

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INFLUENCIAS DE LOS CARBUROS DE CROMO Y DE SILICIO
SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS DEPOSITOS REALIZADOS
CON ELECTRODOS DE RECARGUE DURO**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

por el Br. Pérez D., Angel L. para optar al título de

INGENIERO METALÚRGICO

Caracas, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INFLUENCIAS DE LOS CARBUROS DE CROMO Y DE SILICIO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS DEPOSITOS REALIZADOS CON ELECTRODOS DE RECARGUE DURO

Tutor Académico: Prof. Vicente Ignoto

Tutor Industrial: Ing. Miguel Villarroel

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

por el Br. Pérez D., Angel L. para optar al título de

INGENIERO METALÚRGICO

Caracas, 2004

DEDICATORIA

*A mi familia que me apoyaron en todo momento y de sobre manera en los tiempos difíciles,
en especial a mis padres quienes han sido mi norte y ejemplo a seguir.*

*A mi novia por estar a mi lado de manera incondicional ofreciendo todo
su apoyo y amor.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios Todo Poderoso, por darme salud y poder disfrutar de este momento crucial en mi vida.

A mis amigos que de una u otra forma han hecho de mi vida un gran momento

A todas las personas que laboran en la “Empresa Lincoln Soldaduras De Venezuela” C. A., por la gran oportunidad que me han ofrecido de afianzar los conocimientos teóricos y de ser parte de este gran equipo de trabajo. En especial al TSU Elvis Prieto, Sr. Pedro Díaz,. Lic. Nidia Peroso, Lic. Scarlet Muñoz , Lic. Ramón Monsalve y.al Ing. Miguel Villarroel, quien con sus buenos consejos y gran experiencia en el mundo de la soldadura y en la vida, se convirtió en un pilar fundamental para el desarrollo del presente trabajo, gracias a todos por la paciencia y el apoyo brindado.....

Al Profesor Vicente Ignoto y al Profesor José León por su valiosa colaboración prestada durante la ejecución de la presente investigación.

A todos aquellas personas que confiaron en mi de manera incondicional

ACTA

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el consejo de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, para examinar el Trabajo Especial de Grado intitulado:

INFLUENCIAS DE LOS CARBUROS DE CROMO Y DE SILICIO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS DEPOSITOS REALIZADOS CON ELECTRODOS DE RECARGUE DURO

Presentado ante la ilustre **Universidad Central de Venezuela** por el Br. **Angel Luis Pérez Duarte**, dejan constancia de lo siguiente:

Hemos leído este trabajo y participado en su discusión, encontrando que el mismo es suficiente en contenido, calidad y extensión para cumplir con todos los requerimientos establecidos para optar al título de Ingeniero Metalúrgico.

En fe de lo cual se levanta la presente acta en Caracas a los seis días del mes de Agosto de dos mil cuatro.



The image shows three handwritten signatures on a document. The top signature is for Prof. Vicente Ignoto, Tutor. Below it are two signatures for the jury: Prof. Freddy Fraudita on the left and Prof. Amado Quintero on the right. Each signature is written over a horizontal line.

Prof. Vicente Ignoto
Tutor

Prof. Freddy Fraudita
Jurado

Prof. Amado Quintero
Jurado

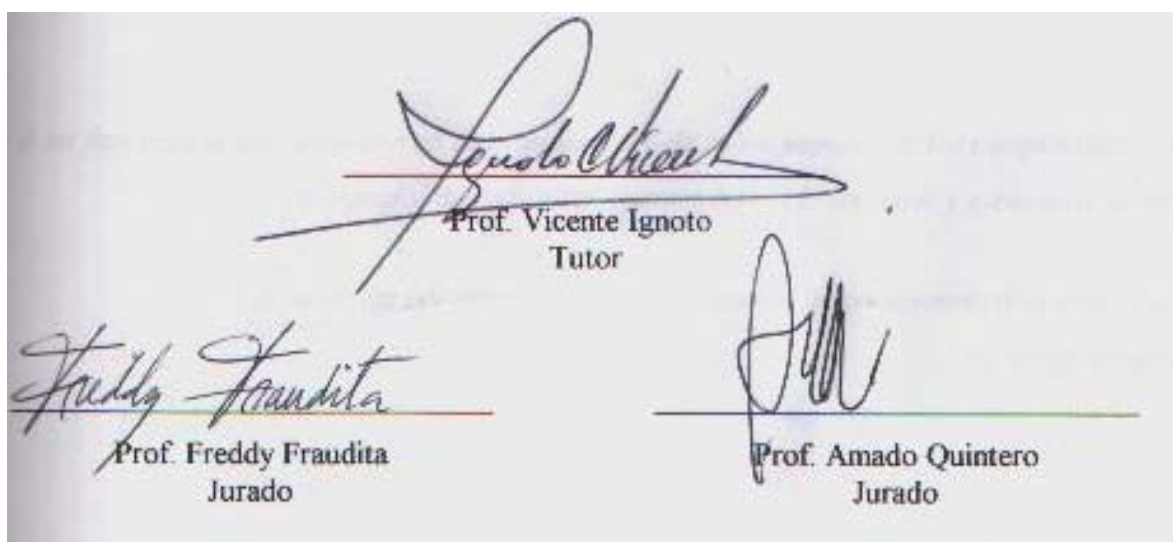
VEREDICTO

Los suscritos miembros del jurado examinador designado por el consejo de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller **Angel Luis Pérez Duarte**, C.I. : 13.412.994, el cual lleva por título:

INFLUENCIAS DE LOS CARBUROS DE CROMO Y DE SILICIO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS DEPOSITOS REALIZADOS CON ELECTRODOS DE RECARGUE DURO

Decidimos conferirle una **Mención Honorífica** como premio al esfuerzo realizado y como estímulo a la actividad creativa demostrada en el transcurso de la elaboración de esta tesis de grado.

En fe de lo anteriormente expuesto se levanta la presente acta en Caracas a los seis días del mes de Agosto de dos mil cuatro, dejándose constancia de acuerdo a la normativa vigente, actuó como coordinador del jurado examinador el Prof. Vicente Ignoto.



The image shows three handwritten signatures on a document. The top signature is for Prof. Vicente Ignoto, Tutor. Below it are two signatures for the jury: Prof. Freddy Fraudita, Jurado, on the left and Prof. Amado Quintero, Jurado, on the right. Each signature is written in black ink and is positioned above a horizontal line.

Prof. Vicente Ignoto
Tutor

Prof. Freddy Fraudita
Jurado

Prof. Amado Quintero
Jurado

Pérez D, Angel L

INFLUENCIAS DE LOS CARBUROS DE CROMO Y DE SILICIO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS DEPOSITOS REALIZADOS CON ELECTRODOS DE RECARGUE DURO

Tutor Académico: Prof. Vicente Ignoto. Tutor Industrial: Ing. Miguel Villarroel
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Metalúrgia y Ciencia de los
Materiales. Año 2004, 127 pág.

Palabras Claves: Soldadura SMAW, Recubrimiento Duro, Electrodo Revestido

RESUMEN. El objetivo de esta investigación es determinar la influencia de los carburos de “Cr” y “Si” en depósitos de soldadura realizados con un electrodo de recargue duro denominado “Gridur 150 AC”, haciendo uso del proceso de soldadura manual al arco “SMAW”. A partir de la formulación original se realizaron variaciones de los componentes contentivos de los elementos C, Cr y Si, originando ocho (8) formulaciones distintas las cuales fueron extruidos en la planta piloto de la empresa Lincoln Soldaduras de Venezuela. Fabricados los electrodos se seleccionaron las condiciones más óptimas a partir de los cordones de pruebas con mejor apariencia y exenta de defectos superficiales. De acuerdo a lo estipulado por la norma DIN 8555 con las condiciones más óptimas para cada tipo de electrodo, se realizaron probetas para análisis químicos y dureza. Sobre la probeta de dureza, se determinaron valores de dureza longitudinal y transversal, además se realizaron observaciones metalográficas y microdureza.

Producto de la presente investigación las conclusiones más importantes son: Los depósitos de los electrodos de recargue en estudio presentaron microestructuras similares, compuesta por una matriz eutéctica denominada ledeburita, con precipitados de carburos rico en cromo de diversa morfología y tamaño. Depósitos de metal de recargue con elevada concentración de carburos rico en cromo, compuesta de pequeñas laminillas y colonias de carburos en

mención arrojaron mejor comportamiento ante el ensayo de dureza. Los carburos de silicio no se evidenciaron en la microestructura de los depósitos de recargue en estudios.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

1. FUNDAMENTO TEORICO.	1
1.1 Soldadura al Arco Eléctrico	1
1.1.1 Soldadura Manual al Arco con Electrodo Revestidos (SMAW)	2
1.1.1.1 Ventajas y Limitaciones del Proceso SMAW	2
1.1.1.2 Calidad de la Soldadura en Proceso SMAW.	3
1.1.1.3 Circuito Eléctrico en Proceso SMAW	3
1.1.1.4 Selección de los Parámetros de Soldadura SMAW.	3
1.2 Electrodo Revestidos, Fabricación.	5
1.2.1 Proceso de Fabricación de Electrodo Revestidos	5
1.2.2 Revestimiento y su Función	7
1.2.3 Clasificación de los Electrodo según AWS.	9
1.3 Metalurgia de la Soldadura	10
1.3.1 Cordón de Soldadura	10
1.3.2 Zona Afectada por el Calor	11
1.3.3 Metal Base	11
1.3.4 Efectos de Elementos Aleantes en la Soldadura	12
1.3.5 Materiales endurecidos por Deformación	12
1.3.6 Suministro de Calor.	13
1.3.7 Agrietamiento en Frío	14
1.3.8 Agrietamiento en Caliente	15
1.3.9 Carbono Equivalente.	15
1.3.10 Precalentamiento y Temperatura entre Pases	17
1.3.11 Dilución.	17
1.4 Recubrimientos Duros.	19
1.4.1 Aleaciones de Recubrimientos Duros.	20
1.4.2 Propiedades de los Recubrimientos Duros.	24
1.4.3 Ventajas de los Recubrimientos Duros	25
1.4.4 Uso de Recubrimientos Duros.	25
1.4.5 Selección de Recubrimientos Duros	26
1.4.6 Aplicación de Recubrimientos Duros con alto contenido de Cromo	28
1.4.7 Consideraciones Especiales en Aplicaciones de Recubrimientos Duros.	29
1.5 Mecanismos de Desgaste Superficial	31
1.5.1 Abrasión	31
1.5.2 Impacto.	31
1.5.3 Rozamiento Metal – Metal.	32
1.5.4 Oxidación a Altas Temperaturas.	32
1.5.5 Cavitación.	32
1.5.6 Corrosión.	33

1.6 Dureza	33
1.6.1 Resistencia a la Identación.	34
1.6.1.1 Ensayo de Dureza Brinell.	34
1.6.1.2 Ensayo de Dureza Vickers.	34
1.6.1.3 Ensayo de Dureza Rockwell.	35
1.6.2 Microdureza.	36
1.7 Metalografía.	37
1.7.1 Selección de las Muestras Metalográficas.	38
1.7.2 Corte de las Muestras Metalográficas.	38
1.7.3 Desbaste, Pulido y Ataque de las Muestras.	39
1.7.4 Observación Metalográfica en Soldaduras.	40
1.7.5 Microscopio Electrónico de Barrido.	41
2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	43
2.1 Formulación y Fabricación de los Electrodo.	43
2.1.1 Formulación del Revestimiento.	43
2.1.2 Fabricación de Electrodo.	46
2.2 Caracterización del Material Base.	47
2.2.1. Metal Base.	47
2.2.1.1 Análisis Químico.	47
2.3 Preparación del Proceso de Soldadura	48
2.3.1 Banco de Prueba de Soldadura	48
2.3.2 Fuente de Energía Eléctrica	49
2.3.3 Preparación del Material Base	49
2.4 Selección de la Parámetros de Soldadura	49
2.4.1 Inspección Visual	50
2.4.2 Inspección por Líquidos Penetrantes	51
2.5 Estudio Macrográfico	51
2.6 Elaboración de Probetas	51
2.6.1 Preparación del Material Base para Análisis Químico	51
2.6.2 Elaboración de Probetas para Análisis Químico	52
2.6.3 Preparación del Material Base para Dureza	52
2.6.4 Elaboración de la Probeta para Dureza	52
2.7 Caracterización de los Depósitos de Recargue	53
2.7.1 Análisis Químico	53
2.7.2 Ensayo de Dureza	54
2.7.2.1 Dureza Longitudinal	54
2.7.2.2 Dureza Transversal	55
2.7.3 Evaluaciones Adicionales	55
2.7.3.1 Evaluación Metalográfica	55
2.7.3.1.1 Preparación de las Muestras Metalográficas	55
2.7.3.1.2 Observación Metalográfica	56
2.7.3.1.3 Caracterización por Microscopía Electrónica de Barrido	57

2.7.3.2 Microdureza	57
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
3.1 Caracterización del Material Base	58
3.1.1 Análisis Químico	58
3.1.2 Metalografía	58
3.2 Selección de Parámetros de Soldadura	59
3.2.1 Inspección Visual	59
3.2.2 Inspección por Líquido Penetrante	61
3.3 Estudio Macrográfico	63
3.4. Elaboración de Probetas	64
3.4.1 Probetas para Análisis Químicos	64
3.4.2 Probetas para el Ensayo de Dureza	65
3.5 Caracterización de los Depósitos de Recargue	65
3.5.1 Análisis Químico	65
3.5.2 Ensayo de Dureza	66
3.5.2.1 Dureza Longitudinal	66
3.5.2.2 Dureza Transversal	70
3.6 Evaluaciones Adicionales	74
3.6.1 Observación Metalográfica	74
3.6.1.1 Perfil Microestructural en Depósitos de Metal de Recargue	74
3.6.1.2 Perfil Microestructural. en las Zonas Metal Base - Dilución.	89
3.6.1.3 Caracterización por Microscopía Electrónica de Barrido	93
3.6.2 Microdureza	94
4. CONCLUSIONES	95
5. RECOMENDACIONES	96
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
7 ANEXOS	100

INTRODUCCIÓN

La Industria Azucarera presenta componentes sometidos a diversos tipos de desgastes superficiales, esencialmente de naturaleza mecánica. Estos componentes conforman las unidades de preparación de molienda de caña, que incluye las etapas de recibimiento, corte, desfibramiento y molienda.

Un alto porcentaje de estos componentes son recuperados por soldadura, haciendo uso de la técnica de recargue duro por “SMAW”, proceso de soldadura manual, que permite entre otros aspectos la aplicación in situ, y el uso de equipos no tan sofisticados, ahorrando costo al no tener que adquirir partes mecánicas nuevas o tener que someterlos a procesos de recuperación superficiales más costosas.

El recubrimiento duro por soldadura, también conocido como recargue duro se refiere a la operación que consiste en depositar un metal de aporte sobre la superficie de un metal base, con el propósito de reducir el desgaste por abrasión, impacto, erosión, galling (soldadura localizada) o cavitación.

La mayoría de las aleaciones de recubrimientos duros que ofrecen resistencia al desgaste presentan un rango de dureza entre 40 y 60 Rockwell C (HRC), contienen altos niveles de carbono para promover la formación de carburos durante la solidificación.

Entre los componentes antes mencionados los rodillos usados en la molienda de la caña de azúcar sufren desgaste principalmente por abrasión, debido a la naturaleza fibrosa de la caña de azúcar, mezclada con partículas de tierra abrasivas.

La empresa fabricante de electrodos revestidos Lincoln Soldaduras de Venezuela presenta un electrodo de recargue duro, denominado “Gridur 150 AC”. Especialmente diseñado para ser aplicado en las masas de los molinos utilizados en la industria azucarera, con el objetivo de depositar puntos de soldadura para reducir el deslizamiento del bagazo y aumentar la eficiencia del molino y reestablecer los dientes desgastados.

El electrodo “Gridur 150 AC” puede aplicarse sobre piezas de aceros al carbono, aceros de baja y media aleación y aceros fundidos, fundiciones de hierro gris y nodular , sin embargo para estas 3 últimas aplicaciones, se recomienda previamente aplicar un metal de aporte (acero al carbono) que logre acondicionar la superficie para realizar el recargue.

El presente trabajo de investigación persigue el objetivo fundamental de determinar la influencia de los Carburos de Cr y de Si sobre las propiedades de los depósitos realizados con electrodos de recargue duro denominado “Gridur 150 AC”. Los alcances planteados para lograr dicho objetivo son:

- Determinar la influencia que proporcionan los carburos de cromo, y silicio sobre la soldabilidad del recargue duro y dureza sobre depósitos de soldadura.
- Evaluar el comportamiento de estos carburos sobre la microestructura, en los depósitos de recargue duro.
- Predecir una composición en el revestimiento del electrodo “Gridur 150 AC”, cuyo depósito ofrezca propiedades adecuadas.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1. FUNDAMENTO TEÒRICO

1.1 Soldadura al Arco Eléctrico:

Soldadura que se basa en la unión por fusión de las partes metálicas involucradas, mediante la aplicación de calor a través de un arco eléctrico [1]. La unión de las partes involucradas puede o no requerir de presión o metal de aporte.

El arco eléctrico puede considerarse como una descarga entre dos polos a través de una zona gaseosa de alta resistencia, esta constituido por un ánodo, un cátodo y la columna del arco. La columna del arco es la separación entre polos donde se forma el plasma, que son gases y metales ionizados que conducen la electricidad.

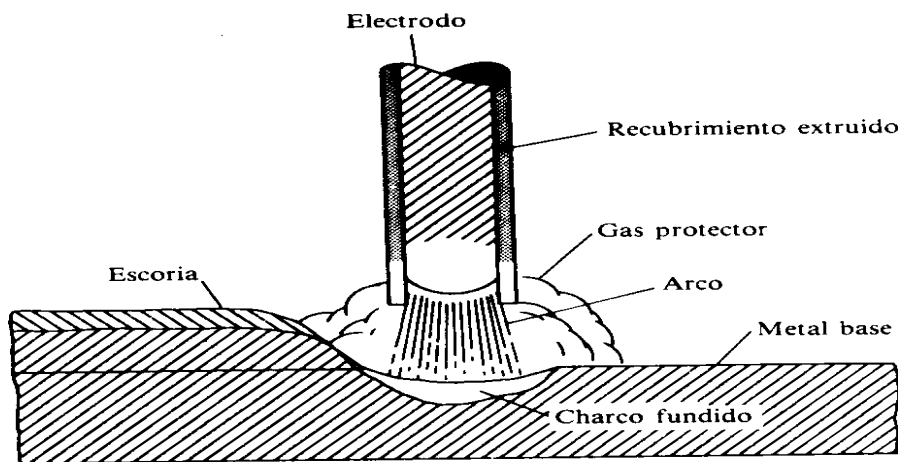


Fig. 1 Soldadura al Arco Eléctrico con Electrodo Revestido

Son múltiples las posibilidades de aplicación de la soldadura por arco eléctrico. Su campo de aplicación depende, entre otros aspectos, del tipo de material a soldar, el espesor del mismo, los requisitos que deba satisfacer el cordón de soldadura, entre otros aspectos.

Se han diseñado varios procesos para soldar por arco eléctrico, los cuales se distinguen uno de otros en la manera en que se produce el arco eléctrico, forma en que se protege el

electrodo y al metal de soldadura durante el proceso de soldadura, si hay o no material de aporte y si se aplica o no presión para ayudar al proceso de unión.

Dentro de una gama de proceso de arco eléctrico, los más importantes son:

Soldadura manual al arco con electrodos revestidos (SMAW)

Soldadura por arco eléctrico con electrodo desnudo y gas protector (GMAW)

Soldadura manual al arco con electrodo de Tungsteno y gas protector (GTAW)

Soldadura por arco sumergido (SAW).

1.1.1 Soldadura Manual al Arco con Electrodos Revestidos (SMAW)

H. Raymond [2] define el proceso de SMAW “SHIELDED METAL ARC WELDING”, como: proceso de soldadura manual donde el arco es generado entre un electrodo revestido consumible y la pieza de trabajo. El proceso usa la descomposición del revestimiento para generar una capa gaseosa protectora de las gotas del metal de aporte y el charco de soldadura.

1.1.1.1 Ventajas y Limitaciones del Proceso SMAW

El proceso SMAW es el proceso de soldadura más ampliamente usado. Entre otros aspectos debido al bajo costo, fácil traslado y requerimiento general del equipo de soldadura en comparación con otros procesos de soldadura. Amplia flexibilidad para ser aplicado en todas las posiciones (plano, horizontal, vertical y sobrecabeza) sobre una amplia gama de espesores de metal base (a partir de espesores $> 1,6$ mm) en áreas de accesibilidad limitada.

Entre las limitaciones se encuentra la gran destreza y habilidad que debe poseer el soldador por ser un proceso manual. El ciclo de trabajo es bajo en comparación con otros procesos, menor a 25% debido, a las paradas continuas que debe hacer el soldador para reemplazar el electrodo consumido y la obligatoria limpieza de la zona de reinicio de la soldadura, aumentando además la probabilidad de presentar discontinuidades en la misma

1.1.1.2 Calidad de la Soldadura en Proceso SMAW

La calidad de la soldadura depende del diseño, accesibilidad de la junta, así como del electrodo y la técnica a utilizar y de la habilidad del soldador. Existen otros factores que pueden reducir la calidad de la soldadura como ventilación inadecuada del área y presencia de productos contaminantes (grasas, óxidos y sucio), y defectos propios del electrodo en uso, excentricidad, humedad y presencia de defectos superficiales.

1.1.1.3 Circuito Eléctrico en Proceso SMAW

Un diagrama básico del circuito utilizado en el proceso SMAW se muestra en la Fig. 2. El equipo consiste de una fuente de poder (1) , pinza porta electrodo (2), y cables que conectan la fuente de poder a la pinza porta electrodo y la pieza de trabajo (3).

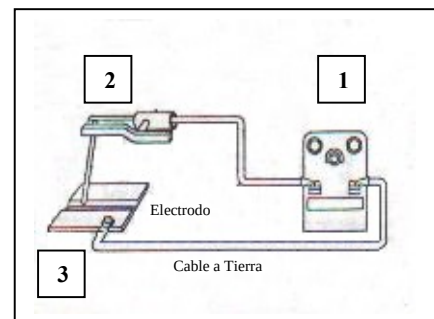


Fig. 2 Circuito proceso SMAW

1.1.1.4 Selección de los Parámetros de Soldadura SMAW

A los efectos de lograr soldaduras libres de defectos, tales como fisuras, poros, socavación, inclusión de escoria, se deben considerar las siguientes variables y sus implicaciones:

A. Diámetro de la Varilla

Con electrodos de diámetros mayores se obtiene menor penetración, sin embargo, el arco se torna más inestable y se dificulta su encendido.

B. Tensión de Arco

Al aumentar la tensión hay incremento de la dilución, el ancho del cordón aumenta y disminuye la sobremonta lográndose un cordón ancho y plano. De forma alterna aumenta la

cantidad de recubrimiento que se funde con igual cantidad de varilla, afectando a la composición química del metal de soldadura en el caso de emplear fundentes activos.

C. Velocidad de Avance

Al aumentar la velocidad de traslación del arco disminuye el ancho del cordón y la penetración, incrementándose el riesgo de porosidad. Las velocidades excesivas se traducen en cordones mordidos y rugosos.

D. Inclinación del Electrodo

Tiene un efecto considerable sobre la penetración y sobre eventuales socavaduras.

E. Espesor de la capa de Fundente

Electrodos con capa de fundente de poco espesor puede producir porosidad por una inadecuada protección del metal fundido. Sin embargo, una capa muy gruesa desmejora el aspecto del cordón y puede conducir a derrames del metal fundido en soldaduras circunferenciales y producir dificultades para la remoción de la escoria en juntas profundas.

F. Amperaje

Determina en forma directa la penetración y la velocidad de deposición, aumentando ambas con el incremento de corriente. Un amperaje demasiado alto puede producir perforación del metal, en cambio un valor de amperaje bajo, producirá falta de penetración o fusión.

G. Polaridad

La polaridad es la que nos indica en un circuito eléctrico, el sentido de la circulación de la corriente; por lo tanto este parámetro se debe evaluar solo cuando se trabaje con corriente continua o directa, ya que en corriente alterna la corriente cambia de sentido periódicamente.

La polaridad es importante ya que en ciertos casos determina la penetración de la fusión dentro del metal base y la rata de fusión del electrodo. De la polaridad depende la cantidad

de calor liberada en el electrodo y en el metal base. De esta forma, mediante el cambio de polaridad se puede concentrar el calor donde más interese. Así, por ejemplo, al requerir mayor cantidad de aporte de calor a la pieza, debido a que entre otros aspectos, el metal ofrece grandes áreas a ser soldadas o se necesita realizar grandes depósitos sobre piezas pesadas, es conveniente trabajar con polaridad directa. La misma se obtiene cuando se conecta el portaelectrodo al polo negativo del generador o rectificador y al polo positivo la pieza a soldar. Por el contrario, cuando se requiera un mínimo de aporte de calor al metal ya sea por la posición de soldeo (sobrecabeza), bajo espesor del metal a soldar, disminución de riesgo de sobrecalentamiento en el metal base, como es el caso de las fundiciones grises, entre otros, es necesario trabajar con polaridad inversa.

En líneas generales se puede afirmar que en polaridad directa se logra mayor penetración, mejor aspecto superficial y mayor resistencia a la porosidad y en polaridad inversa se obtiene mayor velocidad de deposición con menor penetración.

1.2 Electrodo Revestidos, Fabricación

El material de aporte usado en el proceso SMAW se conoce como electrodo revestido y consiste en una varilla metálica, generalmente acero de bajo carbono, recubierta de un revestimiento concéntrico de fundente extruido y seco. La fabricación de electrodos se realiza en dos líneas en paralelo: varilla o alma, y revestimiento.

1.2.1 Proceso de Fabricación de Electrodo Revestidos.

La fabricación del producto consta de las siguientes etapas:

A. Trefilación: proceso de conformado en frío, donde el alambrón sufre disminución de diámetro, hasta la obtención de los diámetros convencionales de trabajo: 2.50, 3.25, 4.00, 5.00 y 6.00 mm. Este material sale en forma de bobinas para la sección de cortes.

B. Corte: etapa que consiste en seccionar el alambre de diámetro específico a una longitud estipulada, obteniendo así varillas listas para la etapa siguiente “Extrusión”. Se debe tener cuidado de no producir varillas dobladas o con rebabas.

C. Llenado de tolvas: sección semi-automática, que consiste en recoger por tolvas los diversos componentes en polvos secos, necesarios para la fabricación del revestimiento del electrodo estipulado, el cual está regulado por una orden de producción y número de lote.

D. Mezclado: en esta etapa se homogenizan los componentes en seco, para luego añadir diversos componentes en húmedos, entre ellos se encuentran: aglutinantes, silicatos hidróxidos y agua. En esta etapa se debe obtener una masa de revestimiento con consistencia adecuada que permita la extrusión de los electrodos de alta calidad.

E. Extrusión: proceso del conformado del electrodo, donde se introduce las varillas y la masa del revestimiento o fundente de manera separada y de salida se obtienen electrodos con características específicas, como: varillas céntricas, diámetro estipulado, exentas de defectos superficiales, identificación adecuada y totalmente legible.

F. Climatización y Horneado: los electrodos son introducidos en recamaras de climatización, donde se busca bajar el porcentaje de humedad a valores adecuados para ser transferido a los hornos donde sufren un ciclo de horneado, de acuerdo a la naturaleza del electrodo en proceso. Dentro del horno la temperatura se incrementa gradualmente para evitar que se agriete y se desprenda el revestimiento. Existen electrodos que no requieren un ciclo de horneado, si no, con un ciclo de secado se logra la humedad requerida para ser empacado, tal es el caso, de los electrodos celulósicos. Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos eléctricos para darles un secado final a 400-450 °C. De esta forma nos aseguramos que el contenido de hidrógeno sea inferior a 10 cc. por cada 100 gr/metal depositado.

G. Embalaje: última sección en el proceso de fabricación de electrodos y el cual consiste en introducir en bolsas plásticas y luego en cajas una cantidad estipulada de kilogramos de electrodos (exento de defectos) herméticamente selladas y prevista de una adecuada identificación.

1.2.2 Revestimiento y su Función

El revestimiento es una mezcla de materias orgánicas, minerales, productos metalúrgicos y productos químicos el cual le dan ciertas características y propiedades a la soldadura, ya sea durante la fusión o durante la solidificación. Algunas de las funciones que cumple el revestimiento son:

- Desoxidante y limpiador del material base durante la soldadura.
- Estabilizador del arco eléctrico y disminución de chisporroteo.
- Influencia directa en la penetración del cordón de soldadura.
- Romper las tensiones superficiales de las gotas de material de aporte, permitiendo que se mezclen homogéneamente con el material base.
- Formar una capa de escoria que proteja al cordón de soldadura caliente de la acción del oxígeno y nitrógeno.
- Evitar el rápido enfriamiento del cordón de soldadura gracias a la protección de la capa de la escoria.
- Permitir por medio de elementos adicionales, obtener un cordón de soldadura con propiedades especiales.
- Influir en la cantidad de aportación del material de soldadura.

En definitiva, el revestimiento realiza un gran número de funciones cuyo estudio constituye toda la técnica del electrodo.

1.2.2.1 Función Eléctrica del Revestimiento

La existencia de un arco depende entre otros factores, del estado de ionización de los gases existentes entre el ánodo y el cátodo. El arco metálico debe ser estable y constante, sin embargo la tendencia natural del arco es ser inestable, por lo tanto se debe tener en cuenta los distintos factores que actúan sobre la estabilidad del arco, entre los cuales se encuentran:

Potencial de ionización de los metales.

Poder termoiónico

Conductibilidad térmica.

Para la corriente alterna es indispensable un medio fuertemente ionizado; de aquí la necesidad de introducir en el revestimiento sales de baja tensión de ionización y un elevado poder termoiónico tales como las sales de sodio, potasio y de bario. Existen otros productos que son favorables al mantenimiento del arco tales como los silicatos, carbonatos, óxido de hierro y óxido de titanio.

El estudio del revestimiento desde el punto de vista de su función eléctrica, es particularmente importante para la puesta en punto de los electrodos que deban funcionar con corriente alterna, tiene mucho menor importancia en los electrodos que trabajen con corriente continua, esto se debe a que el arco se apaga en cada periodo, y en ese instante, resulta necesario facilitar su reencendido.

1.2.2.2 Función Física del Revestimiento

El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones, de cabeza, horizontal, vertical, y sobrecabeza, realizar según su naturaleza un cordón convexo o cóncavo. En esta función intervienen dos elementos:

La naturaleza del revestimiento, que determina la viscosidad de la escoria, y el espesor de la capa de escoria requerida para evitar desprendimiento del baño metálico.

Así tenemos que la influencia de la viscosidad de las escorias en soldadura, se hace patente no sólo para la obtención fácil del material aportado en distintas posiciones, sino para la protección total del metal fundido.

1.2.2.3 Función Metalúrgica del Revestimiento

Los revestimientos no solo contienen elementos estabilizadores y elementos formadores de escoria, sino que también tienen elementos reductores y elementos útiles que se fijan en el metal fundido con el fin de aumentar las cualidades mecánicas del material depositado. Propiciando la formación de fases que soporten o mejoren algunas propiedades presenten en el material base, entre los cuales se tienen: resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, incremento en la ductilidad, resistencia a la corrosión, resistencia a elevadas temperaturas y otros.

1.2.3 Clasificación de los electrodos según “AWS”

La Sociedad de Soldadura Americana “AWS” establece requerimientos y especificaciones el cual provee al fabricante y comprador un control básico de control y aceptación de productos de soldadura [3].

La norma americana “AWS” presenta un sistema de identificación y clasificación de los materiales de aporte. La letra “E” en el comienzo de la clasificación indica que es un electrodo revestido, y la letra “R” indica varillas para soldadura. Las letras “ER” indica que el material de aporte puede ser usado como electrodo o varilla. Para los electrodos de aceros al carbono y baja aleación estas letras están precedidas por números y letras basados sobre criterios que describen la capacidad de soldadura del electrodo depositado, estos criterios incluyen composición química del metal de soldadura depositado, propiedades mecánicas del metal de soldadura y ciertos parámetros propios del proceso.

Para electrodos de recargue y no ferrosos los símbolos que preceden a las letras “E, R ó ER” son símbolos químicos del elemento principal. En la Tabla 1 se muestran las especificaciones estipuladas por AWS en función de los tipos de electrodos revestidos.

Tabla 1 Especificación AWS para Electroodos Revestidos [4]

Tipo de Electrodo	Especificación AWS
Acero al Carbono	A5.1
Acero de Baja Aleación	A5.5
Acero Resistente a la corrosión	A5.4
Fundición	A5.15
Aluminio y aleaciones de aluminio	A5.3
Cobre y aleaciones de cobre	A5.6
Nickel y aleaciones de Nickel	A5.11
Recubrimiento	A5.13 y A5.21

1.3 Metalurgia de la Soldadura

La soldadura envuelve muchos fenómenos metalúrgicos. La metalurgia de la soldadura está íntimamente relacionada con las características del metal base, el metal de aporte y del procedimiento de soldadura empleado [5].

1.3.1 Cordón de Soldadura

Región fundida durante el proceso de soldadura y se compone de metal base y material de aporte, aunque algunas soldaduras se producen sin material de aporte.

La composición química del cordón de soldadura depende de la composición del metal base y del material de aporte, así como de la relación que exista entre la cantidad de material base fundido y la cantidad de material de aporte agregada durante la soldadura. Elementos tales como el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno pueden aparecer como contaminantes cuando el metal fundido no se protege adecuadamente de la atmósfera.

Dependiendo de la composición y la tasa de solidificación del metal de soldadura se formarán granos dendríticos, lo cual causa segregación de elementos aleantes y en consecuencia una estructura menos homogénea que el metal base.

1.3.2 Zona Afectada por el Calor

Zona del material base adyacente al metal fundido afectada por el calor durante la soldadura. Esta zona se define frecuentemente en función de su dureza o de su microestructura.

Los fenómenos metalúrgicos que ocurren en esta zona son determinados por los ciclos térmicos que sufre el material. Estos ciclos dependen de la cantidad de calor suministrada durante el proceso de soldadura, la temperatura del material base antes de realizar la soldadura, espesor y geometría de la pieza o junta.

Defectos que se producen en el material base como consecuencia de los ciclos térmicos:

Cambios micro-estructurales: dilución, precipitación de fases, crecimiento de grano, entre otros.

Variación de las propiedades mecánicas

Disminución de la resistencia a la corrosión.

Generación de esfuerzos residuales

1.3.3 Metal Base

La tercera zona que compone una soldadura es el metal base. La selección de un material que involucre soldadura requiere que sea considerado su soldabilidad.

La soldabilidad [5] debe comprender compatibilidad metalúrgica de un metal o aleaciones con un proceso de soldadura específico. La compatibilidad metalúrgica implica que el metal base y la soldadura pueda estar combinados dentro del grado de dilución estipulado para un proceso específico, sin la producción de fases o constituyentes perjudiciales. Las propiedades mecánicas logradas deben cumplir con los requerimientos estándares estipulados.

La temperatura del metal base antes de realizar la soldadura influye directamente en las velocidades de enfriamiento de la soldadura. Al precalentar, las velocidades de enfriamiento disminuyen los fenómenos metalúrgicos ocasionados por un enfriamiento brusco, como obtención de fases duras, endurecimiento o en los peor de los casos fragilidad.

A mayor espesor de metal base se incrementa las velocidades de enfriamiento del depósito de soldadura y de la zona afectada por el calor. Esto es importante en los aceros

estructurales, ya que, al aumentar el espesor del material aumentan las posibilidades de obtener micro-estructuras duras (martensita), nociva en muchos casos por su fragilidad.

Uno de los principales problemas que se presenta al soldar ciertos tipos de materiales es el agrietamiento. Existen fundamentalmente dos tipos de agrietamientos:

Agrietamiento en Frío o por Hidrógeno, y

Agrietamiento en Caliente.

1.3.4 Efectos de Elementos Aleantes en la Soldadura

Los elementos añadidos intencionalmente determinan las características metalúrgicas del metal de soldadura y metal base, algunos de los propósitos seguidos con la adición de estos elementos son:

- Para formar aleaciones intersticiales e incrementar las propiedades mecánicas
- Para formar aleaciones sustitucionales y producir endurecimiento por solución sólida.
- Para proveer elementos desoxidantes al metal fundido sin perder elementos primordiales.
- Para incrementar o bajar la dureza de la zona afectada por el calor (formación de estructuras martensíticas)
- Para formar precipitados por envejecimiento
- Para formar carburos
- Para minimizar segregación.
- Para controlar la cantidad, distribución y forma de las inclusiones

Solo los elementos capaces de formar aleaciones intersticiales son carbono, hidrógeno, oxígeno y boro. Cuando estos elementos aleantes están presentes, ya sea en pequeñas cantidades generan un gran cambio en las propiedades mecánicas.

1.3.5 Materiales Endurecidos por Deformación

En los materiales endurecidos por deformación la zona afectada por el calor estará conformada de una estructura tal como se observa en la Fig. 3. Los materiales endurecidos recrystalizarán al ser calentados hasta su punto de fusión.

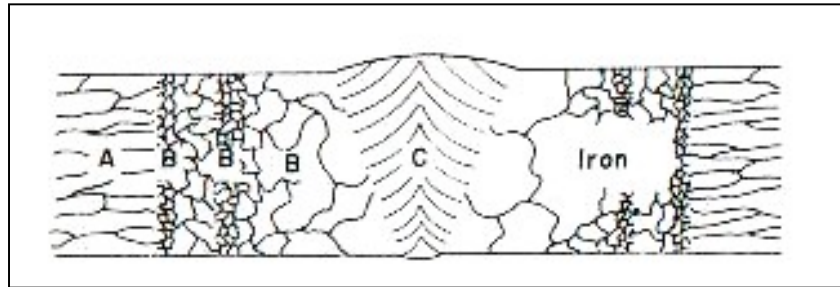


Fig 3. Estructura típica de la zona afectada por el calor en materiales endurecidos por deformación

En la figura 3 el metal base (A) muestra una típica estructura de granos alargados, producto de la deformación mecánica por laminado. En algún punto el metal base alcanza una temperatura suficientemente alta para causar recrystalización y es detectado por la presencia de granos finos y equiaxiales. En la línea de fusión la estructura del metal base endurecido por deformación ha sido completamente recrystalizado y los nuevos granos presentan un crecimiento del grano con un tamaño de los mismos mayor.

1.3.6 Suministro de Calor

El calor suministrado durante la producción de una soldadura es un factor que afecta las temperaturas y velocidades de enfriamiento del cordón de soldadura y de las zonas afectadas por el calor. Al aumentar el suministro de calor, se obtienen mayores temperaturas y menores velocidades de enfriamiento.

En ciertas aplicaciones se requiere de un mínimo suministro de calor para prevenir el agrietamiento del material; mientras que en otras, se especifica un máximo para prevenir su ablandamiento, como en el caso de los aceros templados y revenidos o para prevenir problemas de corrosión en los aceros austeníticos.

Los factores que determinan la entrada de calor en el procedimiento de la soldadura son:

- Intensidad de corriente de soldadura,
- Voltaje de soldadura, y
- Velocidad de avance.

1.3.7 Agrietamiento en Frío

Este tipo de agrietamiento se produce después que el material ha solidificado; pudiéndose presentar, incluso después de varias semanas de haber puesto la pieza soldada en servicio. Este problema se presenta en la soldadura de los aceros, y se produce por la combinación simultánea de tres factores:

Presencia de hidrógeno en la soldadura

Micro-estructuras susceptibles al agrietamiento (duras)

Esfuerzos en la Soldadura.

1.3.7.1 Hidrógeno en la Soldadura.

El hidrógeno puede presentarse en la soldadura a partir de cualquiera de las siguientes fuentes de contaminación:

Grasa o aceite en la superficie del metal base o material de aporte.

Humedad en el revestimiento de los electrodos, fundentes de soldar, gases de protección o en la superficie de la pieza a soldar.

Cierto tipo de óxidos superficiales.

1.3.7.2 Microestructuras Susceptibles.

Como regla general, mientras más duros sea el depósito de soldadura y la zona afectada por el calor, mayor será la susceptibilidad de los aceros al agrietamiento por hidrógeno. La microestructura que presenta mayor tendencia al agrietamiento en los aceros es la martensita.

1.3.7.3 Esfuerzos en la Soldadura.

Los esfuerzos en el material soldado se producen inevitablemente debido a las expansiones y contracciones localizadas que sufre el material, como consecuencia de los ciclos térmicos que se producen durante el proceso de soldadura. Estos esfuerzos tienen dos efectos. Primero, ellos producen distorsiones, y segundo pueden ser causantes de fallas prematuras en la soldadura. La distorsión es causada cuando la región soldada caliente se contrae de manera no uniforme, causando contracción en una parte de la soldadura. Las

distorsiones pueden ser controlados a través de varios métodos, uno de ellos, es el aporte limitado de calor a la pieza de trabajo, donde un valor de amperaje bajo es necesario.

1.3.8 Agrietamiento en Caliente

El agrietamiento en caliente se produce en una soldadura durante su proceso de enfriamiento, antes de que el material logre alcanzar la temperatura ambiente. Este tipo de agrietamiento generalmente se produce en el depósito de soldadura, pero también puede presentarse en la zona afectada por el calor. Los factores que determinan este tipo de agrietamiento son:

Los esfuerzos que se producen durante la ejecución de la soldadura debido a las expansiones y contracciones del material.

La susceptibilidad del material al agrietamiento la cual depende de su composición química y microestructura.

La presencia de impurezas, tales como azufre y fósforo en los aceros o de plomo y cobre en aleaciones de aluminio favorecen su aparición.

Entre los materiales que presentan mayor tendencia a este tipo de agrietamiento están, las aleaciones de aluminio, los aceros inoxidables austeníticos y las aleaciones de níquel.

1.3.8.1 Métodos para Prevenir el Agrietamiento en Caliente.

No utilizar materiales susceptibles a este tipo de agrietamiento en construcciones soldadas. Aceros con alto contenido de azufre son un ejemplo de este tipo de material.

Evitar la rigidez excesiva de los componentes a soldar.

Seleccionar apropiadamente el material de aporte considerando su dilución con el metal base durante la soldadura.

Evitar que el metal base y el material de aporte se contaminen con grasas, pinturas o huellas de marcadores: que pudiesen introducir azufre u otros elementos nocivos en la soldadura.

1.3.9 Carbono Equivalente

El carbono es el elemento de mayor influencia que afecta a la soldabilidad e incrementa la tendencia al agrietamiento en la soldadura; pero existen otros elementos que afectan a las

propiedades antes mencionadas y que pueden ser estimadas como una cantidad equivalente del carbono. De este modo el efecto de todos estos elementos aleantes pueden ser expresados a través de un termino denominado Carbono Equivalente (CE) [1]

Existen varias fórmulas para carbono equivalente correspondientes a diferentes investigadores:

Una de las más conocidas es la propuesta por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW), inicialmente propuesta por Dearden y O'Neill, en 1940, reflejada la ecuación 1.

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (1)$$

Útil para aceros con más de 0,18% de Carbono o en el caso de condiciones de soldadura que requieran un lento enfriamiento, $t_8/5$ mayores de 12 segundos

$C_E \leq 0.40$ indica que es un acero con buena soldabilidad y por tanto no requiere precalentamiento.

$0.40 < C_E < 0.65$ El acero requiere precalentamiento

$C_E > .065$ El acero requiere precalentamiento y postcalentamiento

En la Tabla 2 W. Newell [6]. Sugiere una guía de temperaturas de precalentamiento en función de valores de carbono equivalente. La fórmula de carbono equivalente utilizada se refleja en la ecuación 2.

$$C_E = C + \frac{(Si + Mn)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (2)$$

Tabla 2. Temperatura de Pre calentamiento en función de valores de carbono equivalente.

Carbono equivalente	Temperatura de Pre calentamiento (°C)
< 0.45	Opcional
0.45 hasta 0.60	95 hasta 210
> 0.60	210 hasta 370

1.3.10 Pre calentamiento y Temperatura entre Pases

La razón principal para el pre calentamiento y la aplicación de calor entre pases, es el de reducir la velocidad de enfriamiento de depósito de soldadura y de la Zona Afectada por el Calor (ZAC), logrando los siguientes aspectos:

Reducir la tendencia a la formación de microestructuras duras y frágiles.

Reducir la distorsión y esfuerzos residuales.

Facilitar la soldadura de materiales de alta conductividad térmica, como el cobre y sus aleaciones.

Eliminar humedad superficial en los materiales que se van a soldar.

1.3.11 Dilución

La dilución es una zona entre la soldadura y el metal base donde ocurre interacción química entre ellas, ocasionando un cambio en la composición de la misma [1].

A nivel porcentual se define como: la cantidad de metal base fundido (B) dividido por la suma del metal de soldadura aportado (A) más el metal base fundido (B), tal como se expresa en la ecuación 3 [7].

$$\% \text{ Dilución} = \frac{B}{A + B} \times 100 \quad (3)$$

Desde el punto de vista metalúrgico, la composición química y las propiedades de la soldadura están fuertemente influenciados por la dilución obtenida.

Las variables del proceso de soldadura que afectan mayormente a la dilución son [7]: corriente, amperaje, tamaño del electrodo, oscilación del electrodo, espaciamiento entre los cordones y principalmente el proceso de soldadura utilizado.

En caso de soldadura de recargue, un espaciamiento cerrado entre cordones (muy superpuesto) reduce la disminución de dilución. Esto ocurre, debido a que algunos de los cordones depositados previamente son fundidos antes que el metal base. La Fig 4 muestra dos efectos de dilución en función de la técnica utilizada [8]

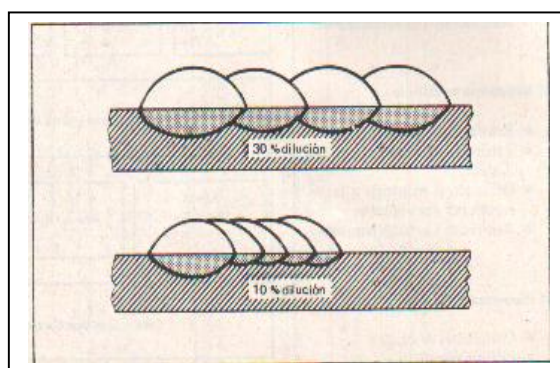


Fig 4 Efectos de dilución en soldaduras de recargue.

El porcentaje de dilución obtenido indiscutiblemente dependerá del proceso de soldadura utilizado. En la Tabla 3 se consignan diferentes niveles de dilución en función del proceso utilizado.

Tabla 3. Porcentaje de dilución para diferentes procesos

Proceso	% Dilución
Termorociado	0
Plasma de Arco	0
Manual al Arco eléctrico	10-30
Arco Sumergido	10-40
Alambre Tubular	10-30

La zona de dilución es la zona más crítica en la soldadura. En las fundiciones blancas esta zona es muy compleja y puede contener diferentes tipos de microestructura; si la cantidad de grafito disuelta durante la soldadura es alta formará una matriz continua, donde los carburos formados serán continuos y debido a su alta dureza, éstos compuestos pueden fragilizar la zona y ocasionar grietas.

La alta dureza y la baja tenacidad de esta zona es el responsable de muchos de los problemas mecánicos ocasionados en la soldadura de fundiciones. El método más efectivo para reducir el problema de agrietamiento severo es reduciendo la temperatura máxima y la duración en la misma.

El uso de material de aporte con bajo punto de fusión ayudará a reducir la temperatura máxima en esta región parcialmente fundida.

1.4 Recubrimiento Duro (Hardfacing)

El recubrimiento por soldadura se refiere a la operación que consiste en depositar un metal de aporte sobre la superficie de un metal base. El propósito consiste en proveer las propiedades y/o dimensiones necesarias requeridas a un componente en condiciones de servicio [9]. Existen cuatro tipos de recubrimientos, entre los cuales se encuentran:

- Recubrimientos de Acero inoxidable (cladding),
- Recubrimientos Duros (hardfacing),
- Recubrimientos de Reconstrucción (buildup), y
- Enmantecado (buttering).

El recubrimiento duro es aplicado con el propósito de reducir el desgaste por abrasión, impacto, erosión, galling (soldadura localizada) o cavitación.

Las aleaciones de recubrimientos duros pueden ser depositados por los siguientes procesos de soldadura: soldadura oxiacetilénica (OA), soldadura manual al arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), arco sumergido (SAW), semiautomática (MIG) soldadura láser y procesos por termorociado.

1.4.1 Aleaciones de Recubrimiento Duro (Hardfacing)

Diversos autores han clasificado los materiales de hardfacing por su composición química y propiedades.

1.4.1.1 Aleaciones de Recubrimientos Duros según su Composición Química

En la Tabla 4 se muestran aleaciones de recubrimientos duros agrupadas en cuatro renglones [10], en la misma se incluye descripción de cuatro grupos de aleaciones, composición química porcentual, valores de dureza, método de deposición y clasificación AWS.

En la Tabla 5 se reseña una clasificación un poco más extensa formulada por [11]. Esta contiene siete grupos de aleaciones, en ella se incluye tipo de aleación, composición química de los elementos de mayor importancia (metal de recargue), datos de dureza y método de deposición

Descripción	Composición Química Nominal %										Método Deposición	Clasific. AWS		
	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B			Dureza	
1) Aleaciones de base Fe con menos de 20% de aleación														
Acero al carbono	R	0-5										22	Gra	
Aceros aleados martensíticos	Rd	0-1	1	0-7								22	Arco	
Aceros aleados martensíticos	R	0-1	3-5	1								35	Arco	
Aceros aleados martensíticos	R	0-25	1	1	0-3							45	Arco	
Aceros aleados martensíticos	R	0-15	3	1								56	Arco	
Aceros aleados martensíticos	R	0-45	5	1	5	0-75						40	Arco	
Aceros inoxidables martensíticos	R	0-1	12									45	Arco	
Aceros inoxidables martensíticos	R	0-25	13									56	Arco	FeS-A (1)(2)
Aceros rápidos	R	0-8	4	0-5	0-5	2	6					56	Gra, arco	FeS-B (1)(2)
Aceros rápidos	R	0-7	4	0-5	0-5	1	1-5					54	Gra, arco	FeS-C (1)(2)
Aceros rápidos	R	0-4	4	0-5	0-5	1	1-5					54 máx.	Arco	FeMn-A(1)(2)
Aceros austeníticos al Mn	R	0-7	0-5	14	14							54 máx.	Arco	FeMn-B(1)(2)
Aceros austeníticos al Mn	R	0-7	0-5	14	14								Arco	
2) Aleaciones de base Fe con más de 20% de aleación														
Aceros austeníticos al Cr-Mn	R	0-35	14	14	1	0-4						54 máx	Arco	
Aceros rápidos	R	10					15				2-5	60	Gra	
Aceros austeníticos	R	0-1	18		3							48 máx.	Arco	
Fundiciones austeníticas	R	4	30	6								59	Gra, arco	FeCr-A(1)(2)
Fundiciones Martensíticas	R	2-5	28	1								54	Gra, arco	
3) No Ferrosos														
Co-Cr-W	3	1	20	1			5	R	3			40	Gra, arco	CoCr-A (1)
Co-Cr-W	3	1-4	31	1			8	R	3			48	Gra, arco	CoCr-B (1)
Co-Cr-W	3	2-5	32	1			12	R	3			55	Gra, arco	CoCr-C (1)
Ni-Cr-H	3	0-4	11					1	R	2-5		40	Gra, arco	NiCr-A (1)
Ni-Cr-B	4	0-6	13					1	R	3		50	Gra, arco	NiCr-B (1)
Ni-Cr-B	4	0-8	13					1	R	4		60	Gra, arco	NiCr-C (1)
Ni-Cr-Mo-W	5	0-06	15		16		4		R			30	Arco	EniMoCr-1(3)
4) Carburos														
Tubulares					50-60% carburo de tungsteno							>	Gra	WC-20-40(2)
Tubulares					40-50% Fe							>	Arco	WC-40-120(2)
Varillas sinterizadas					50-80% carburo de tungsteno / 0-10% Cr o Ni / 10-50% Fe							>	Gra, arco	WC-40-120(2)

(1) Cubierta por AWS A5.13. (2) Cubierta por AWS A5.21. (3) Cubierta por AWS A5.11
 Tabla 4. Clasificación y composición de recubrimientos duros típicos

Clasificación		Composición Química Nominal %										Dureza		Método de Deposición	
Grupo	Tipo	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B	Cu	HV	Gas, arco	
1. ACEROS	1 al carbono	R	0.55										>250	Arco	
	2 de baja aleación	R	0.5	*	*	*	*	*		*	*		250-650	Arco	
	3 Marteníticos al Cr	R	0.1-1.7	10-15	*	*	*	*		*			350-650	Arco	
	4 rápidos	R	0.3-1.5	10max	5	10	3		12				600-700	Arco	
	5 inox. Austeníticos	R	0.007-0.2	17-32	*	*				7-22			200-500		
2. FUNDICIONES	6 Austeníticos al Mn	R	0.5-1.0	*	11-16	*	*			*			200-600	Arco	
	7 Austeníticos al Cr Mn	R	0.3-0.5	12-15	12-15	*	*			*			200-600	Arco	
	1 Austeníticas	R	4	12-20	*	*	*			*	*		300-600	Arco	
	2 Marteníticas	R	1-14	1-10	*	*	*	*		*	*		500-750	Arco	
	3 Austeníticas (alto Cr)	R	3-6	20-40	*	*				*			500-750	Arco	
3. ALEACIONES DE Ni	4 Marteníticas (alto Cr)	R	2-3	20-30	2max								500-750	Arco	
	5 Complejas (alto Cr)	R	2-5	20-40	*	*	*	*	*	*	*		600-800	Arco	
	1 Níquel puro	8	2		1					85min			160	Arco	
	2 Ni - Cu	3-6	0.35-0.55		2-5					60-70		25-30	130	Arco	
	3 Ni - Fe	R	2		1					45-60			200	Arco	
4. ALEACIONES DE Co	4 NiMoCrW	6	2.5	30max		17	*	15	12	R	1-5		250-500	Gas, Arco	
	5 NiCrH	*	*	5-25		*	*			R			200-750	Gas, Arco	
	6 NiMoFe	5-20				20-30				R			200-300	Arco	
	1 CoCrW (baja aleación)		0.7-1.4	25-32					R				350-400	Arco	
	2 CoCrW (media aleación)		1.0-1.7	25-32					R				400-500	Arco	
5. ALEACIONES DE Cu	3 CoCrW (alta aleación)		1.7-3.0	25-35				11-20	R				500-650	Arco	
	4 Aleación CoCrW-Ni		1.2-2.0	20-25				10-15	R	20-25				Arco	
	1 Latónes	Mín de 40% Zn - Resto Cu												130	Arco
	2 Bronce al Si	Mín de 4% Si - Resto Cu												80-100	Arco
	3 Bronce al Al	8-15% Al - Resto Cu												130-139	Arco
6. CARBUROS DE T	4 Hierro al Sn	4-12% Sn - Resto Cu												40-110	Arco
	1. Mínimo 40% de Carburos de Tungsteno en matriz a base de Carburo de Fe													>1800	Gas, Arco
7. ALEACIONES Cr-B	3 En matriz de Cu, Co o acero inoxidable													>1800	Gas, Arco
	1.80 - 85 % de Cr, 15 - 20 % de B													750-1100	
*Indica posible presencia)															

Tabla 5. Clasificación y composición de Recubrimientos Duros.

1.4.1.2 Clasificación de las aleaciones hardfacing en base a sus propiedades

J.R. Davis [9] agrupa las aleaciones de hardfacing en cinco categorías.

- A. Aleaciones de Buildup
- B. Aleaciones para desgaste metal-metal
- C. Aleaciones para abrasión metal-tierra
- D. Carburo de Tungsteno
- E. Aleaciones No-ferrosas

A. Aleaciones de buildup: incluye aceros perlíticos de baja aleación y aceros austeníticos aleados al manganeso. Estas aleaciones no están diseñadas para resistir desgastes. Se utilizan para retornar las dimensiones originales y proveer adecuado soporte para poder depositar subsecuentes capas de material de hardfacing. Sin embargo, los aceros al manganeso austeníticos son utilizados para condiciones de desgastes leves.

B. Aleaciones para desgaste metal-metal: son aleaciones de aceros martensíticos endurecidos al aire, utilizados (exentas de grietas) contra desgaste sobre componentes de maquinarias, tractores, power shovels, molinos de acero, entre otros.

C. Aleaciones para abrasión metal-tierra: son fundiciones blancas con alto contenido de cromo (entre 6 y 35 %wt), presenta la particularidad de formar carburos de cromo (principalmente Cr_7C_3) durante la solidificación del baño metálico, poseen moderada resistencia a la abrasión. Niveles alto de carbono y cromo favorece a la formación de una matriz hipereutectica o hipoeutectica con partículas de carburos alargados con sección transversal hexagonal.

D. Carburo de Tungsteno: materiales que han sido diseñados para transferir partículas discretas de carburos de tungsteno a través del arco eléctrico y permanecer dentro del metal de soldadura. Los carburos de tungsteno son usados para resistir condiciones extremas para cortes y desprendimiento de materiales.

E. Aleaciones No ferrosas: se usan en medios que también son agresivos para aleaciones ferrosas de hardfacing o donde alta resistencia a un tipo específico de desgaste es requerido. A su vez estas aleaciones se pueden clasificar de la siguiente manera:

Aleaciones a base de Cobalto

Aleaciones a base de Níquel

Aleaciones a base de Cobre.

1.4.2 Propiedades de los Recubrimientos Duros

El recubrimiento debe garantizar en cualquier operación el incremento de la vida en servicio del componente. Las propiedades de los recubrimientos duros se pueden resumir en los siguientes puntos:

A. Dureza

Macro dureza

Micro dureza

Dureza en caliente (fragilidad a elevadas temperaturas)

Resistencia al creep (resistencia a la deformación plástica bajo carga a elevadas temperaturas)

B. Resistencia al desgaste

Baja presión

Alta presión

C. Resistencia al impacto

Resistencia a la deformación plástica bajo cargas repetidas de impacto.

Resistencia al agrietamiento bajo cargas de impacto (relativo a la ductilidad pero incluyendo endurecimiento por deformación)

D. Resistencia en caliente

Resistencia al revenido

Retención de resistencia en caliente

Oxidación o resistencia a la corrosión por gases calientes

Resistencia a la fatiga térmica

E. Propiedades a la fricción.

Coeficiente de fricción

Lubricidad

Plasticidad.

Dentro de los puntos mencionados, se debe tener en cuenta la geometría de la superficie a ser recubierta, costo del material usado para recubrir (recargue) y las técnicas necesarias a fin de prevenir la rotura del recubrimiento o distorsiones debida a las tensiones térmicas o metalúrgicas de la soldadura.

1.4.3 Ventajas de Recubrimientos Duros

Las ventajas que presentan los recubrimientos duros son:

- Incremento de las propiedades mecánicas exactamente donde más se requiera.
- Se pueden emplear aleaciones de alta resistencia al desgaste , alta dureza y fácil uso.
- Son aplicables en el sitio donde se encuentra la pieza a ser recubierta.
- Uso económico de aleaciones costosas.
- Superficie de alta resistencia con sustrato tenaz capaz de resistir altas cargas.

1.4.4 Uso de Recubrimientos Duros

En la Fig 5 [7] se establecen por comparación las propiedades de las diferentes aleaciones con respecto a su uso en abrasión, impacto y resistencia a la corrosión.

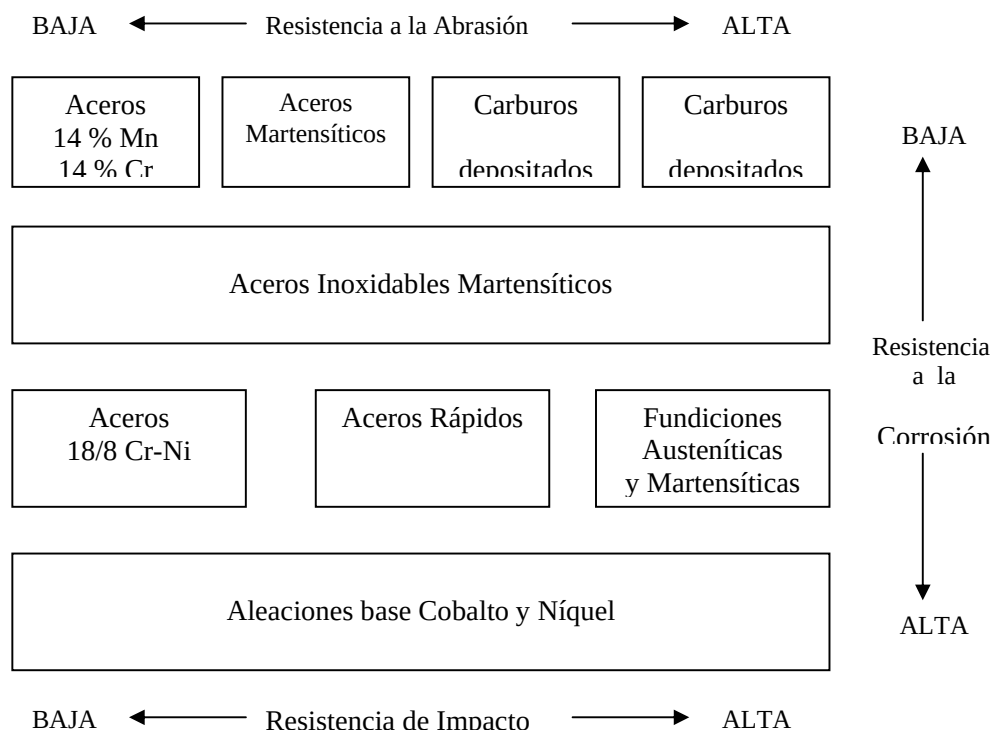


Fig. 5. Propiedades de las diferentes aleaciones de Recubrimientos Duros

Para lograr una buena aplicación de hardfacing, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: en primer lugar, identificar el tipo y la causa del desgaste, considerar que clasificación o combinación de factores principales requiere el hardfacing, y seleccionar el electrodo que provea la dureza y otras características requeridas. Por ejemplo un electrodo de acero al manganeso austenítico en acero al manganeso, provee resistencia al agrietamiento [9].

1.4.5 Selección de Recubrimientos Duros

En la Fig 6. D Kotecki [12] proporciona una valiosa herramienta, para visualizar la relación entre las características de aleaciones de hardfacing en función del tipo de desgaste. En un eje se encuentra el contenido de carbono y en el otro eje el contenido de aleación.

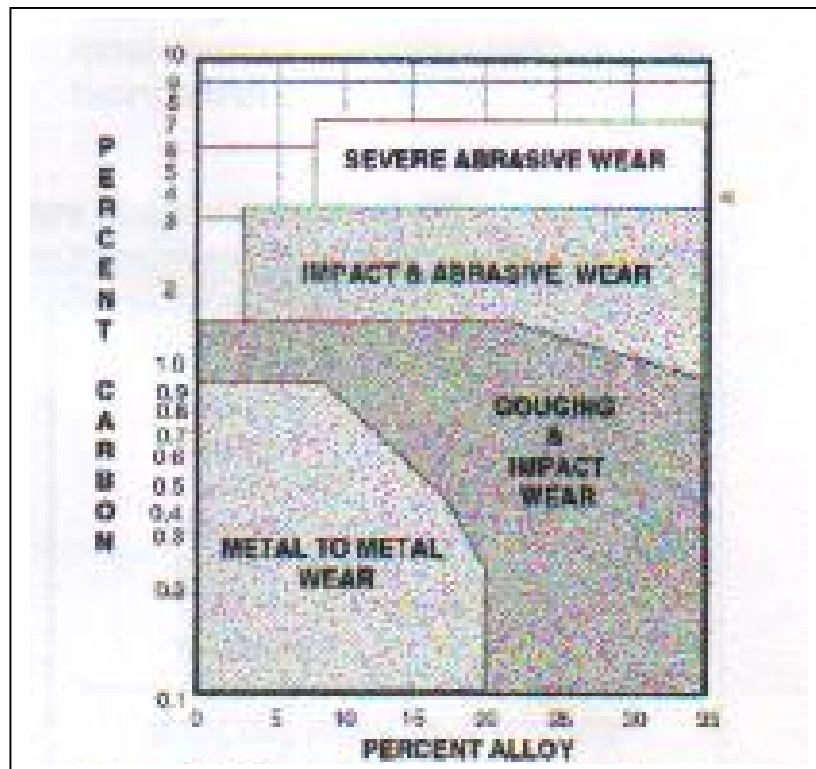


Fig 6. Gráfico del contenido de la Aleación de Hardfacing en función del desgaste.

Un material que presente cierta ductilidad debe ser utilizado en nuevas aplicaciones, donde no se tiene experiencia previa. Materiales de alta dureza pueden ocasionar fallas. Los aceros semiausteníticos son recomendados para estas aplicaciones innovadoras. De persistir daños superficiales se podrá ensayar con materiales más duros. Estudios a priori del material con daños superficiales, arroja información importante a cerca del material con propiedades superiores a seleccionar.

El empleo de materiales de hardfacing pueden presentar restricciones que limita aun más la selección de estos tipos de materiales, uno de ello es el maquinado en el depósito. Este requerimiento elimina todos los materiales excepto las aleaciones de bajo y medio carbono.

La maquinabilidad de un depósito de medio carbono depende de la tasa de enfriamiento, precalentamiento debe ser usado para que estos depósitos sean realmente maquinables

1.4.6 Aplicación de Recubrimientos Duros con Alto contenido de Cromo

En la aplicación del hardfacing, el espesor del depósito variará dependiendo de la necesidad de la aplicación. Para materiales muy duros como los depósitos contentivos de carburos de cromo, no más que dos capas deben ser aplicados en muchos casos. Los depósitos de carburo de cromo están diseñados para agrietar como una medida de alivio de tensiones, la primera capa debe ser aplicada con una velocidad alta, para alcanzar un patrón controlado de muchas grietas pequeñas, y algo mas que unas grietas ampliamente espaciadas.

La característica más importante en estos depósitos es la presencia de carburos de la forma M_7C_3 , los cuales se forman en abundancia durante la solidificación y contienen cromo, hierro, y molibdeno (si está presente). Estos carburos se encuentran inmerso en una matriz que puede ser de perlita, martensita y austenita. En general, la austenita es estable en este tipo de aleación por los altos contenidos de manganeso.

El contenido de carbón es un buen indicador para la resistencia a la abrasión de estos tipos de materiales. En la Fig 7 se muestra un grafico del contenido de carbono en porcentaje en peso vs perdida de volumen del metal de soldadura en mm^3 . [9]

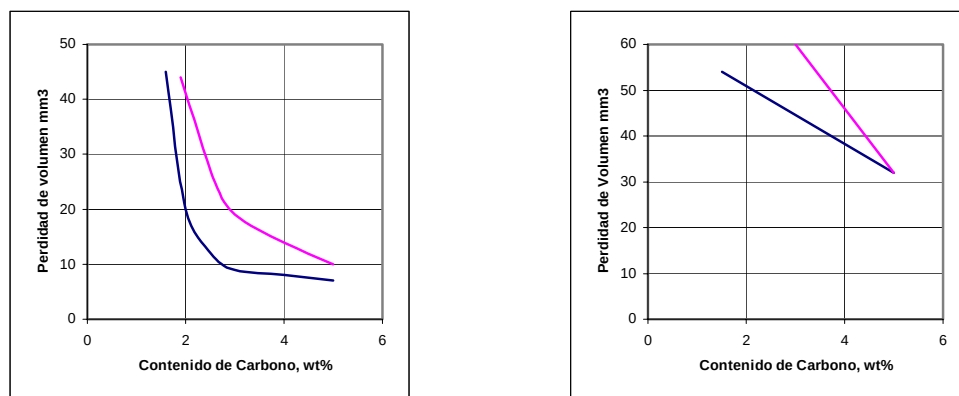


Fig. 7. Gráficos de la pérdida de volumen vs contenido de carbono en aleaciones de hardfacing de fundiciones blancas con altos contenidos de cromo¹. (a) Condición bajo esfuerzo. (b) Condición alto esfuerzo.

1. Valores obtenidos a partir de la prueba de resistencia al desgaste por abrasión según ASTM G65. Se utilizó depósitos de soldadura con dos capas superpuestas.

La composición nominal de tres aleaciones son presentados en la tabla 6. En las aleaciones ERFerCr-A3 presentan microestructura hipoeutético. Las otras dos aleaciones ERFerCr-A4 y ERFerCr-A2 posee una estructura de hipereutectica, con carburos primarios en forma de laminillas.

En los depósitos ERFerCr-A2 ademas de contener carburos de estequiometría M_7C_3 contienen pequeñas cantidades M_6C y los depósitos de ERFerCr-A4 pequeñas cantidades de M_6C y M_3C . Se considera que la matriz para los depósitos ERFerCr-A3 y ERFerCr-A4 exhibe una estructura de cubica centrada en la cara (fcc) , mientras que los depósitos ERFerCr-A2 son generalmente austeníticos, pero pueden contener pequeñas cantidades de ferrita y martensita.

Tabla 6. Composición de aleaciones de hardfacing con alto contenido de cromo

Aleación	Composición (% wt)							
	Cr	C	Si	Mn	Mo	Ni	B	Fe
ERFerCr-A3	11	2.6	1.3	1.8	1.5	--	--	Resto
ERFerCr-A4	29	3.5	1.1	0.9	--	2.6	0.7	Resto
ERFerCr-A2	28	4.3	0.8	1.7	1.4	--	--	Resto

1.4.7 Consideraciones Especiales en Aplicación de Recubrimientos Duros

Así como en todos los procedimientos de soldadura, una apropiada preparación superficial es esencial, siendo aún más crítico en el hardfacing. Las superficies que están severamente agrietado, deformado o endurecido por deformación, deben ser lijados, para luego restaurar la superficie mediante la técnica de buildup y finalmente aplicar hardfacing. Moho, suciedad, grasa y aceites deben ser removidos, de la superficie para ser soldado.

Los metales al incrementar su dureza, también aumentan la tendencia al agrietamiento, se debe evitar excesiva aplicación de buildup previo a la aplicación de hardfacing. Si a una pieza se le debe aumentar sus dimensiones, usar materiales de buildup apropiados.

Materiales duros o suaves pueden ser usados en buildup, depende de la combinación final y de las características deseadas.

El precalentamiento es un pre-requisito importante para muchas operaciones de hardfacing, especialmente en piezas de gran tamaño, de alta aleación, altos contenidos de carbono, entre otros, mientras que los tratamientos térmicos son generalmente usados para prevenir fragilidad por hidrógeno.

Durante el hardfacing, la pieza se expande y contrae, materiales diferentes harán que este fenómeno se complique al presentar diferentes tasas de expansión y contracción, aumentando la tendencia al agrietamiento. Un precalentamiento apropiado puede minimizar estas tendencias

1.4.7.1 Estado Superficial del Recargue

La terminación superficial final del recargue influye notablemente en la calidad del recargue, siendo los poros en el depósito una fuente de gérmenes de desgaste que reducen enormemente la resistencia del recargue. En la práctica se han experimentado descenso en los valores de resistencia a la abrasión del orden del 50% con respecto a un depósito exento de poros.

1.4.7.2 Número de Pasadas y Espesor Total del Recargue

Es bien conocido que el fenómeno de la dilución reduce las características de resistencia del recargue y que éste fenómeno se reduce con el aumento del número de pasadas del depósito. Se ha comprobado que con pasadas de 5 mm de espesor, en la primera de ellas la dilución alcanza el 25%, reduciéndose a menos del 8% en la segunda.

Así pues, el número mínimo de pasadas a realizar en un recargue de calidad debe de ser de dos, con un espesor mínimo total del recargue de 8-10 mm.

1.5 Mecanismos de Desgaste Superficial

En forma general no se encontrará un solo tipo de condición de desgaste aplicado sobre una pieza en servicio. Se producirán como suma de varios factores en distintos grados. Con el fin de identificar estos factores se describirán los tipos de desgaste:

1.5.1 Abrasión: el desgaste por abrasión consiste en la acción que ejerce una partícula dura, bajo la influencia de una fuerza, sobre una superficie.

Dependiendo de la intensidad de la fuerza que ejerce la partícula abrasiva sobre el material base, podemos dividir la abrasión en tres grupos:

1.5.1.1 Erosión: el desgaste se produce bajo la acción de fuerzas abrasivas débiles, originadas por partículas, normalmente en suspensión en un líquido o gas. El grado de erosión, dependerá del número de partículas, la velocidad de las mismas y el ángulo de incidencia. Los materiales resistentes a este tipo de desgaste, deben ser tenaces, duros, con estructura de grano fino y mecanizable.

1.5.1.2 Abrasión Media: la intensidad de las fuerzas abrasivas es mayor, que en el caso anterior, así como el desgaste producido por las partículas. Los materiales deben poseer un alto valor de límite elástico y buena tenacidad.

1.5.1.3 Fuerte Abrasión: La presión ejercida por el material abrasivo, es lo suficientemente elevada como para sobrepasar la resistencia a la compresión del material base. Se producirá una huella en la superficie, debido a un hundimiento del material base. Los materiales resistentes a este tipo de abrasión tendrán una dureza elevada, estructura de grano fino y mecanizables.

1.5.2 Impacto

El desgaste por impacto se debe a los efectos de la acción local, por choque o por elevada compresión, de una masa dura sobre una superficie. La intensidad del mismo dependerá de la cadencia de los choques, de la velocidad de los mismos y del peso de la pieza.

El principal factor a tener en cuenta, es el límite elástico. Si el límite elástico del material afectado, es superior al límite elástico unitario aplicado, se producirá únicamente deformación elástica y nunca permanente.

Los materiales resistentes a los choques se caracterizan por una tenacidad elevada, un límite de rotura elevado, y capacidad para endurecerse durante su uso.

1.5.3 Rozamiento Metal-Metal

El desgaste por rozamiento, se debe a la acción de dos metales que se desplazan el uno sobre el otro, sin un material intermedio, produciendo fricción entre ellos. Este tipo de desgaste depende del coeficiente de fricción relativa (presión, estado superficial, velocidad relativa, temperatura, etc.)

El fenómeno de rozamiento en seco, normalmente, esta agravado por choque, abrasión y corrosión. Los materiales resistentes a este tipo de desgaste, deben presentar una buena estabilidad, una resistencia a la oxidación y a la corrosión, bajo fricción y ser mecanizables.

1.5.4 Oxidación a Altas Temperaturas

Se debe a la pérdida del material causado por oxidación a altas temperaturas, en presencia de aire, el mismo se acentúa por la presencia de humedad. Anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso, entre otros.

Los materiales que tengan la capacidad de formar capas pasivas estables, sean tenaces y que posean punto de fusión elevado o materiales que no formen óxidos, son resistente a este tipo de desgaste. Las aleaciones base Cobalto y Tungsteno son evidentemente resistentes a la oxidación, poseen elevadas características mecánicas en caliente, incluida la dureza, factores que le confieren alta resistencia al desgaste en condiciones difíciles (abrasión, oxidación-temperatura.)

1.5.5 Cavitación

El desgaste por Cavitación se debe a la acción que produce la explosión, sobre la superficie de paredes metálicas, de burbujas suspendidas en un líquido, el mismo se presenta, cuando el medio esta en desequilibrio entre el estado líquido y gaseoso.

1.5.6 Corrosión

La acción de desgaste por corrosión, es el resultado de la influencia de agentes químicos y electroquímicos sobre una pieza determinada, que conduce, a la destrucción del metal. Los factores a tomar en cuenta son: carácter del medio (ácido, base, etc), concentración del medio, temperatura, zona expuesta al medio, movimiento de la pieza dentro del medio.

Existen diversos mecanismos la cual las piezas se corroen, sin embargo, se hará énfasis en dos de ellos:

1.5.6.1 Corrosión General o Superficial: aparece sobre la superficie de la pieza, de forma generalizada, sobre todo en medios ácidos. Los aceros al carbono, son materiales propensos a la corrosión en forma general, es por ello, que es necesario añadir elementos formadores de óxidos estables (Cr) o no oxidantes (Ni).

1.5.6.2 Corrosión Bajo Tensión: bajo fatiga o tensión, la capa protectora o pasiva se rompe, debido a las deformaciones y como consecuencia, el material base sin protección es atacado por el medio corrosivo. Este mecanismo se caracteriza por crear microfisuras en la pieza, debido a los altos esfuerzos, el cual es sometido la pieza en contacto con el medio corrosivo.

1.7 Dureza:

Es difícil definir la propiedad de dureza, excepto en relación con la prueba empleada en particular para determinar su valor [13]. La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo para comparación entre materiales o tratamientos aplicados a los mismos.

Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías:

Dureza elástica,

Resistencia al corte o la abrasión, y

Resistencia a la Identación.

1.7.1 Resistencia a la indentación:

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, la cual está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca.

Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificado.

Existen cuatro métodos para determinar la dureza de los materiales en función de la resistencia a la indentación:

1.7.1.1 Ensayo de Dureza Brinell: consta generalmente de una prensa hidráulica vertical, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra. El procedimiento estándar requiere que la prueba se realice con una bola de 10 mm y una carga de 3000 Kg para metales ferrosos, y 500 Kg para metales no ferrosos. El número de dureza Brinell seguido por el símbolo HB sin números sufijos indica condiciones de prueba estándar. Para otras condiciones, el número de dureza y el símbolo de HB se complementan por números que indican las condiciones de prueba en el siguiente orden: diámetro de la bola, carga y duración de la carga.

1.7.1.2 Ensayo de Dureza Vickers: se utiliza un instrumento con marcador piramidal de diamante de base cuadrada con un ángulo incluido de 136° entre las caras opuestas. El intervalo de carga se encuentra generalmente entre 1 y 120 Kg. El probador de dureza vickers funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell, y los resultados se expresan en términos de carga y área de la impresión. La huella dejada por el indentador sobre la superficie ensayada es un cuadrado. La longitud de la diagonal del cuadrado es medida por medio de un microscopio equipado con un micrómetro ocular que contiene filos móviles. La distancia entre los filos se indica con un contador calibrado en milésimas de milímetros. Por lo general, hay tablas para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers (HV) o por medio de la ecuación 4.

$$HV = \frac{1.854L}{d^2} \quad (4)$$

Donde:

L= carga aplicada en Kg;

d = promedio de las diagonales del cuadrado de la impresión, en mm.

1.7.1.3 Ensayo de Dureza Rockwell: en esta prueba se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial.²

El ensayo consiste en imprimir en una probeta de características preestablecidas una huella usando un penetrador de tipo estandarizado en dos operaciones (precarga y carga) y medir el incremento de penetración de la profundidad de la huella en las condiciones específicas del ensayo.

Pueden utilizarse diversos indentadores y cargas, cada combinación determina una escala Rockwell específica. El número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedido de los números de dureza. Las escalas Rockwell comúnmente empleadas son HRA, HRB Y HRC.

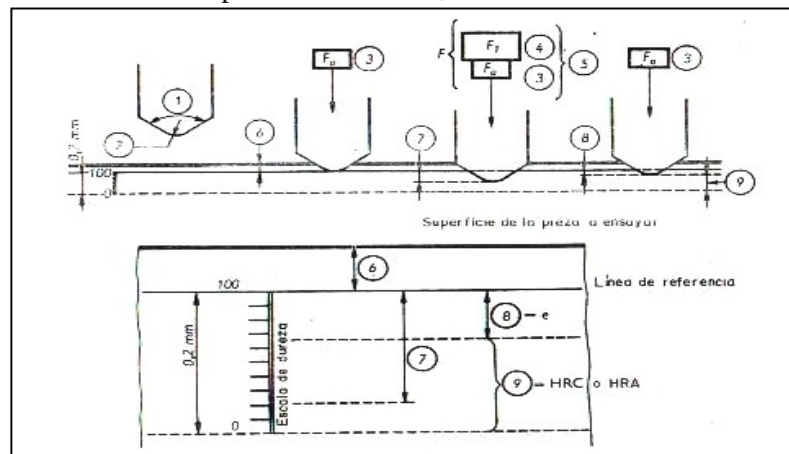


Fig. 8.

Mecanismo de ensayo de dureza con penetrador cónico (Escala A y C) [14]

Fo= Precarga (Kgf) (N),

F1= Carga (Kgf) (N)

e = incremento permanente de la profundidad de huella = 0,002 mm.

2. Valor dado por la diferencia, entre el número de divisiones totales de la escala externa del indicador de profundidad v el número de unidades correspondientes al incremento de penetración (e).

A. Penetradores

Penetrador esférico (escala B): consiste en una bola de acero templado, de una dureza vickers no menor de 850 HV10 con un diámetro nominal igual a 1,588 mm.

Penetrador cónico (escala A y C): consiste en un cono de diamante, circular, recto, de punta redondeada con un ángulo interno de 120°.

B. Preparación y conservación de las Muestras

El ensayo debe realizarse sobre una superficie lisa, suave, exenta de óxidos y materias extrañas. La preparación de dicha superficie debe realizarse sin alterar las condiciones originales del material a ensayar, evitando un calentamiento apreciable o su endurecimiento superficial. La superficie de ensayo y la superficie de apoyo deben ser paralelas entre sí y a su vez perpendiculares al eje de aplicación de la carga.

1.6.2 Microdureza

La microdureza es una prueba de dureza basada en la microindentación, utilizando para ello, pequeñas impresiones [15] . Las cargas de pruebas se encuentran entre 1 y 1000g. Hay dos tipos de indentadores utilizados para la prueba de microdureza: la pirámide de diamante Vickers de base cuadrada de 136° y el marcador Knoop de diamante alargado. Algunos de los usos más comunes se encuentra: caracterizar a través de microdureza fases presentes en una microestructura., caracterización inicial de superficies de materiales para aplicaciones de desgaste y caracterizar zonas de soldadura como zona afectada por el calor, zona de dilución y metal de soldadura.

En la Tabla 7 se muestran valores típicos de carburos de distinta naturaleza, caracterizados a través de los métodos de microindentación Vickers y Knoop.

Tabla 7. Valores Típicos de Microdureza de carburos de distinta naturaleza.

Material	Forma	Carga (gf)	HV (GPa)	HK(GPa)
Carburo de Boro	BC	50	23.54	---
Carburo de Cromo	Cr ₃ C ₂	100	10-18	---
Carburo de Silicio	---	25	20-30	---
Carburo de Tungsteno	WC	100	16.30	---
Carburo de Tungsteno	WC ₂	50	29.42	---

1.7 Metalografía

La metalografía se basa en el estudio microscópico de las características estructurales de un metal o de una aleación [13], para ello se requiere el uso de microscopios, existiendo en la actualidad el Microscopio Óptico y los Microscopios electrónicos de Barrido y Transmisión.

Con el uso de estos aparatos es posible determinar el tamaño de grano, el tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades presentadas de un metal. La microestructura revelará posibles tratamientos mecánicos y térmicos sometidos al metal en estudio y bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento.

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga en la preparación de la muestra. Una muestra preparada en forma deficiente no podrá ser estudiada su estructura por muy complejo que sea el microscopio en uso.

1.7.1 Selección de la Muestra Metalográfica

Al establecer la zona de toma de la muestra metalográfica. El tipo de sección a ser examinada debe ser decidido. En una fundición, una sección perpendicular a la superficie mostrará la variación en la estructura desde la superficie hasta el interior de la muestra.

Las muestras tomadas perpendiculares al eje principal del material (sección transversal) son preparados en general para revelar la siguiente información:

- Variación en estructura desde el centro a la superficie,
- Distribución de impurezas no metálicas a través de la sección,
- Descarburización en la superficie de un material ferroso,
- Profundidad de imperfecciones superficiales,
- Espesor de capa protectora, y
- Estructura de capas protectoras.

Las muestras tomadas paralelo al eje principal del material (sección longitudinal) revela en general la siguiente información:

- Dimensión de la deformación de las impurezas no metálicas,
- Grado de deformación plástica, observado por la distorsión de los granos,
- En general, evidencias obtenidas de la aplicación de algún tratamiento térmico.

1.7.2 Corte de las Muestra Metalográfica

Materiales con dureza mayores a 35 HRC generalmente se seccionan haciendo uso de un disco abrasivo para corte. La elección del disco de corte y las condiciones de enfriamiento, lubricante a utilizar y el grado de dureza del material influirá en la calidad del corte a obtener. Una pobre selección de las condiciones de corte puede fácilmente sobrecalentar la muestra y crear alteración en la microestructura.

En general para cortar materiales suaves se utilizan discos duros y para materiales con valores de dureza altos se utilizan discos abrasivos blandos.

1.7.3 Desbaste, Pulido y Ataque de las muestras

Existen secuencias establecidas de desbaste y pulido para muchos metales y aleaciones, sin embargo, la diferencia se enmarca en el pulido final, donde algunos materiales requieren de sustancias abrasivas con granulometría específica.

A. Desbaste: el desbaste consta de dos etapas, desbaste grueso y desbaste fino.

A.1 Desbaste Grueso: el desbaste grueso se utiliza para lograr los siguientes aspectos:

- Lograr una superficie exenta de irregularidades, es decir, una superficie plana,
- Remoción de material próximo al área seccionada después de haber usado un método de corte con condiciones desfavorables,
- Ajuste de dimensiones de la muestra para lograr montaje del mismo y
- Remoción de material oxidado

A.2 Desbaste fino: la muestra es desbastada por una serie sucesiva de papeles abrasivos usando agua como agente refrigerante. La muestra debe ser limpiada al paso de cada papel para prevenir contaminación de partículas del papel abrasivo anterior (partícula de mayor tamaño) y ocasionar rayaduras en la muestra.

La secuencia de desbaste será desde un papel abrasivo con partículas gruesas hasta las más finas, siendo una secuencia ideal la siguiente: papel abrasivo 240, 320, 400 y 600. Estos números representan la cantidad de partículas contenidas en una pulgada al cuadrado.

B. Pulido: el pulido mecánico es el de mayor uso y de menor costo. Existen otros métodos de pulir las muestras entre los cuales se encuentran: métodos electrolíticos, químicos y automáticos

C. Ataque Metalográfico: el propósito del ataque es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura a estudiar. La resolución que se utilizará para observar la muestra en el microscopio óptico definirá si es macro o micro, siendo

microataque cuando se revelan estructura con resolución desde 50X hasta el nivel máximo de resolución del equipo.

1.7.4 Observación Metalográfica en Soldaduras

En la Fig 8. muestra una sección transversal de una soldadura de multipases. En ella se logra visualizar el número de pases, número de capas, área de fusión, penetración, entre otros.

En una macrosección transversal también se podrá visualizar defectos como: macro poros y grandes inclusiones presentes.



Fig. 8. Sección transversal de una soldadura

La microestructura de una soldadura tradicionalmente se ha dividido en tres regiones:

Zona de Fusión,
Zona Afectada por el Calor, y
Metal Base

Sin embargo estudios metalográficos recientes [16] , muestra que la zona de soldadura puede ser dividido en cuatro regiones: zona compuesta (1), zona sin mezclada (2), zona parcialmente fundida (3) y zona afectada por el calor (ZAC). Tal como se indica en la Fig. 9.

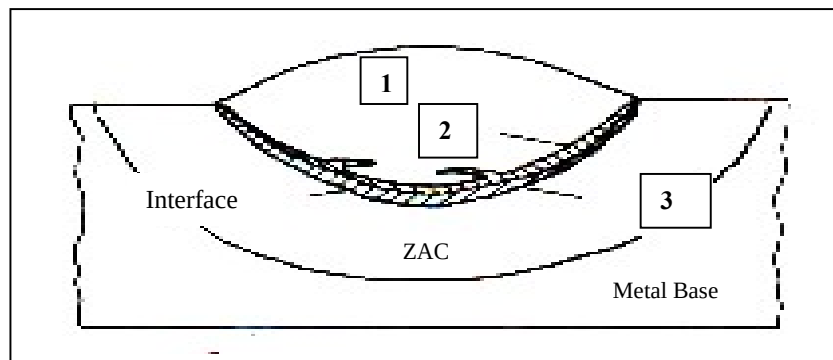


Fig 9. Esquema que muestra diferentes regiones presente en una soldadura de un solo pase

1.7.5 Microscopio Electrónico de Barrido

Este microscopio a diferencia del microscopio óptico, el cual, utiliza luz dentro del espectro visible para proveer la imagen en magnificación, requiere de electrones bombardeados a alta velocidad contra la superficie del espécimen.[17]

El Microscopio electrónico de barrido dentro de su función primaria, provee dos ventajas en comparación al microscopio óptico. Incrementa la resolución limitada que posee el microscopio óptico con magnificaciones por encima de 1000X y por otro lado, se obtiene mayor profundidad de campo por un factor aproximado de 300 en comparación con el microscopio óptico. Dependiendo de la característica a evaluar en los especímenes estos requerirán preparación metalográfica o no.

El Microscopio electrónico de barrido, posee dispositivos “**detectores de rayos-x**” que detecta y analiza de manera elemental las fases reveladas en la microestructura de manera puntual. El detector de rayos x detecta la energía emitida características de los elementos de las fases involucradas; y debido a que cada elemento en la tabla periódica tiene asociada una energía de emisión característica, logra determinar los elementos presentes. El analizador de rayos-x determina el análisis punto a punto desde la superficie de la muestra.

Dos tipos de detectores de rayos-x son usados; el espectrómetro de longitud de onda dispersiva y espectrómetro de energía dispersiva, siendo el de mayor uso el espectrómetro de energía dispersiva. Este último detector está limitado para analizar elementos con número atómico “Z” por debajo del elemento sodio ($Z=11$) y no puede detectar importantes elementos como; carbono, nitrógeno, oxígeno y boro. El detector de longitud de onda dispersiva puede detectar todos los elementos desde el boro ($Z=5$).

CAPITULO II

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En la Fig 10 se detalla las diferentes etapas y ensayos llevado a cabo durante esta investigación.

2.1. Formulación y Fabricación de los electrodos

2.1.1. Formulación del Revestimiento

Se realizaron ocho (8) formulaciones de revestimientos correspondientes al electrodo “Gridur 150 AC”. Cada formulación presentó variaciones específicas en porcentaje en peso de los elementos: silicio (min.6,61%, máx.7,68%), carbono (min.6,37%, máx.6,66%) y cromo (min.30,69%, máx.38,37%), manteniéndose constantes los demás elementos presente en la formulación original. En la Tabla 8 se encuentra la nomenclatura y la concentración en porcentaje de los elementos mencionados para cada formulación.

Tabla 8 Concentración (%) de los elementos Si, C y Cr en cada revestimiento.

FORMULACIÓN	% Si $\pm$ 0.05 %	C $\pm$ 0.05 %	Cr $\pm$ 0.05 %
Original	6,61	5,79	38,67
F-01	6,61	6,37	36,00
F-02	6,61	6,37	45,40
F-03	6,61	6,66	36,00
F-04	6,61	6,66	45,40
F-05	7,68	6,37	36,00
F-06	7,68	6,37	45,40
F-07	7,68	6,66	36,00
F-08	7,68	6,66	45,40

Los valores observados en la tabla 8 fueron obtenidos a partir de análisis químicos realizados al revestimiento de los electrodos generados por formulación.

Los elementos carbono, silicio y cromo fueron adicionados a través de los siguientes componentes usados en el revestimiento: ferrocromo alto carbono, cromo metálico, carburo de silicio y carbono en forma de grafito.

En la Tabla 9 se observa la concentración (en porcentaje) de los elementos mayoritarios que se encuentra en cada formulación realizada.

Tabla 9. Concentración de los elementos mayoritarios en cada formulación

FORMULACIÓN	FeCr¹ %	%FeCr² %	CaF₂ %	Csi %	FeMn %
Original	49,75	9,20	5,82	5,07	4,26
F-01	39,80	7,37	5,82	5,07	4,26
F-02	49,75	9,20	5,82	5,07	4,26
F-03	39,80	7,37	5,82	5,07	4,26
F-04	49,75	9,20	5,82	5,07	4,26
F-05	39,80	7,37	5,82	6,59	4,26
F-06	49,75	9,20	5,82	6,59	4,26
F-07	39,80	7,37	5,82	6,59	4,26
F-08	49,75	9,20	5,82	6,59	4,26

Nota:

FeCr¹= Ferroaleación con 66% cromo y 9% de carbono.

FeCr²= Ferroaleación con 73% cromo y resto hierro.

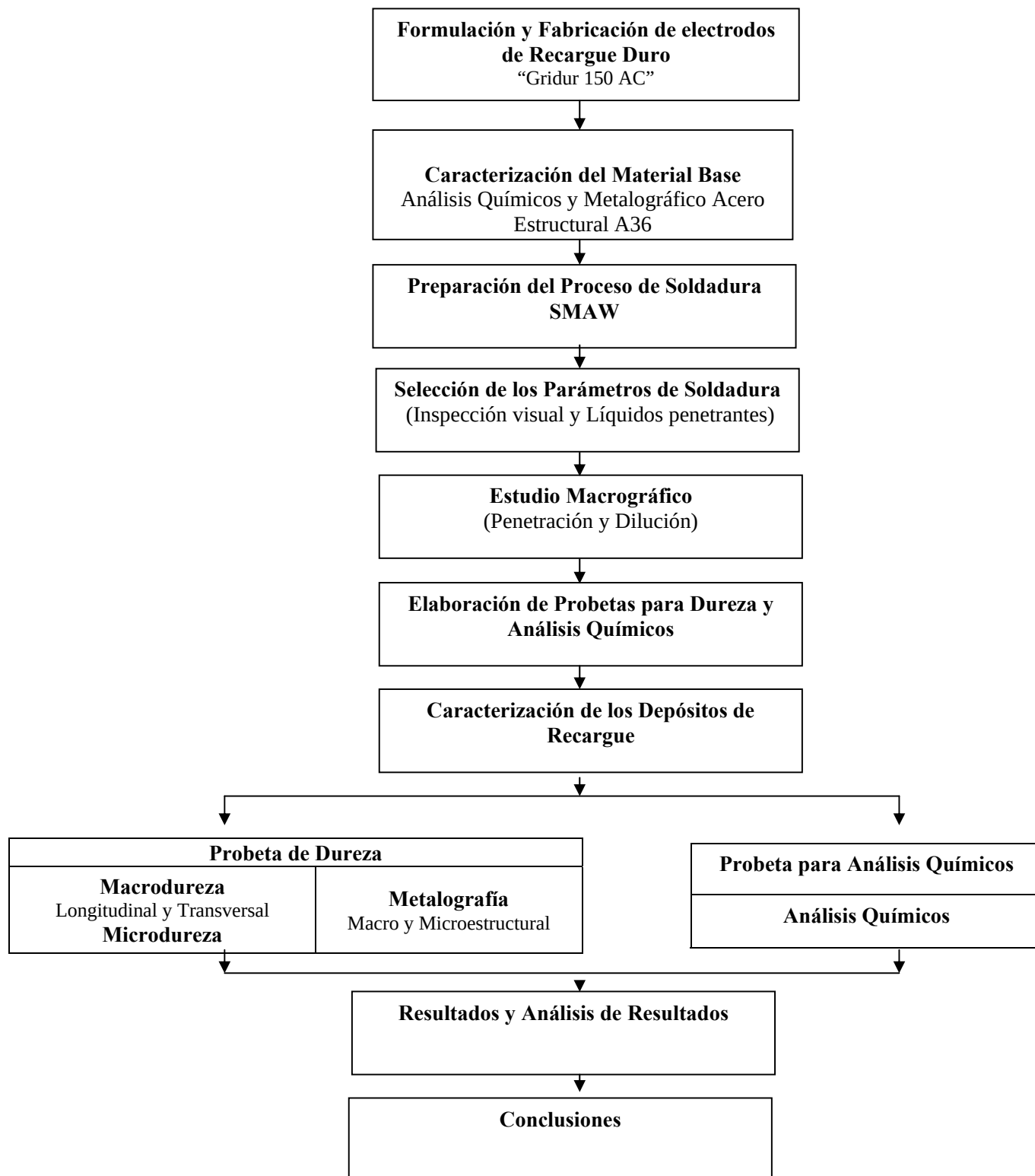


Fig 10. Flujograma de actividades ejecutadas en la presente investigación

2.1.2 Fabricación de Electrodos

Los electrodos se realizaron en la planta piloto de la empresa Lincoln Soldaduras de Venezuela (LSV), cumpliendo con todos los requerimientos referidos por la norma AWS A5.13 [18] y procedimientos internos del fabricante.

A continuación las actividades desarrolladas en planta piloto:

- Se pesó los componentes secos establecidos en la formulación respectiva del electrodo “Gridur 150 AC”, para un total de 4000 gr.

- Se pesó aglutinantes correspondientes al electrodo “Gridur 150 AC” .

- Se insertó masa del revestimiento en la mezcladora y se procedió a homogeneizar los componentes por un lapso de 5 minutos.

- Se añadió aglomerantes a la masa del revestimiento y se mezcló durante un lapso de 15 minutos.

- Se trasladó la masa del revestimiento al cilindro de la prensa de extrusión y las varillas de acero bajo carbono y se procedió al ajuste de los parámetros de extrusión, el cual constó de los siguientes aspectos:

 - Presión de extrusión,

 - Velocidad de alimentación de las varillas,

 - Diámetro del electrodo,

 - Centricidad del electrodo, y

 - Condición Superficial del electrodo

- Ajustados los parámetros se procedió a la extrusión de los electrodos,

- Por último, los electrodos fueron horneados cumpliendo con el proceso de horneado para este tipo de electrodo.



Fig.11. Prensa de Extrusión de Planta Piloto en LSV

2.2. Caracterización del Material Base

2.2.1 Metal Base

Para la selección de los parámetros se utilizaron planchas de acero estructural A36 de dimensiones 200x160x 9 mm, de largo, ancho, y espesor, respectivamente, mientras que en las probetas para dureza se utilizaron planchas con las siguientes dimensiones: 50x100x25 mm de ancho, largo y espesor, respectivamente.

2.2.1.1 Análisis Químicos

Para la determinación de la composición química del material base. Se empleó el método de Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP).

Las muestras fueron evaluadas por vía húmeda según procedimiento interno del Laboratorio de Análisis químicos del fabricante, a partir de material extraído en forma de virutas por medio de un taladro industrial.

Para determinar los elementos carbono y azufre se utilizó el método de Detección y Absorción de Radiación Infrarroja por Combustión, para este método no se requirió preparación de las muestras. Para evitar posible elementos contaminantes,

se tuvo el cuidado de limpiar la mecha del taladro industrial y de limpiar el material base haciendo uso del cepillo mecánico.



Fig 12. Espectrómetro de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

2.3 Preparación del Proceso de Soldadura

2.3.1 Banco de Prueba de Soldadura

Se utilizó un banco de prueba totalmente acondicionado para realizar la aplicación de los electrodos, el cual consta de todos los implementos necesarios para la obtención de parámetros similares de deposición para cada una de las probetas.



Fig 13. Banco de Prueba de Soldadura

2.3.2 Fuente de Energía Eléctrica

Se empleó un equipo de soldadura de marca Idealarc 250 (Ver Fig. 14), con las siguientes características: rango de amperaje en corriente alterna 35 – 300 A, máx OCV (máximo voltaje en circuito abierto) de 72v y ciclo de trabajo de 20%. Este fuente se encuentra conectado a un tablero de control (Ver Fig 15) compuesta por dos juegos de voltímetros y amperímetros analógicos de precisión de 2 v y 10 A respectivamente.



Fig.14 Equipo de Soldadura



Fig. 15. Tablero de Control

2.3.3 Preparación del Material Base

Se verificó que las laminas de acero estructural A36 estuviesen exentas de elementos contaminantes como grasa, aceite, gasoil u otras sustancias no deseadas. Se limpiaron las laminas cuidadosamente con cepillo metálico para desprender rastros de sucio y posible presencia de óxidos.

2.4 Selección de los Parámetros de Soldadura

Se estipularon cuatros (4) condiciones de trabajo, para cada formulación. Por cada condición se depositó un cordón de soldadura en posición plana (1G). Las condiciones de trabajo y los parámetros utilizados se pueden observar en la Tabla 10:

Tabla 10. Parámetros y condiciones utilizados en la aplicación de los cordones de prueba

Identificación	Tipo de Corriente	Intensidad de Corriente	Tensión de trabajo	Pre calentamiento
A-X	Alterna	130 amp.	16 volt.	---
B-X	Alterna	130 amp.	16 volt.	300 (°C)
C-X	Alterna	150 amp.	18 volt.	---
D-X	Alterna	150 amp.	18 volt.	300 (°C)

La letra “X” toma el valor cero (0) hasta el valor ocho (8), representando estos valores el tipo de electrodo utilizado:

Tabla 11. Valores de “X” en función del tipo de electrodo.

Valores de “X”	Tipo de Electrodo
1	F-01
2	F-02
3	F-03
4	F-04
5	F-05
6	F-06
7	F-07
8	F-08

Así por ejemplo la nomenclatura B-3, representó las condiciones y los parámetros establecidos en B utilizando el electrodo F-03.

2.4.1 Inspección Visual

Realizados los cordones de prueba se procedió a la inspección visual de los mismos, con la finalidad de determinar las condiciones que arrojaron los cordones con mejor apariencia superficial, altura de sobremonta adecuado y exenta de defectos superficiales, como: grietas, crateres, poros, escoria adherida, entre otros.

2.4.2 Inspección por Líquidos Penetrantes

El objetivo de utilizar líquidos penetrantes es de revelar posibles discontinuidades a nivel superficial. El procedimiento de aplicación del líquido penetrante se ajustó a lo estipulado en la Norma ASTM E165 [19], dentro del cual se encuentran los siguientes pasos básicos:

- Prelimpieza de los cordones de soldadura
- Aplicación del penetrador, se esperó un lapso de tiempo entre 5 y 10 minutos.
- Remoción del exceso del penetrante por medio del uso de un emulsificador de nombre comercial “cleaner”, y
- Por último se aplicó el revelador y se esperó durante 7 minutos.

2.5 Estudio Macrográfico

Seleccionados los cordones producto de la mejor condición evaluada, se procedió a determinar penetración y porcentaje de dilución a través de cortes transversales a los mismos. La preparación metalográfica y la revelación de la macroestructura se realizó en función de las pautas a detallar en el punto 6.3.1.

2.6 Elaboración de Probetas

Seleccionado la condición más adecuada y luego de haber realizado el estudio macrográfico, se procedió a la elaboración de las probetas para análisis químicos y dureza.

2. 6.1 Preparación del Material Base para Análisis Químicos

El material base es un acero estructural ASTM A36, el cual fue preparado tomando en cuenta los parámetros establecidos en el punto 3.3. En la Fig 17 se puede observar las dimensiones estipuladas para el metal base y exigidas por la norma AWS A5.13-80

2.6.2 Elaboración de Probetas para Análisis Químicos

Las probetas para análisis químicos constó de un depósito de soldadura aplicado en posición plana (1G) con capas sucesivas hasta llegar a una altura mínima establecida. En la Fig 16, se encuentran las dimensiones exigidas por la norma AWS A5.13-80

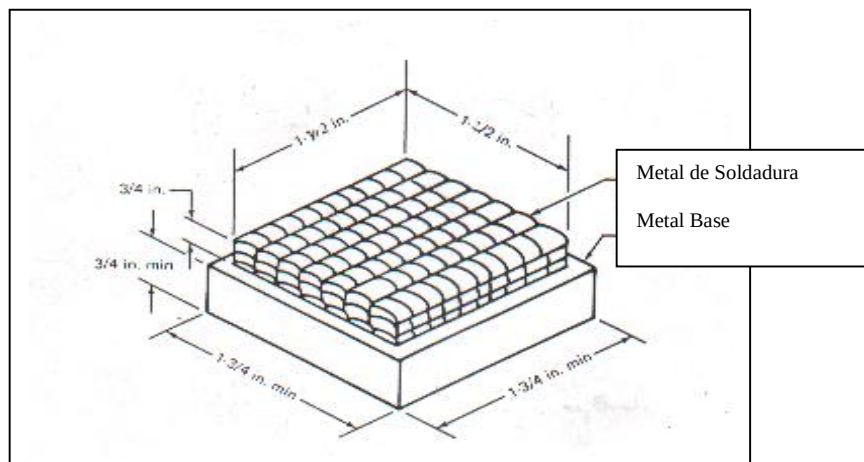


Fig. 16. Depósito para Análisis Químicos

2.6.3 Preparación del Material Base para Dureza

El material base es un acero estructural ASTM A36, el cual fue preparado tomando en cuenta los parámetros establecidos en el punto 3.3

2.6.4 Elaboración de Probetas para Dureza

La probeta constó de tres capas de metal de soldadura. Las capas son constituidas de cordones depositados en posición plana (1G) uno al lado del otro. No se estipuló uso de precalentamiento y los cordones fueron depositados sin periodo de enfriamiento. Al solidificar cada cordón se procedió a retirar la escoria haciendo uso de cepillo metálico. No se realizó tratamiento térmico posterior. La Fig. 17 representa el esquema de deposición de las capas de recargue y la composición de los cordones por capa.

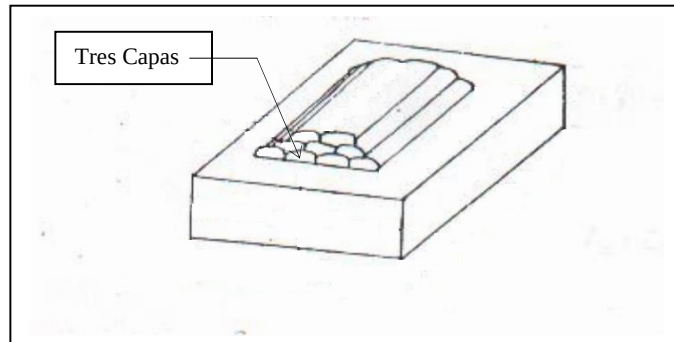


Fig. 17 Probeta para el ensayo de Dureza

2.7 Caracterización de los Depósitos de Recargue

Los electrodos producto de las formulaciones planteadas fueron caracterizados de acuerdo a las especificaciones exigidas por las normas DIN 8555 [20]. Dichas normas estipulan para este tipo de material de aporte:

- Pruebas de aplicación (realizadas en el punto 4),
- Análisis químicos, y
- Ensayo de dureza.

Adicionalmente se realizó evaluación metalográfica y microdureza a las probetas de dureza seccionadas a nivel transversal.

2.7.1 Análisis Químico

Para la determinación de la composición química del material de aporte se utilizó los métodos de análisis referidos en el punto 2.1.1. Se verificó que la extracción de las muestras estuviese en la zona comprendida entre la superficie del material base y los primeros 9 mm. del depósito para electrodos de diámetro de 3.25 mm, tal como lo prevé la norma AWS A5.13-80, de esta manera se evitó extraer muestras de metal de soldadura que haya interactuado directamente con el metal base.

2.7.2 Ensayo de Dureza

El patrón de medición de dureza se basó en mediciones longitudinales y transversales, tomando en cuenta las condiciones superficiales requeridas para este ensayo, así como la distancia mínima entre mediciones y separación de los bordes tal como lo exige la Norma Venezolana COVENIN 646-82:

Para la determinación de los valores de dureza, se utilizó un Durómetro, Modelo DIA TESTOR 2R, Marca WOLPERT, con penetrador cónico de punta redondeada con ángulo interno de 120° en escala “Rockwell C” (RC) con carga de 150 Kgf.

2.7.2.1 Dureza Longitudinal

Las mediciones de dureza longitudinales se realizaron bajo el esquema observado en la Fig. 18. En la sección A-A se realizaron (10) mediciones, y ocho mediciones distribuidas en dos niveles a través de la sección B-B. La superficie de las probetas se rectificaron y sufrieron un proceso de desbaste, con papel abrasivo (lija) de granulometría 80, 120 y 240 en presencia de agente refrigerante.

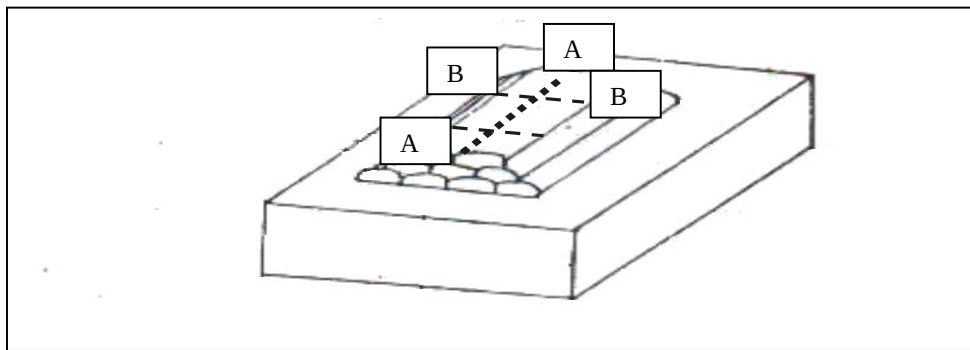


Fig 18. Patrón de Medición de Dureza Longitudinal

2.7.2.2 Dureza Transversal

Ejecutadas las mediciones de dureza longitudinal, las probetas se seccionaron a nivel transversal, utilizando para ello disco blando de carburo de silicio para cortes de materiales duros. Se verificó que las superficies transversales quedaron lisas y paralelas entre si y exenta de óxidos y materias extrañas.

Se tomaron quince (15) mediciones de dureza, tres mediciones por cada capa de soldadura, incluyendo **zona de dilución, zona afectada por el calor y material base**. Ver Fig. 19.

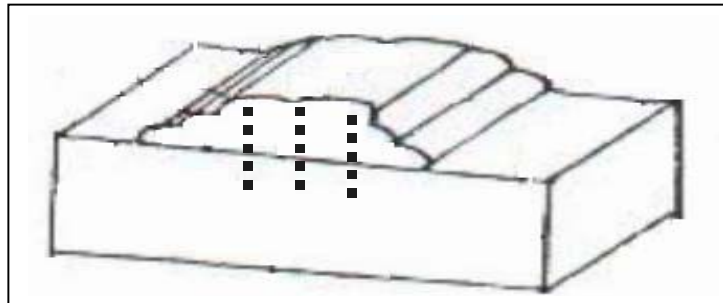


Fig 19. Patrón de Medición de Dureza Transversal

2.7.3 Evaluaciones Adicionales

Dentro de las evaluaciones adicionales se realizaron prueba de microdureza, observaciones metalográficas a nivel macro y micro estructural y análisis químicos y morfológicos de las fases presentes, a través de microscopia electrónica de barrido.

2.7.3.1 Evaluación Metalográfica

2.7.3.1.1 Preparación de las Muestras Metalográficas

Las probetas seccionadas y utilizadas en la determinación de valores de dureza transversal se sometieron a un proceso riguroso de preparación metalográfica, tal como lo estipula la norma ASTM E3-80 [21]. En el desbaste fino, se utilizaron hojas abrasivas (lijas) con número de granulometría 240, 320, 400 y 600, luego se realizó pulido intermedio y fino, utilizando, lona, paño verde y paño rojo en presencia de suspensión abrasiva de alúmina, de granulometría de 1 μ , 0.3 μ y 0.05 μ respectivamente y agente refrigerante.

2.7.3.1.2 Observación Metalográfica

La observación metalográfica llevada a cabo constó de dos líneas de observación, macro y microestructural .

A. Observación Macroestructural

La observación se realizó utilizando una cámara fotográfica digital con capacidad de aumento de 5 X. Para el revelado de la macroestructura se utilizó una solución a base de cobre cuya composición se encuentra estipulada en la norma ASTM E 340 bajo la referencia 6 [24], revelando así la estructura macro del depósito de soldadura, penetración del mismo y zona afectada por el calor, además de detectar posible presencia de defectos superficiales, tales como, poros, macrogrietas, falta de fusión, restos de escoria adheridas entre capas, entre otros.

B. Observación Microestructural

Para la observación microestructural se trabajó con un microscopio óptico con capacidad de magnificación máxima de 1000X. Para la revelación microestructural del material de recargue se utilizó ataque electrolítico y para revelar la microestructura del material base se utilizó nital al 5 %. Se utilizaron diversas escalas de magnificación y se estipularon dos (2) patrones de observación, a nivel horizontal, a través de la sección A-B, para observar el metal de recargue y a nivel vertical, desde el punto C en forma ascendente, para detallar la zona afectada por el calor, zona de dilución e inicio del metal de recargue sin dilución.

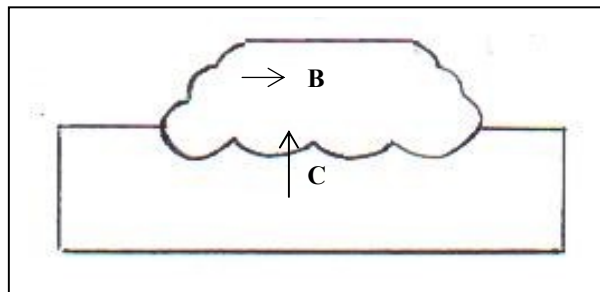


Fig. 20. Patrón de observación Metalográfica

2.7.3.1.3 Caracterización por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Con la finalidad de determinar la naturaleza química de los elementos que conforman las fases presentes en las microestructuras en estudio y caracterizarlos a nivel morfológico, se realizó análisis químicos utilizando la técnica de EDS por Microscopía Electrónica de Barrido. Se utilizaron ampliaciones diversas por encima de 1000X.

2.7.3.2 Microdureza

Con el motivo de ampliar la caracterización de los carburos rico en cromo, se realizaron mediciones de microdureza Vickers sobre los mismos. Se utilizó un microdurómetro universal marca LEITZ, modelo Metaluz, con tiempo de carga 30 seg. y carga de 100g.

CAPITULO II

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Caracterización del Material Base

3.1.1 Análisis Químicos

En la Tabla 12 se encuentra la composición química del acero ASTM A36. La composición química del metal base se encuentra dentro del rango establecido por la norma ASTM para este tipo de acero estructural.

Tabla 12 Análisis Químico Elemental del Metal Base A36

Análisis Químico Elemental (%)					
Especificaciones min. - máx.	C 0,26	Mn 0,8 - 1,2	Si 0,4	S 0,04	P 0,04
Material Base Acero Estructural A36	0,15	0,89	0,25	0,015	0,014

3.1.2 Metalografía

La Fig. 21 muestra la microestructura del metal base. Las zonas claras corresponden a la fase ferrita, las zonas oscuras esta comprendida de colonias de perlita, microestructura típica de este acero bajo carbono. La distribución y tamaño de grano del metal se observa homogéneamente.



Fig. 21. Fotomicrografía del Metal Base (Acero A36).

3.2 Selección de Parámetros de Soldadura

3.2.1 Inspección Visual

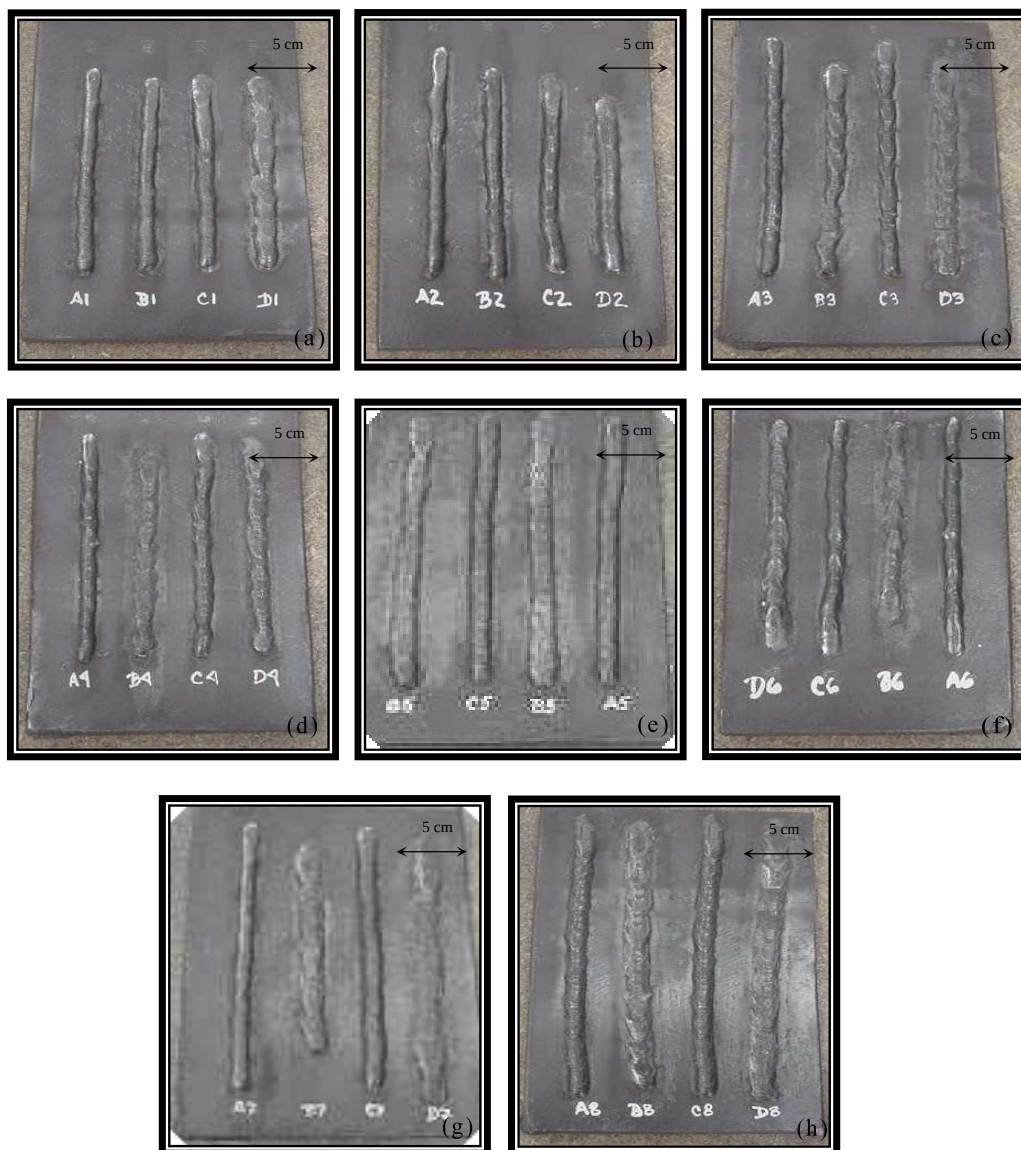


Fig. 22. Fotos de cordones de soldadura aplicados sobre láminas de acero ASTM A36. Corresponden a los metales de recargue: (a) F-01. (b) F-02. (c) F-03. (d) F-04. (e) F-05 (f) F-06. (g) F-07 (h) F-08.

En la Fig. 22, se observan los cordones de todos los metales de recargue en estudio depositados bajo las condiciones y parámetros estipulados en la metodología. Los cordones de recargue realizados bajo las condiciones “B” y “D”, correspondientes a la aplicación con precalentamiento (300°C), presentan cordones muy anchos, con poca altura, mientras que los cordones realizados en condiciones sin precalentamiento “A” y “C”, presentan buena apariencia, cordones con buena altura y lisos.

La altura del cordón de soldadura es un factor importante en consideración, ya que a mayor altura del cordón de soldadura menor penetración, por lo tanto, los cordones aplicados bajo las condiciones “B” y “D” para todos los recargues se descartan.

3.2.2 Inspección por Líquidos Penetrantes

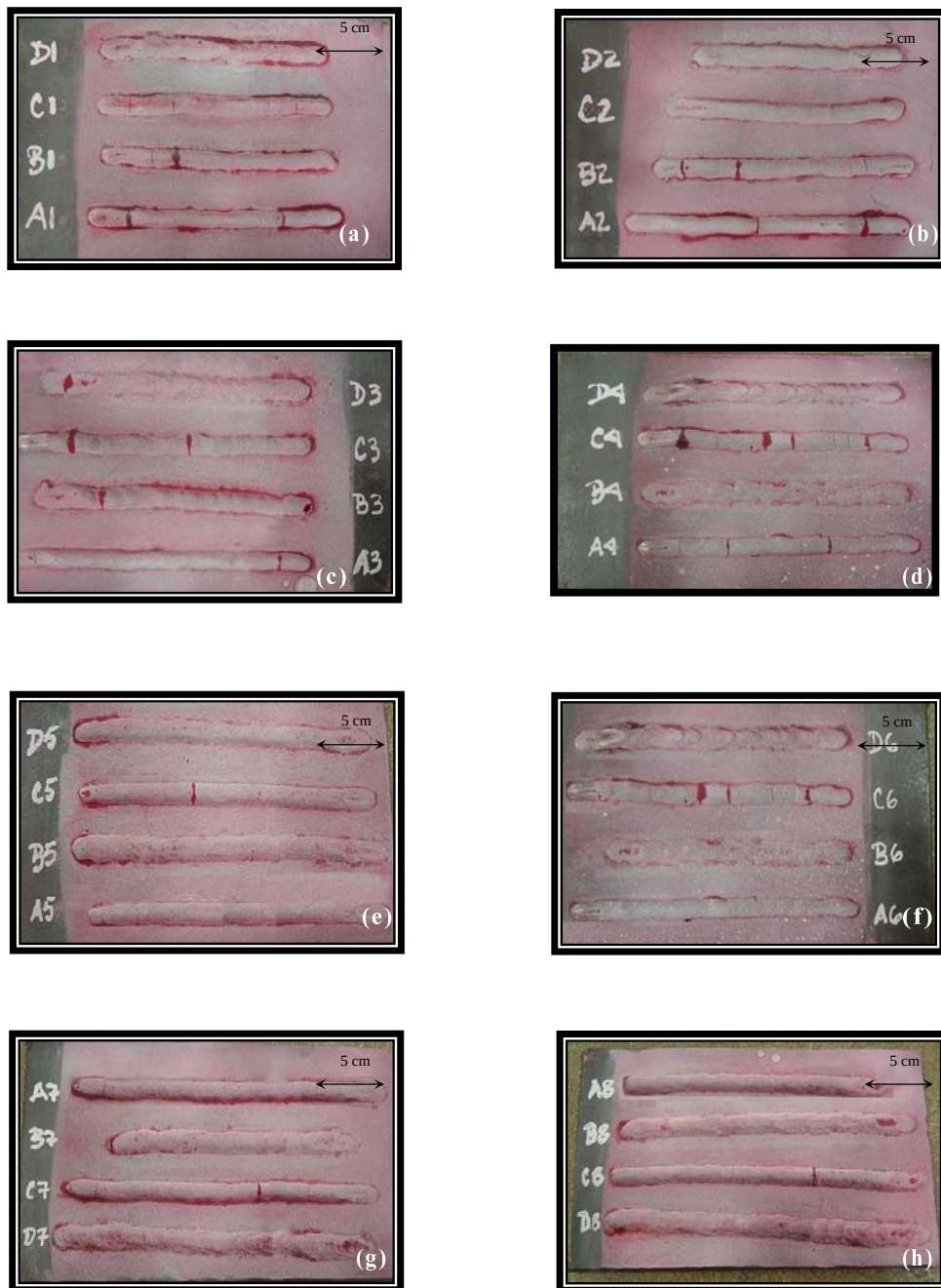


Fig 23. Fotos correspondientes a cordones de soldadura con líquidos penetrantes de todos los recargues en estudio a) F-01. (b) F-02. (c) F-03. (d) F-04. (e) F-05 (f) F-06. (g) F-07 (h) F-08.

En la Fig. 23. se observan cordones de soldadura con liquido penetrante aplicado bajo las condiciones y parámetros estipulados en la metodología, en función de los recargues en estudio.

Los cordones de soldadura aplicados bajo las condiciones “B” y “D” en su mayoría no presentaron grietas. Los cordones de soldadura aplicados bajo las condiciones “A” y “C” presentaron en su mayoría grietas transversales, producto de las distorsiones estructurales ocasionados por el alto contenido de elementos aleantes en el metal de recargue. Los cordones de soldadura aplicados bajo la condición “D” para todos lo recargues, presentan mayor concentración de grietas en forma transversal, debido a que, en esta condición se utilizó el nivel de amperaje más alto (150 amp), ocasionando un mayor aporte calórico, sin precalentar, obteniendo velocidades de enfriamiento mayores, en comparación al que se obtuvieron en los cordones realizado bajo la condición “A”. Por lo tanto se escoge para todos los metales de recargue la condición “A” para realizar los depósitos a caracterizar.

3.3 Estudio Macrográfico

De la condición más idónea producto de los resultados arrojados en la inspección visual e inspección con líquidos penetrantes, se realizó un estudio macrográfico determinándose penetración y dilución a través de cortes transversales realizados a los cordones seleccionados. En la Tabla 13 se encuentran los valores de penetración y dilución para cada uno de ellos.

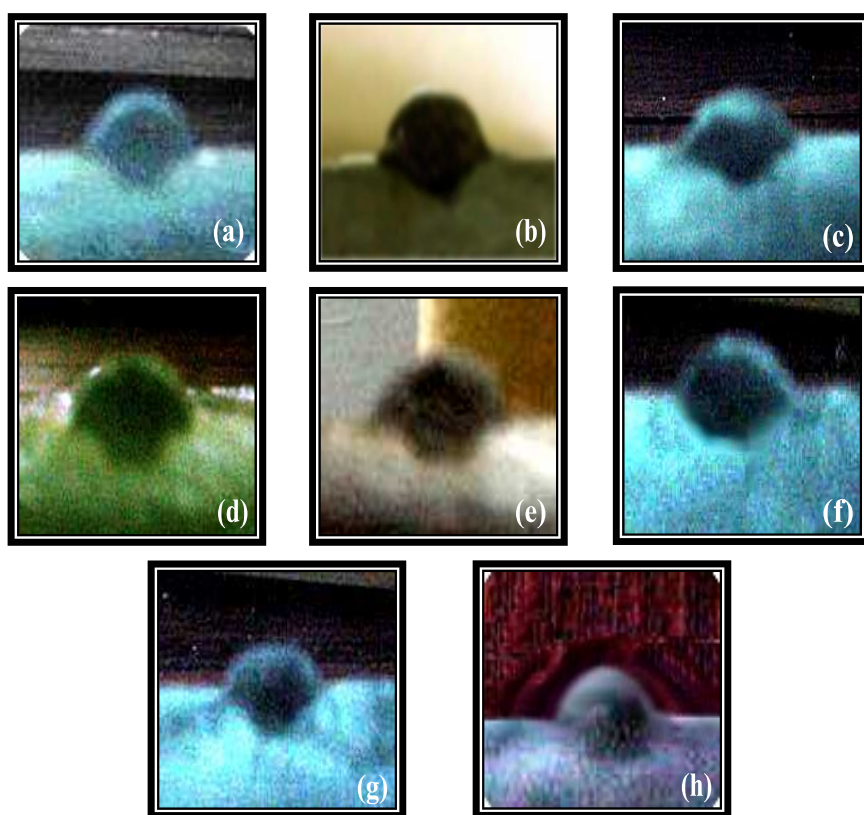


Fig 24. Fotomicrografías de la sección transversal de los cordones seleccionados para cada metal de recargue. a) F-01. (b) F-02. (c) F-03. (d) F-04. (e) F-05 (f) F-06. (g) F-07 (h) F-08.

Tabla 13. Penetración y Dilución de Cordones Seleccionados

Valores	Cordones Seleccionados								
	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08	Promedio
Penetración (mm)	1.5	1.4	1.3	1.5	1.2	1.7	1.6	1.6	1.47
Dilución (%)	38	36	35	37	35	45	40	40	38.3

De acuerdo a los valores estipulados en la tabla 13, se puede evidenciar variaciones de dilución (%), y penetración; sin embargo dichas variaciones son aceptables por ser este un proceso de soldadura manual donde se depende de la habilidad del soldador para reproducir variables como altura del arco eléctrico, y velocidad de deposición, el cual genera a su vez, variación en la tensión del arco y mayor o menor aporte calórico.

El promedio de dilución (38.3 %) se encuentra en el valor máximo estipulado para este proceso de soldadura (10-40 %). Este valor es de cuidado, ya que brinda, mayor adherencia a grandes partículas depositadas en forma de chisporroteo sobre molinos utilizados para moler el bagazo de la caña de azúcar , aplicación principal al cual está diseñado el electrodo Gridur 150 AC, pero tiende a disminuir la resistencia a la abrasión del metal de recargue.

3.4. Elaboración de Probetas

3.4.1 Probetas para Análisis Químicos

En la Fig. 25 se puede apreciar un depósito de recargue para análisis químicos, realizado según las dimensiones y las pautas exigidas por la Norma AWS A5.13-80.



Fig 25. Probeta para Análisis Químicos

3.4.2 Probetas para el Ensayo de Dureza

En la Fig. 26 se encuentra una muestra de los depósitos de recargue realizados para evaluar dureza según las pautas establecidas por la Norma DIN 8555.



Fig. 26. Probeta para el Ensayo de Dureza.

3.5 Caracterización de los Depósitos de Recargue

3.5.1 Análisis Químicos

En la Tabla 14. se encuentra estipulado la composición química de los depósitos de todos los metales de recargue en estudio .

Tabla 14. Análisis Químico de los Depósitos de Metal de Recargue.

Probetas	Análisis Químico (%)				
	%C	%Cr	%Mn	%Si	%S
Patrón	4.38	30.90	2.14	2.76	0.010
F-01	4.66	30.70	1.71	1.87	0.012
F-02	4.73	30.20	1.90	1.60	0.011
F-03	4.41	27.40	1.95	1.76	0.013
F-04	4.78	27.60	1.96	1.65	0.010
F-05	4.49	26.00	2.10	1.80	0.012
F-06	4.30	25.40	2.37	1.74	0.010
F-07	4.51	23.70	2.67	2.25	0.011
F-08	4.69	24.30	2.70	2.29	0.010

En forma general se observa variación de todos los elementos analizados en los depósitos de los metales de recargue en estudio. No se obtuvo una variación específica por fórmula, de los elementos carbono (C), cromo (Cr) y silicio (Si), como era de esperarse.

Esto se debe a que los elementos en mención fueron añadidos al revestimiento de los electrodos en estudio, bajo distintas presentaciones, ya sea en forma de ferroaleaciones y compuesto químico de alta pureza, es decir, no fueron añadidos bajo un componente en particular, ni tampoco en forma de carburos que pudieran ser transferidos como partículas discretas a través del arco eléctrico. La interacción química de estos elementos con otros presentes en el baño metálico y su difusión durante el proceso de soldadura a la escoria o de manera elemental al metal base, pueden ser los factores que hayan influido sobre tal comportamiento.

El elemento manganeso a pesar de no sufrir cambios de contenido en el revestimiento de los electrodos de recargues en estudio, se observa variación en la composición en todos los depósitos de soldadura. Esto se debe a la interacción del elemento silicio en el baño metálico, elemento que tiene gran afinidad con el oxígeno, provocando que un porcentaje del elemento manganeso (agente desoxidante) no se oxide y permanezca en el baño metálico.

3.5.2 Ensayo de Dureza

3.5.2.1 Dureza Longitudinal

3.5.2.1.1 Sección A-A

En la Tabla 15 se encuentran arrojados los valores de dureza realizadas en la sección A-A. Se tomaron diez (10) valores, de los cuales se eliminó el valor mayor y menor para cada serie.

Tabla 15. Valores de Dureza de Probetas de la Sección A-A

Dureza	Probetas								
	Patrón	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08
1	56	57	57	60	57	57	58	59	54
2	56	57	56	60	58	58,5	58	58	55
3	54	58	57	59	58,5	56	57	58,5	54,5
4	56	57	55	58	58	57	58	61	54
5	57,5	57	57	59	59	56	57	58	56
6	57	57	57,5	59	57	57	57	59	56
7	56	57,5	57,5	58	57	56	57,5	58	56
8	54	58	55,5	59	58	56	57,5	59	57,5
$\bar{x} \pm f \cdot s$	55,8±1,0	57,3±1,8	56,6±1,6	59,0±1,8	57,8±1,6	56,7±1,8	57,5±1,0	58,8±1,9	55,4±2,0

Nota:

X: Promedio, $f=1.96$ (95% de confiabilidad), S: Desviación Estandar

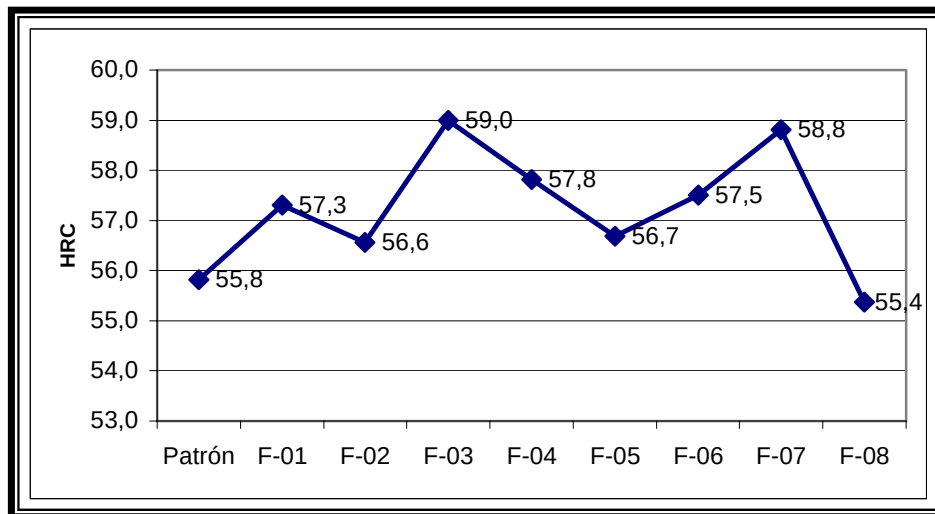


Fig 27. Gráfico de Valores promedios de Dureza en la Sección A-A

En la Fig. 27, se observa valores de dureza en función de los depósitos de recargues duros estudiados. Todos los depósitos de soldadura arrojaron valores de dureza mayores al estipulado por el patrón, a excepción del depósito de recargue F-08.

Todos los valores de dureza realizados en esta sección se encuentran dentro del rango estipulado para este tipo de recargue, entre 55 y 60 HRC, de acuerdo a parámetros exigidos por el fabricante, parámetros que garantiza un comportamiento adecuado a la resistencia a la abrasión, principal mecanismo de desgaste que sufre este recargue en servicio.

3.5.2.1.2 Sección B – B.

En las tablas 15 y 16 se encuentran valores de dureza arrojados en la sección B-B nivel 1 y nivel 2 respectivamente. Se calculó el promedio y la desviación estándar, sobre la data de valores de dureza, para cada depósito de recargue evaluado.

Sección B – B. Nivel 1

Tabla 16. Valores de Dureza de probetas en la sección B-B, nivel 1

Dureza	Probetas								
	Patrón	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08
1	56	57	55	59	59	57	56	60,5	57,5
2	57	57	52,5	60	59	58	57	62	57
3	56	56	57	60	60	57	57	62	56
4	55	57	55	60	60,5	60	56	60,5	55
$\chi \pm f^*s$	56,0 $\pm$ 1,6	56,8 $\pm$ 1,0	54,9 $\pm$ 1,8	59,8 $\pm$ 1,0	59,6 $\pm$ 1,6	58,0 $\pm$ 1,4	56,5 $\pm$ 0,6	61,3 $\pm$ 0,9	56,4 $\pm$ 1,1

Sección B – B. Nivel 2

Tabla 17. Valores de Dureza de probetas en la sección B-B, nivel 2

Dureza	Probetas								
	Patrón	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08
1	56	57	59	58	60	61	57	59	55
2	56	57	58	58,5	60	59	57	59	54
3	55	57,5	59	58	60	60,5	57	57,5	56
4	56	55	58	59	59	58	55	60	57
$\chi \pm f^*s$	55,8 $\pm$ 1,0	56,6 $\pm$ 1,1	58,5 $\pm$ 0,6	58,4 $\pm$ 1,0	59,8 $\pm$ 1,0	59,6 $\pm$ 1,4	56,5 $\pm$ 1,0	58,9 $\pm$ 1,0	55,5 $\pm$ 1,3

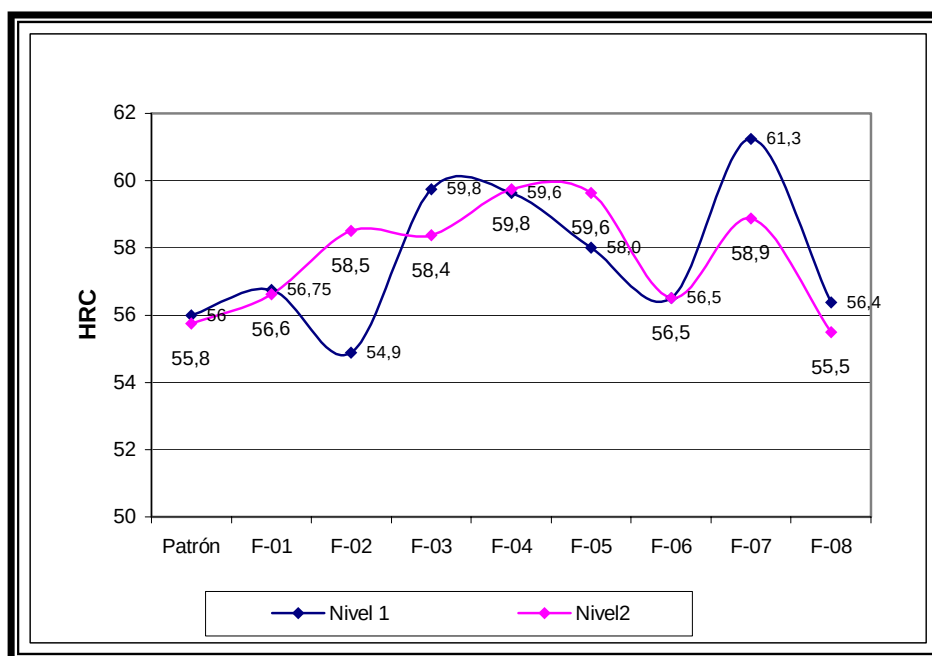


Fig. 28. Gráfico de valores promedios de dureza realizados en la sección B-B.

En la Fig. 28 se aprecia como los valores promedios de dureza en la sección B-B, de manera general, no presentan variaciones significativas entre los niveles 1 y 2 , dando muestra del grado de homogeneidad que presentan los depósitos de soldadura a través de esta sección, sin embargo los depósitos de material de recargue F-02 ,F-07 presentan diferencia de valores 4.1 y 2.4 respectivamente

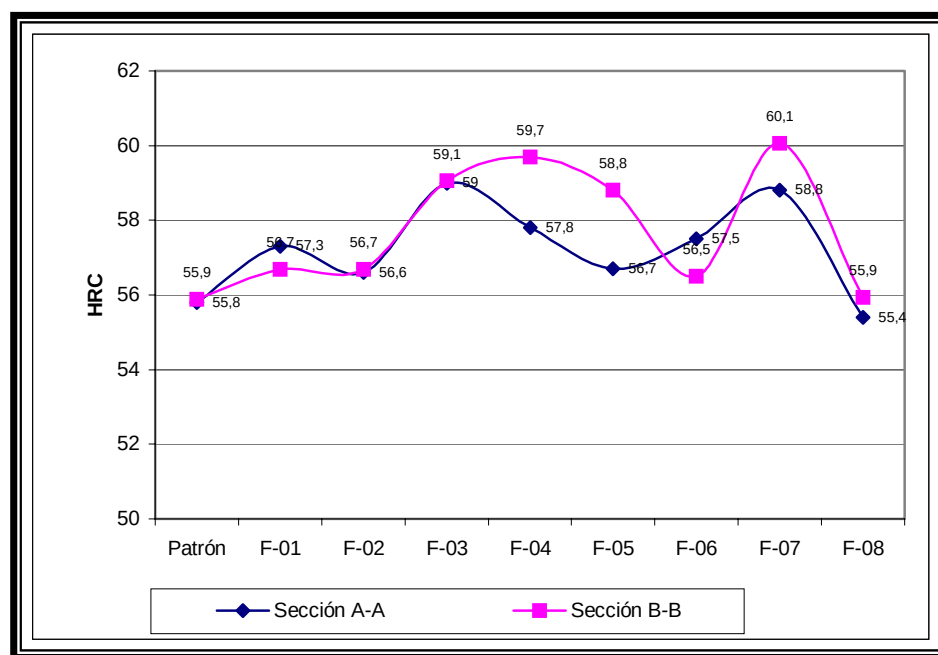


Fig. 29. Gráfico de valores promedios de dureza realizados en la secciones **A-A** y **B-B**.

En la Fig. 29 se muestra un gráfico de valores promedios de dureza de las secciones A-A y B-B en función de los depósitos de recargue en estudio. Comparando dichos valores, no se evidencia variaciones significativas, producto del grado de homogeneidad de los depósitos de soldadura a través de la sección longitudinal.

3.5.2.2 Dureza Transversal

En la Fig. 30. se muestra el patrón de medición de dureza utilizado en la sección transversal de las probetas para dureza, tal como se estableció en la metodología. Las siglas L1, L2 y L3, significa: línea 1, línea 2 y línea 3 respectivamente.

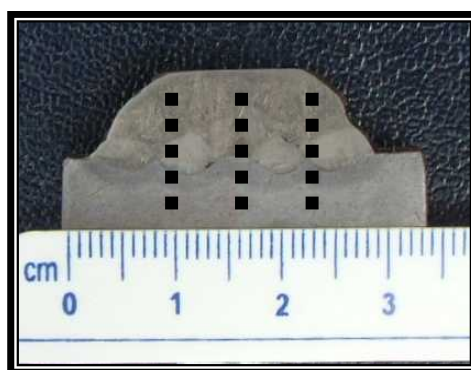


Fig. 30. Patrón de medición de dureza transversal

A continuación se presentan una series de tablas con valores de dureza a través de la sección transversal de los depósitos de recargues en estudio, según patrón de mediciones planteado para esta sección.

Las tablas en mención, presentan dos escalas de dureza: escala Rockwell C, con carga de 150Kg, para las zonas de metal de recargue y dilución y en escala Rockwell A, con carga de 60Kg, para las zonas afectadas por el calor y metal base.

Tabla 18. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-01.

F-01	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedio	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	57		59		60		58,7	
2 ^{da} Capa	59		58		60		59,0	
1 ^{er} Capa	61		61		61		61,0	
Dilución	55		56		54		55,0	
ZAC		54		53		53		53,3
MB		47		48		49		48,0

Tabla 19. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-02.

F-02	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	58		60		56		58,0	
2 ^{da} Capa	59		62		60		60,3	
1 ^{er} Capa	61		61		61		61,0	
Dilución	55		54		55		54,7	
ZAC		54		54		54		54,0
MB		51		50		51		50,7

Tabla 20. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-03.

F-03	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	56		55		56		55,7	
2 ^{da} Capa	58		58		59		58,3	
1 ^{er} Capa	60		62		60		60,7	
Dilución	54		55		54		54,3	
ZAC		53		54		51		52,7
MB		50		49		48		49,0

Tabla 21. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-04.

F-04	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	57		58		56		57,0	
2 ^{da} Capa	61		58		59		59,3	
1 ^{er} Capa	61		58,5		60,5		60,0	
Dilución	55		54		55		54,7	
ZAC		54		53		54		53,7
MB		48		48		48		48,0

Tabla 22. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-05.

F-05	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	56		55		56		55,7	
2 ^{da} Capa	57		55		55		55,7	
1 ^{er} Capa	58		56		55		56,3	
Dilución	55		55		54		54,7	
ZAC		52		52		51		51,7
MB		49		48		48		48,3

Tabla 23. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-06.

F-06	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	55		56		55		55,3	
2 ^{da} Capa	55		59		58		57,3	
1 ^{er} Capa	56		60		59		58,3	
Dilución	55		55		55		55,0	
ZAC		54		53		54		53,7
MB		48		48		49		48,3

Tabla 24. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-07.

F-07	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	58		59		57		58,0	
2 ^{da} Capa	59		59		59		59,0	
1 ^{er} Capa	61		60		61		60,7	
Dilución	54		55		54		54,3	
ZAC		52		52		50		51,3
MB		47		47		48		47,3

Tabla 25. Valores de dureza a través de la sección transversal en la probeta F-08.

F-07	Línea 1		Línea 2		Línea 3		Promedios	
Zona	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA	HRC	HRA
3 ^{er} Capa	59		60		59		59,3	
2 ^{da} Capa	61		61		59		60,3	
1 ^{er} Capa	60		59		59		59,3	
Dilución	55		55		54		54,7	
ZAC		54		53		52		53,0
MB		50		51		50		50,3

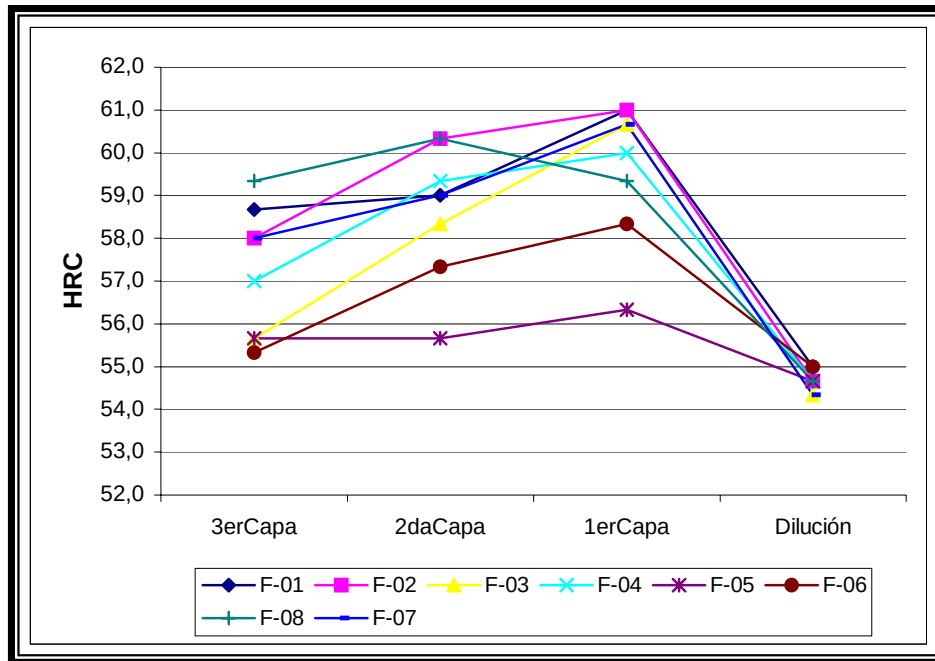


Fig 31. Gráfico de Valores promedios de Dureza en la zonas de dilución, 1^{er} capa, 2^{da} capa y 3^{ra} capa de los depósitos recargue en estudio.

En todos los depósitos de recargue se observa un valor máximo de dureza pertenecientes a las evaluaciones realizadas en la primera capa de dichos depósitos. Valores de dureza arrojados en evaluaciones de capas sucesivas, es decir, segunda y tercera capa, experimentan un descenso en los mismos; por lo tanto, el aporte realizado sobre la primera capa no incrementa la propiedad mecánica evaluada; si no, por el contrario se obtuvo un detrimento de dicha propiedad, tendencia que plantea la fragilidad de los depósitos para las dos últimas capas. Por lo tanto la dureza óptima se logra con la deposición de una capa para estas aleaciones.

3.6 Evaluaciones Adicionales

3.6.1 Observación Metalográfica

3.6.1.1 Perfil Microestructural en Depósitos de Metal de Recargue.

A continuación se reflejan una series de fotomicrografías tomadas según el patrón descrito para la caracterización del metal de recargue durante la trayectoria A-B:

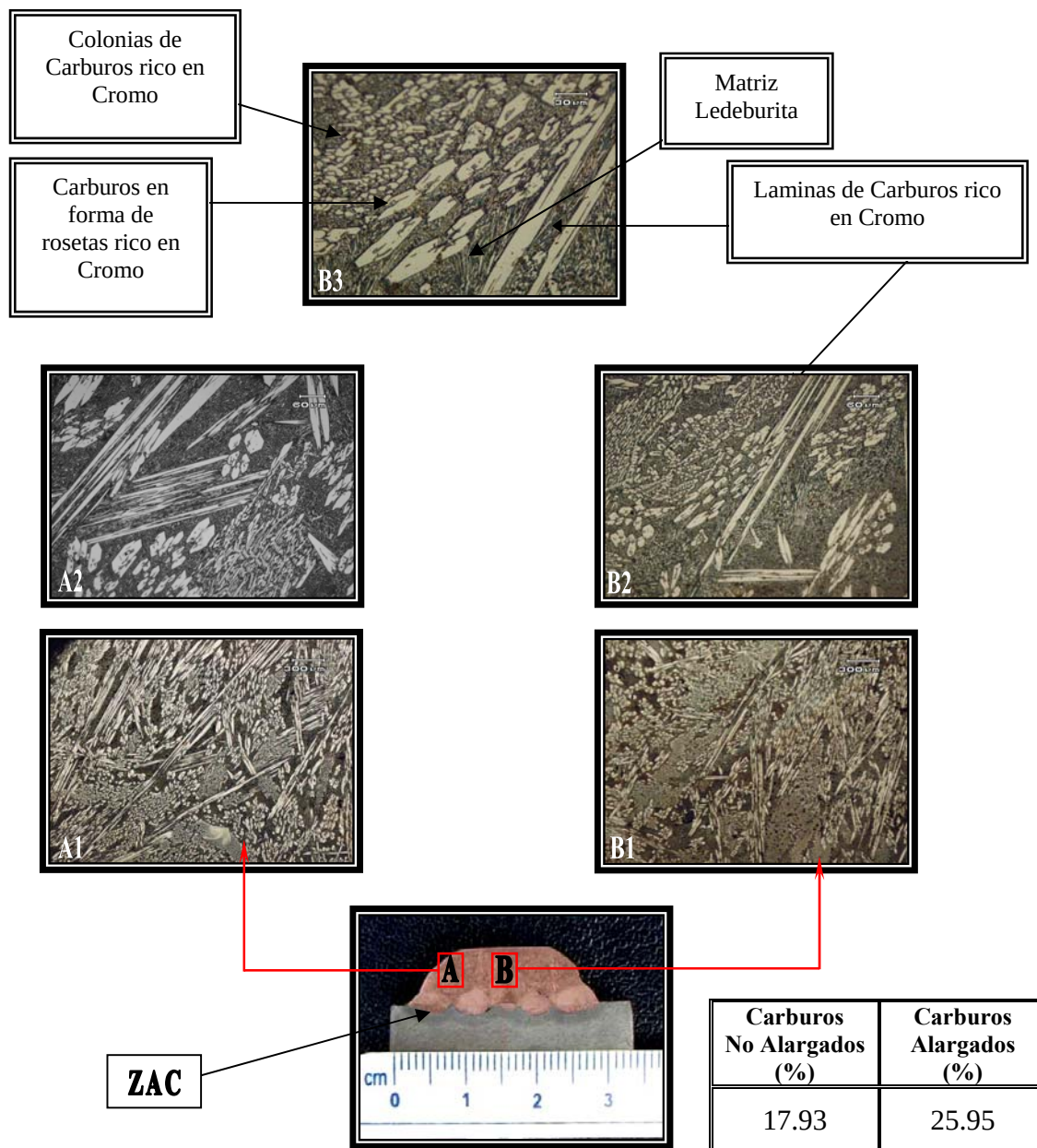


Fig. 32. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-01

En la Fig. 32, se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-01.

En primer lugar se encuentra una fotomacrografía del depósito, donde se observan las capas de recargue, zona de dilución y la zona afectada por el calor “ZAC” (zona oscurecida, ubicada debajo de la interfase metal base metal de recargue). En las últimas dos capas se aprecia una estructura completamente columnar y en general no se observa defectos superficiales.

A continuación se reseñan fotomicrografías producto de la trayectoria horizontal realizado desde la zona A hasta la zona B en el metal de recargue. Se destaca la presencia de dos fases perfectamente diferenciables. La fase oscura representa la matriz de fase ledeburita y las fases claras representan los carburos ricos en cromo con diversos tamaños y morfologías. La matriz ledeburita se encuentra conformada a su vez por una fase austenítica y laminillas de carburos rico en hierro y cromo.

En la fotomicrografía A1 se observan laminas delgadas de gran longitud distribuidas de manera uniforme sobre la matriz ledeburita, alineadas en diferentes direcciones. En la fotomicrografía A2 se aprecian los carburos rico en cromo bajo distintas morfología, en forma de laminas, rosetas (hexagonales) y pequeñas colonias de carburos rico en cromo muy pequeños.

En la Fotomicrografía B1 las láminas delgadas de carburos rico en cromo se encuentran en menor proporción en comparación a la fotomicrografía A1, además de manera proporcional se observa un aumento de pequeños carburos en forma de rosetas y pequeñas colonias, tal como se aprecia a mayor aumento en las fotomicrografías B2 y B3

A pesar de tener una alta concentración de carburos rico en cromo, 43,52% entre colonias, rosetas y laminas alargadas, debido a la presencia de alto contenido de carbono y cromo (uno de los depósitos con mayor contenido de estos elementos), sin embargo no presentó un comportamiento destacado en el ensayo de dureza, esto se debe a la presencia de alta concentración carburos rico en cromo de gran longitud y tamaño.

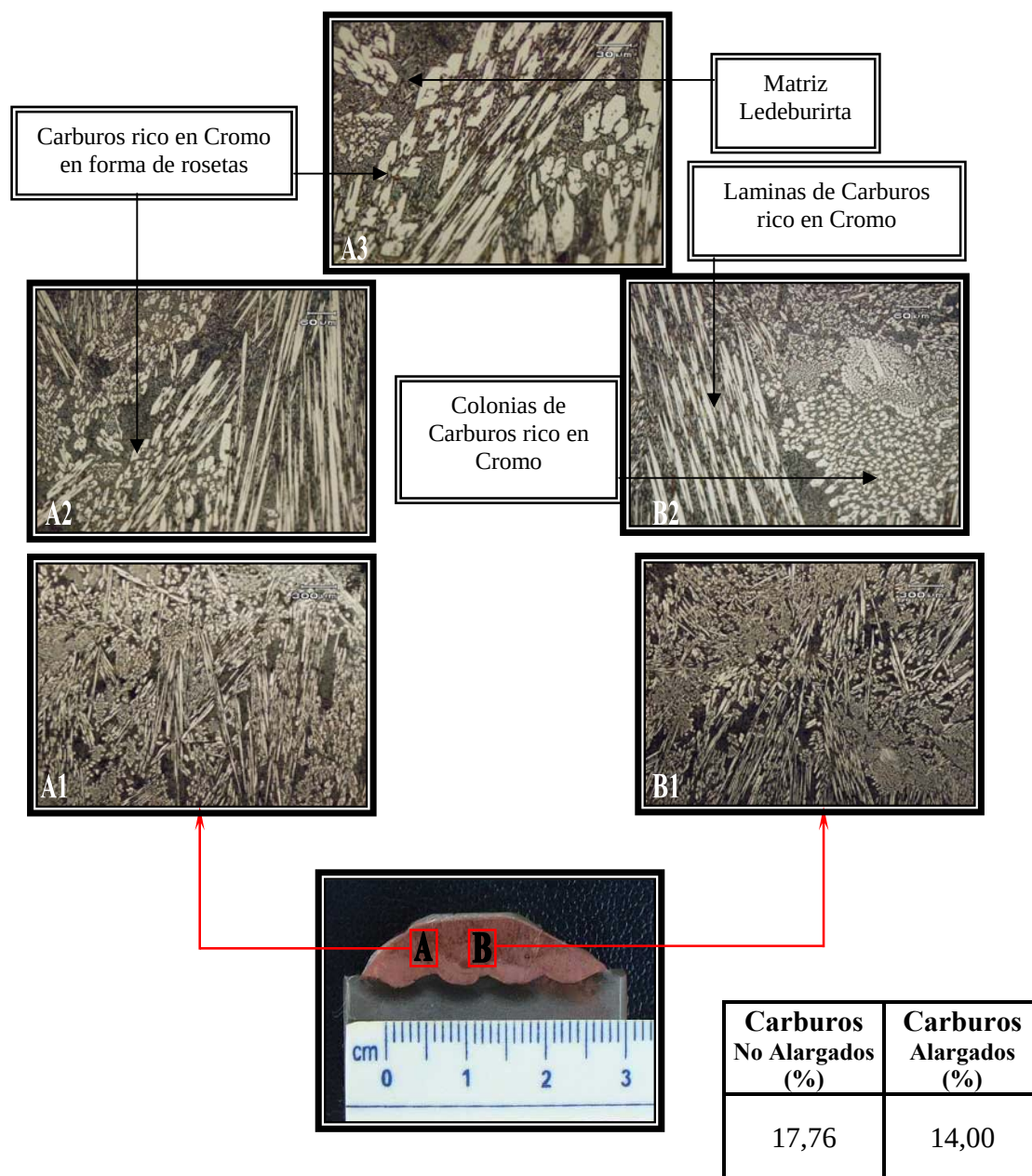


Fig. 33. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-02

En la Fig 33, se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-02. En la fotomacrografía del depósito de recargue se observan las capas que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor “ZAC”, sin defectos superficiales.

A continuación se reseñan fotomicrografías producto de la trayectoria horizontal realizado desde la zona A hasta la zona B en el metal de recargue. De igual manera a la muestra anterior, se destaca la presencia de dos fases conformada por la matriz ledeburita (fase oscura) y laminas de carburos rico en cromo (fase clara), distribuidos de manera uniforme y con morfología diversa.

En la fotomicrografía B1 se aprecia delgadas laminillas en forma de agujas orientadas a hacia el centro del recargue, debido al frente solidificación orientadas en esa misma dirección. En la fotomicrografía B2 se aprecian grandes laminas de carburos rico en cromo en compañía de colonias de pequeños carburos rico en cromo. La diversidad de morfología y tamaños de estos carburos están asociados al gradiente de temperatura obtenido durante la aplicación y la permanencia a altas temperaturas, producto del patrón de deposición de los cordones de recargue que conforman cada capa y la interacción con el calor aportado de cordones depositados en capas superiores.

En la fotomicrografía A1 se aprecia delgadas laminas de carburos rico en cromo en mayor concentración que las observadas en la zona B. En las fotomicrografías A2 y A3 se destaca la presencia de carburos rico en cromo bajo tres morfologías diferentes, laminas alargadas, en forma de rosetas y pequeñas colonias de carburos más pequeños

Esta microestructura compuesta por grandes colonias de carburos pequeños (no alargado) rico en cromo, le confiere una repuesta óptima ante el ensayo de dureza, tal como se pudo constatar en el resultado obtenido de dureza transversal para la primera capa (61HRC), sin embargo en las capas sucesivas se observó un descenso en el mismo, indicativo del aumento del grado de fragilidad del metal de recargue en esta dos últimas capas, obteniendo resultados de dureza longitudinal compuestas por las secciones A-A y B-B de 56,7 y 56,6 HRC respectivamente.

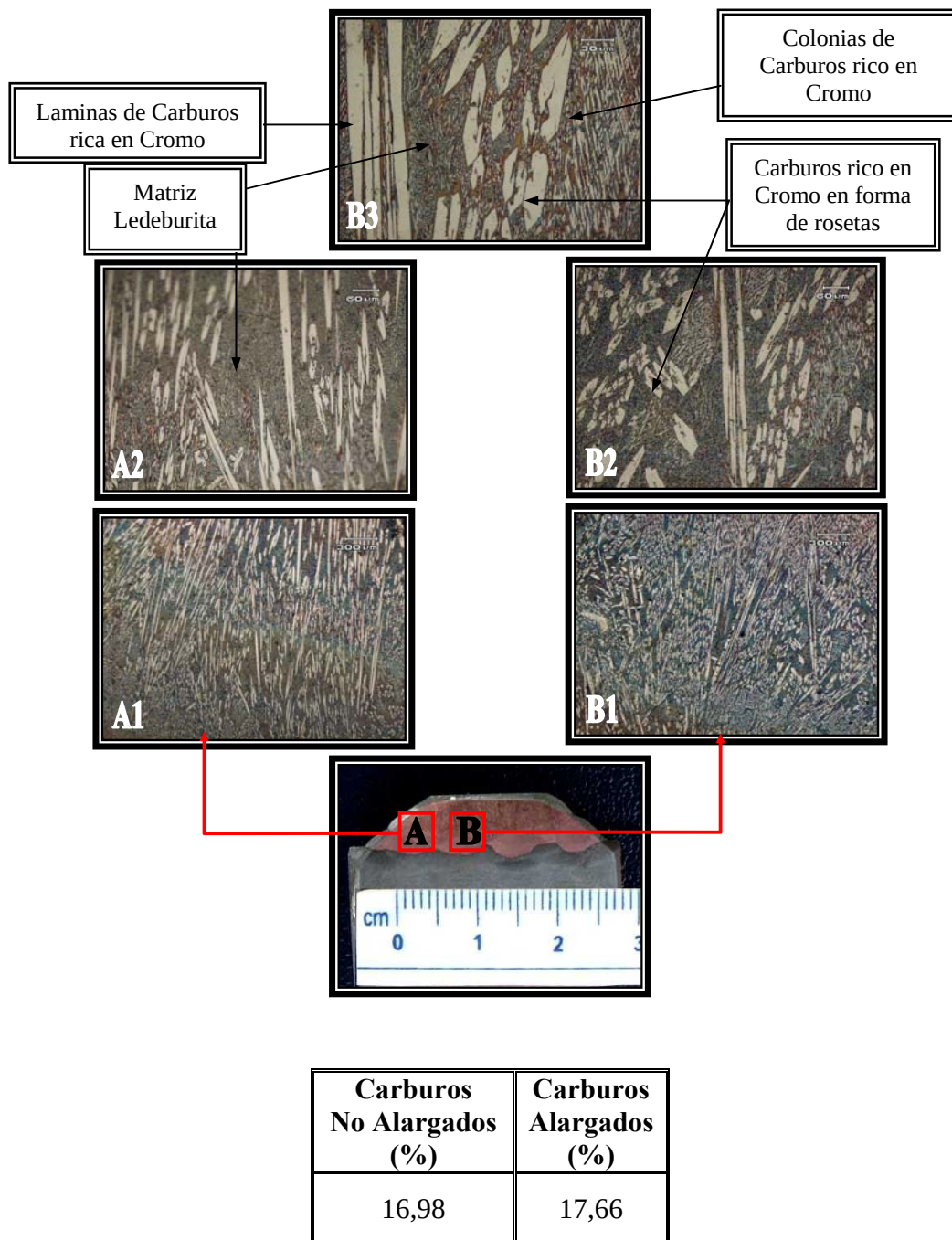


Fig. 34. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-03

En la Fig 34. se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-03.

En primer lugar se encuentra una fotomacrografía del depósito de recargue, donde se observan las capas de recargue que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor “ZAC”. En las dos últimas capas del depósito se evidencia una estructura columnar y en forma general no se observan defectos superficiales.

A continuación se reseñan fotomicrografías producto de la trayectoria horizontal realizado desde la zona A hasta la zona B en el metal de recargue. Evidenciándose las fases ya caracterizadas en las fig 32 y 33.

En la fotomicrografía A1 se aprecian laminillas de carburos ricos en cromo distribuidas de manera uniforme perfectamente direccionados, debido a la presencia de un solo patrón de enfriamiento para esta zona. Además se evidencia en esta zona menor presencia de carburos (ver fotomicrografía A2)

En la fotomicrografía B1 de igual forma se observan pequeñas laminillas evidenciada mejor en la fotomicrografía B2. En ellas se aprecia una concentración de carburos ricos en cromo menor a las observadas en las figuras 32, 33.

Las características microestructurales descrita durante la trayectoria A-B permite establecer una relación entre las delgadas laminillas de carburos rico en cromo, en comparación con las observadas en las figuras, 32 y 33 y su impacto en la resistencia a la indentación, el cual arrojó el valor de dureza (promedio) más alto en la sección longitudinal (59HRC) y uno de los más altos en la sección transversal, a pesar de no poseer un contenido de carbono tan alto (4,41%) en comparación a otros depósitos de metales de recargue en estudio.

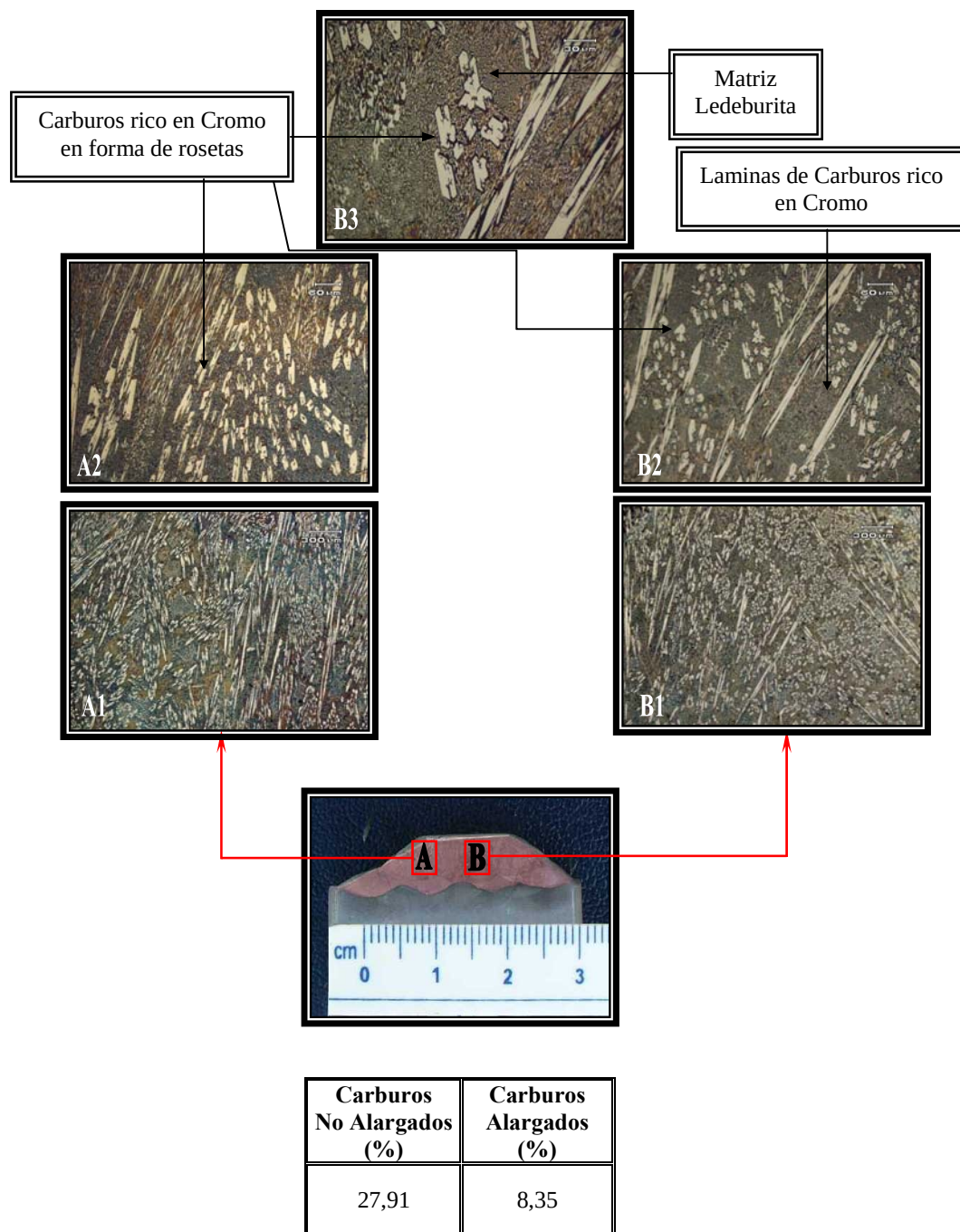


Fig. 35. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-04

En la Fig 35. Se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-04.

En la fotomacrografía del depósito de recargue se observan las capas que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor (zona oscurecida, ubicada debajo de la interface metal base metal de recargue), en ella no se aprecia defectos superficiales a través de la sección en observación.

En la fotomicrografía B1 del centro del depósito de recargue se aprecia mayor contenido de colonias de carburos rico en cromo y menos concentración de grandes laminas de carburos rico en cromo. En la foto también se aprecia dos frentes de solidificación, debido a la orientación mostrada por las grandes láminas en mención. En las fotomicrografías B2 y B3, a mayores aumentos, se aprecia como las colonias de carburos, son colonias de carburos en forma de rosetas, además de apreciar como el tamaño de los carburos caracterizados son de menor tamaño a las observaciones realizadas sobre depósitos de metales de recargue ya analizados.

En la fotomicrografía A1 se aprecia mayor concentración de carburos rico en cromo en forma de laminas y pocas colonias aisladas de carburos en mención, en comparación con la microestructura observada en la fotomicrografía B1.

La concentración de carburos rico en cromo en este depósito de metal de recargue se ubica en 8,35% de carburos alargados y 27, 91% de carburos no alargados, para obtener un total de concentración de carburos rico en cromo de 36,26 %, valor que se encuentra dentro del promedio de las concentraciones de carburos rico en cromo obtenidos para todos los depósito de metal de recargue en estudio, sin embargo la respuesta ofrecida en el ensayo de dureza refleja un comportamiento superior a la media de los resultados obtenidos en los depósito de recargue en estudio, con valor de dureza (promedio) en la sección longitudinal de 58,75 HRC y en la sección transversal en la primera capa de 60 HRC.

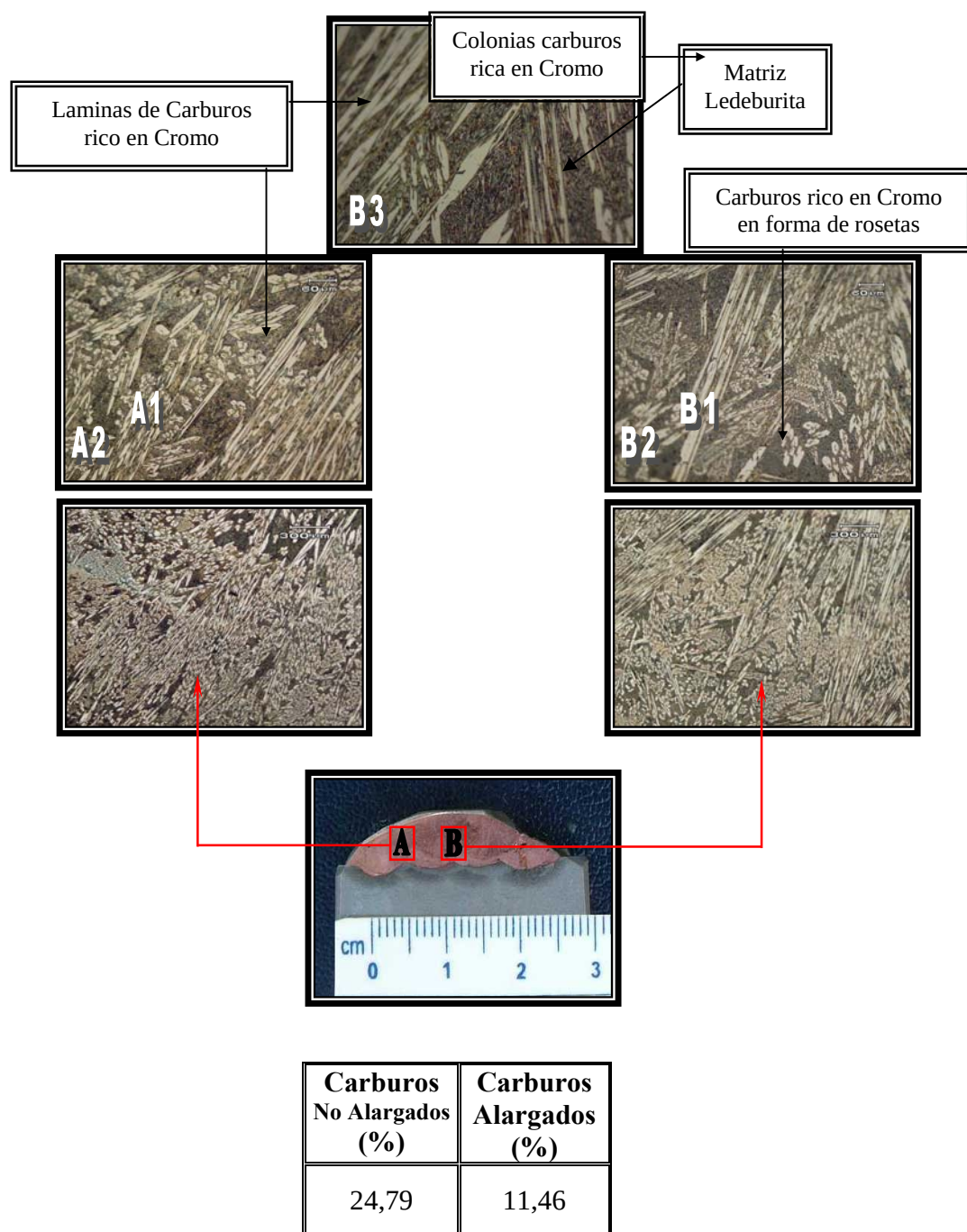


Fig. 36. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-05

En la Fig 36. Se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-05.

En la fotomacrografía del depósito de recargue se observan las capas que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor (zona oscurecida, ubicada debajo de la interface metal base, metal de recargue), en ella se aprecia una estructura columnar para las dos últimas capas del depósito; además se observa una grieta que comienza en las capas superiores y se propagó a través de la sección transversal hasta llegar a la zona de coalescencia de granos.

En la fotomicrografía A1 se aprecia gran concentración de carburos rico en cromo en forma de grandes láminas alargadas, y colonias. En la parte inferior de la misma fotomicrografía se observan láminas de carburos más pequeños debido a la acción del calor aportado por capas superpuestas.

En la fotomicrografía B1 se aprecia gran concentración de carburos rico en cromo en forma de láminas alargadas en comparación con la zona B. En fotomicrografías a mayores aumentos (fotomicrografías B2 y B3) se aprecian láminas con diferente orientación producto de diferentes frentes de solidificación. Los carburos ricos en cromo presentan nucleación preferencial a temperaturas entre 400 y 500°C para luego crecer en forma de láminas en dirección opuesta al frente de solidificación.

La concentración de carburos rico en cromo en forma de laminas alargados (11,46%) y carburos no alargados (24,79%) se encuentran dentro de los valores estipulados en otros depósitos de metal de recargue en estudio, sin embargo los valores obtenidos en el ensayo de dureza realizado sobre este depósito reflejaron bajo comportamiento en el mismo. En primer lugar se debe resaltar el impacto nefasto que ofrece grandes láminas observadas en la microestructura.

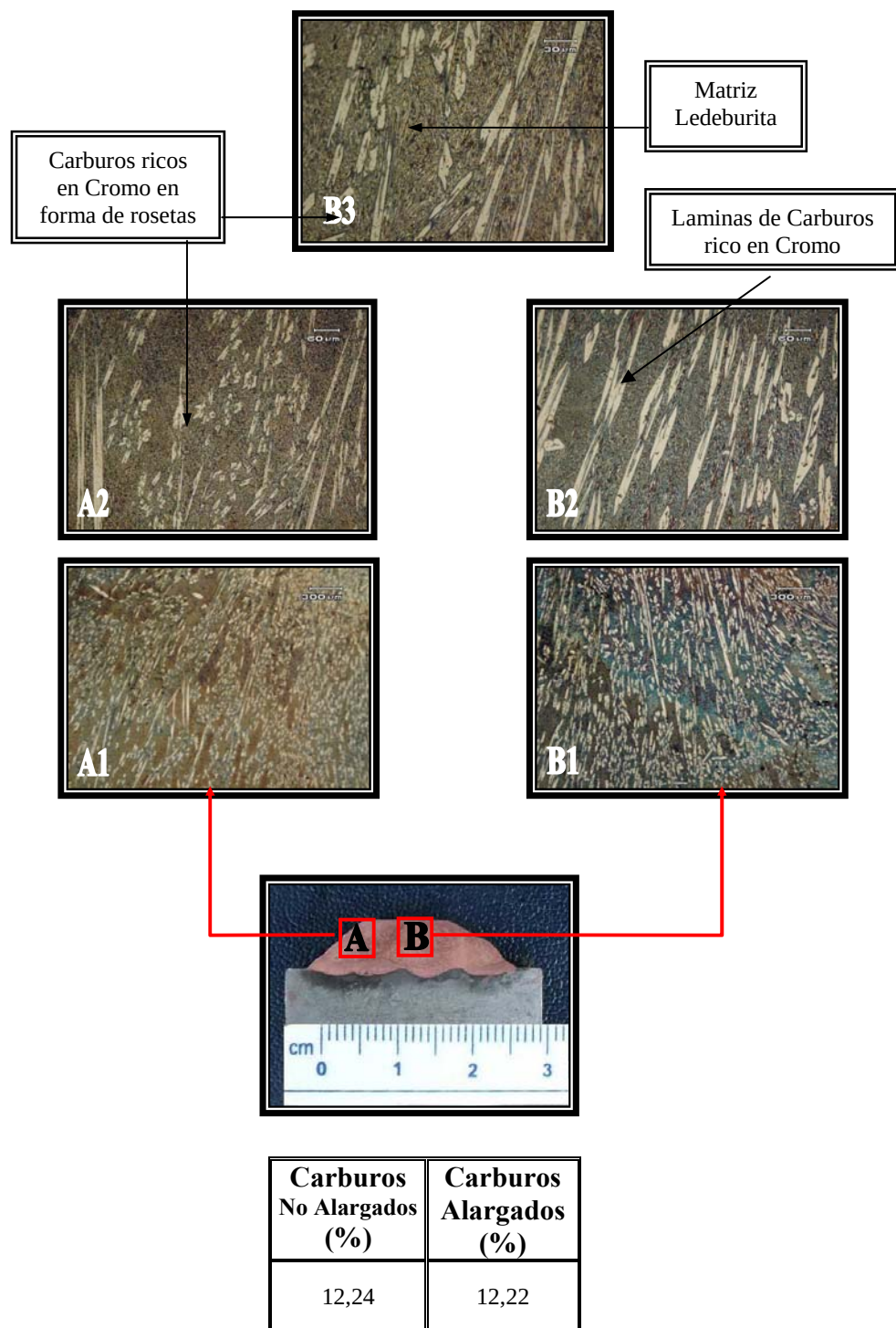


Fig. 37. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-06

En la Fig 37. se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-06. En la fotomacrografía del depósito de recargue se observan las capas que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor; sin defectos superficiales a través de esta sección.

En la fotomicrografía A1 se aprecia colonias de carburos rico en cromo en su mayoría y pequeñas láminas dispersas de manera homogénea en la matriz ledeburita. A mayores aumentos se puede apreciar una merma en la concentración de los carburos en comparación con las observaciones metalográficas realizadas en las muestras anteriormente analizadas, esto concuerda con el análisis químico realizados a este recargue el cual presenta niveles de carbono y cromo bajos 4,30 % y 25,4 % respectivamente.

En la fotomicrografía B1 se aprecia mayor concentración de carburos rico en cromo en forma de láminas, en comparación a la zona A del presente depósito. En la fotomicrografía B2 se aprecia como las colonias de carburos rico en cromo observadas en menor aumento, presentan formas de rosetas alargadas a mayor aumento, debido principalmente al crecimiento que sufren estos precipitados al permanecer tiempos prolongados a altas temperaturas.

La concentración de carburos rico en cromo es baja (24,46%) en comparación con los valores estipulados por los demás depósitos de recargue en estudio. Básicamente esta asociada el bajo contenido de carbono (4,30%) y cromo (25,4%), sin embargo la respuesta ante el ensayo de dureza estuvo entre los valores promedios obtenidos por otros depósitos de metal de recargue en estudio. Valor de dureza promedio a nivel longitudinal es de 57HRC y 58HRC para la primera capa de la sección transversal. Esto refleja el impacto que ofrece la morfología y el tamaño de los carburos rico en cromo presentes en el depósito del metal de recargue.

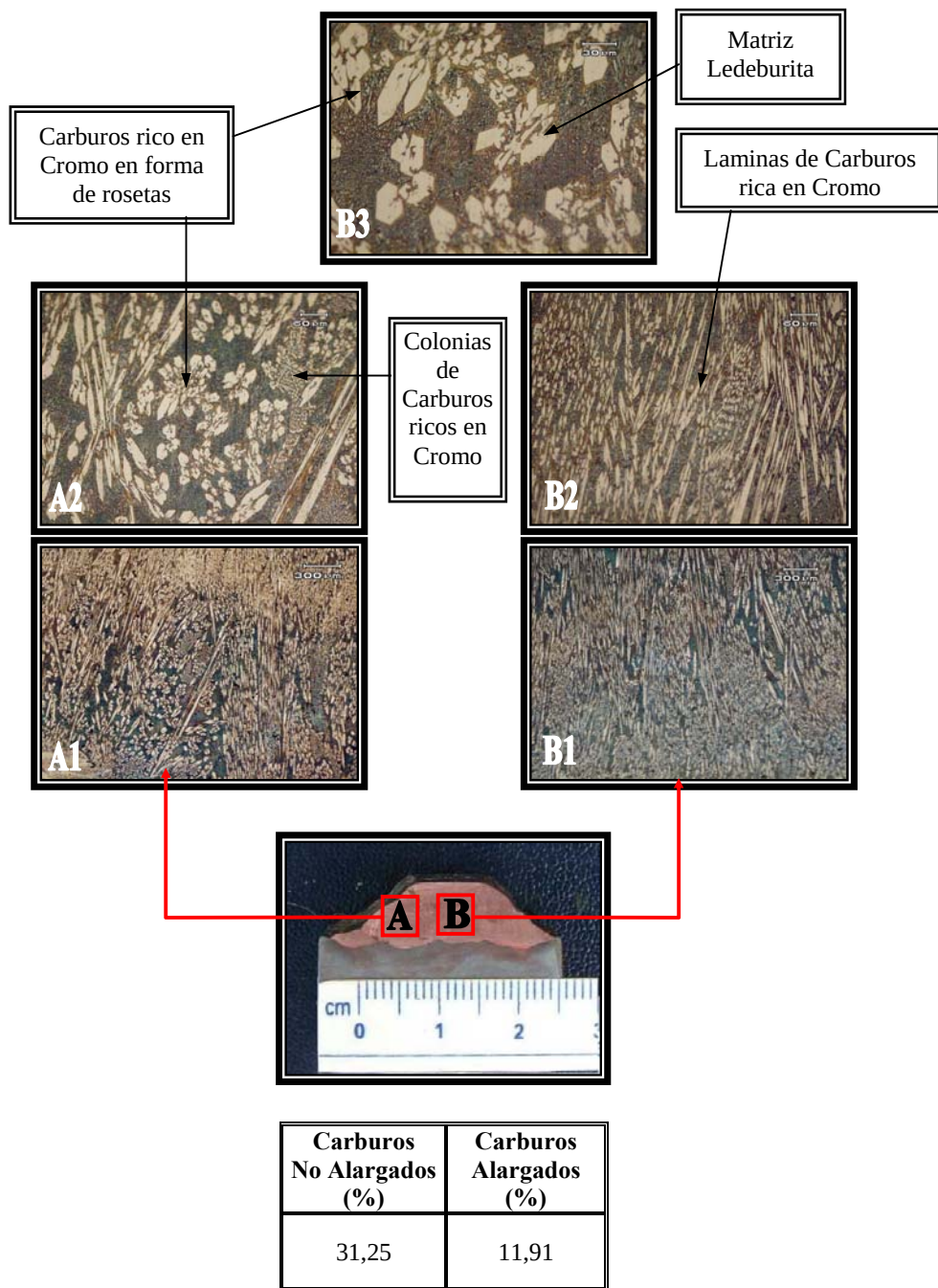


Fig. 38. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-07

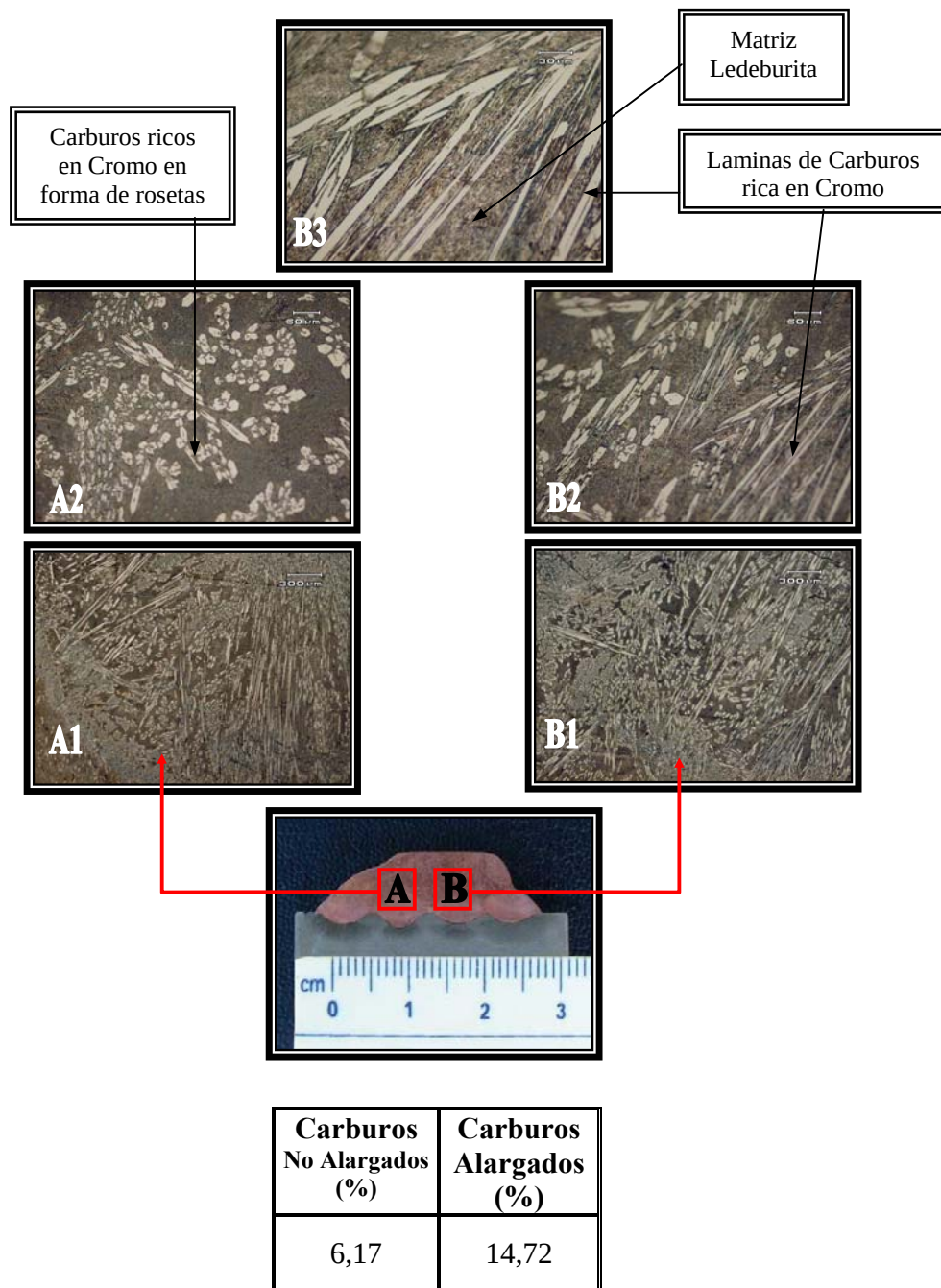


Fig. 39. Observación metalográfica en zona A-B, del depósito del recargue F-08

En la Fig 39 se aprecian las características metalográficas del depósito de recargue F-08.

En la fotomacrografía del depósito de recargue se observan las capas que conforman al mismo, la zona de dilución y la zona afectada por el calor sin evidencias de defectos superficiales y una estructura columnar en las dos últimas capas del depósito del metal de recargue.

En la fotomicrografía A1, se observan pequeñas colonias de carburos ricos en cromo en el inicio de la capa y luego se observan laminas de carburos rico en cromo de gran longitud. Haciendo un mayor acercamiento a las colonias de carburos tal como se aprecia la fotomicrografía A2 de la misma figura, los mismos presentan forma de roseta, morfología características de estas colonias de carburos rico en cromo.

En la fotomicrografía B1 se aprecia dos frentes de solidificación, en el lado izquierdo de la fotomicrografía se observan colonias de carburos rico en cromo y en el lado derecho laminas de carburo en mención. En la fotomicrografía B2 se aprecia en mayor aumento los dos frentes de solidificación.

Esta microestructura de grandes laminas de carburos rico en cromo aunado a bajo contenido de carburos rico en cromo, 6,17 % de carburos pequeños y 14,72 % de carburos alargados (siendo este el depósito con menor concentración de carburos rico en cromo), es perjudicial tal como se pudo apreciar en el bajo comportamiento obtenido ante el ensayo de dureza a nivel longitudinal y transversal.

3.6.1.2 Perfil Microestructural de las Zonas Metal Base-Dilución

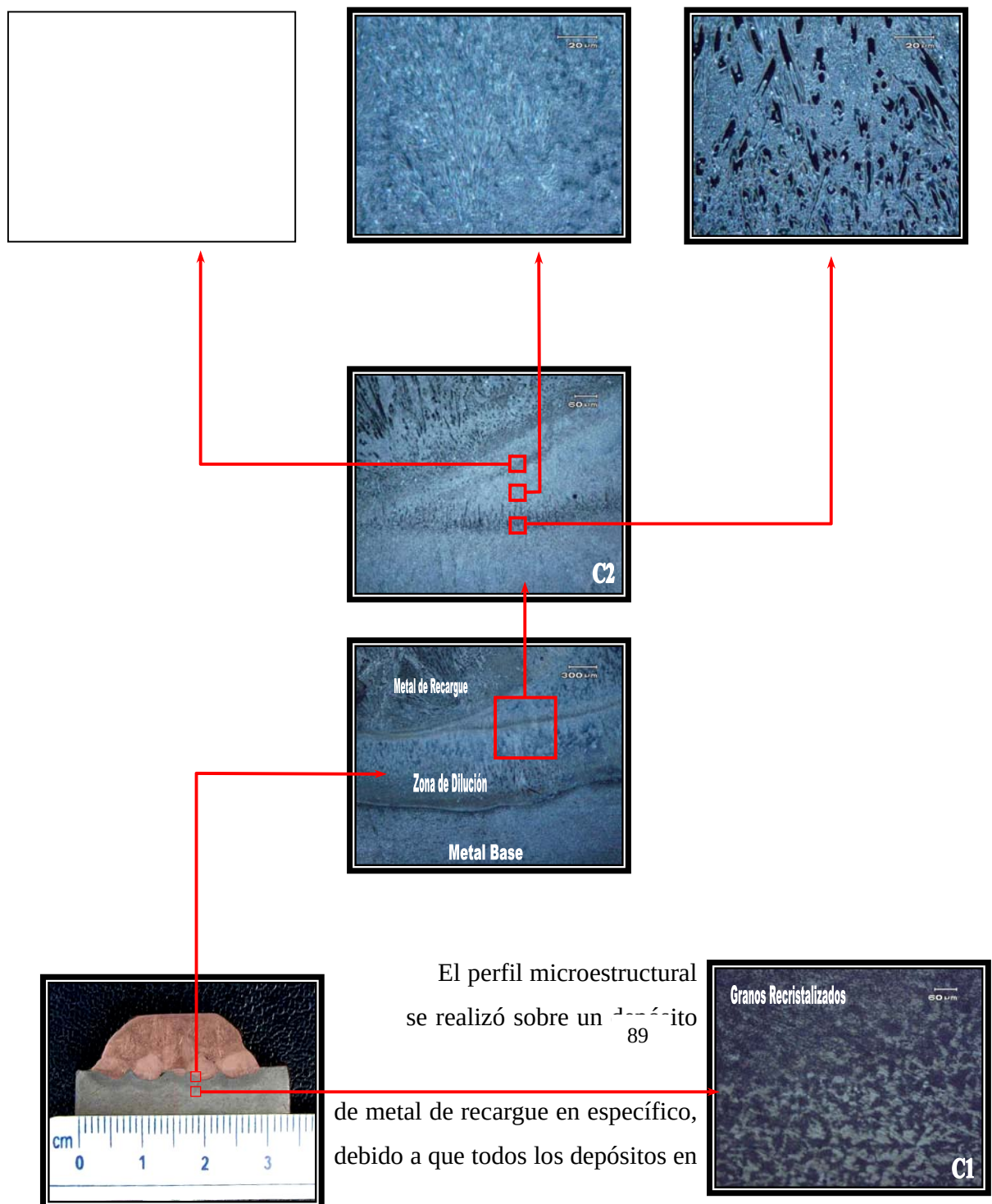


Fig 40. Perfil Microestructural de las Zonas Metal Base - Dilución

la zona de dilución no presentaron variaciones significativas en el ensayo de dureza.

En la Fig. 40, se observa el perfil microestructural de la zonas metal base (MB) y zona de dilución, compuesta por una fotomacrografía del depósito de recargue F-01, acompañado de una serie de fotomicrografías (en modalidad de campo oscuro) producto del perfil microestructural realizado en forma ascendente desde el metal base hasta el metal de recargue. En la fotomacrografía se señala los puntos a detallar en las fotomicrografías que se muestran a la derecha y en la parte superior de la misma.

En la fotomicrografía C1 se aprecia la microestructura del metal base en el inicio de la zona afectada por el calor. El mismo se detecta por la presencia de granos finos al frente de granos burdos característicos de la microestructura típica del metal base. La presencia de granos finos en esta zona se debe a la recrystalización de los granos causado por las altas temperaturas alcanzadas durante la deposición del metal de recargue.

En la fotomicrografía C2 se observa la zona afectada por el calor, zona de dilución y metal de recargue. En ella se aprecian diferencias en la microestructura entre las tres zonas en mención. La zona de dilución se convierte en una zona de microestructura intermedia entre el metal base y el metal de recargue, debido a la difusión de elementos aleantes del metal de recargue al metal base durante el proceso de recargue. En la zona de dilución se aprecia nucleación preferencial de una fase oscura en forma de laminas el cual representan laminas de carburos rico en cromo, vistos de esa manera por el efecto que crea la modalidad de campo oscuro en el microscopio óptico, en la zona de coalescencia de granos (interface metal base - zona de dilución) y en la zonas de alta influencia térmica debido a las capas de recargue superpuestas.

Haciendo un mayor acercamiento dentro de la zona de dilución a través de la fotomicrografía C3 se aprecian láminas de carburos rico en cromo ya en la zona del metal

de recargue y pequeños carburos rico en cromo inmerso en la matriz ledeburita (fase azulada) en la zona de dilución. Con la finalidad de detallar la zona de dilución se tomaron en forma ascendente una serie de fotomicrografías C4, C5 y C6 respectivamente

En la fotomicrografía C4 se aprecian precipitados de carburos ricos en cromo de manera globular y después un poco alargados. En la Fotomicrografía C5 de manera ascendente ya no se observan carburos si no una matriz completamente eutéctica, evidenciando la nucleación de los carburos de manera preferencial. Siguiendo la trayectoria ascendente en la fotomicrografía C6 se aprecia nuevamente carburos ya esta vez en menor tamaño delineando una zona el cual está asociada a posible coalescencia de granos producto de la interacción térmica ocasionado por la deposición de capas superpuestas, tal como se evidenció entre el metal base y el metal de recargue.

3.6.1.3 Caracterización Microestructural por Microscopía Electrónica de Barrido.

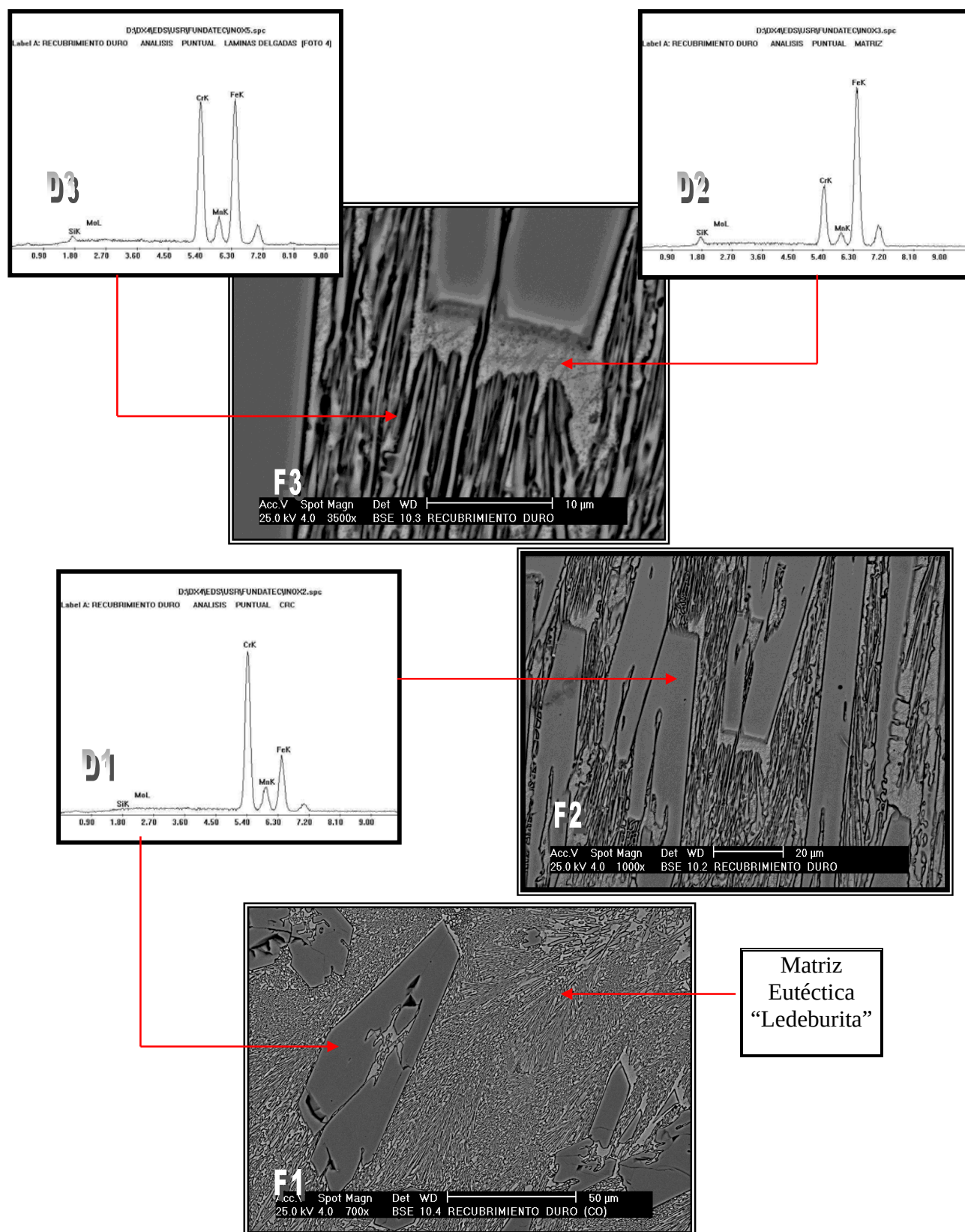


Fig. 41. Caracterización Microestructural por MEB del depósito de metal de recarga.

En la Fig. 41, se aprecia fotomicrografías por microscopía electrónica de barrido y difractogramas de análisis químico por EDS del depósito de metal de recargue F-01. Se reflejó una muestra, debido a la similitud que presentaron el resto de los depósitos de metal de recargue en estudio

En la fotomicrografía F1 se aprecia grandes láminas de carburos de diversos tamaños y morfología, inmersa en una matriz eutéctica denominada ledeburita. Las láminas de carburos son carburos rico en cromo, tal como se evidencia en el difractograma D1, en el mismo se observa un pico del elemento cromo (Cr) de alta intensidad, seguido de picos pequeños de hierro y manganeso, no se evidencia pico de carbono debido a que el equipo presenta un detector de rayos-x que no logra detectar dicho elemento. En las láminas de carburos de mayor tamaño se observan pequeñas fisuras producto del grado de fragilidad de los mismos.

A mayor aumento en la fotomicrografía F2 se aprecian grandes láminas delgadas y láminas no tan alargadas con aristas en forma hexagonal descrita en el punto 3.6.1.1 como carburos en forma de rosetas. En los límites de estos precipitados se observa un empobrecimiento de laminillas de carburos rico en hierro y cromo (ver difractograma D3) .

En la fotomicrografía F3 se puede observar diminutas láminas delgadas rica en hierro y cromo en mayor aumento, el cual conforma junto con la austenita (fase rica en hierro, tal como se observa en el difractograma D2) la matriz de ledeburita. En la misma fotomicrografía se puede apreciar en la fase austenita pequeñas dendritas de partículas de composición química desconocida, se presume que se trate de pequeños carburos de elementos minoritarios en el depósito del metal de recargue como el silicio.

3.6.2 Microdureza

En la Tabla 26, se encuentran los valores de dureza de carburos ricos en cromo de gran tamaño, presentes en la microestructura del metal de recargue.

Los Valores de dureza en Vickers se calcularon sobre la ecuación número 4 referidas en el fundamento teórico de la presente investigación.

Tabla 26. Valores de Microdureza de Carburos ricos en Cromo

Mediciones	Diagonales (x10 ⁻³ mm)		Promedio (x10 ⁻³ mm)	HV(Kgf/mm ²)	Promedio HV(Kgf/mm ²)	HV(GPa)
1	14.5	12.5	13.5	1017,28	1129,88	11,07
2	14.0	11.0	12.5	1186,18		
3	13.0	12.0	12.5	1186,18		

El valor obtenido de microdureza 11,07 GPa se encuentra dentro del rango de valores estipulados para los carburos de cromo, lo cual se encuentra entre 10 – 18 GPa, referenciado en la tabla 7 perteneciente al capítulo 1.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

1. El electrodo de recargue “F-07” de composición química: 4,51% C; 23,70% Cr; 2,67% Mn y 2,25% Si, presentó el mejor comportamiento a las propiedades evaluadas.
2. Los depósitos de recargue duros presentan alta tendencia al agrietamiento debido al alto contenido de elementos aleantes, sin embargo utilizando las condiciones de (130 A y sin precalentamiento) se obtienen cordones con buena apariencia superficial, escasas grietas y una penetración aceptable.
3. Todos los depósitos presentaron, en las dos últimas capas, una disminución en los valores de dureza.
4. Los depósitos presentaron microestructuras similares, compuesta por una matriz eutéctica denominada ledeburita, con precipitados de carburos ricos en cromo de diversa morfología y tamaño.
5. Los depósitos de metal de recargue, con altas concentraciones de carburos ricos en cromo y morfología acicular (pequeñas laminillas), presentaron un mejor comportamiento ante el ensayo de dureza
6. No se evidenció carburos de silicio en la microestructura de los depósitos de recargue.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES

5. RECOMENDACIONES

- 1.** Ampliar el rango de variación de la composición química (Carbono, Cromo y Silicio) en el revestimiento del electrodo de recubrimiento duro “Gridur 150 AC”.
- 2.** Realizar ensayos de resistencia a la abrasión a los depósitos de recargue duro, a fin de evaluar su comportamiento.
- 3.** Utilizar menor temperatura de precalentamiento en el metal base, para evitar la aparición de grietas transversales y la obtención de cordones con buena altura y apariencia.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Welding Handbook. “*Metales y su Soldabilidad*”. Vol 4. Séptima Edición. 1982. pp.3-9
- [2] H. Raymond. “*Shielded Metal Arc Welding*”. Welding, Brazing, and Soldering. ASM Handbook , Vol. 6. 1993. pp. 175-178
- [3] Norma Internacional American Welding Society “*Filler Metal Procurement Guidelines*”. ANSI/AWS A5.01-80. 1993
- [4] Welding Handbook. “*Welding Processes*”. Vol. 2. Octava Edición. 1991. pp. 52
- [5] Welding Handbook. “*Fundamentals of Welding*”. Vol. 1. Septima Edición. 1976. pp. 123-132
- [6]W.F. Newell. “*Understanding and Using Carbon Equivalent Formulas*” , AWS Welding Journal. September 1995
- [7]H. Conde. “*Recubrimientos Resistentes al Desgaste*” . Boletín Técnico Conarco. Diciembre 1986. pp. 2-20
- [8] N. Gregory y M. Bartle. “*Materials for Hardfacing*”. Weld Surfacing and Hardfacing. The Wilding Institute pp. 11-21.
- [9] J.R. Davis, Davis & Associates. “*Hardfacing, Weld Cladding, and Dissimilar Metal Joining*”. Welding, Brazing, and Soldering. ASM Handbook. Vol. 6. pp. 790-801
- [10] Gregory, E.N. “*An introduction to hardsurfacing*”. The Welding Institute Research Bulletin. April 1975 pp. 101-105

- [11] Hardfacing Working Party de la British Steel Coporation, publicada en 35C-Corp. Eng. Standard CE23-part 1. April.1978
- [12] D. Kotecki. “*Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding*”. Welding Journal. Noviembre 1992. pp 51-53
- [13] S. Avner. “*Introducción a la Metalurgia Física*”. Segunda Edición. 1990. pp. 38-46
- [14] Norma Venezolana. Materiales Metálicos. “*Ensayo de Dureza Rockwell (Escala A, B y C) y Rockwell Superficial*”. Covenin 646-82
- [15] J. Peter y O. Ridge. “*Microindentation Hardness Testing*”. Friction, Lubrication, and Wear Technology, ASM Handbook. Vol. 18. 1992. pp. 414-415
- [16] P. Ravi Vishnu. “*Solid Transformations in Weldments*”. Welding, Brazing and Soldaring. ASM Handbook. Vol. 6. pp. 790-801
- [17] M. Louthan. “*Scanning Electron Microscopy*”. Characterization of Materials, ASM HandboCK. Vol 10. pp. 495-498
- [18] Norma Internacional American Welding Society “*Specification for Solid Surfacing Welding Rods and Electrodes*” . ANSI/AWS A5.13-80. 1993
- [19] Norma Internacional American Society of Technology Material. “*Liquid penetrant Inspection Method*”. ASTM E165-80
- [20] Norma Internacional. Deutsches Institut für Normung. “*Filler metals used for surfacing*”. DIN 8555. Noviembre 1983

[21] Norma Internacional American Society of Technology Material. “*Standard Methods of Preparation of Metallographic Specimens*”. ASTM E 3-80.

[24] Norma Internacional American Society of Technology Material . “*Standard Methods for Macroetching Metals and Alloys*”. ASTM E 340-80

.

CAPITULO VII

ANEXOS

ANEXOS I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Nombre y Ubicación

La empresa recibe el nombre de Lincoln Soldaduras de Venezuela C.A. Las instalaciones de la planta se encuentran en los terrenos de CLARIANT, ex-Hoechst de Venezuela S.A., ocupando una superficie de 3300 m². Av. Anthon Phillips, Zona Industrial San Vicente 1, Complejo Clariant, Maracay. Edo. Aragua, Venezuela.

Tel.: (0243) 553 75 21 / 76 72 Fax: (0243) 553 76 91.

Página Web: WWW.lincolnelectric.com.ve

Correo Electrónico: lincoln.soldadura@lincolnelectric.com

Reseña Histórica

Lincoln Soldaduras de Venezuela pertenece al gran consorcio fabricantes de equipos y material de aporte de soldaduras “Lincoln Electric Company”, compañía matriz residente en la ciudad de Cleveland, Ohio en Estados Unidos de Norteamérica. Fundada por los hermanos Juan Cromwell Lincoln y James Finney Lincoln en el año 1895. La capacidad de abastecer con sus productos y equipos las exigentes demandas del mundo de la soldadura, a hecho que esta compañía se mantenga en el mercado con mas de 100 años de experiencia, hoy día cuenta con dieciocho (18) compañías a nivel mundial, específicamente en los siguientes países; EE.UU., Canadá, Inglaterra, Francia, Italia, España, Holanda, Australia, Irlanda, Indonesia, Alemania, Turquía, China, México, Brasil, Polonia y Venezuela.

La presencia de Lincoln Electric Company en Venezuela data desde el año 2002, cuando adquiere la empresa fabricante de electrodos Messer Soldaduras de Venezuela, S.A., perteneciente a otro menos poderoso grupo alemán Messer.

Grupo encargado de implantar en Venezuela la planta de fabricación de electrodos. Inicia sus operaciones de comercialización de productos para soldadura el 9 de Diciembre de 1971, recibiendo su razón social el nombre de MESSER Griesheim de Venezuela S.A.

En 1977 inicia la producción de electrodos revestidos para soldadura manual al arco con una producción de 56.5 toneladas por año con un personal en su totalidad de 25.

En 1987 alcanza las 2300 toneladas de producción, ese mismo año la empresa decide aumentar su capacidad de producción hasta 4700 toneladas por año.

En 1988-1989 la empresa logra la acreditación de Calidad por parte de la marca Norven, en su línea de productos de electrodos comunes.

En 1996 la empresa logra la certificación de FONDONORMA del sistema de la calidad con respecto a la norma COVENIN-ISO 9001:95

En 1997 se realiza una nueva inversión, ampliando su capacidad de producción hasta 7000 Ton/Año.

En 2003 la empresa obtiene la certificación de FONDONORMA del sistema de Gestión de la Calidad con respecto a la norma COVENIN-ISO 9000:2000

El excelente sistema de calidad desarrollado por la empresa, le ha permitido obtener además de las certificaciones antes mencionadas, las de Lloyd's Register of Shipping y American Baureau of Shipping. Así como el reconocimiento de exigentes organizaciones entre los cuales se encuentra INTEVEP, Sidor y otros. Logrando proveer a la industria petrolera, entre otros grandes clientes.

LINCOLN, gracias a la satisfacción de los clientes, ha logrado consolidar su posición en el mercado nacional e internacional, incrementando sus exportaciones a Sudamérica, Norteamérica, el Caribe y Europa.

Proceso de Fabricación de Electrodos

La fabricación del producto consta de las siguientes etapas:

A. Trefilación : proceso de conformado en frio, donde el alambroón sufre disminución de diámetro, hasta la obtención de las medidas convencionales de trabajo,

siendo transformado el alambren, en varillas de diámetro 2.50, 3.25, 4.00, 5.00 y 6.00. Este material sale en forma de bobinas para la sección de cortes.

B. Corte: etapa que consiste en seccionar el alambre de diámetro específico a una longitud estipulada, obteniendo así varillas listas para la etapa siguiente “Extrusión”. Se debe tener cuidado de no producir varillas dobladas o con rebabas.

C. Curto: esta sección es una combinación de las dos etapas anteriores, es decir, el alambren sufre el proceso de trefilación y corte a su vez, obteniendo varillas con las medidas preestablecidas, en lo que respecta a diámetro y largo de las mismas.

D. Llenado de tolvas: sección semi-automática, que consiste en recoger por tolvas los diversos componentes en polvos secos, necesarios para la fabricación del revestimiento del electrodo estipulado, el cual está regulado por una orden de producción y número de lote.

E. Mezclado: en esta etapa se homogenizan los componentes en seco, para luego añadir diversos componentes en húmedos, entre ellos se encuentran: aglutinantes, hidróxidos y agua. En esta etapa se debe obtener una masa de revestimiento con consistencia adecuada que permita la extrusión de la misma de la mejor manera.

F. Extrusión: proceso del conformado del electrodo, donde se introduce las varillas y la masa del revestimiento o fundente de manera separada y de salida se obtienen electrodos con características específicas, como: varillas céntricas, diámetro estipulado, y de manera sucesiva identificación adecuada y totalmente legible.

G. Climatización y Horneado: los electrodos son introducidos en recamaras de climatización, donde se busca bajar el porcentaje de humedad a valores adecuados para ser transferido a los hornos donde sufren un ciclo de horneado, de acuerdo a la naturaleza del electrodo en proceso. Dentro del horno la temperatura se incrementa gradualmente para

evitar que se agriete y se desprenda el revestimiento. Para electrodos tipo rutilo normal, el secado previo a una temperatura de aproximadamente 100 °C es suficiente. Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos eléctricos para darles un secado final a 400-450 °C. De esta forma nos aseguramos que el contenido de hidrógeno sea inferior a 10 cc. por cada 100 gr/metal depositado.

H. Embalaje: última sección en el proceso de fabricación de electrodos y el cual consiste en introducir en bolsas plásticas y luego en cajas una cantidad estipulada de kilogramos de electrodos (exento de defectos) herméticamente selladas y prevista de una adecuada identificación.

Productos

La empresa es un especialista en la producción de electrodos revestidos para soldadura manual al arco. Ofreciendo en la actualidad una gran gama de electrodos para aceros no aleados, baja aleación, inoxidable, fundiciones, aleaciones de níquel, de cobre-estaño y para recargue duro.

Visión

Seremos el líder indiscutible en ventas del mercado de soldadura por arco en la región del PACTO ANDINO, enfocándonos al objetivo de maximizar las ganancias de nuestros accionistas.

Seremos el líder en el suministro de electrodos de soldadura de la más alta calidad; para alcanzar este objetivo continuaremos con nuestro énfasis de fabricarla al menor costo posible, en proveer nuestra experiencia en aplicaciones y soluciones, por medio de nuestros productos y servicios, según las expectativas de nuestros clientes.

Misión

Nos esforzamos en sobrepasar las expectativas del cliente y en ser reconocidos en todas las industrias del mercado como el suplidor de primera opción.

Nos enfocamos en ser vistos como una compañía que aporta soluciones y no simplemente un suplidor de equipos y consumibles de soldaduras.

Nos diferenciamos de nuestra competencia por nuestra alta tecnología, calidad, aplicaciones de ingeniería, y experiencia en mercadeo y ventas.

Somos globales, participando con un porcentaje importante de nuestras ventas en Latino América (Pacto Andino) y el Caribe.

Recompensamos a nuestros accionistas y empleados enfatizando un desarrollo continuo en todos los segmentos de nuestros negocios.

Mejoramos continuamente la eficacia del proceso de formación de nuestro personal, para crear y mantener la cultura de nuestra organización.

Política de la Calidad

“Nos esforzamos para superar nuestras metas eficazmente y satisfacer a nuestros clientes a nivel mundial, basados en el compromiso de cumplir sus requerimientos y expectativas, en el desarrollo continuo del potencial de nuestro recurso humano, en el suministro expedito de consumibles de soldadura de la más alta calidad a precios competitivos, en el asesoramiento especializado con tecnología de punta, así como en la mejora continua de la eficiencia operacional y de la eficacia de nuestros procesos, como resultado de nuestro constante incremento de los estándares del Sistema de Gestión de la Calidad.”

Objetivos de la Empresa

<i>Objetivo</i>	<i>Área Responsable</i>	<i>Medición</i>
1º Optimización de procesos en forma continua para reducir costos	Dirección General y todos los Departamentos	Parámetros de Productividad / Rechazos / Costos
2º Crecimiento continuo de la participación en los mercados Nacional e Internacional	Gerencia Nacional de Mercadeo y Ventas, Dirección General	Ventas Nacionales e Internacionales
3º Establecimiento, mantenimiento y mejoramiento del Sistema de Gestión de la Calidad	Dirección General y todos los Departamentos	100% de Implantación del Sistema

Características del Departamento de Gestión de la Calidad (DGC)

Este departamento es el responsable de mantener el sistema de calidad de la empresa, basado en la norma COVENIN-ISO 9000:2000. Así mismo, establece y aplica los mecanismos de Gestión de Calidad en el proceso productivo necesarios para obtener un producto terminado con la calidad requerida.

El Departamento de Gestión de la calidad consta de la siguiente infraestructura:

- Oficina principal: en ella se encuentran el jefe del área y el Coordinador de Calidad.

- Sala de soldadores, lugar donde se realiza la prueba de aplicación al producto final y las probetas para análisis químico y propiedades mecánicas, de acuerdo a requerimientos de la norma AWS según el tipo de electrodo.

- Laboratorio dotado de sofisticados equipos para la evaluación de las materias primas y las evaluaciones físico – químicas y mecánicas del producto terminado

- Planta piloto dotado de todos lo implementos para la fabricación en pequeñas cantidades de electrodos de prueba.

Objetivos del Departamento

El objetivo general es el cumplir con el sistema de gestión de la calidad en toda la organización, así como la producción de los electrodos dentro de los estandares nacionales e internacionales, además de ello, el departamento cuenta con objetivos específicos entre los cuales se tiene:

Liberar los electrodos terminados dentro de los plazos establecidos, para que la dirección de Mercadeo y venta disponga de ello.

Promover la mejora continua a través de acciones correctivas y preventivas

Adiestrar y motivar el personal, para contar con un equipo de trabajo idóneo y dispuesto a aceptar nuevos retos.