e Metais, São Paulo
34. L. Cardoso Brandao, R. Teixeira Coelho, R. Arai. 2005. Estudio experimental de la conducción del calor en el maquinado de materiales endurecidos con altas velocidades de corte. Escuela de ingeniería de San Carlos. Sao Paulo, Brasil.
35. FOSFAMET. Proceso de decapado de metales. Internet. Documento PDF, disponible en http://www.google.com.mx/#q=Fosfamet+proceso+de+decapado&oq=Fosfamet+proceso+de+decapado&gs_l=serp.3...1978332.1988520.3.1989676.28.27.0.0.0.406.3437.3j16j2j0j1.22.0...0.0...1c.1.12.serp.HAD1aDgswU0&bav=on.2,or.&bvm=bv.46340616,d.cGE&fp=74951de0088bbe4c&biw=1269&bih=434

36. Ángela Llavona Serrano. 2012. Electrodeposición de nanohilos magnéticos: aleaciones de FeNi y óxidos de hierro y de cobalto. Departamento de física de materiales, Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid, España.
37. Chan-Woo Yang, Seung-Mok Cho, Youn-Hee Kang, Jong-Sub Lee, Jin-Woo Park. 2012. The effect of alloy compositions on the microstructure and the mechanical strength of oxide scales on four selected steels. Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea.
38. PROYECTO Fitema. Fluidos de corte. Internet. Documento PDF disponible en : http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3087.pdf
39. Milacron Mexicana Sales S.A. de C.V. Reporte técnico "Fluidos de corte para la industria metal mecánica". Creación y revisión LAR 03/04. Querétaro, México.
40. Tutor de Lubricación Shell. Módulo 10 Mecanizado de materiales. Internet. Documento PDF. Disponible en: <http://prolubricantsperu.com/shell/10%20TUTOR%20LUBRICACION%20SHELL%20-%20Mecanizado%20de%20metales.pdf>
41. NEA Task Group on Decontamination. Decontamination Techniques Used in decommissioning activities. Co-operative Programme for exchange of scientific and technical information concerning nuclear installations decommissioning project.
42. E. I. Storchai. 2004. Ecologically clean means of preparing metal surfaces for welding, soldering, and coating.

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2. 1 ESPECIFICACIONES PARA DIVERSOS ELECTRODOS PARA GMAW [6].....	18
TABLA 2. 2 GASES DE PROTECCIÓN, PROPIEDADES Y APLICACIONES [28].....	19
TABLA 2. 2 GASES DE PROTECCIÓN, PROPIEDADES Y APLICACIONES (CONTINUACIÓN) [28]	20
TABLA 2. 3 FASES DE GENERACIÓN DE LÁSER [13]	33
TABLA 2. 4 PRINCIPALES ACEROS PARA CONSTRUCCIÓN DE PARTES DE MAQUINARIA [19]	41
TABLA 2. 5 COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO) DE ACEROS SOMETIDOS A ESTUDIO [37]	55
TABLA 2. 6 PROMEDIO DE ESPESOR DE CASCARILLA DE OXIDO EN CADA ACERO [37]	55
TABLA 2. 7 ÓXIDOS PRESENTES EN LOS ACEROS [37]	56
TABLA 2. 8 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS PARA MAQUINADO [39]	62
TABLA 2. 9 COMPARACIÓN DE LIMPIADOR ALCALINO Y ACIDO [42].....	64
TABLA 4. 1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO UTILIZADO EN EL ESTUDIO	71
TABLA 4. 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA (% E. P.) DEL ACERO ASTM A572	72
TABLA 4. 3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ELECTRODO UTILIZADO EN EL ESTUDIO.....	72
TABLA 4. 4 COMPOSICIÓN QUÍMICA (% E. P.) DEL ELECTRODO UTILIZADO EN EL ESTUDIO	72
TABLA 4. 5 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.....	75

LISTADO DE FIGURAS.

FIGURA 2. 1 EQUIPO NECESARIO PARA EL PROCESO GMAW [6]	16
FIGURA 2. 2 PERFIL DEL CORDÓN Y PATRONES DE PENETRACIÓN PARA DIVERSOS GASES DE PROTECCIÓN [10]	21
FIGURA 2. 3 ESQUEMA DE PROCESO DE CIZALLADO [11]	30
FIGURA 2. 4 ESQUEMA DE PROCESO DE PUNZONADO [11]	31
FIGURA 2. 5 CORTE POR PLASMA [22]	35
FIGURA 2. 6 ESQUEMA DE ROLADO	37
FIGURA 2. 7 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA CEDENCIA Y % DE ELONGACIÓN PARA ACEROS DE ALTA RESISTENCIA [25]	42
FIGURA 2. 8 DEFECTOS PRINCIPALES EN LA SUPERFICIE DE CORTE [31]	49
FIGURA 2. 9 ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS ÓXIDOS DE HIERRO [36]	54
FIGURA 2. 10 ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X [37]	56
FIGURA 2. 11 IMÁGENES TRANSVERSALES DE LA CASCARILLA DE ÓXIDO POR MEB Y MAPEO DE LOS ELEMENTOS EN A) ULCS B) MCS-SI C) HCS [37]	57
FIGURA 2. 12 RESULTADOS DE IMÁGENES DE TEM DE LAS INTERFACES DE LA CASCARILLA DE ÓXIDO Y EL SUSTRATO DE ACERO A) MCS – SI B) HCS [37]	58
FIGURA 2. 13 GRAFICA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN EN LA CASCARILLA DE OXIDO A) MUESTRA MCS-SI B) MUESTRA HCS [37]	59
FIGURA 2. 14 IMÁGENES DE LA CASCARILLA DE OXIDO DURANTE EL ENSAYO DE TENSIÓN A) MUESTRA MCS-SI B) MUESTRA HCS [37]	59
FIGURA 4. 1 PROCESO DE SOLDADURA GMAW [CORTESÍA CATERPILLAR]	74
FIGURA 4. 2 MUESTRAS SOLDADAS DE PIEZAS CON DIFERENTE PREPARACIÓN PREVIA [CORTESÍA CATERPILLAR]	74
FIGURA 4. 3 DIMENSIONES DE PIEZAS DISPONIBLES PARA REALIZAR EL ESTUDIO	74
FIGURA 4. 4 DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS EN LA PIEZA LIMPIA	75
FIGURA 4. 5 DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS EN LA PIEZA SUCIA	75
FIGURA 4. 6 PULIDO DE MUESTRAS	76
FIGURA 4. 7 UTILIZACIÓN DE MICROSCOPIO ÓPTICO OLYMPUS	77
FIGURA 4. 8 MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO	78
FIGURA 4. 9 CARACTERIZACIÓN DE PIEZA LIMPIA POR MO (MB: METAL BASE ZF: ZONA DE FUSIÓN ZAC: ZONA AFECTADA POR EL CALOR; F: FERRITA, P: PERLITA, FW: FERRITA WIDMANSTÄTTEN, FA: FERRITA ACICULAR)	80
FIGURA 4. 10 CARACTERIZACIÓN DE PIEZA SUCIA POR MO (MB: METAL BASE ZF: ZONA DE FUSIÓN ZAC: ZONA AFECTADA POR EL CALOR; F: FERRITA, P: PERLITA, FW: FERRITA WIDMANSTÄTTEN, FA: FERRITA ACICULAR)	81
FIGURA 4. 11 CARACTERIZACIÓN DE PIEZA LIMPIA POR MEB (MB: METAL BASE ZF: ZONA DE FUSIÓN ZAC: ZONA AFECTADA POR EL CALOR; F: FERRITA, P: PERLITA, FW: FERRITA WIDMANSTÄTTEN, FA: FERRITA ACICULAR)	82

FIGURA 4. 12 CARACTERIZACIÓN DE PIEZA SUCIA POR MEB (MB: METAL BASE ZF: ZONA DE FUSIÓN ZAC: ZONA AFECTADA POR EL CALOR; F: FERRITA, P: PERLITA, FW: FERRITA WIDMANSTÄTTEN, FA: FERRITA ACICULAR)	83
FIGURA 4. 13 A) MUESTRA S4 B) IMAGEN DEL PORO EN MO C) IMAGEN DEL PORO EN MEB	83
FIGURA 4. 14 PERFIL DE MICRODUREZA	84

ANEXOS

Anexo A. Tabla comparativa de técnicas de caracterización.

TÉCNICA	HERRAMIENTA	MATERIALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	PREPARACIÓN DE MUESTRA	APLICACIONES
MO	Microscopio óptico	Metales	Sencillo	Límite de resolución de 1µm	1. Corte	Historia de fabricación
		Cerámicos	Económico	Profundidad de campo limitada	2. Montaje	Influencia de tratamiento térmico
		Compuestos	Rápido	No arroja datos de composición química	3. Limpieza	Integridad de soldadura
		Mat. Geológicos	Cualitativo	No se puede analizar cristalografía	4. Desbaste	Análisis de falla
			Cuantitativo		5. Pulido	Caracterización del efecto de la ruta de procesamiento en microestructura y propiedades
			6. Ataque químico			
SEM	Microscopio electrónico de barrido	Metales	Fácil operación	Solo para muestras sólidas	1. Corte	Análisis de superficies de fractura
		Cerámicos	Interfaces intuitivas para el operador	Tamaño limitado a 10 cmx40mm	2. Montaje	Circuitos integrados
		Compuestos	Poca preparación de muestra	Requiere una cámara de vacío	3. Tratamiento superficial	Productos de corrosión
		Polímeros	Rápida adquisición de datos	Muestras propensas a desgasificación a bajas presiones	4. Recubrimiento conductivo	Materiales en polvo
		Semiconductores	Formatos digitales de información	Elementos ligeros o con números atómicos menores	5. Ataque químico*	Estudios de deformación
		Minerales		Baja energía de resolución		Orientación de cristales
				Baja sensibilidad a elementos en poca cantidad		Identificación química
		Requiere recubrimiento conductivo		Defectos e impurezas internos		
TEM	Microscopio electrónico de transmisión	Metales	Magnificaciones mayores	Equipo grande	1. Corte	Heterogeneidades en los cristales
		Compuestos	Alta calidad de imagen	Costoso	2. Pulido	Defectos lineales y precipitados
		No metales	Información detallada	Difícil preparación de muestra	3. Adelgazamiento químico	Identificación cualitativa de fases
		Polímeros	Analiza forma, tamaño y estructura	Operación de equipo y análisis de datos requieren de capacitación previa	4. Fabricación de la oblea	Orientaciones
		Compuestos orgánicos	Análisis focalizado	Muestras limitadas a aquellas que sean atravesadas por electrones	5. Corte	Estructura y textura
				Muestras muy pequeñas	6. Perforación	Análisis de fracturas
				Imágenes en blanco y negro	7. Electropulido/ Láser de iones	Productos de tamaño microscópico
				Requiere de un espacio especial		Análisis de topografía
		Requiere de mantenimiento constante				

Anexo A. Tabla comparativa de técnicas de caracterización (continuación)

XRD	Difractómetro de rayos X	Fluidos	Preparación de muestra simple	No para elementos con número atómico menor a 11	1. Corte	Identificación cualitativa de composición química	
		Metales	Análisis cualitativo y cuantitativo		2. Planicidad de una de las caras	Análisis cuantitativo de compuestos cristalinos	
		Polímeros	De fácil acceso	No apto para películas delgadas		Tamaño de cristales	
		Cerámicos	Simple	Detección limitada		Determinación de coeficiente de dilatación térmica	
		Semiconductores	Equipo no muy grande	Requiere de patrones de indexación		Simetría de cristales	
					Obtención de parámetros de red		
EBSD	Microscopio electrónico de barrido con detector de EBSD	Metales	Modo automático y manual	Tamaño de muestra limitado a la cámara de SEM	1. Corte	Análisis de textura para control de calidad, formabilidad y propiedades eléctricas y magnéticas	
			Imagen en 3D		2. Montaje	Conteo de austenita y ferrita retenida	
			Muestras mayores que en TEM		3. Desbaste	Medición de espesor de textura	
		Minerales	Análisis de áreas mayores	Carga de la muestra es requerida	4. Pulido	Medición, análisis y orientación de segundas fases	
			Cerámicos	Equipo relativamente barato en comparación con TEM	Fácil deformación en la superficie	5. Sílica Coloidal	Medición de tamaño de grano
				Datos específicos	No para materiales no cristalinos	6. Limpieza final	Desarrollo de dispositivos de película delgada
		Semiconductores					Estudios de recristalización
							Orientación de cristales
		Materiales inorgánicos cristalinos					Medición y distribución de desorientaciones en límites de grano
							Medición y distribución de deformación
					Identificación de fases		