



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS PASADAS SUCESIVAS SOBRE LA
MICRODUREZA Y LA MICROESTRUCTURA EN JUNTAS SOLDADAS DE
ACERO INOXIDABLE 304 Y ACERO AL CARBONO AISI 1020**

Tutor: Ing. Oswaldo Urbano

VARGAS, Joel

SALINAS, Carlos

Valencia, Abril de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS PASADAS SUCESIVAS SOBRE LA
MICRODUREZA Y LA MICROESTRUCTURA EN JUNTAS SOLDADAS DE
ACERO INOXIDABLE 304 Y ACERO AL CARBONO AISI 1020**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

Tutor: Ing. Oswaldo Urbano

VARGAS, Joel
SALINAS, Carlos

Valencia, Abril de 2008



INDICE GENERAL

PORTADA	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1. TITULO	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivos generales	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Limitaciones	5
1.4 Alcances	6
1.5 Justificación	6
CAPITULO II	7
2. MARCO TEORICO	7
2.1 Antecedentes de la Investigación	7
2.2 Clasificación de los aceros	9
2.2.1 Aceros al carbono	9
2.2.2 Aceros aleados	9
2.2.3 Aceros inoxidables	10
2.3 Reseña histórica del proceso de soldadura	10
2.4 Soldadura manual de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)	12
2.5 Equipo de soldadura manual de arco eléctrico	13
2.6 Electrodo	14
2.7 Microdureza	19
2.8 Estructura de Widmanstaetten	19
CAPITULO III	21
3. MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 Nivel de la investigación	21
3.2 Material utilizado	22
3.2.1 Acero inoxidable 304	22
3.2.2 Acero AISI 1020	22



3.3 Soldadura	23
3.3.1 Biselado de las juntas	23
3.3.2 Numero de pasadas de soldadura	24
3.3.3 Electrodo utilizados	24
3.3.3.1 Electrodo empleado en el acero inoxidable 304	24
3.3.3.2 Electrodo empleado en el acero AISI 1020	26
3.4 Metalografía del material	27
3.4.1 Preparación de la muestra	27
3.4.2 Pulido de la muestra	28
3.4.3 Ataque químico de la muestra	29
3.5 Ensayo de microdureza	30
CAPITULO IV	32
4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	32
4.1 Ensayo de microdureza	32
4.2 Análisis de resultados de microdureza	44
4.2.1 Análisis de resultados de microdureza en el Acero AISI 1020	44
4.2.1.1 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_1 (60 Amp)	44
4.2.1.2 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_2 (70 Amp)	44
4.2.1.3 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_3 (80 Amp)	45
4.2.1.4 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_4 (90 Amp)	45
4.2.2 Análisis de resultados de microdureza en el acero inoxidable 304	46
4.2.2.1 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_1 (60Amp)	46
4.2.2.2 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_2 (65Amp)	47
4.2.2.3 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_3 (70Amp)	47
4.2.2.4 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_4 (75Amp)	48
4.3 Análisis de resultados de microestructura	74
4.3.1 Análisis de resultados de microestructura en el Acero AISI 1020	74
4.3.1.1 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_1 (60 Amp)	74
4.3.1.2 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_2 (70 Amp)	74
4.3.1.3 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_3 (80 Amp)	75
4.3.1.4 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_4 (90 Amp)	75
4.3.2 Análisis de resultados de microestructura en el acero inoxidable 304	76
4.3.2.1 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_1 (60Amp)	76
4.3.2.2 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_2 (65Amp)	76
4.3.2.3 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_3 (70Amp)	76
4.3.2.4 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_4 (75Amp)	77
CAPITULO V	78
5. CONCLUSIONES	78



RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÉNDICE A	82
APÉNDICE B	85

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1 Esquema de un proceso de soldadura por arco eléctrico	12
Figura 2.2 Equipo utilizado en la soldadura por arco eléctrico.	14
Figura 2.3 a) Estructura de Widmanstaetten incompleta; b) Estructura de Widmanstaetten completa	20

CAPITULO III

Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología utilizada	21
Figura 3.2 Junta en "V" de las placas de acero inoxidable 304 y acero AISI 1020	23
Figura 3.3 Número de pasadas realizadas	24
Figura 3.4 a) Dimensiones de la probeta; b) Diámetro del embutido	28
Figura 3.5 a) Muestra de probetas con uno y dos pases de soldadura; b) Muestra de probeta con tres pases de soldadura	28
Figura 3.6 Microdurómetro del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Carabobo	30

CAPITULO IV

Figura 4.1 Puntos seleccionados para el estudio de la microdureza	33
Figura 4.2 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_1 (60Amp)	34
Figura 4.3 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_2 (70Amp)	35
Figura 4.4 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_3 (80Amp)	36
Figura 4.5 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_4 (90Amp)	37
Figura 4.6 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_1 (60Amp)	38
Figura 4.7 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_2 (65Amp)	39
Figura 4.8 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_3 (70Amp)	40
Figura 4.9 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_4 (75Amp)	41



Figura 4.10 Perfiles de dureza en la zona transversal al cordón para el acero 1020 con las diferentes Intensidades de corriente	42
Figura 4.11 Perfiles de dureza en la zona transversal al cordón para el acero inoxidable 304 con las diferentes Intensidades de corriente	43
Figura 4.12 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	50
Figura 4.13 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	51
Figura 4.14 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	52
Figura 4.15 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)	53
Figura 4.16 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)	54
Figura 4.17 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)	55
Figura 4.18 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_3 (80Amp)	56
Figura 4.19 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_3 (80Amp)	57
Figura 4.20 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_3 (80Amp)	58
Figura 4.21 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_4 (90Amp)	59
Figura 4.22 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_4 (90Amp)	60
Figura 4.23 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero 1020 con la intensidad de corriente I_4 (90Amp)	61
Figura 4.24 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	62
Figura 4.25 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	63
Figura 4.26 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)	64
Figura 4.27 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)	65
Figura 4.28 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)	66
Figura 4.29 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)	67
Figura 4.30 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70Amp)	68



Figura 4.31 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70Amp)	69
Figura 4.32 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70Amp)	70
Figura 4.33 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_4 (75Amp)	71
Figura 4.34 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_4 (75Amp)	72
Figura 4.35 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_4 (75Amp)	73

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1 Ejemplo de la simbología para la clasificación de los electrodos	16
Tabla 2.2 Características de los diferentes tipos de electrodos.	18

CAPITULO III

Tabla 3.1 Composición química del acero inoxidable 304	22
Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304	22
Tabla 3.3 Composición química del acero AISI 1020	22
Tabla 3.4 Propiedades mecánicas del acero AISI 1020	23
Tabla 3.5 Material de aporte recomendado para la soldadura de acero inoxidable 304	25
Tabla 3.6 Composición química del electrodo 308	25
Tabla 3.7 Dimensiones del electrodo 308	26
Tabla 3.8 Composición química del electrodo 7018	27
Tabla 3.9 Dimensiones del electrodo 7018	27
Tabla 3.10 Reactivos químicos empleados en el ataque químico	29

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Dureza Vickers de los metales base	32
Tabla 4.2 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 60 Amp	34
Tabla 4.3 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 70 Amp	35
Tabla 4.4 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 80 Amp	36
Tabla 4.5 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 90 Amp	37
Tabla 4.6 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 60 Amp	38
Tabla 4.7 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 65Amp	39
Tabla 4.8 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 70 Amp	40



Tabla 4.9 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 75 Amp	41
Tabla 4.10 Valores de dureza Vickers (Hv) de las distintas zonas afectadas térmicamente para las las cuatro intensidades de corriente utilizadas en la soldadura del acero 1020	42
Tabla 4.11 Valores de dureza Vickers (Hv) de las distintas zonas afectadas térmicamente para las las cuatro intensidades de corriente utilizadas en la soldadura del acero inoxidable 304	43



Este trabajo está dedicado en especial a Dios padre todo poderoso y a la Virgen María a quienes les debo la vida y han depositado en mí la fe y la esperanza para seguir adelante y lograr ésta maravillosa meta.

A mi madre Gisela Padrón de Vargas que en todo momento con su ternura, bondad, amor y fiel amistad me ha guiado para alcanzar todas mis metas.

A mi padre José de Jesús Vargas, por brindarme sus enseñanzas y más sinceros sentimientos de amor y amistad incondicional día a día.

A mis hermanos José, Egil, Oracio y Giseledda que de una u otra forma me han brindado su apoyo para alcanzar con éxito esta gran meta en mi vida.

Joel de J. Vargas P.



Este trabajo está dedicado a mi madre Isabel de Salinas, a mi padre Carlos Salinas, a mis hermanos, a mi prometida Kathleen Simmons y a todos aquellos que de una u otra forma me han brindado su apoyo para alcanzar con éxito esta gran meta en mi vida.

Carlos E. Salinas L



A Dios padre todo poderoso y a la Virgen María, por llenarme de fortaleza, paciencia constancia y humildad para alcanzar esta meta.

A mis padres Gisela y José que en todo momento me han brindado su amor, sus consejos y apoyo de una manera incondicional para lograr esta meta.

A mis hermanos José, Egil, Oracio y Giseleda por apoyarme siempre.

A Carlos Salinas por su amistad y apoyo como compañero de tesis.

Al Prof. Oswaldo Urbano, por su contribución como tutor académico en el desarrollo de esta investigación.

A mis demás compañeros de estudio, familiares y profesores que durante mi carrera han influido en mi vida alentándome y apoyándome para alcanzar esta gran meta.

A todos, ¡mil gracias!

Joel de J. Vargas P.



A Dios, por haberme guiado en cada una de las decisiones tomadas.

A mis padres, por sus consejos y apoyo incondicional.

A mis hermanos por apoyarme siempre.

A Kathleen, por su amor incondicional y apoyo en todo momento.

A Joel Vargas, por su apoyo durante nuestra carrera y porque sin el este trabajo no sería una realidad.

Al Prof. Oswaldo Urbano, por su contribución como tutor académico en el desarrollo de esta investigación.

A aquellos que han influido en mi vida de manera positiva para alcanzar esta gran meta.

Carlos E. Salinas L.



En la presente investigación se estudió la influencia del número de pasadas de soldadura sobre la microestructura y microdureza en el acero al carbono AISI 1020 y acero inoxidable 304. Para ello se seleccionaron láminas de 6mm de espesor de ambos aceros, las cuales fueron biseladas en “V” y posteriormente unidas mediante soldadura manual de arco eléctrico (SMAW por sus siglas en inglés). Los electrodos fueron seleccionados según las recomendaciones de la American Welding Society (AWS) para cada acero: Electrodo E308 para la soldadura de acero inoxidable 304 y Electrodo E7018 para la soldadura de acero al carbono AISI 1020. Se tomaron muestras de uniones soldadas con una (1) pasada, dos (2) pasadas y tres (3) pasadas. Los parámetros de soldadura establecidos fueron los siguientes: tres (3) pasadas sucesivas de soldadura manteniendo la intensidad de corriente, voltaje, velocidad de avance y diámetro del electrodo constante para cada unión soldada. Para cada acero se emplearon cuatro (4) intensidades de corriente, seleccionadas entre los rangos recomendados por el fabricante (60, 70, 80, 90Amp para el acero al carbono AISI 1020 y 60, 65, 70, 75Amp para el acero inoxidable 304) para un total de 24 muestras. No se realizó tratamiento térmico previo o posterior al proceso de soldadura. Dichas muestras fueron maquinadas y preparadas para la realización de los ensayos de metalografía y microdureza. Luego se prepararon metalográficamente para hacer un seguimiento tanto en la evolución de la microestructura como en los cambios observados en la microdureza según la escala de dureza Vickers. La microestructura fue estudiada en el metal base, en la zona afectada por el calor y en el cordón de soldadura mediante el uso de un microscopio óptico. La medición de la microdureza se realizó en la zona afectada por el calor ya que es la zona en la que el calor generado por el proceso de soldadura ejerce una mayor influencia. En ésta se seleccionaron tres (3) puntos denominados A, B y C; en cada uno de estos puntos se tomaron tres (3) valores de dureza y fueron promediados. Todos los resultados obtenidos fueron tabulados y graficados para su posterior análisis. Del estudio de la microestructura del material se observó que la zona afectada por el calor se fue incrementando con el número de pasadas. El material presenta un comportamiento homogéneo constituido por



granos de austenita, para el acero inoxidable 304; mientras que en el caso del acero AISI 1020 el tamaño de grano fue aumentando con el número de pasadas. Con respecto a la microdureza, para el acero inoxidable 304 se produjo un aumento en la microdureza de la zona afectada por el calor con el número de pasadas debido a la precipitación de carburos de cromo mientras que en el acero AISI 1020 se produce un aumento en la microdureza con la primera pasada para luego ir disminuyendo con las pasadas sucesivas debido a un efecto de revenido causado por la soldadura.



La utilización del proceso de soldadura de arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW) es muy utilizado a nivel industrial por su fácil aplicación y bajo costo para el desarrollo de proyectos mecánicos y arquitectónicos.

En el presente trabajo de grado se realizará el estudio de los efectos de tres (3) pasadas sucesivas de soldadura sobre la microdureza y la microestructura en juntas en “V”, al utilizar el proceso de soldadura de arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW) empleando electrodos E308 para la junta de acero inoxidable 304 y E7018 para la junta de acero al carbono AISI 1020. Además, se utilizarán cuatro (4) intensidades de corriente para cada junta soldada. Para el análisis de dichos efectos se tomarán muestras del metal que involucren el Cordón de soldadura y el metal base, para posteriormente embutirlas, prepararlas y observarlas en un microscopio óptico para estudiar posibles variaciones en la microestructura. Luego se procederá a la toma de valores de dureza Vickers tanto en la zona afectada por el calor y el cordón de soldadura, además del metal base.

Este documento está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: En éste capítulo se describe el planteamiento de problema, los objetivos generales y específicos. Se expone también la justificación, las limitaciones y las delimitaciones.

Capítulo II: Se exponen estudios realizados referentes al tema de investigación y las descripciones teóricas de los diversos tópicos de los aceros, además de breves explicaciones sobre el proceso de soldadura.

Capítulo III: Se describe la metodología empleada para el desarrollo de la investigación así como los ensayos mecánicos, análisis de microestructura del acero además de los materiales y equipos utilizados.



Capítulo IV: Se muestran los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados. Las discusiones de los ensayos mecánicos y estudios metalográficos que se llevaron a cabo. Los análisis de resultados presentan el efecto del número de pasadas de soldadura.

Capítulo V: Se presentan las conclusiones obtenidas y recomendaciones así como las referencias bibliográficas y anexos utilizados para el desarrollo de esta investigación.



1. TITULO

Evaluación de la influencia de las pasadas sucesivas sobre la microdureza y la microestructura en juntas soldadas de Acero Inoxidable 304 y Acero al carbono AISI 1020.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de acero se fabrican máquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, etc.

Los aceros inoxidables se usan en lugar de los aceros convencionales por sus excelentes propiedades tales como: resistencia a la corrosión, dureza a baja temperatura y buenas propiedades a alta temperatura. Debido a esto, resultan ser una excelente elección para la construcción de recipientes para la industria química, láctea, alimenticia, biotecnológica, petroquímica, además de usos arquitectónicos entre otras.

La soldadura puede reducir esa resistencia en ambientes agresivos. En la soldadura, el calor que se genera produce un gradiente de temperatura en el metal de base. La soldadura también puede inducir tensiones residuales en el área soldada, lo cual en ciertos ambientes puede resultar en roturas por corrosión bajo tensión así como también agrietamiento en caliente en la junta soldada, la formación de carburo de cromo o formación de la fase sigma.



Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono presente en su microestructura y de su homogeneidad. Es por esto que se evaluará con la realización del siguiente trabajo de investigación, la influencia del número de pasadas sucesivas en dichos materiales de manera que se puedan identificar los problemas ocasionados por las múltiples pasadas de soldadura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la influencia de las pasadas sucesivas sobre la microdureza y la microestructura en juntas soldadas de Acero Inoxidable 304 y Acero al carbono AISI 1020.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar el acero inoxidable 304 utilizando ensayos de microdureza Vickers y análisis químico de los elementos.
- Caracterizar el acero al carbono AISI 1020 utilizando ensayos de microdureza Vickers y análisis químico de los elementos.
- Determinar el comportamiento de la microdureza en función del número de pasadas de soldadura para el acero inoxidable 304, aplicando cuatro (4) intensidades de corriente distintas a voltaje constante, velocidad constante y electrodo de acero inoxidable 308.



- Determinar el comportamiento de la microdureza en función del número de pasadas de soldadura para el acero al carbono AISI 1020, aplicando cuatro (4) intensidades de corriente distintas a voltaje constante, velocidad constante y electrodo 7018.
- Comparar la microestructura en función del número de pasadas de soldadura para el acero inoxidable 304.
- Comparar la microestructura en función del número de pasadas de soldadura para el acero al carbono AISI 1020.

1.3 LIMITACIONES

- La investigación se limitará al estudio del acero inoxidable 304 y acero al carbono AISI 1020.
- El espesor de la plancha de acero inoxidable 304 y acero al carbono AISI 1020 no debe ser inferior a 5mm.
- El acceso al uso de equipos para realizar los ensayos de microdureza y microestructura.
- La disponibilidad de un soldador calificado para realizar la soldadura.
- El proceso de soldadura se realizará con el método manual de arco eléctrico (SMAW).



1.4 ALCANCES

- Se realizarán dos (2) tipos de ensayo: de microscopia óptica y microdureza, en los equipos disponibles de la Universidad de Carabobo.
- El número de probetas a utilizar es de cuatro (4) para cada intensidad de corriente a cada tipo de acero, que en total suman treinta y dos (32).
- Los aceros a utilizar, tanto el acero inoxidable 304 como el acero al carbono, tendrán un espesor de 6mm.
- El proceso de soldadura se realizará a juntas de igual material.
- Se realizará igual número de pasadas a cada junta de ambos materiales de acuerdo a la cantidad de pasadas que ésta requiera.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El siguiente trabajo tiene la finalidad de determinar el efecto del número de pasadas sucesivas de soldadura sobre el comportamiento de la microdureza y la microestructura.

La importancia de este trabajo radica en el hecho de conocer de qué forma varían la microdureza y microestructura del material luego del proceso de soldadura, lo cual debe ser tomado en cuenta dependiendo de la aplicación que tenga el acero y por consiguiente la soldadura.



2. MARCO TEORICO

A continuación se presenta un extracto de investigaciones y fundamentos teóricos relacionados con el trabajo a desarrollar, tanto por la metodología empleada como por su contenido. Estos fundamentos y antecedentes sirven de apoyo para desarrollar el presente estudio.

2.1 Antecedentes de la Investigación

BUSATO, Giancarlo y BUSATO, Pierluigi. “Influencia de las múltiples pasadas de soldadura por arco eléctrico, en las propiedades mecánicas y la microestructura sobre el acero ASTM A106 Gr B”. Tesis de grado de la Universidad de Carabobo, Marzo de 2004. En la investigación se estudió la influencia del número de pasadas de soldadura en una tubería de acero ASTM A106 Gr B. el proceso de soldadura se realizó según lo establecido por las normas API, mientras que la realización de los ensayos se hizo siguiendo las normas ASTM. El proceso de soldadura se hizo con probeta “sin precalentamiento” y “con precalentamiento” tomando en cuenta que se variaron los pases de soldadura en tres (3), cuatro (4) y cinco (5) pasadas. Se realizaron ensayos de doblado y tracción según normas ASME así como la dureza y microestructura para observar cómo influye la soldadura sobre el comportamiento del material. Se observó que el material precalentado presentó una mejor microestructura homogeneizada con respecto al material sin precalentamiento. La ductibilidad del material precalentado es superior a la del no precalentado.

HERRERA, Juan y PEREIRA, Williams. “Evaluación del efecto de los parámetros de soldadura por arco eléctrico sobre la penetración en aceros 304 y 1020”. Tesis de grado de la Universidad de Carabobo, 2004. En este trabajo se realizó un estudio para determinar la influencia de los parámetros de máquina tales como: intensidad de corriente, ángulo de soldeo y longitud de arco eléctrico sobre la penetración en los aceros inoxidables 304 y



CAPÍTULO II



Marco Teórico

aceros al carbono 1020 en forma de planchas. Para lograr los objetivos se hicieron ensayos de macroscopía y dobléz a todas las muestras soldadas, luego se seleccionaron las más significativas. A éstas se le realizaron ensayos de microscopía, dureza y tracción para analizar los efectos de los parámetros de soldadura antes mencionados.

De los resultados obtenidos se determinó que la penetración varía proporcionalmente con la corriente suministrada, además de que prevalece en la formación de la unión soldada. En el ángulo de soldeo se comprobó su poca influencia en la penetración y en la longitud de arco eléctrico no influye directamente en la penetración sino el ancho del cordón.

JANUS, Daniel y PACHAS, Hjalmar. “Evaluación de la metalurgia de la soldadura de los aceros inoxidables AISI 304 y AISI 310 con acero al carbono ASTM-A-36”. Tesis de grado de la Universidad de Carabobo, Octubre de 2003. En el presente estudio, se evaluaron las diferentes propiedades mecánicas de las distintas combinaciones de uniones soldadas entre los aceros inoxidables AISI 304, AISI 310 y el acero al carbono ASTM-A-36, así como su microestructura para poder tener una base de comparación del comportamiento de la soldadura de estos aceros disímiles. En el estudio de las propiedades mecánicas y de la microestructura de las muestras soldadas se utilizaron los ensayos de tracción, dobléz, microdureza, ensayo macroscópico y el ensayo de microscopía óptica; además del uso del diagrama de Schaeffler para predecir la microestructura obtenida en el cordón de soldadura. Se pudo llegar a la conclusión de que la unión soldada entre estos metales disímiles resulta satisfactoria desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, sin embargo se requiere reforzar el cordón de soldadura con pases en ambas caras de la lámina para mejorar la penetración, lo cual se evidenció en los ensayos de doblado.



2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Los diferentes tipos de acero se clasifican de acuerdo a los elementos de aleación que producen distintos efectos en el Acero:

2.2.1 Aceros al carbono

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas.

2.2.2 Aceros aleados

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros de aleación se pueden subclasificar en:

Estructurales: Son aquellos aceros que se emplean para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además se utilizan en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25% a un 6%.

Para Herramientas: Aceros de alta calidad que se emplean en herramientas para cortar y modelar metales y no-metales. Por lo tanto, son materiales empleados para cortar y construir herramientas tales como taladros, fresas y machos de roscar.

Especiales: Los Aceros de Aleación especiales son los aceros inoxidable y aquellos con un contenido de cromo generalmente superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión, se emplean en turbinas de vapor, engranajes, ejes y rodamientos.



2.2.3 Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

2.3 Reseña histórica del proceso de soldadura

El origen de la soldadura como tecnología para la unión de materiales metálicos se remonta hasta la Edad de Bronce, donde se encuentran los primeros vestigios de procesos de soldadura utilizados para fines ornamentales. En la Edad de Hierro se han encontrado piezas de hierro forjado que habrían sido unidas calentándolas y martillándolas juntas, desarrollándose así la *soldadura por forjado*. En la Edad Media la soldadura en fase sólida se utilizaba para reducir el mineral de hierro a hierro metálico sin necesidad de fundirlo.

La soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible, el más importante de los procesos de soldadura por fusión, es más complejo que los otros por lo que su desarrollo se produjo con mayor lentitud. Inicialmente se utilizaron electrodos de alambre desnudo pero el metal de soldadura resultante contenía alto nitrógeno que le confería fragilidad.



Recubriendo el alambre con asbestos o papel se mejoraron las propiedades de los depósitos soldados.

La factibilidad de este proceso surge del descubrimiento de Sir Humphry Davy, en 1809, según el cual la electricidad puede ser conducida a través del aire entre dos electrodos de carbono (grafito) conformando lo que hoy conocemos como descarga gaseosa. Posteriormente en 1885, Bernados y Olszewski patentaron un proceso donde era posible reproducir este fenómeno entre un electrodo de carbono y una pieza metálica. Como consecuencia del calor generado se logra una fusión localizada que puede ser utilizada para unir piezas. Se encontró necesario aportar metal adicional para llenar el hueco existente entre las dos chapas a unir a través de una varilla hundida dentro de la pileta líquida.

1. Así la soldadura adquiriría una posición de importancia central en la construcción de estructuras de ingeniería. Esta tendencia ha continuado y desde la invención, en 1943, del proceso de soldadura con protección por gas inerte los procesos de soldadura se han desarrollado y multiplicado a una gran velocidad, dando como resultado que la gran mayoría de los materiales metálicos utilizados actualmente en la industria puedan ser soldados por algunos de los procesos de soldadura existentes. [ACERIND C.A. 1997]

Algunos procesos de soldadura por arco eléctrico que se utilizan con mayor frecuencia son:

- SMAW (Shield Metal ARC Welding) o soldadura de arco metálico protegido.
- GTAW (Gas Tungsten ARC Welding) o soldadura de arco de tungsteno con gas.
- GTAW (Gas Metal ARC Welding) o soldadura de arco metálico con gas.
- SAW (Submerged ARC Welding) o soldadura de arco sumergido.
- PAW (Plasma ARC Welding) o soldadura por plasma.

2.4 Soldadura manual de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

El proceso de soldadura empleado en la realización de la presente investigación es la soldadura manual de arco eléctrico con electrodo revestido “SMAW” (del inglés, Shielded metal arc welding). El proceso consiste en la inducción de una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito y se crea el arco eléctrico. El calor del arco funde parcialmente el material de base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura.

Con el calor del arco eléctrico el extremo del electrodo funde y se quema el recubrimiento que protege su interior, generando una atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido que cae en forma de gotas recubiertas de escoria desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base. La escoria flota en la superficie y forma, por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido evitando su oxidación y favoreciendo la operación de soldeo. (Ver. figura 2.1).

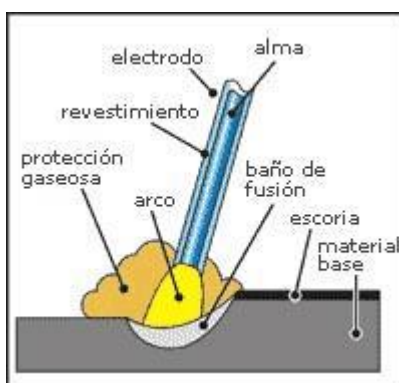


Figura 2.1 Esquema de un proceso de soldadura por arco eléctrico.

Fuente: Microsoft Encarta



2.5 Equipo de soldadura manual de arco eléctrico

Es el equipo que se utiliza para generar el circuito de soldadura (Ver figura 2.2) y está compuesto por cinco (5) elementos que son:

1. Generador de corriente: tiene como tarea alimentar el arco eléctrico presente entre el material base y el electrodo, a través de la salida de una cantidad de corriente suficiente para mantenerlo encendido la cual puede ser continua, directa o alterna.
2. Pinza porta electrodo: tiene la función primaria de soportar el electrodo garantizando un buen contacto eléctrico para el paso de la corriente, además, debe garantizar un aislamiento eléctrico suficiente para el soldador.
3. Electrodo revestido: está compuesto por un alma y por un revestimiento, los cuales tienen tareas diferentes pero complementarias. El **alma** hace sobretodo de conductor de corriente para la alimentación del arco y de aporte del material para el llenado de la junta, mientras que el **revestimiento** tiene la función primaria de proteger el baño de fusión y estabilizar el arco.
4. Pinza de masa ó borne de masa: el borne de masa es un dispositivo que asegura, mediante el cable de masa, el reenganche de la conexión eléctrica entre la fuente de soldadura y la pieza a soldar.
5. Cable de masa: permite la conexión eléctrica entre la pinza porta electrodo y el generador así como también entre el generador y la pinza de masa.



Figura 2.2 Equipo utilizado en la soldadura por arco eléctrico. Fuente: Microsoft Encarta

2.6 Electrodo

Desde que fueron utilizados los primeros electrodos desnudos, hasta nuestros días se han ido produciendo una serie de modificaciones en el consumible para la soldadura siempre manual. El electrodo ha marcado un avance tecnológico del mismo procedimiento.

Ya en 1919 fueron patentados unos electrodos con recubrimiento de papel que ofrecían las ventajas de no producir escoria. Cuando en 1935 se introduce la corriente alterna, ate el inconveniente de un arco inestable que produce, se busca soluciones desarrollando recubrimientos que se ionizan con mayor facilidad.

Fue también durante esta década cuando se generaliza el uso de aceros inoxidable. Estos materiales eran muy difíciles de soldar porque el hidrogeno procedente del recubrimiento producían porosidad., para ello se desarrollaron unos electrodos con bajo contenido de



hidrogeno. Al principio de los años 40 se descubrió que estos electrodos producían soldaduras de muy buena calidad y los recubrimientos de los electrodos de aceros inoxidables se incorporaron a los electrodos de baja aleación.

Posteriormente y buscando una mayor productividad en la soldadura se le fueron incorporando al alma recubrimientos que aportaron una mayor rendimiento al electrodo resultante.

El electrodo revestido está compuesto por un alma y un revestimiento:

El alma está formada por una varilla de metal conductor que tiene como única función el aporte de material a la pieza. El material con el que está formada depende del material base a soldar: para los aceros al carbono, para los cuales la soldadura por electrodo está más difundida, el alma es de acero dulce. Durante la soldadura el alma funde un poco antes que el revestimiento.

El revestimiento es la parte más importante del electrodo y tiene numerosas funciones. En primer lugar sirve para proteger la soldadura de la contaminación del aire, y lo hace tanto volatilizándose, y por lo tanto modificando la atmósfera alrededor del baño, como fundiéndose con retraso, y en consecuencia protegiendo el alma con el cráter que naturalmente se forma, como licuándose y flotando encima del baño. Además contiene materiales capaces de depurar el material base y elementos que pueden contribuir en la creación de aleaciones en la fusión. La elección del revestimiento es, por lo tanto, muy importante y depende de las características que se quiere dar a la soldadura. Además, el revestimiento puede contener también metal de aporte en polvo, para aumentar la cantidad del material depositado y por lo tanto la velocidad de la soldadura. Se habla en este caso de electrodo de alto rendimiento.



CAPÍTULO II



Marco Teórico

La composición y clasificación de cada tipo de electrodo está regulada por AWS (*American Welding Society*), organismo de referencia mundial en el ámbito de la soldadura.

Cada electrodo está representado además del logotipo del fabricante por un símbolo como en el siguiente ejemplo:

Tabla 2.1 Ejemplo de la simbología para la clasificación de los electrodos.

E	A	B	C
E	70	1	8
Fuente: Lincoln Electric			

Donde:

E: Electrodo

A: Resistencia a la tracción en Kpsi

B: Posición de soldeo, que puede ser

1- Todas

2- Plana, horizontal

4- Plana, horizontal y vertical descendente

C: tipo de revestimiento y corriente

0- Celulosa con sodio, corriente directa, polaridad positiva.

1- Celulosa con potasio, corriente alterna ó corriente directa, polaridad positiva ó polaridad negativa.



- 2- Rutilo con sodio, corriente alterna ó corriente directa, polaridad negativa.
- 3- Rutilo con potasio, corriente alterna ó corriente directa, polaridad negativa.
- 4- Rutilo con polvo de hierro, corriente alterna ó corriente directa, polaridad positiva ó polaridad negativa.
- 5- De bajo hidrógeno con sodio, corriente directa, polaridad positiva.
- 6- De bajo hidrógeno con potasio, corriente alterna ó corriente directa, polaridad positiva
- 7- Con polvo de hierro y oxido de hierro, corriente alterna ó corriente directa, polaridad positiva
- 8- De bajo hidrógeno con polvo de hierro, corriente alterna ó corriente directa, polaridad positiva

Para el ejemplo de la Tabla 2.1, el electrodo tiene una RESISTENCIA a la tracción DE 70Kpsi, se puede utilizar en todas las posiciones con propiedades químicas de BAJO HIDRÓGENO CON POLVO DE HIERRO, usando CORRIENTE ALTERNA Ó CORRIENTE DIRECTA en POLARIDAD POSITIVA.



CAPÍTULO II



Marco Teórico

Tabla 2.2 Características de los diferentes tipos de electrodos.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	APLICACIONES
Ácido	* bajo coste * arco estable * corriente CA y CC * escoria fácil de eliminar * elevada desoxidación * fácilmente conservables	* baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno * escoria no se puede refundir	* soldaduras en horizontal * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras económicas y con características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Rutilo	* bajo coste * arco estable * fácil cebado * corriente CA y CC * cordón estéticamente mejor * fácilmente conservables	* baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno	* soldaduras en horizontal * soldaduras en vertical y en esquinas para pequeños espesores * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras estéticamente buenas pero características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Celulósico	* elevada penetración * elevada manejabilidad * escoria reducida	* son necesarios generadores CC con elevada tensión en vacío * cordón irregular * elevado aporte de hidrogeno	* soldaduras en todas las posiciones, incluida la vertical descendiente * tubos o donde no sea posible el cordón al reverso * soldaduras en las que el acceso del electrodo resulta crítico * aceros bajos en carbono con escasa presencia de impurezas
Básico	* óptima limpieza del material * aporte de hidrogeno muy reducido * baño frío	* arco poco estable * escoria no se puede refundir y de difícil eliminación * arco corto y difícil de trabar * cebado difícil * generadores CC * de difícil conservación	* soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores * elevadas velocidades de depósito * soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas

Fuente: www.sertema.com



2.7 Microdureza

La dureza es la medida de la resistencia de un metal a la deformación plástica permanente. Esta se mide forzando la superficie de un metal. El penetrador, que es usualmente una esfera, pirámide o cono, está hecho de un material mucho más duro que el que se encuentra bajo ensayo. Los materiales que comúnmente son utilizados como penetradores son: acero endurecido, el carburo de tungsteno y el diamante.

Para la mayoría de los ensayos de dureza estándar se aplica lentamente una carga conocida, presionando el penetrador a 90° en la superficie del material. Se calcula un valor de dureza empírica o se lee en una escala análoga (o pantalla digital), que se basa en el área de la sección o en la profundidad de la impresión.

Uno de los ensayos de dureza que mide la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración es el Ensayo Vickers y este será el seleccionado para la medición de la dureza.

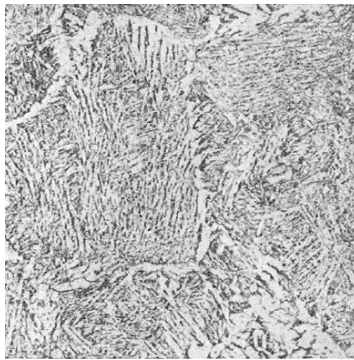
2.8 Estructura de Widmanstaetten

Estructura caracterizada por una simetría que sigue tres o cuatro direcciones privilegiadas, a su vez se manifiesta como una estructura de fragilidad de los aceros.

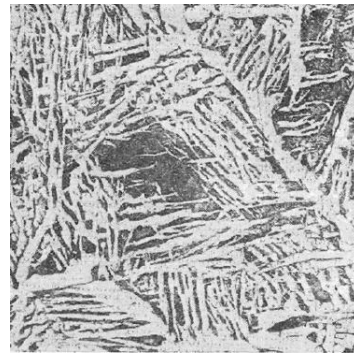
Su aparición depende de tres factores como la composición química del acero, la temperatura de sobrecalentamiento de la fase sigma y su velocidad de enfriamiento, y está relativamente limitada en aceros que poseen concentraciones de 0.2% a 0.4% de carbono cuando los sobrecalentamientos son pequeños y se extiende por el lado de las concentraciones bajas de carbono cuando la temperatura de sobrecalentamiento crece, además ciertos elementos especiales como el manganeso, el cromo y el molibdeno tienden a favorecer su formación.

La velocidad y condiciones de enfriamiento puede originar una estructura celular si el grano sigma es relativamente pequeño (sin sobrecalentar), o una estructura de cristales grandes e incluso la de Widmanstaetten si el grano no tiene dimensiones considerables. En juntas soldadas la estructura de Widmanstaetten puede formarse en el metal fundido y en el metal base sobrecalentado. Esta estructura depende a su vez del ciclo térmico impuesto por el soldeo, el cual depende del procedimiento y métodos a soldar, así como las dimensiones y forma de las piezas, además puede presentarse incompletamente formada si no llega a darse del todo alguna de las condiciones de formación químicas o térmicas, y completamente formada con las direcciones privilegiadas netamente orientadas.

La naturaleza del agregado laminar depositado paralelamente a los planos de deslizamiento puede ser perlítica o troostítica. La estructura de Widmanstaetten influye notablemente debido al grosor del grano, en las propiedades mecánicas de la junta y, en particular sobre la fragilidad.



a)



b)

Figura 2.3 a) Estructura de Widmanstaetten incompleta; b) Estructura de Widmanstaetten completa.



3. MARCO METODOLOGICO

3.1 NIVEL DE LA INVESTIGACION

Tomando en consideración su naturaleza y los objetivos, la investigación es del tipo explorativo, ya que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto. A su vez esta investigación se considera del tipo descriptivo, porque es la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

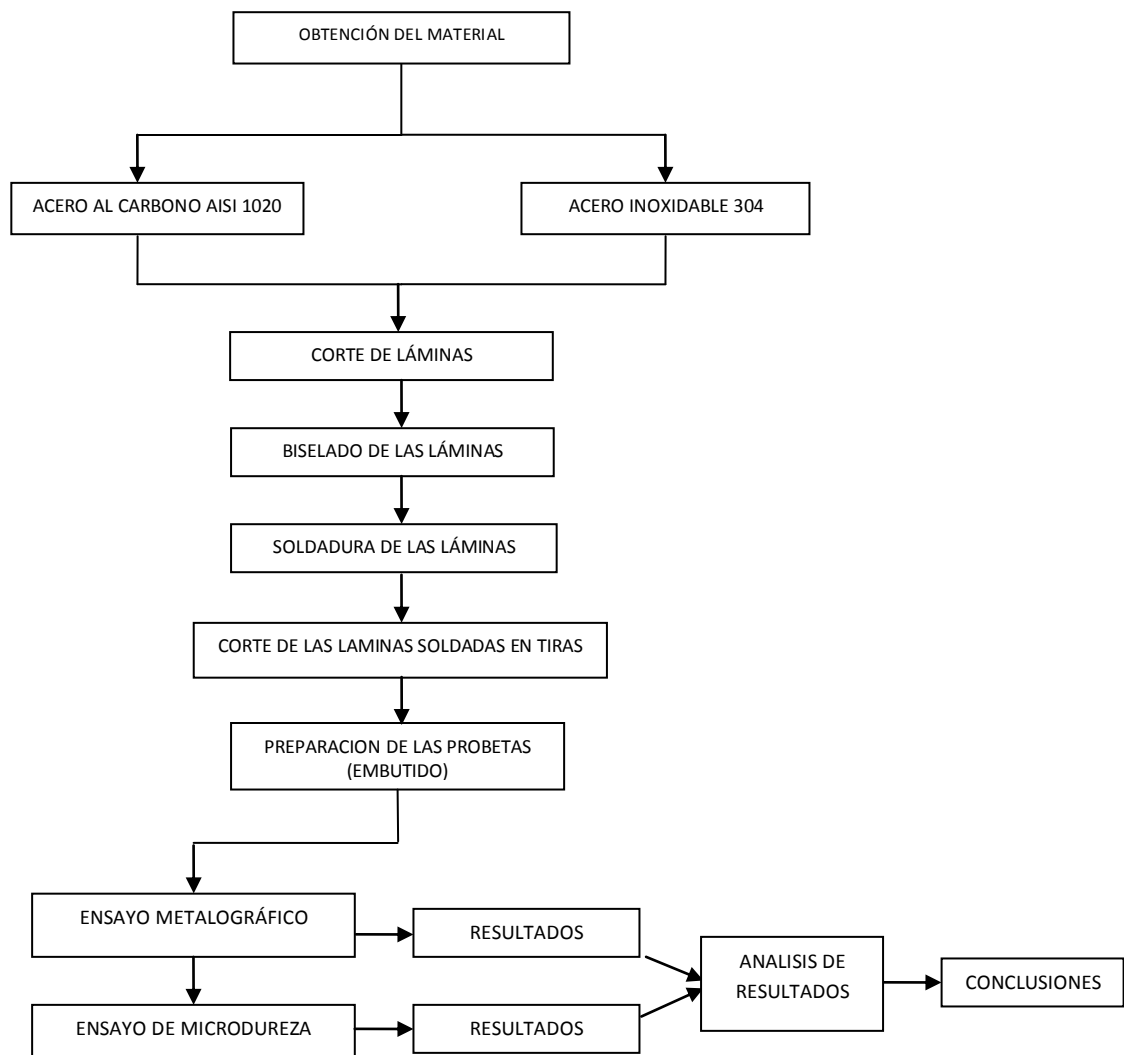


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología utilizada (Fuente: Propia)



3.2 MATERIAL UTILIZADO

3.2.1 ACERO INOXIDABLE 304

Tabla 3.1 Composición química del acero inoxidable 304

ELEMENTO	%
Carbono	0.027
Manganeso	1.6
Silicio	0.36
Cromo	18.2
Níquel	8.2
Fósforo (Max)	0.035
Azufre	0.004

Fuente: Vencraft Venezuela C.A (Ver anexo A, Pág. 83)

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

Resistencia a la Tracción (MPa)	Límite Elástico al 0,2% Mínimo (MPa)	Alargamiento mínimo (%)	Dureza máxima (Hv)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m°C)
600 – 950	250	40	200	15

Fuente: Dimetales Ltda.

3.2.2 ACERO AISI 1020

Tabla 3.3 Composición química del acero 1020

ELEMENTO	%
Carbono	0.21
Manganeso	1.13
Silicio	0.30
Fósforo (Max)	0.013
Azufre (Max)	0.008

Fuente: MITTAL STEEL GALATI S.A (Ver Anexo A, Pág. 84)

Tabla 3.4 Propiedades mecánicas del acero AISI 1020

Resistencia a la Tracción (MPa)	Límite Elástico al 0,2% Mínimo (Mpa)	Alargamiento mínimo (%)	Dureza máxima (Hv)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m°C)
449	331	24	130	47

Fuente: Dimetales Ltda.

3.3 SOLDADURA

3.3.1 BISELADO DE LAS JUNTAS

Para realizar la soldadura de las láminas de ambos aceros se seleccionó la junta en “V”. Este tipo de junta se escogió debido al poco espesor de las láminas (6mm), para lo cual se requiere que en la primera pasada se produzca una buena unión sin perforar al acero y a su vez realizar el mayor número de pasadas posibles. Las dimensiones y especificaciones se muestran en la Figura 3.2:

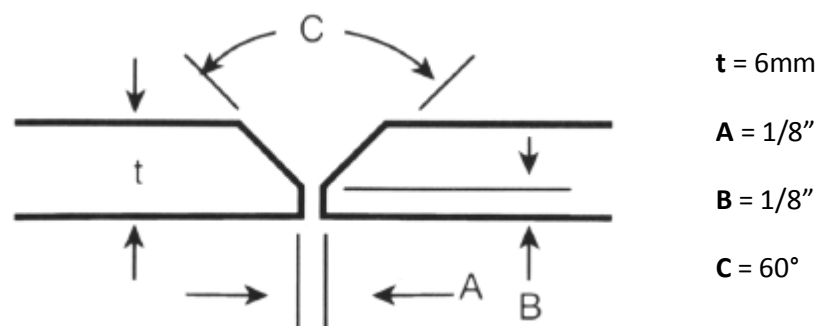


Figura 3.2 Junta en “V” de las placas de acero inoxidable 304 y acero AISI 1020

3.3.2 NUMERO DE PASADAS DE SOLDADURA

Debido al espesor de las láminas, se seleccionaron los electrodos de menor diámetro posible para realizar el mayor número de pasadas de soldadura. Este número fue de tres (3) pasadas como se muestra en la figura 3.3:

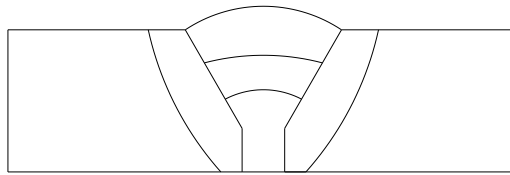


Figura 3.3 Número de pasadas realizadas

3.3.3 ELECTRODOS UTILIZADOS

Los electrodos empleados en las soldaduras se seleccionaron basados en las recomendaciones de la American Welding Society (AWS) y datos del fabricante de los electrodos.

3.3.3.1 Electrodo seleccionado para el acero inoxidable 304

NORMA:

- *AWS/ ASME:* SFA- 5.4, E308
- *POSICIONES:* Todas, excepto vertical descendente.
- *CORRIENTE:* Alterna o Continua Pólo Positivo (+)



CAPITULO III



Marco Metodológico

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

Descripción:

Electrodo de revestimiento básico, que presenta arco estable de fácil encendido (calentamiento inicial) y reencendido (calentamiento después de alguna parada), con escasa salpicadura. Sus depósitos presentan superficie lisa de excelente apariencia, escoria muy fácil de remover y resistencia a la corrosión en general.

Aplicaciones:

Indicado para la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos no estabilizados laminados o forjados de los tipos AISI: 301, 302, 302B, 304, 305, 308

Tabla 3.5 Material de aporte recomendado para la soldadura de acero inoxidable 304

Tabla IV					
Materiales de aporte sugeridos para la soldadura del acero inoxidable					
Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común	Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común
AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)	AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)
304 (S30400)	E 308 ⁽¹⁾ (W30810)	ER 308 ⁽¹⁾ (S30880)	20 MO-6 ⁽²⁾ (N08026)	(3)	(3)

Fuente: Manual de soldadura de aceros inoxidables ACERIND S.C.

Tabla 3.6 Composición química del electrodo 308

%C	%Mn	%Si	%S	%Ni	%Cr
0.04	1.00	0.40	0.008	10.00	19.00

Fuente: Lincoln Electric (Ver anexo B, Pág 86)



Tabla 3.7 Dimensiones del electrodo 308

ϕ (mm)	ϕ (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (Amp)
2.50*	3/32	250	50-80
3.25	1/8	350	70 - 100
4.00	5/32	350	100 - 140

Fuente: Lincoln Electric (Ver anexo B, Pág. 86) *Nota: electrodo seleccionado

3.3.3.2 Electrodo empleado en el acero AISI 1020

NORMA:

- *AWS/ ASME: SFA- 5.1, E7018*
- *COVENIN: No. 1477-2001, E48218*
- *POSICIONES: Todas, excepto vertical descendente.*
- *CORRIENTE: Alterna o Continua, Pólo Positivo (+)*

CARACTERISTICAS PRINCIPALES:

Descripción:

Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual queda demostrado al realizar el análisis radiográfico. Presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.



Tabla 3.8 Composición química del electrodo 7018

%C	%Mn	%Si
0.08	1.0 - 1.4	0.3- 0.6

Fuente: Lincoln Electric (Ver anexo B, Pág 87)

Tabla 3.9 Dimensiones del electrodo 7018

ϕ (mm)	ϕ (pulg)	Longitud (mm)
2.50*	3/32	350
3.25	1/8	350
4.00	5/32	450
5.00	3/16	450
6.00	1/4	450

Fuente: Lincoln Electric (Ver anexo B, Pág. 87) *Nota: electrodo seleccionado

3.4 METALOGRAFÍA DEL MATERIAL

3.4.1 Preparación de la muestra

Para facilitar su manipulación al momento del pulido y posterior estudio microscópico, se realizó un montaje de las muestras utilizando baquelita.

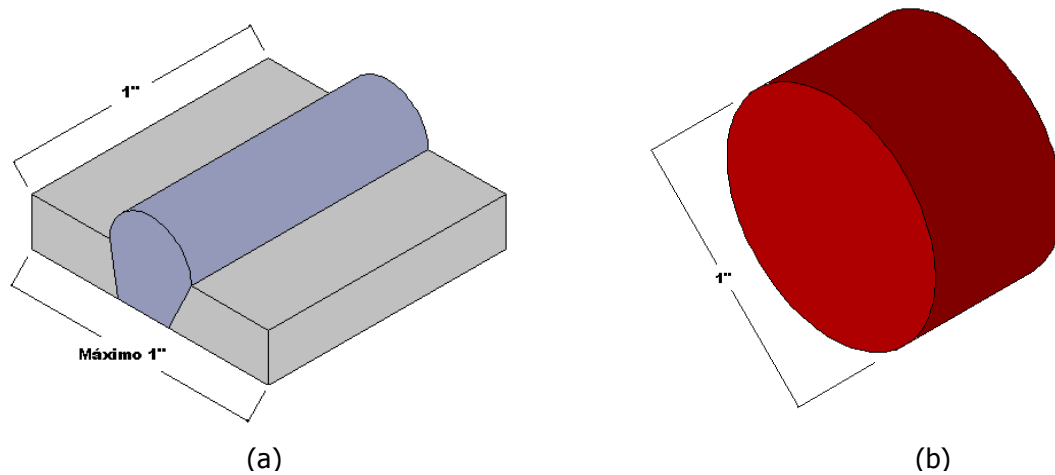


Figura 3.4 a) Dimensiones de la probeta; b) Diámetro del embutido. Fuente: Propia

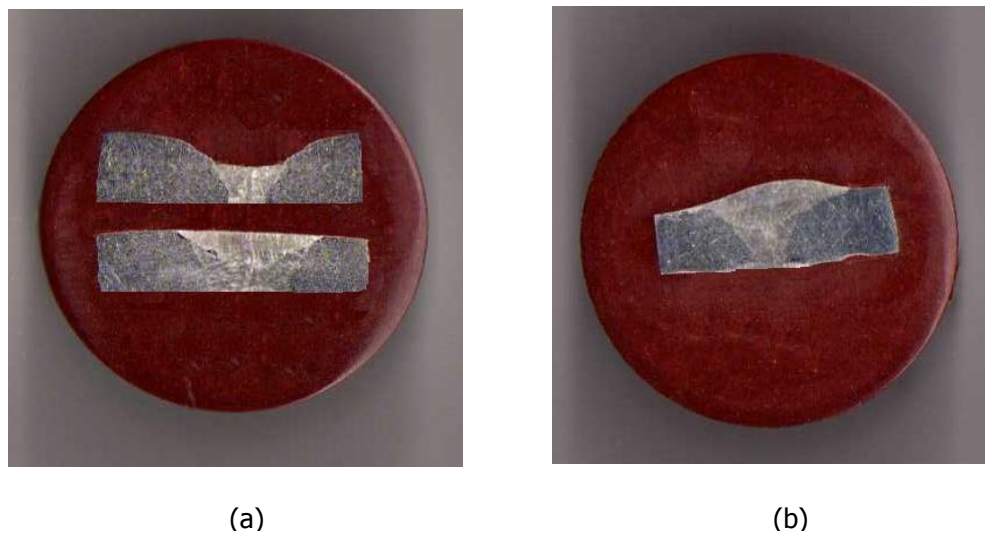


Figura 3.5 a) Muestra de probetas con uno y dos pases de soldadura; b) Muestra de probeta con tres pases de soldadura. Fuente: Propia

3.4.2 Pulido de la muestra

Los granos y otras características de los metales no pueden verse al menos que la muestra se desbaste y se pula para eliminar las ralladuras. El procedimiento utilizado fue: desbastar



primero la superficie de la muestra en una lijadora de la banda y luego a mano con papel abrasivo de varios grados, desde el número de partícula de 240 hasta de 1200.

Adicionalmente recibe un pulido grueso y pulido fino en una pulidora metalografía utilizando una alúmina al $0,1\mu\text{m}$ y al $0,05\mu\text{m}$ de concentración respectivamente, para eliminar las líneas dejadas por el desbaste, obteniéndose un acabado espejo. Todo esto de acuerdo al procedimiento de preparación de probetas metalográficas según la norma ASTM

3.4.3 Ataque químico de la muestra

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la micro estructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química. En la tabla que se muestra a continuación se observan los reactivos utilizados en esta investigación:

Tabla 3.10 Reactivos químicos empleados en el ataque químico

METAL	REACTIVO	COMPOSICIÓN	OBSERVACIONES
Acero al carbono	Nital	2% de ácido nítrico en alcohol metílico	Obscurece la perlita en aceros al carbono. Diferencia la perlita de la martensita: revela los límites de grano de la ferrita. Tiempo: 12 segundos
Acero inoxidable 304	Agua regia	Una parte de ácido nítrico (HNO_3) por tres partes de ácido clorhídrico (HCl).	Revela los límites de grano de la austenita Tiempo: 40s

Fuente: Propia



Cabe destacar que en la realización del ataque químico para el presente trabajo se presentaron diversos inconvenientes. En primer lugar, el buen estado de los reactivos existentes en el laboratorio de materiales, por lo que fue necesaria la preparación de nuevos reactivos. En segundo lugar, el tiempo de ataque de cada muestra que a pesar de haber sido realizado por frotamiento presentó un sobre ataque en tiempos menores a los recomendados, por lo que fue necesario probar diferentes tiempos de ataque hasta lograr los efectos deseados.

3.5 ENSAYO DE MICRODUREZA

Para la medición de la dureza se empleó la escala de dureza Vickers, que expresa la dureza del material en términos de la presión originada bajo el indentador en kilogramos por milímetro cuadrado. El indentador es un diamante en forma de pirámide de base cuadrada con un ángulo en el vértice de 136° , la carga aplicada fue de 200 gr. Para cada probeta se tomaron tres (3) valores en cada punto a estudiar y posteriormente fueron promediados los valores obtenidos para así conseguir un valor lo más cercano posible al real.

El equipo utilizado fue el microdurómetro del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Carabobo, de marca LEITZ WETZLAR, con dispositivo de iluminación incluido de 8 voltios y 0,6 amperios, sistema giratorio con ocular de 10X y objetivos de 10X y 40X. Éste se muestra en la figura 3.6:



Figura 3.6 Microdurómetro del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Carabobo



CAPITULO III



Marco Metodológico

La huella dejada en la probeta es un cuadrado, debido a la forma del penetrador cuya diagonal se mide mediante un microscopio provisto de un ocular micrométrico con índices móviles. La distancia entre los índices se mide por medio de un tornillo micrométrico que forma parte del microdurómetro.



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados y análisis obtenidos de los ensayos realizados al acero inoxidable 304 y acero AISI 1020, para los diferentes números de pasadas e intensidades de corriente, además de las variaciones en la microestructura con el número de pasadas.

4.1 ENSAYO DE MICRODUREZA

Se realizó una medición de dureza utilizando la escala de dureza Vickers tanto en el metal base como en los puntos A, B y C de la zona de sobrecalentamiento por ser ésta la más afectada por el calor durante el proceso de soldadura; además de la dureza en el cordón de soldadura para cada pase (1, 2 y 3). Para cada uno de los puntos mencionados se realizó la toma de 3 valores de dureza, los cuales fueron promediados y tabulados. Estos puntos estudiados se muestran en la figura 4.1.

Tabla 4.1 Dureza Vickers de los metales base

METAL	DUREZA BASE (Hv)
Acero AISI 1020	130
Acero inoxidable 304	200

Fuente: Propia.

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

Primera pasada



Segunda pasada



Tercera pasada



Figura 4.1 Puntos A, B y C seleccionados para el estudio de la microdureza



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.1 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO AL CARBONO AISI 1020 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_1 (60Amp)

Tabla 4.2 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 60 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	201	183	168
2	179	192	183
3	172	175	172

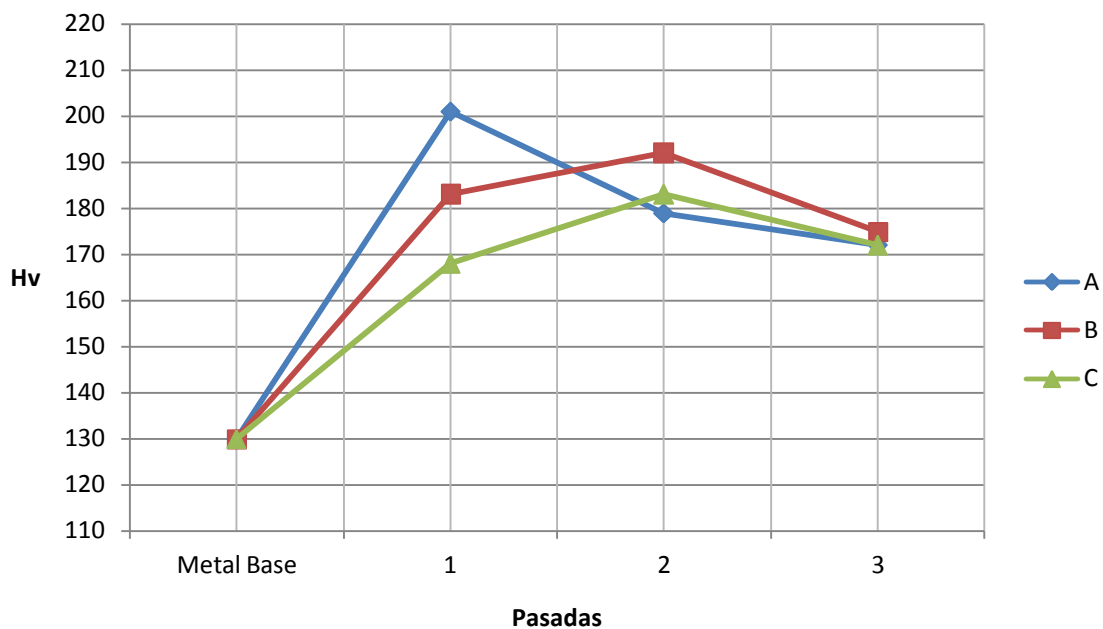


Figura 4.2 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_1 (60Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.2 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO AL CARBONO AISI 1020 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_2 (70Amp)

Tabla 4.3 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 70 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	192	179	163
2	175	181	179
3	168	173	171

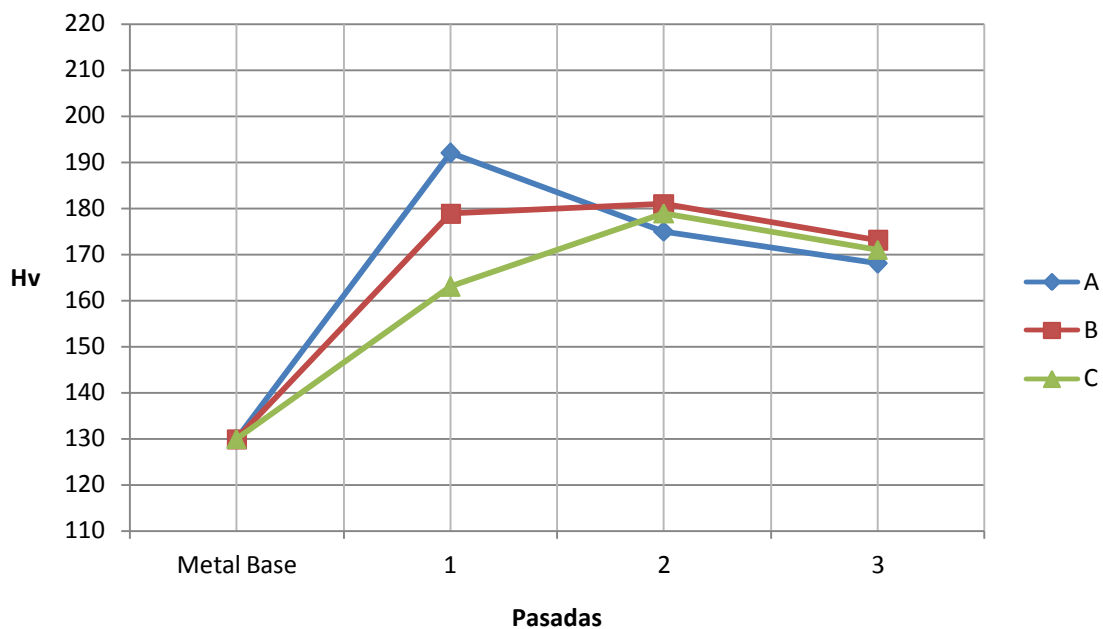


Figura 4.3 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_2 (70Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.3 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO AL CARBONO AISI 1020 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_3 (80Amp)

Tabla 4.4 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 80 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	187	168	154
2	161	173	169
3	154	169	161

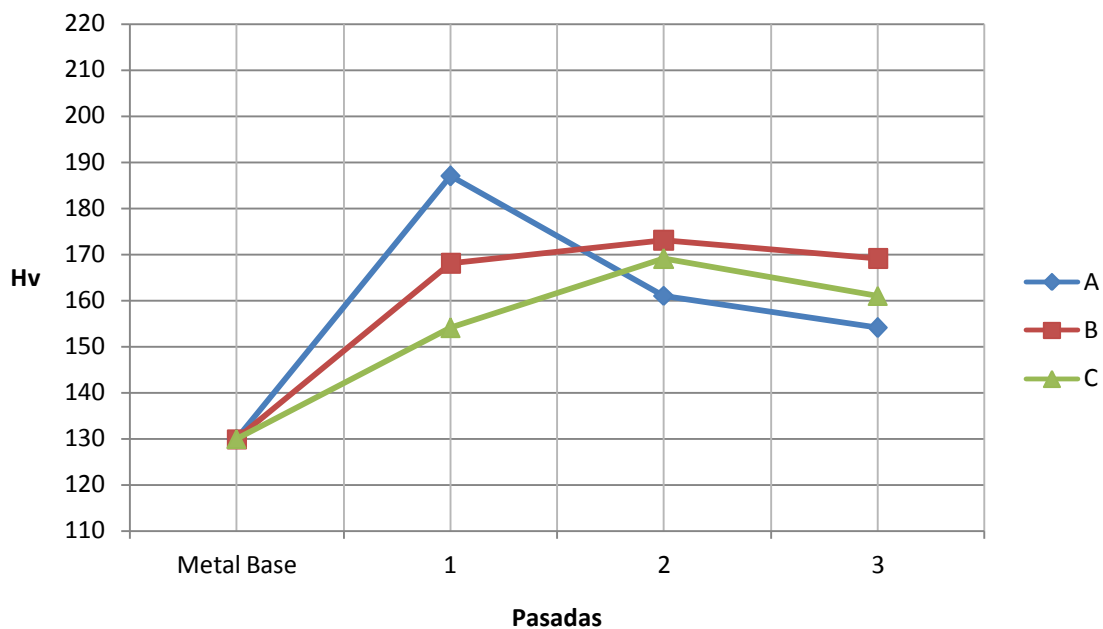


Figura 4.4 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_3 (80Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.4 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO AL CARBONO AISI 1020 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_4 (90Amp)

Tabla 4.5 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 90 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	177	158	143
2	158	163	161
3	148	158	154

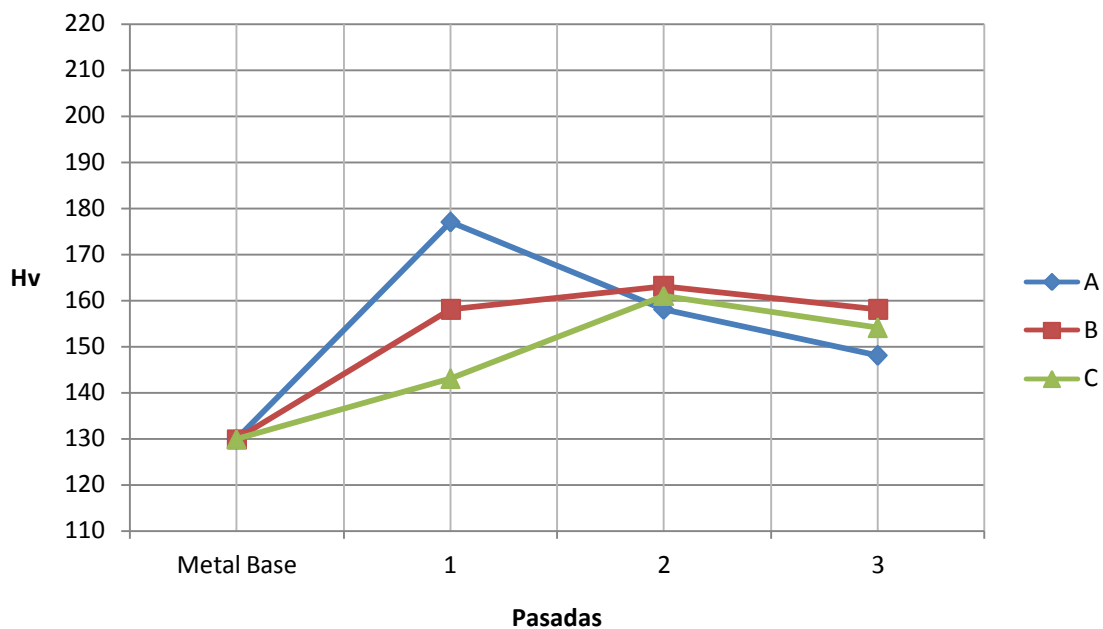


Figura 4.5 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero al carbono AISI 1020 utilizando una intensidad corriente de I_4 (90Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.5 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO INOXIDABLE 304 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_1 (60Amp)

Tabla 4.6 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 60 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	238	232	226
2	250	240	232
3	271	264	243

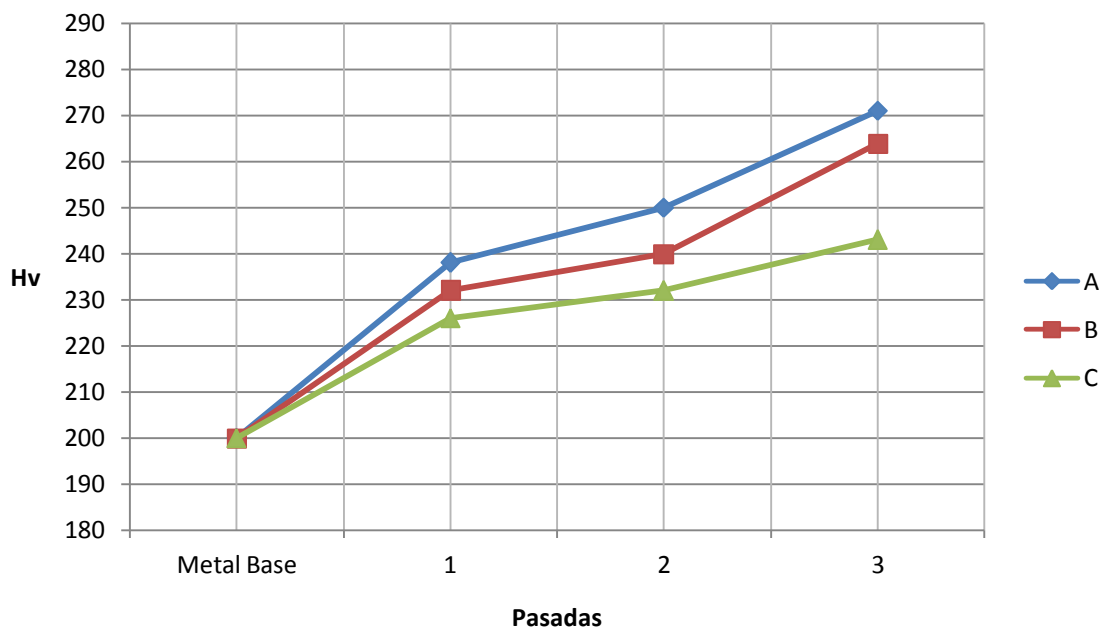


Figura 4.6 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_1 (60Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.6 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO INOXIDABLE 304 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_2 (65Amp)

Tabla 4.7 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 65Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	232	226	221
2	244	235	226
3	265	253	238

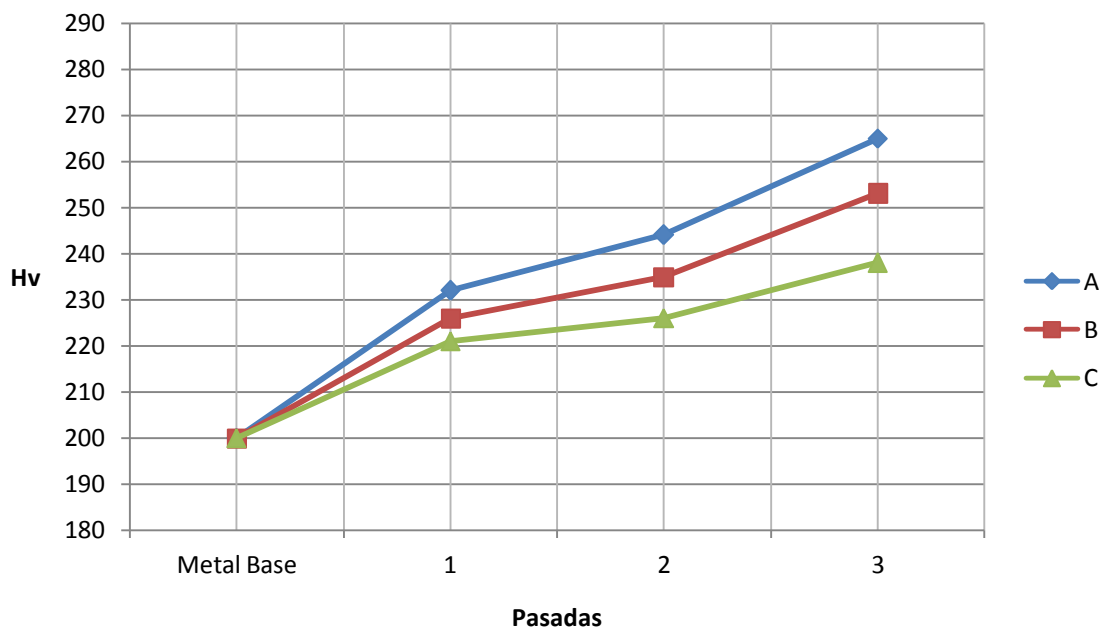


Figura 4.7 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_2 (65Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.7 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO INOXIDABLE 304 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_3 (70Amp)

Tabla 4.8 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 70 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	228	221	215
2	238	229	222
3	257	244	232

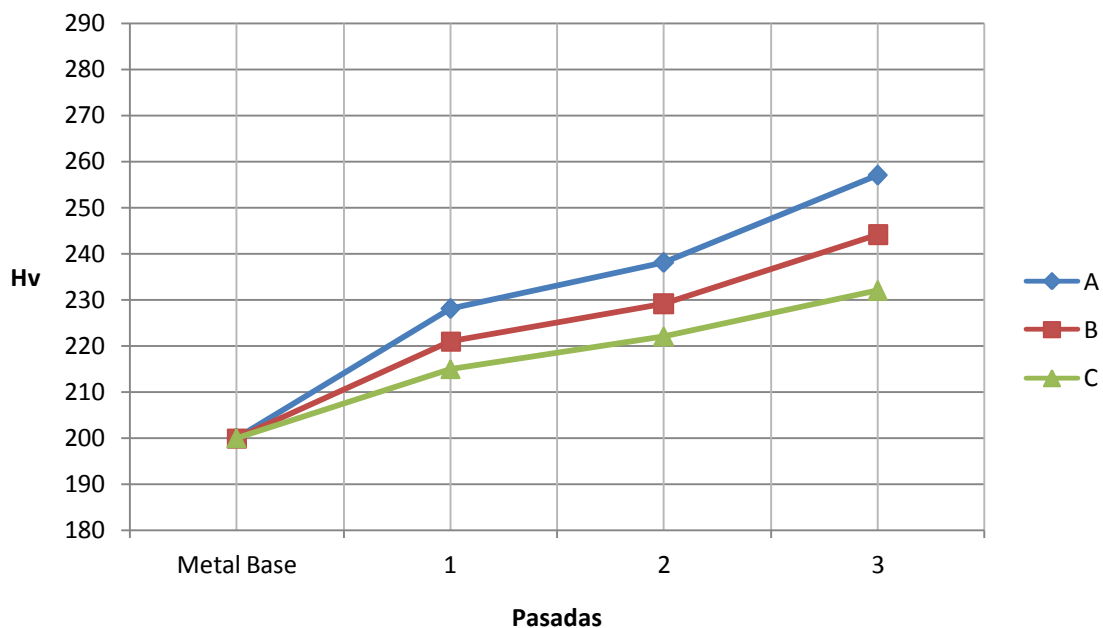


Figura 4.8 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_3 (70Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.8 VARIACIÓN DE LA DUREZA DE LA ZONA SOBRECALENTADA DEL ACERO INOXIDABLE 304 UTILIZANDO UNA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE I_4 (75Amp)

Tabla 4.9 Dureza Vickers (Hv) en los puntos A,B y C tomada con una carga de 200g para los diferentes numeros de pasadas con una intensidad de corriente de 75 Amp

Numero de pasadas	Dureza Vickers en el punto A (Hv)	Dureza Vickers en el punto B (Hv)	Dureza Vickers en el punto C (Hv)
1	221	216	210
2	229	221	215
3	244	232	221

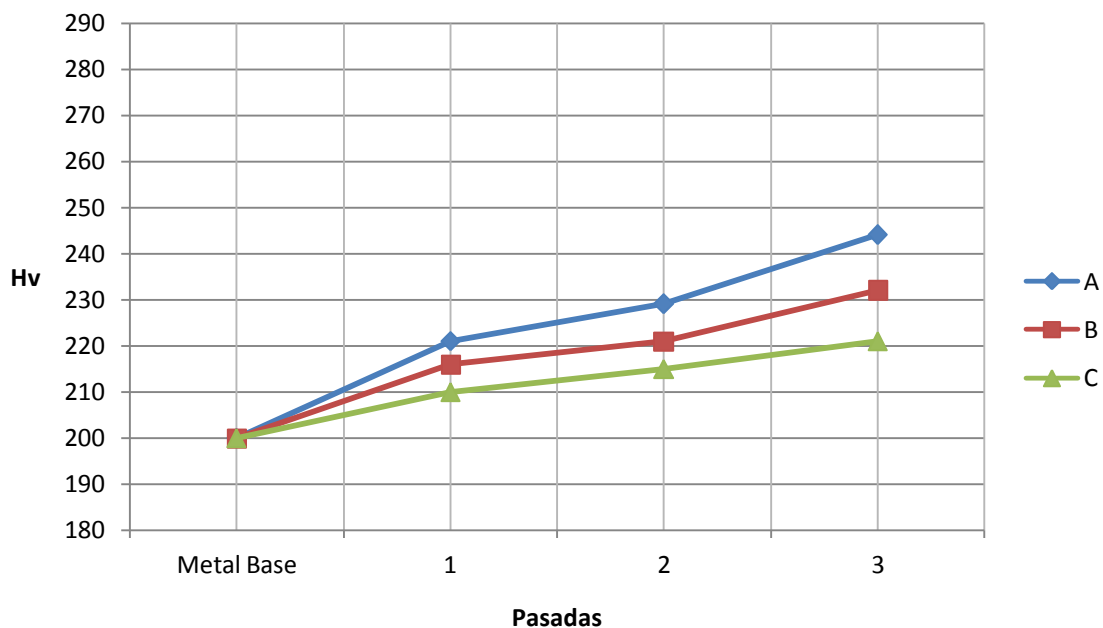


Figura 4.9 Influencia de las pasadas sucesivas sobre la variación de la dureza de la zona sobrecalentada del acero inoxidable 304 utilizando una intensidad de corriente de I_4 (75Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.9 PERFILES DE DUREZA PARA EL ACERO AISI 1020

Tabla 4.10 Valores de dureza Vickers (Hv) de las distintas zonas afectadas térmicamente para las las cuatro intensidades de corriente utilizadas en la soldadura del acero AISI 1020

Intensidad	Metal Base Izquierda	Zona Sobrecalentamiento Izquierda	CORDON	Zona Sobrecalentamiento derecha	Metal Base Derecha
1	130	175	226	182	130
2	130	173	215	168	130
3	130	169	192	172	130
4	130	158	183	162	130

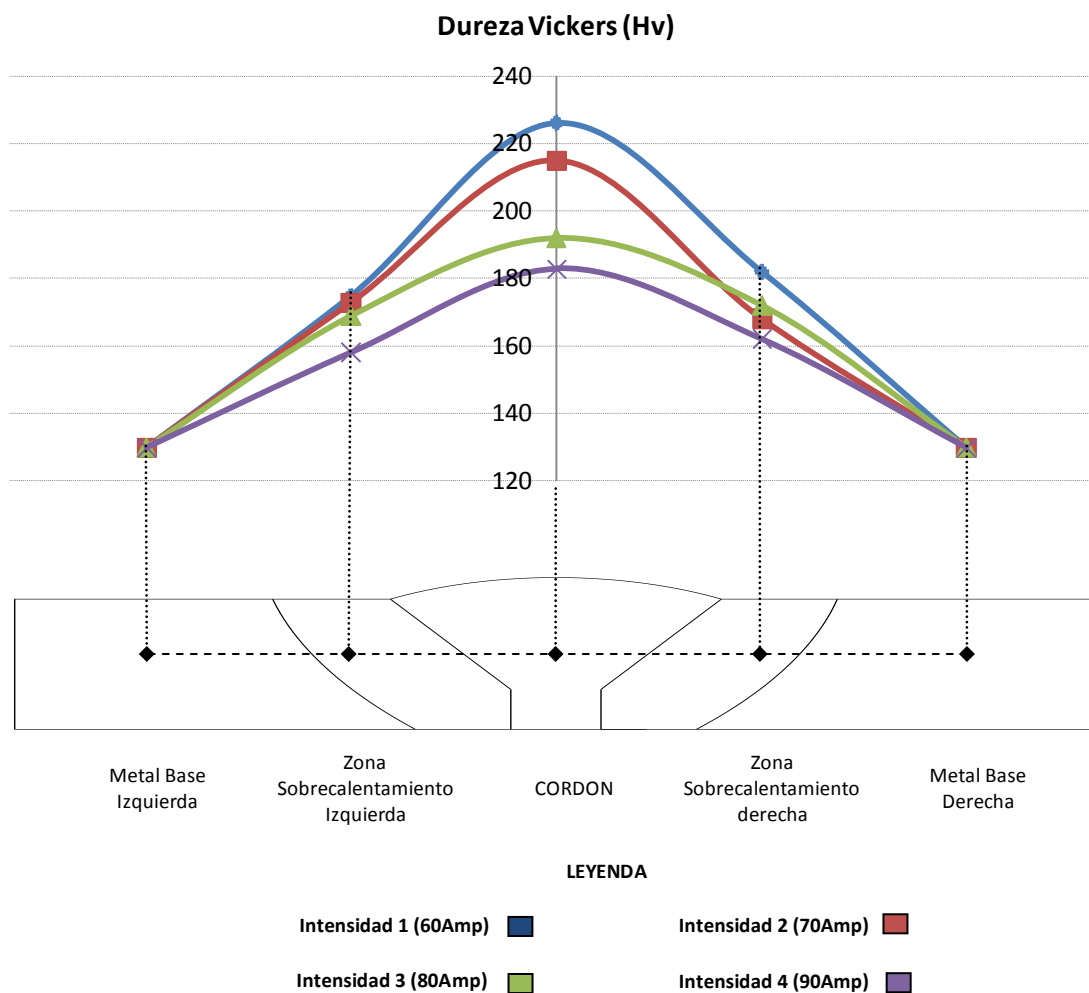


Figura 4.10 Perfiles de dureza en la zona transversal al cordón para el acero AISI 1020 con las diferentes Intensidades de corriente



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.1.10 PERFILES DE DUREZA PARA EL ACERO INOXIDABLE 304

Tabla 4.11 Valores de dureza Vickers (Hv) de las distintas zonas afectadas térmicamente para las cuatro intensidades de corriente utilizadas en la soldadura del acero inoxidable 304

Intensidad	Metal Base Izquierda	Zona Sobrecalentamiento Izquierda	CORDON	Zona Sobrecalentamiento derecha	Metal Base Derecha
1	200	230	330	240	200
2	200	235	294	245	200
3	200	225	278	229	200
4	200	221	271	218	200

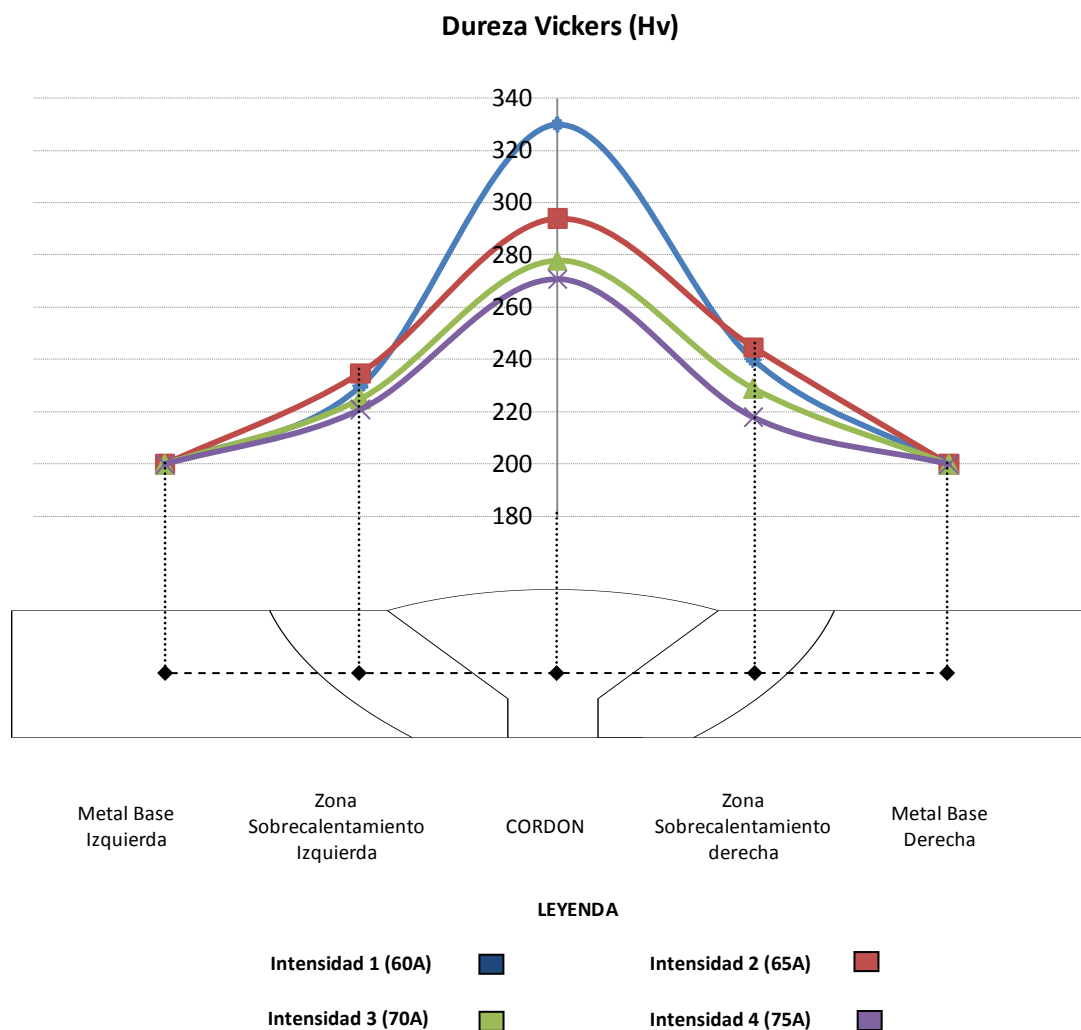


Figura 4.11 Perfiles de dureza en la zona transversal al cordón para el acero 304 con las diferentes Intensidades de corriente



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MICRODUREZA

4.2.1 Análisis de resultados de microdureza en el Acero AISI 1020

4.2.1.1 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_1 (60 Amp).

Se observó que la dureza del punto A aumenta considerablemente en la primera pasada hasta alcanzar un valor del 55% con respecto a la dureza del metal base y posteriormente disminuye con las pasadas sucesivas hasta alcanzar un valor final de 32%. De igual manera ocurre con los puntos B y C en los que se obtienen valores máximos en las primeras pasadas de 48% y 41% respectivamente hasta disminuir la dureza en la última pasada a 35% para B y 32% para C respecto al metal base. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas. Ver figura 4.2 pág. 34.

4.2.1.2 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_2 (70 Amp).

Se observó que la dureza del punto A aumenta notablemente en la primera pasada hasta alcanzar un valor del 48% con respecto a la dureza del metal base y posteriormente disminuye con las pasadas sucesivas hasta alcanzar un valor final de 29%. De igual manera ocurre con los puntos B y C en los que se obtienen valores máximos en las primeras pasadas de 39% y 38% respectivamente hasta disminuir la dureza en la última pasada a 33% para B y 31% para C respecto al metal base. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas. Ver figura 4.3 pág. 35.



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.2.1.3 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_3 (80 Amp).

Se observó que la dureza del punto A aumenta notablemente en la primera pasada hasta alcanzar un valor del 43% con respecto a la dureza del metal base y posteriormente disminuye con las pasadas sucesivas hasta alcanzar un valor final de 18%. De igual manera ocurre con los puntos B y C en los que se obtienen valores máximos en las primeras pasadas de 33% y 30% respectivamente hasta disminuir la dureza en la última pasada a 30% para B y 24% para C respecto al metal base. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas. Ver figura 4.4 pág. 36.

4.2.1.4 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_4 (90 Amp).

Se observó que la dureza del punto A aumenta en la primera pasada hasta alcanzar un valor del 36% con respecto a la dureza del metal base y posteriormente disminuye con las pasadas sucesivas hasta alcanzar un valor final de 14%. De igual manera ocurre con los puntos B y C en los que se obtienen valores máximos en las primeras pasadas de 25% y 24% respectivamente hasta disminuir la dureza en la última pasada a 21% para B y 18% para C respecto al metal base. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas. Ver figura 4.5 pág. 37.

Se observó que en general la dureza en probetas de acero al carbono AISI 1020 aumenta considerablemente con la primera pasada en la zona afectada y disminuye posteriormente en las siguientes pasadas así como también disminuye al aumentar la intensidad de corriente.



4.2.2 Análisis de resultados de microdureza en el acero inoxidable 304

4.2.2.1 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_1 (60Amp)

El punto A presenta un aumento progresivo en la microdureza comenzando con un incremento desde 200Hv (microdureza inicial) hasta 238Hv lo cual se traduce en un aumento del 19% para la primera pasada. En la segunda pasada se produce un nuevo incremento en la microdureza, alcanzando un valor 25% mayor que el de la dureza inicial. Para la tercera pasada continúa la tendencia de aumento y se incrementa la dureza en un 35.5% de la dureza inicial.

En el punto B se produce un aumento de la microdureza por un valor de 16% de la dureza inicial para la primera pasada. En el caso de la segunda pasada se observa un aumento de 20% y para la tercera pasada un aumento del 32% con respecto a la dureza inicial.

Para el punto C, se observa una tendencia similar a la de los puntos A y B aunque el aumento es en menor proporción. Para la primera pasada la microdureza se incrementa en un 13%, 16% para la segunda pasada y 21,5% para el tercer pase. Ver figura 4.6 pág. 38.



4.2.2.2 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_2 (65Amp)

En el punto A se produce un aumento de la microdureza en un 16% de la dureza inicial para la primera pasada. En la segunda pasada se observa un aumento de 22% y para la tercera pasada un aumento del 32.5% con respecto a la dureza inicial.

El punto B presenta un aumento de la microdureza del 13% para la primera pasada. En la segunda pasada se produce un nuevo incremento en la microdureza, alcanzando un valor 17.5% mayor al de la dureza inicial. Para la tercera pasada continúa la tendencia y se incrementa la dureza en un 26.5% de la dureza inicial.

En el punto C, se repite la tendencia de los puntos A y B aunque el aumento sigue siendo en menor proporción. Para la primera pasada la microdureza se incrementa en un 10.5%, 13% para la segunda pasada y 19% para el tercer pase. Ver figura 4.7 pág. 39.

4.2.2.3 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_3 (70Amp)

La medición de la microdureza en el punto A se indicó que se produce un aumento de la microdureza en un 14% de la dureza inicial para la primera pasada. En la segunda pasada aumenta en 19% y para la tercera pasada aumenta en 28.5% con respecto a la dureza inicial.

El punto B presenta un aumento de la microdureza del 10.5% para la primera pasada. En la segunda pasada se produce un nuevo incremento en la



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

microdureza, alcanzando un valor 14.5% mayor al de la dureza inicial. Para la tercera pasada continúa la tendencia y se incrementa la dureza en un 22% de la dureza inicial.

Para el punto C, en la primera pasada la microdureza se incrementa en un 7.5%, 11% para la segunda pasada y 16% para el tercer pase. Ver figura 4.8 pág. 40.

4.2.2.4 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_4 (75Amp)

En el punto A se produce un aumento de la microdureza en un 10.5% de la dureza inicial para la primera pasada. En la segunda pasada se produce un aumento del 14.5% y para la tercera pasada un aumento del 22% con respecto a la dureza inicial.

El punto B presenta un aumento de la microdureza del 8% para la primera pasada. En la segunda pasada se observa un nuevo incremento en la microdureza, hasta un valor 11.5% mayor al de la dureza inicial. Para la tercera pasada continúa la tendencia y se incrementa la dureza en un 16% de la dureza inicial.

En el punto C, se repite la tendencia de los puntos A y B. Para la primera pasada la microdureza se incrementa en un 5%, 7.5% para la segunda pasada y 10.5% para el tercer pase. Ver figura 4.9 pág. 41.



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

En líneas generales se puede observar que con las diferentes intensidades de corriente empleadas en las soldaduras para este estudio, se produce un aumento en la microdureza de los puntos A, B y C ubicados en la zona afectada por el calor conforme se realizan pasadas sucesivas. Esto debido a la precipitación de carburos en los límites de grano por el calor generado en el proceso de soldadura, especialmente los carburos de Cromo (Cr_7C_3 , Cr_4C) o carburos complejos $[(\text{FeCr})_3\text{C}]$, los cuales presentan una alta dureza y por consiguiente aumentan la dureza del acero a medida que se incrementa su formación.

En cuanto a los perfiles de dureza tanto para el acero AISI 1020 como para el acero inoxidable 304, se observa que la dureza alcanza su punto máximo en el centro del cordón de soldadura y va disminuyendo a medida que se desplaza hacia el metal base debido a las propiedades del metal depositado por el electrodo y la acción del calor generado; destacando que la mayor dureza se alcanzo utilizando la menor intensidad de corriente recomendada por el fabricante y la menor dureza se obtuvo de la aplicación de la mayor intensidad de corriente debido al aumento de calor generado en la soldadura. Ver figuras 4.10 pág. 42 y 4.11 pág. 43.

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

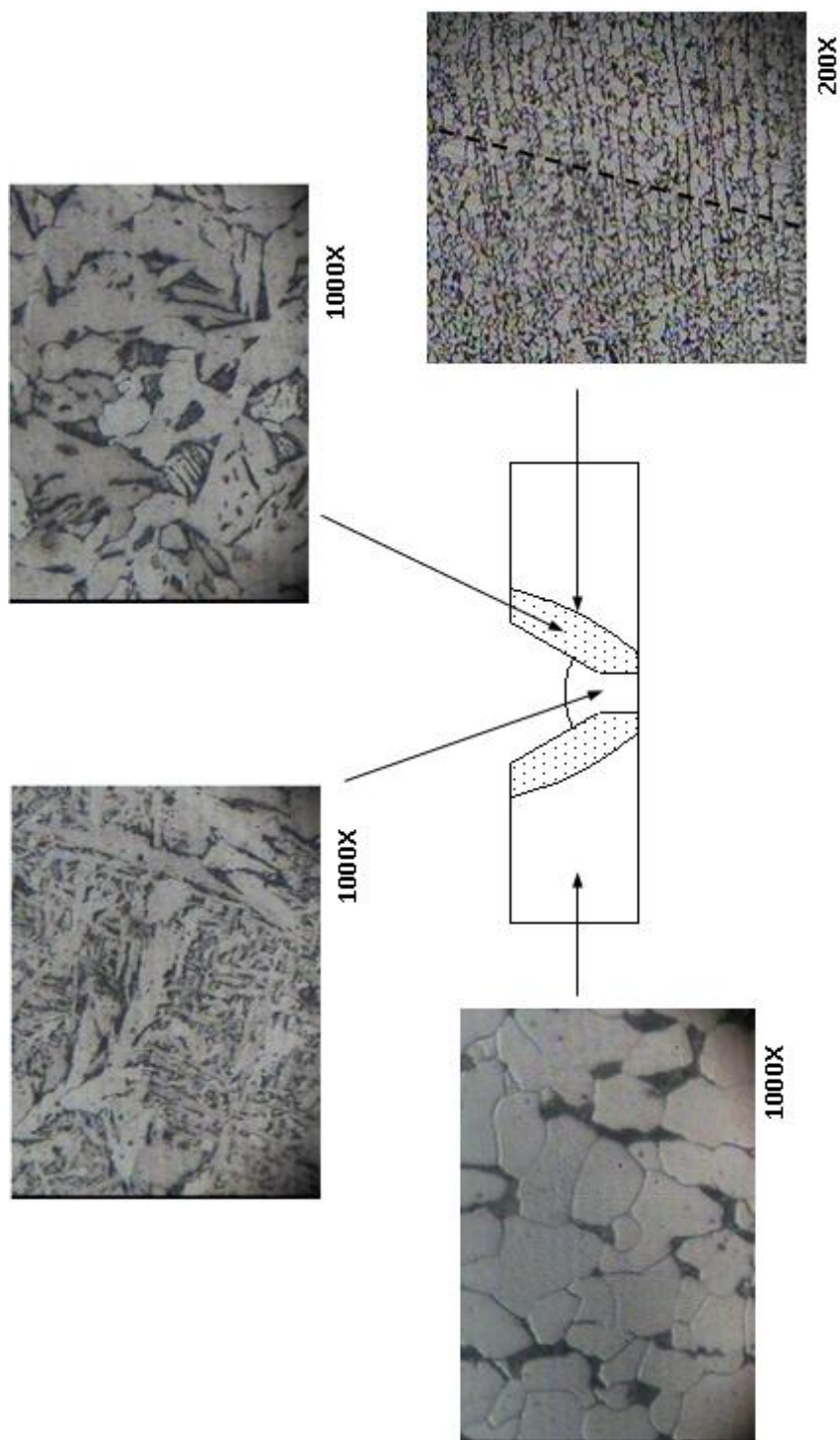


Figura 4.12 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

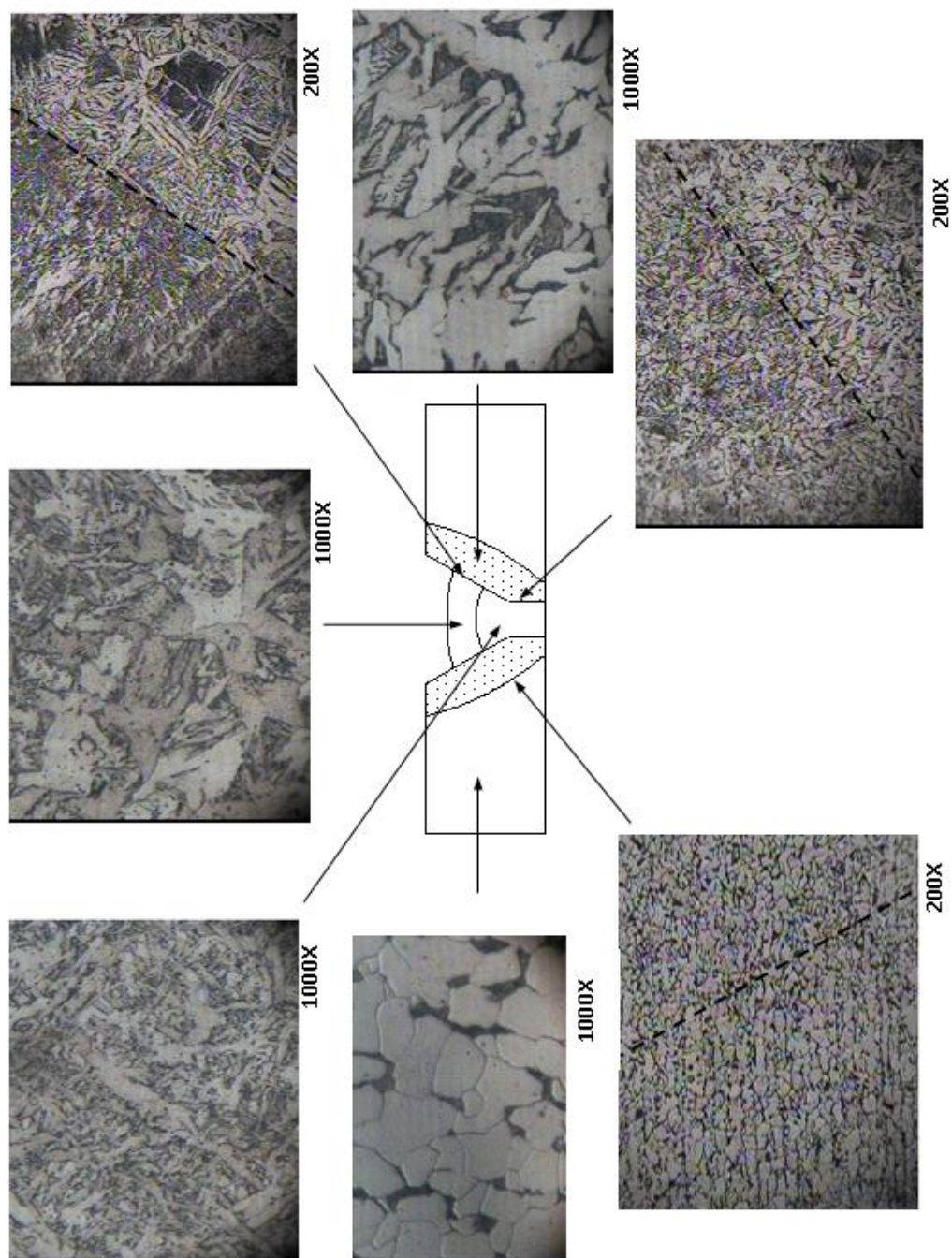


Figura 4.13 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_1 (50Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

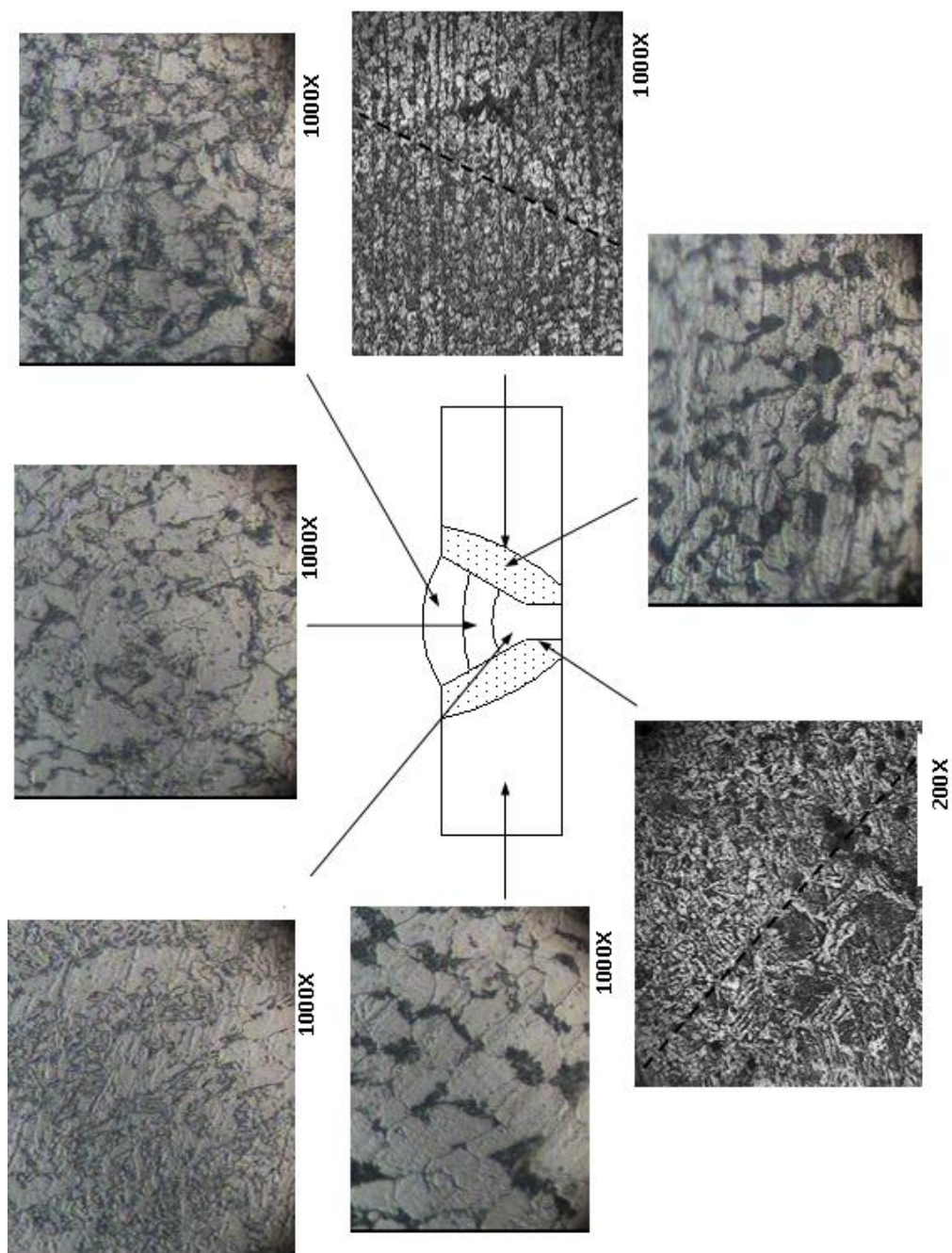


Figura 4.14 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

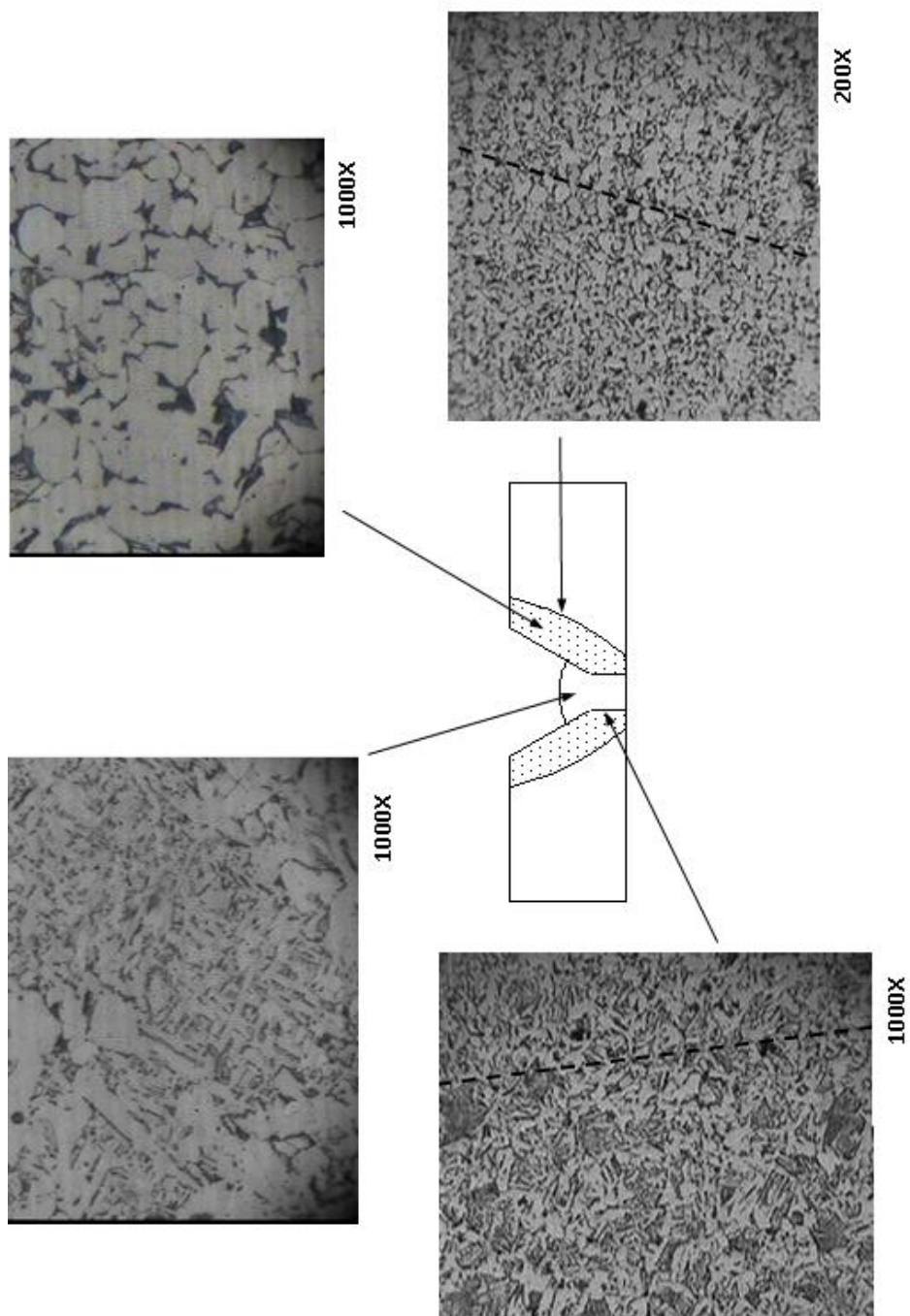


Figura 4.15 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

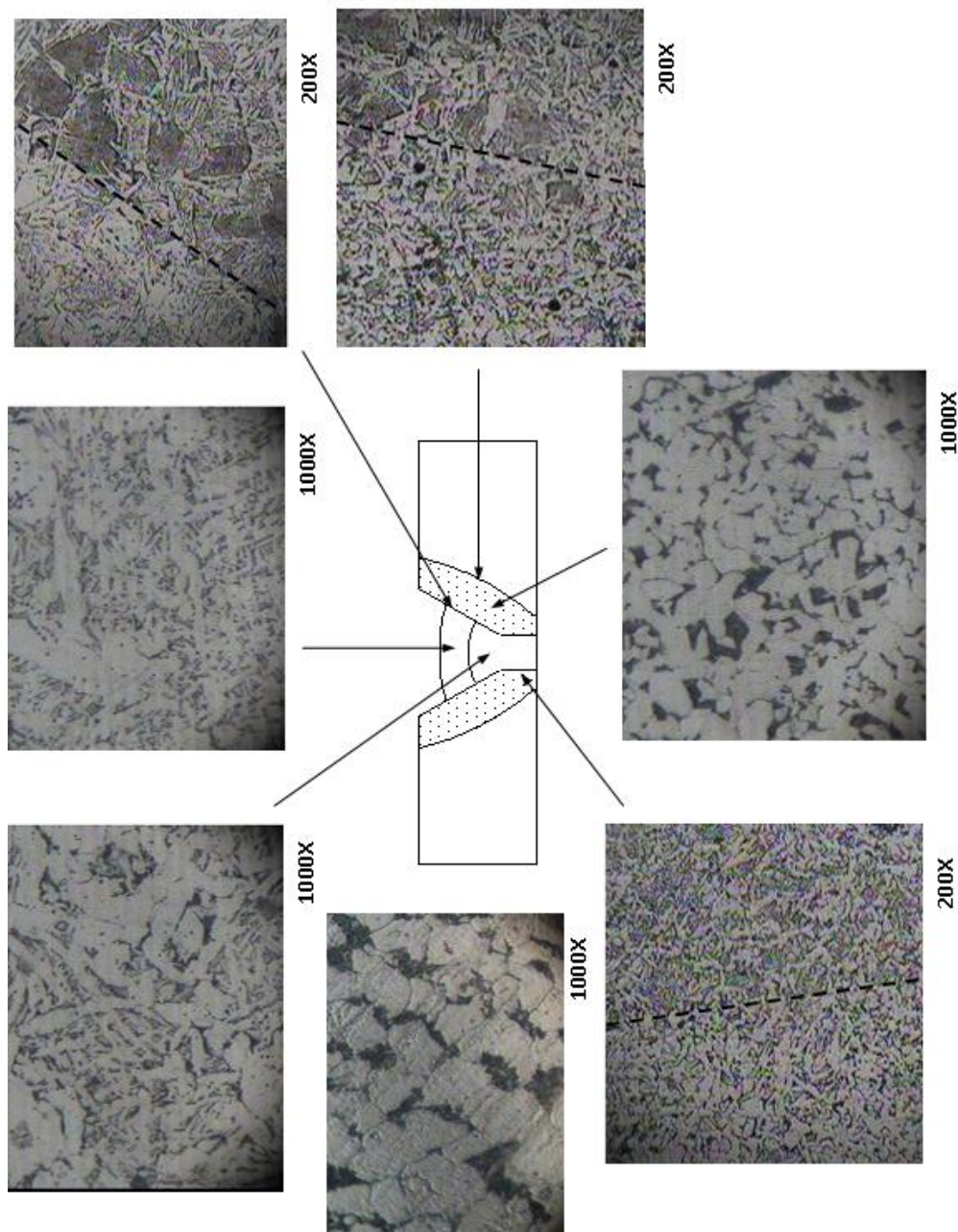


Figura 4.16 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

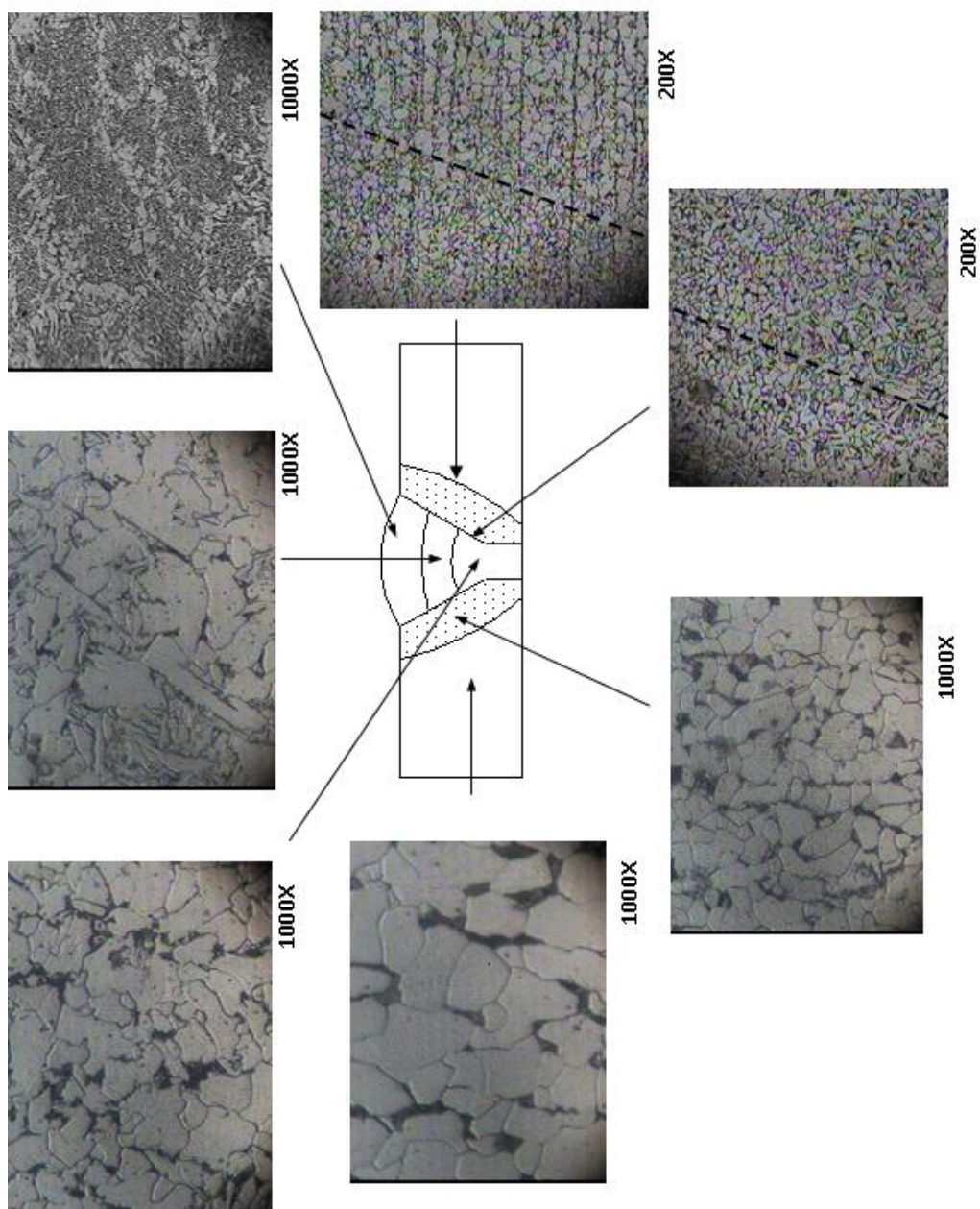


Figura 4.17 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_2 (70Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

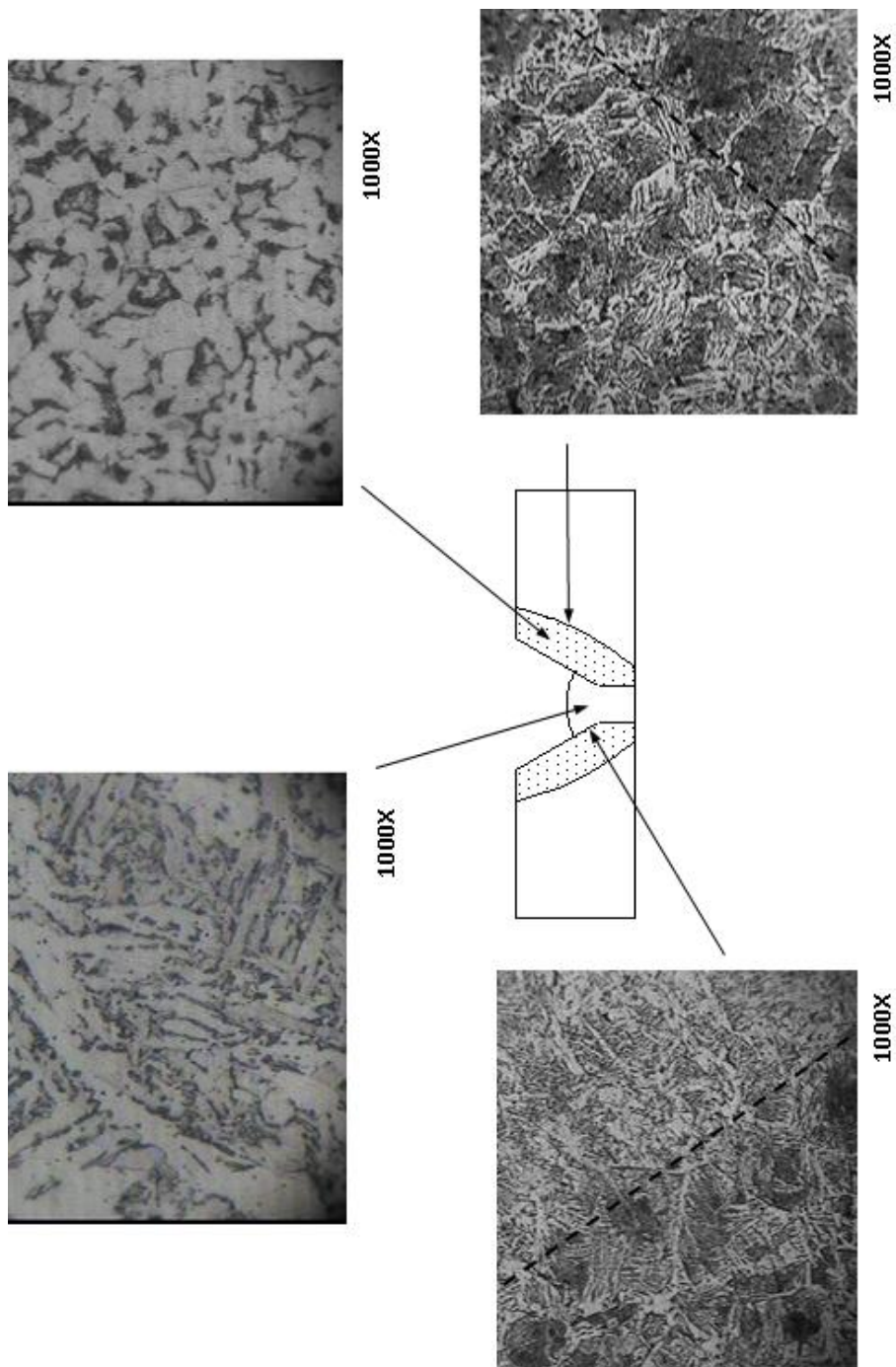


Figura 4.1 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_3 (80Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

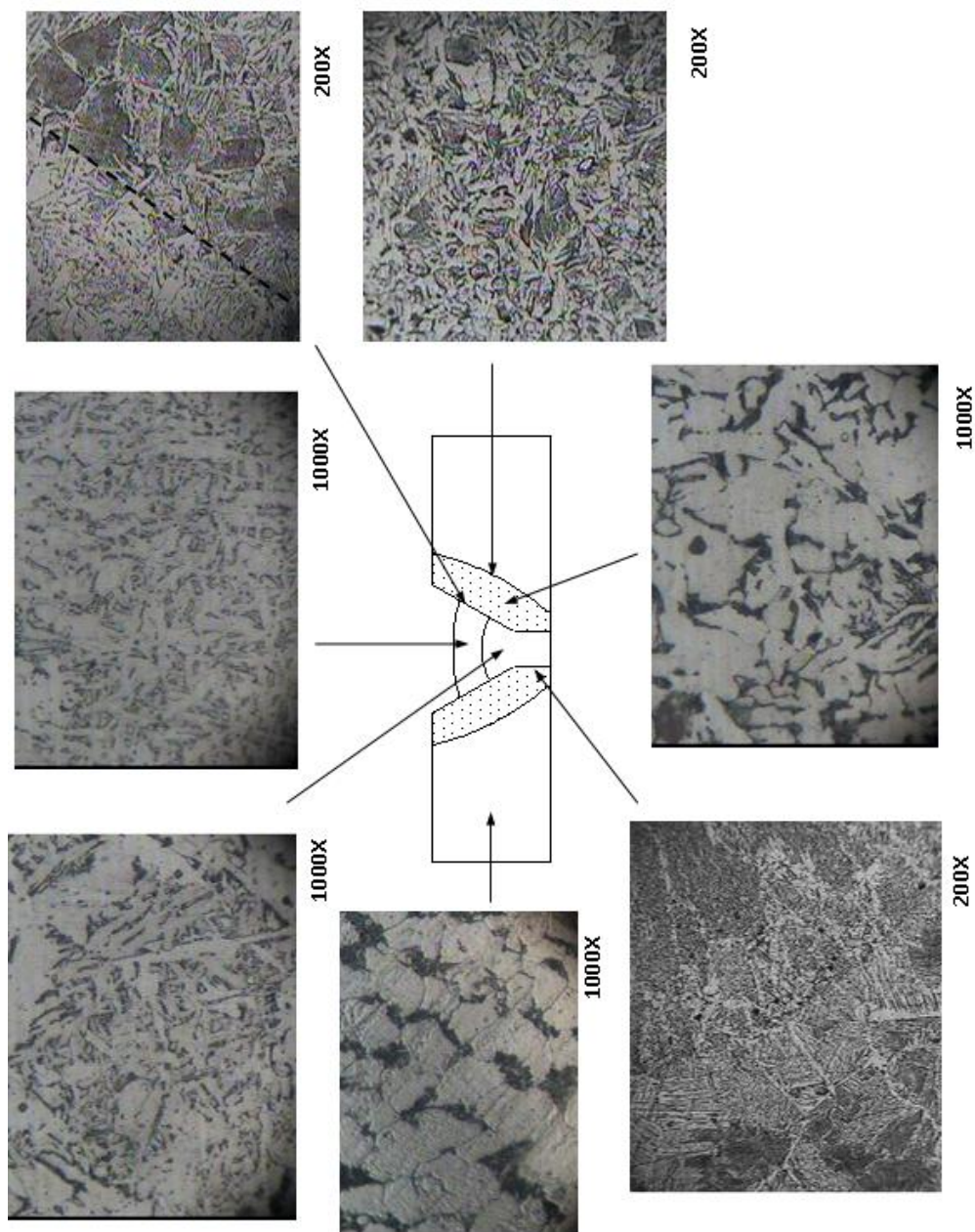


Figura 4.19 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_2 (80Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

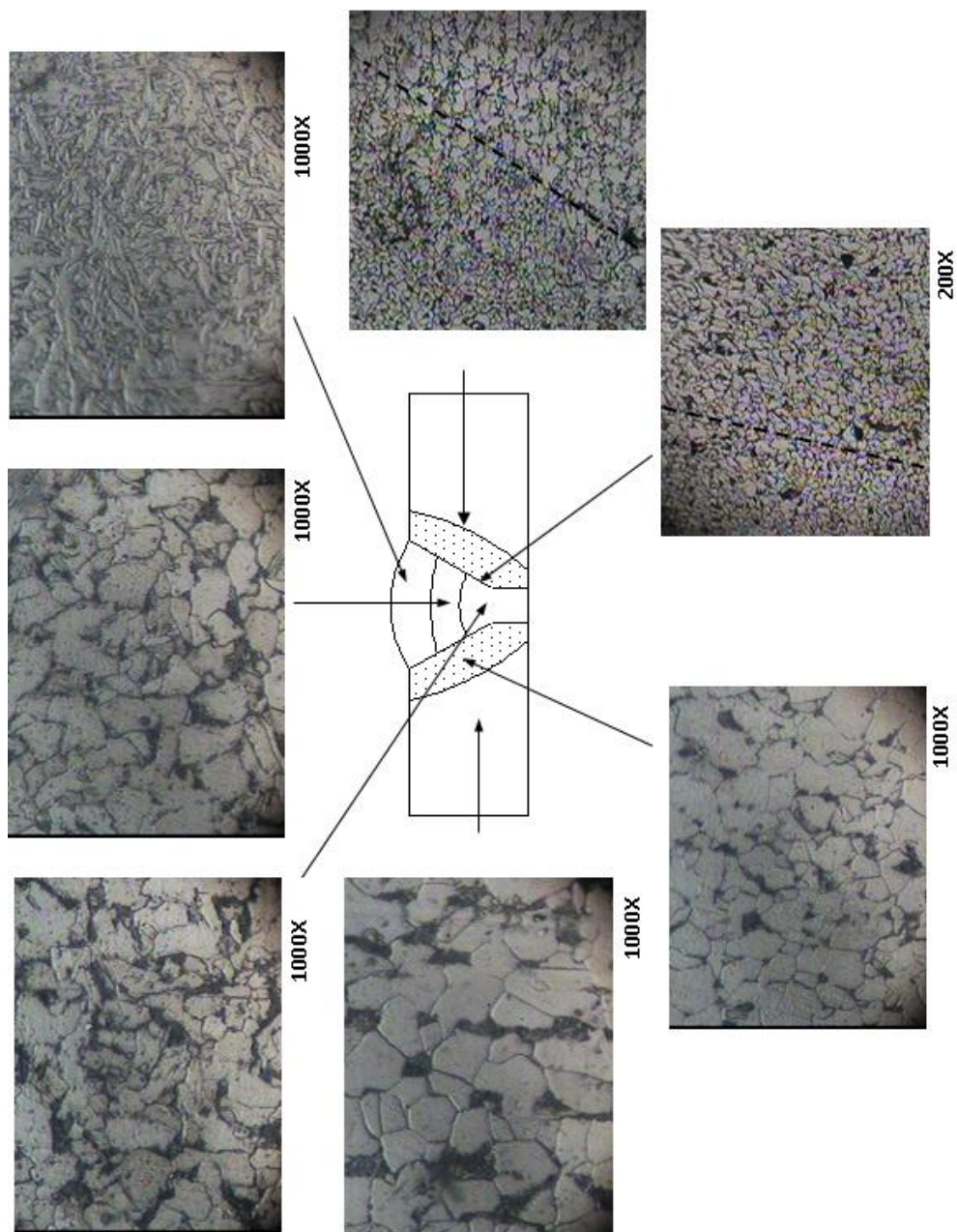


Figura 4.20 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_3 (80Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

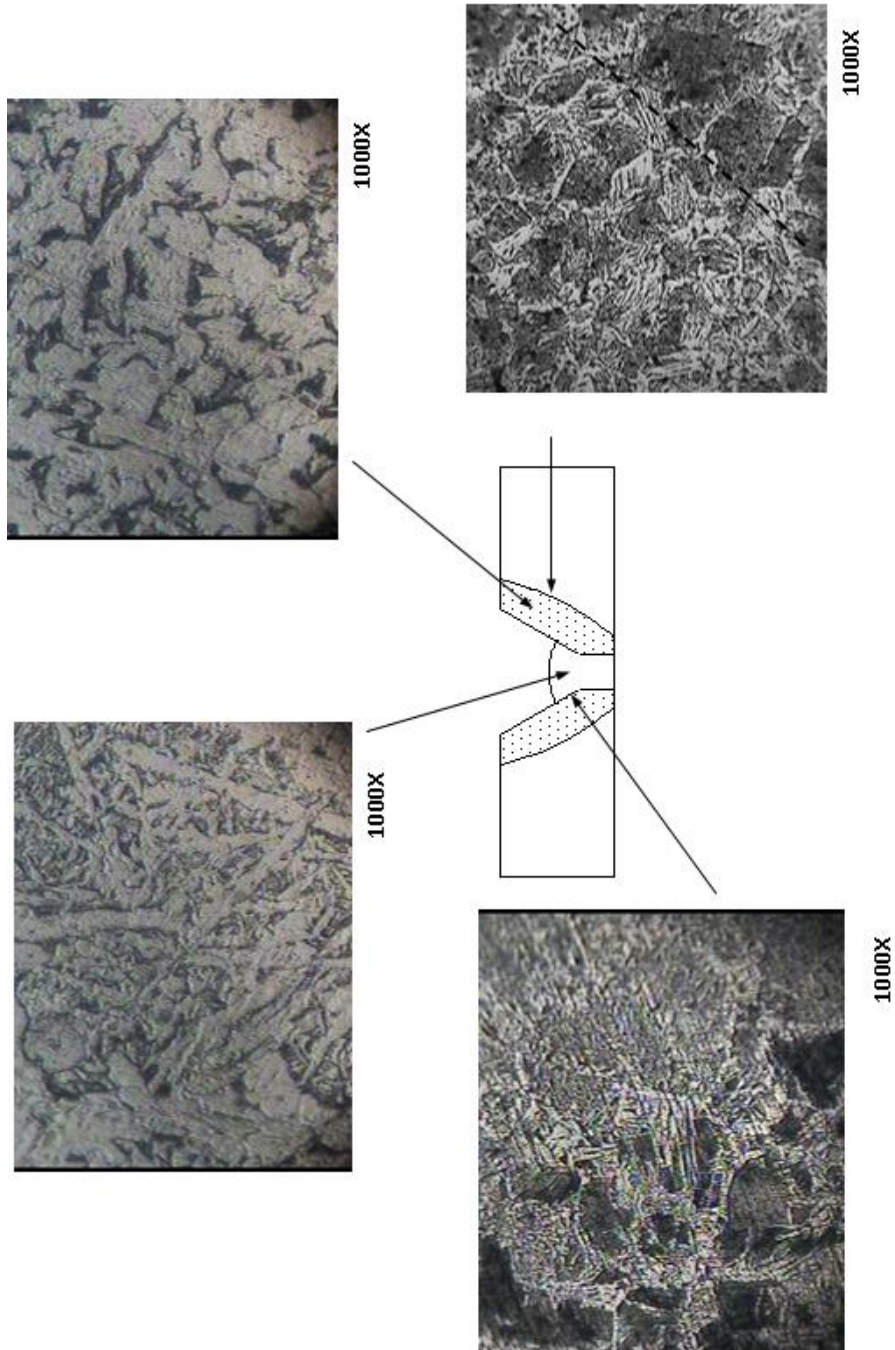


Figura 4.21 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_a (90Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

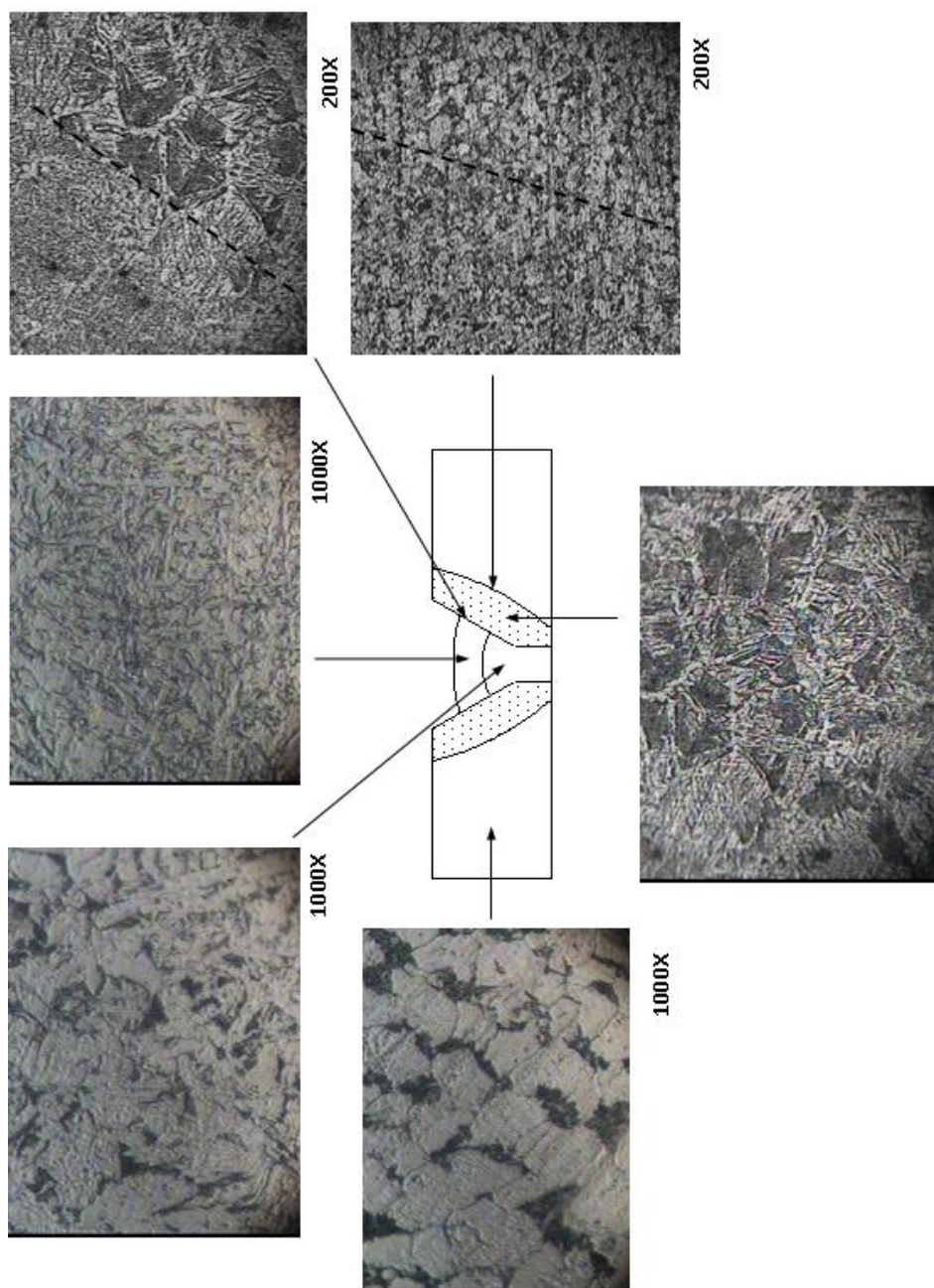


Figura 4.22 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_a (90Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

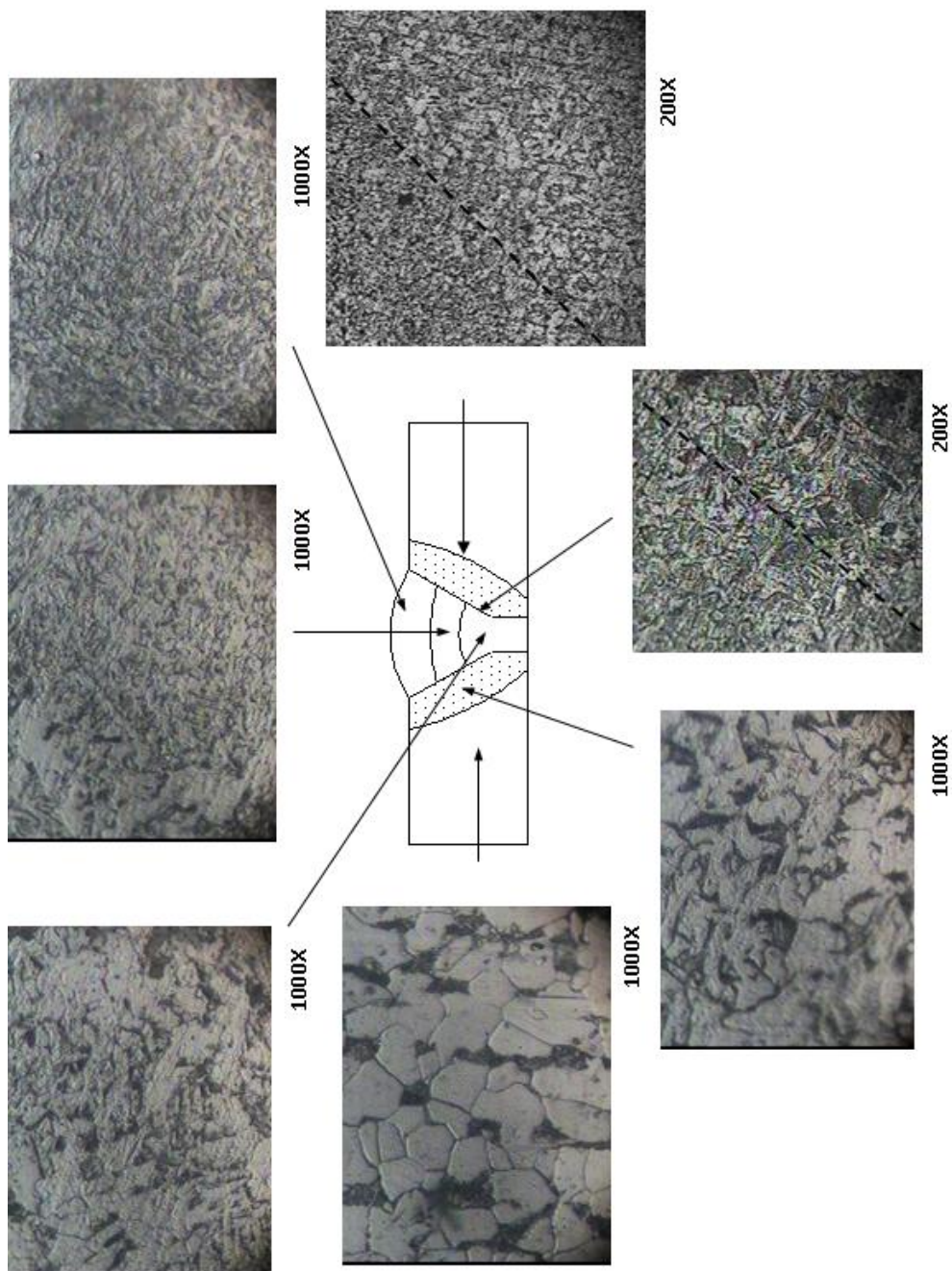


Figura 4.23 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero AISI 1020 con la intensidad de corriente I_a (90Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

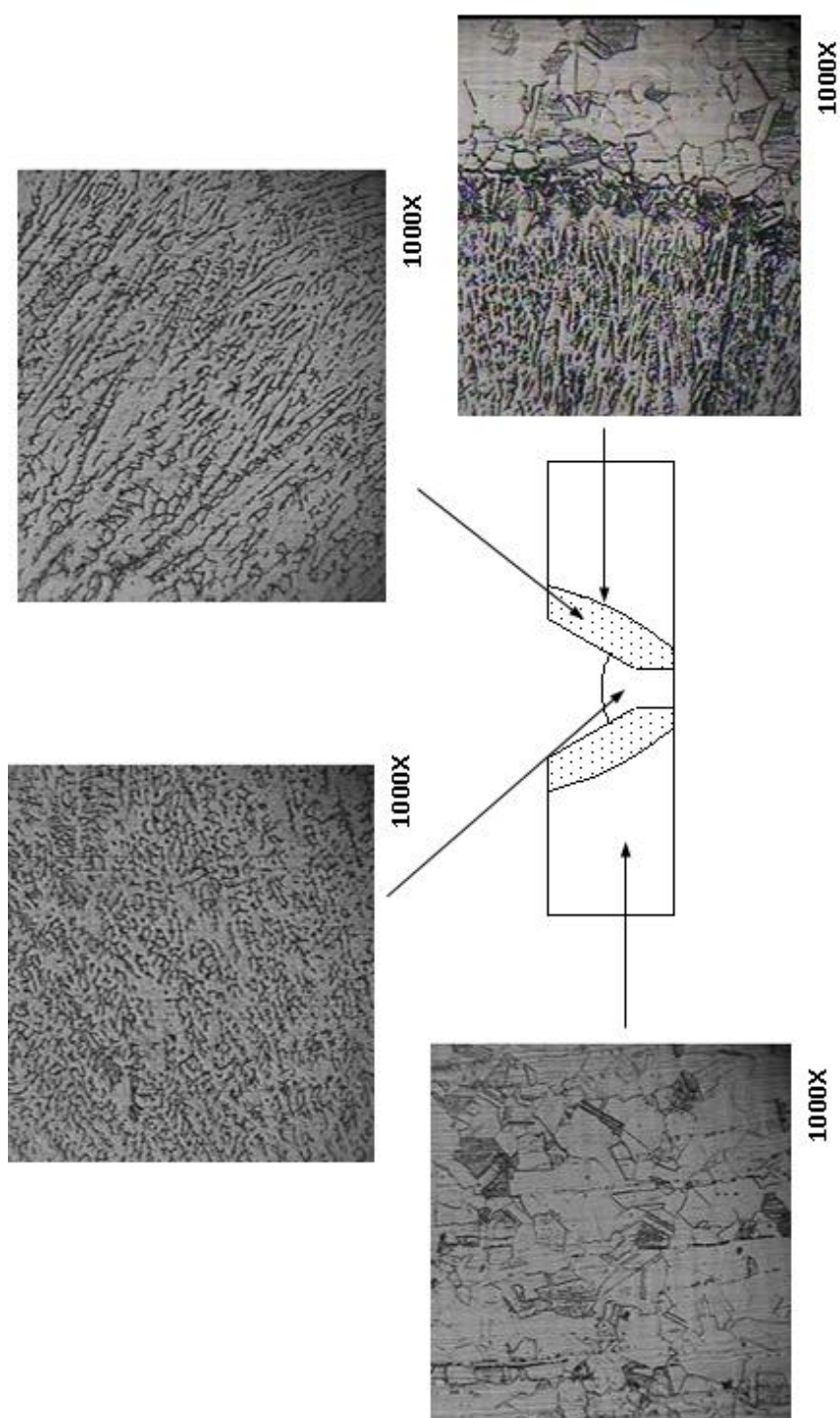


Figura 4.24 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

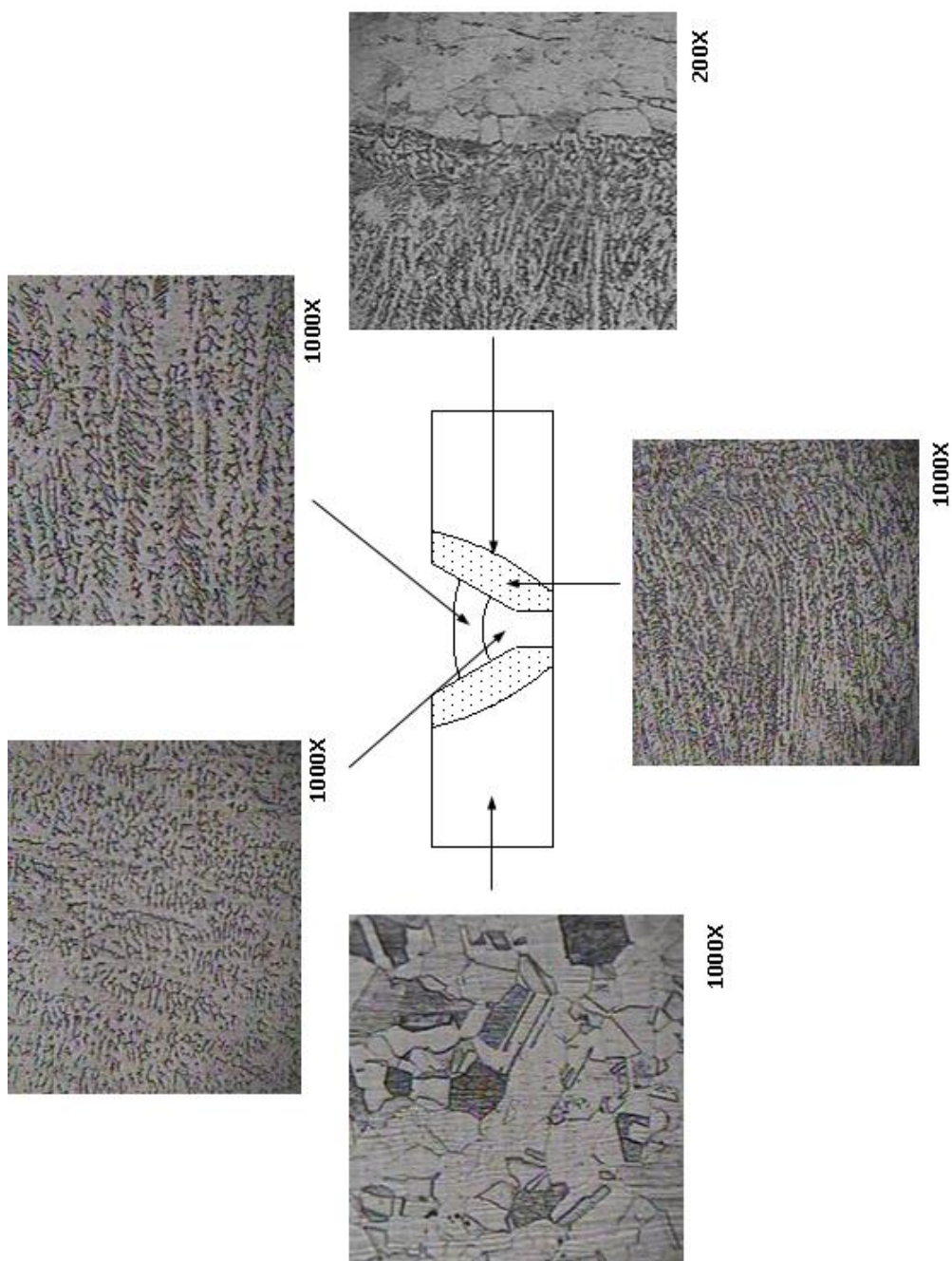


Figura 4.25 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60 Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

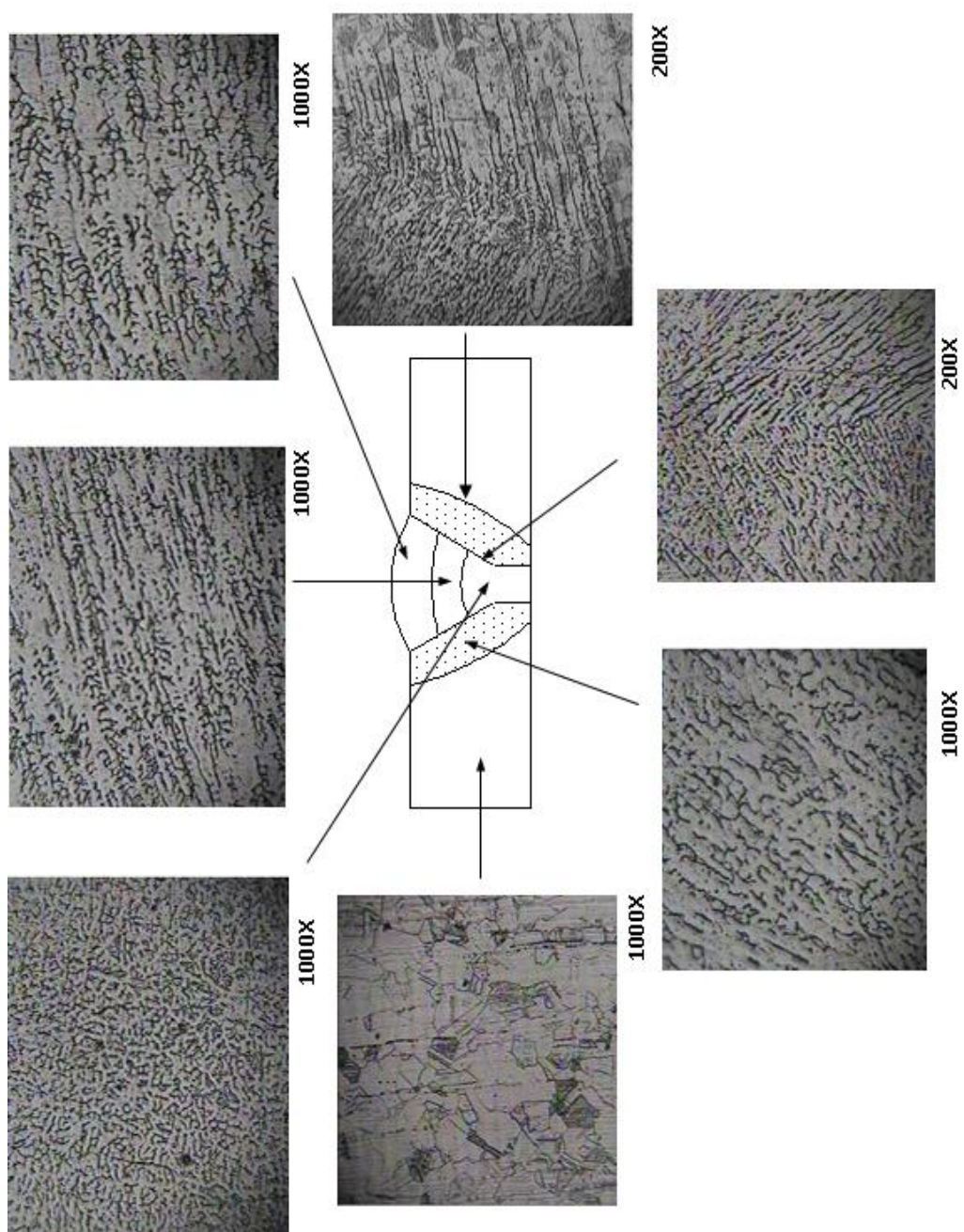


Figura 4.26 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (60Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

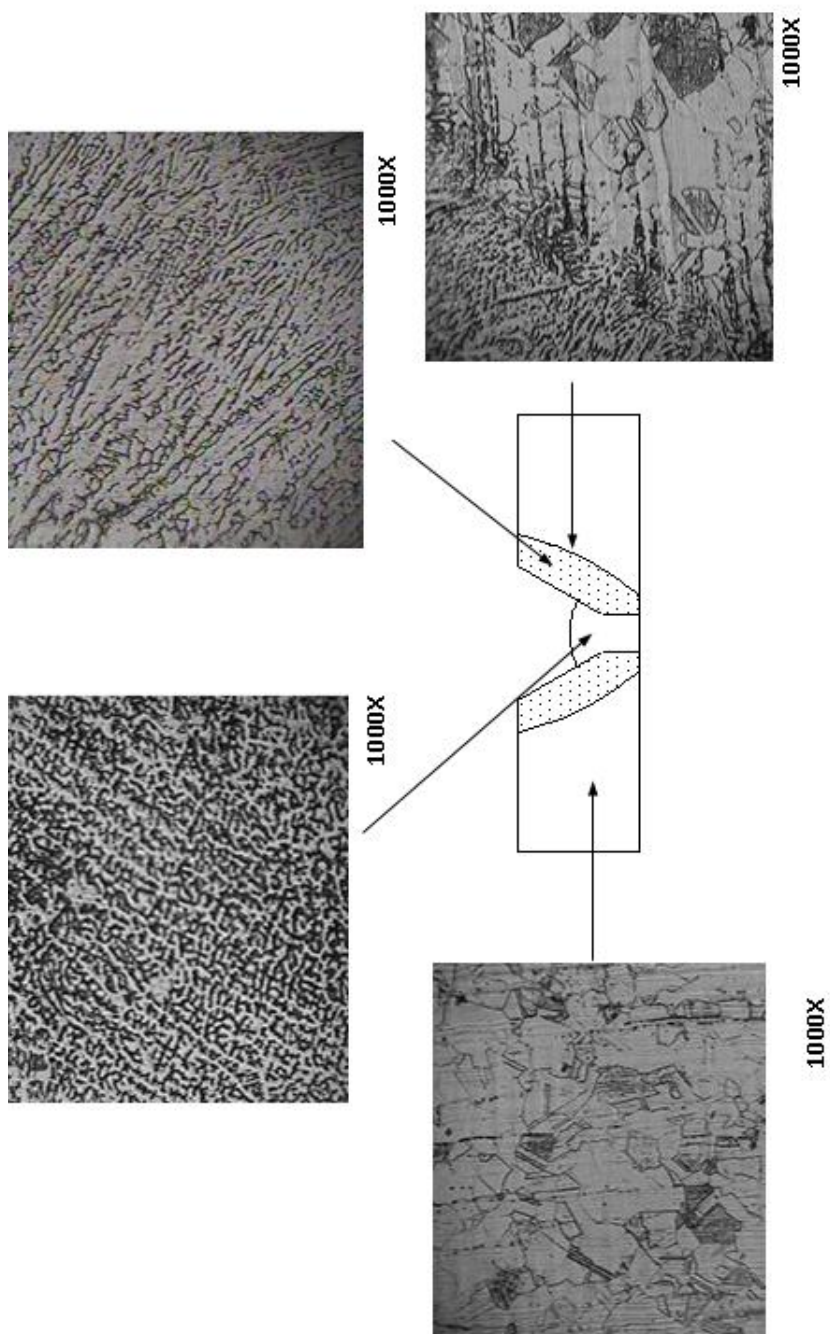


Figura 4.27 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

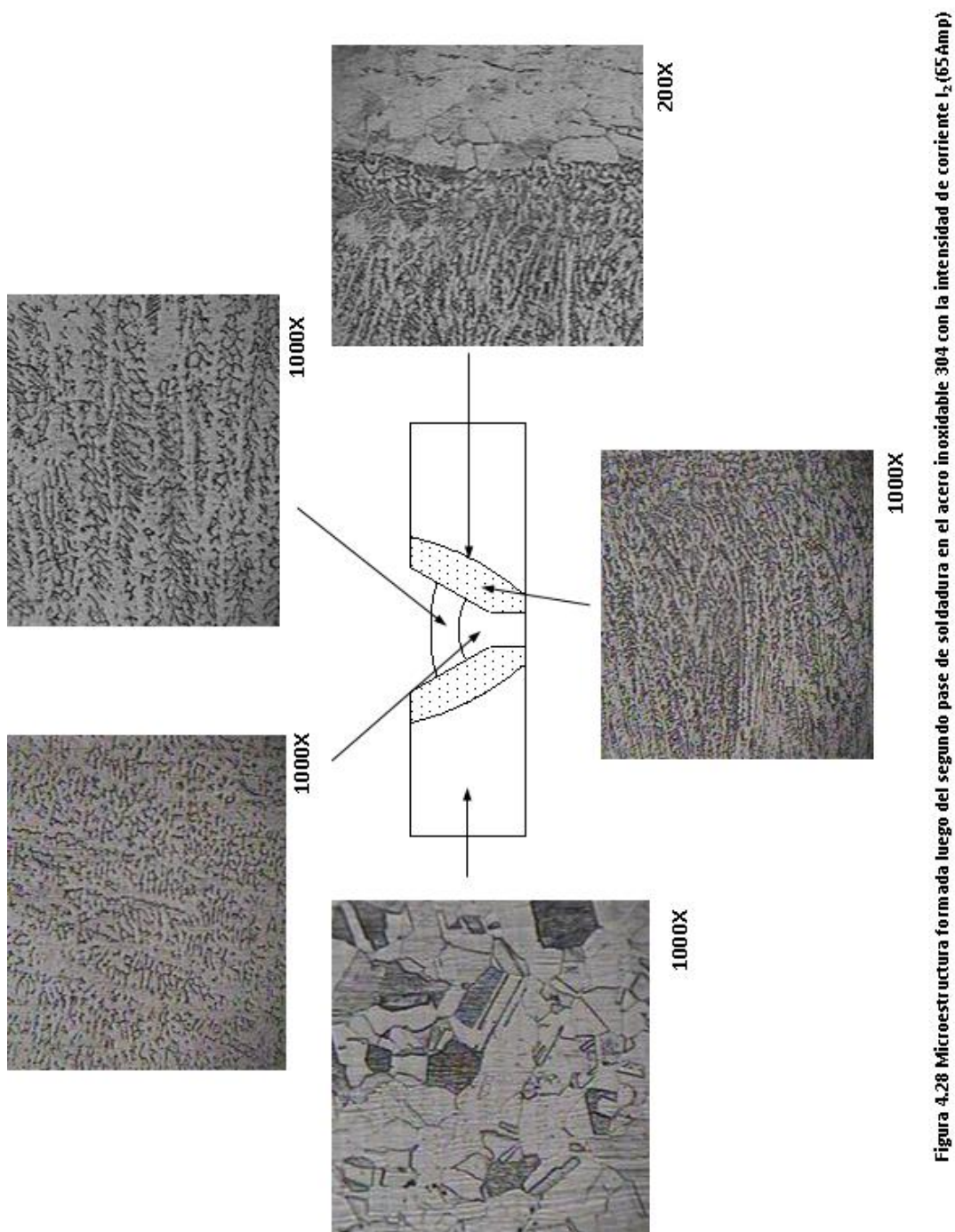


Figura 4.28 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

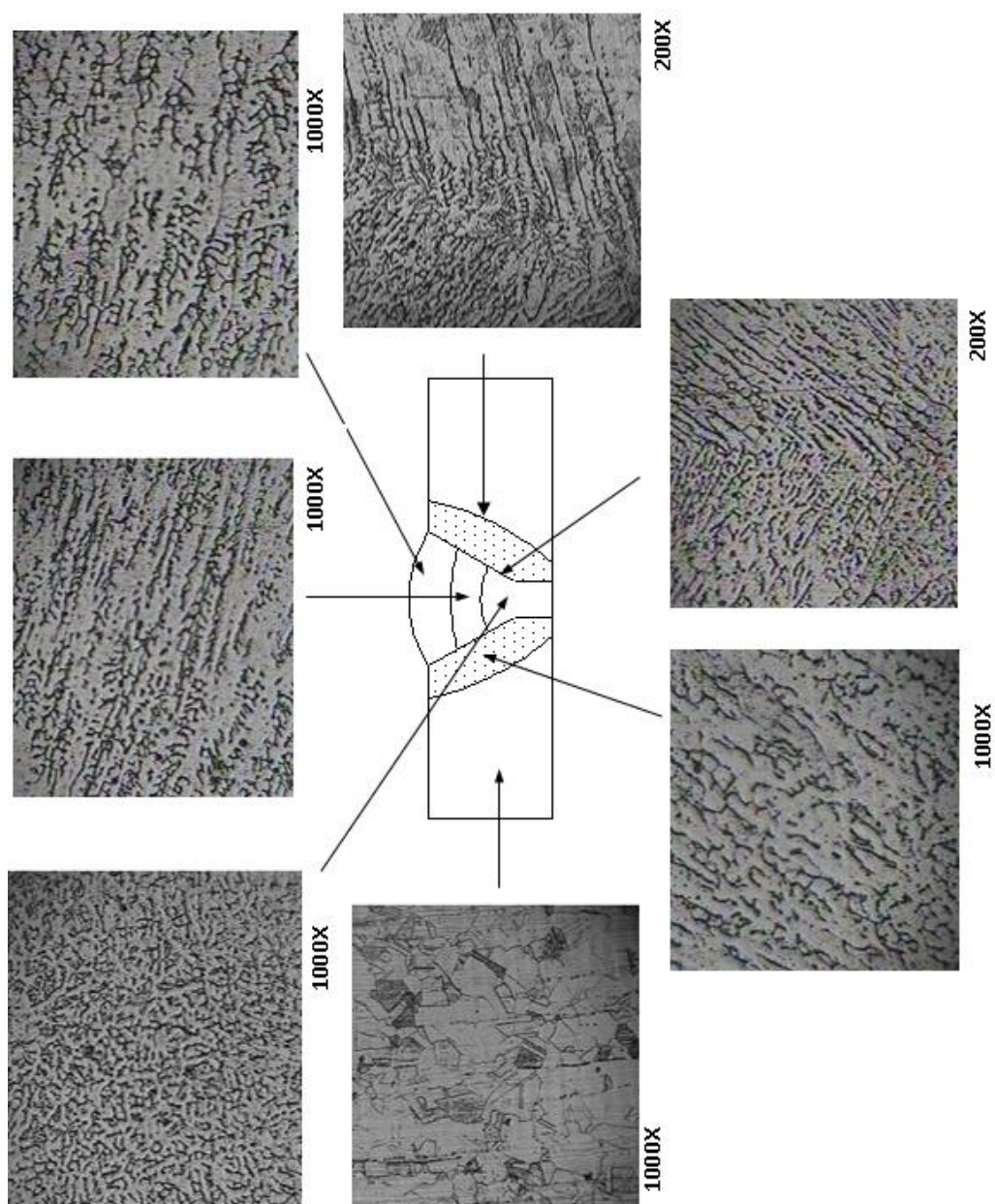


Figura 4.29 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_2 (65Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

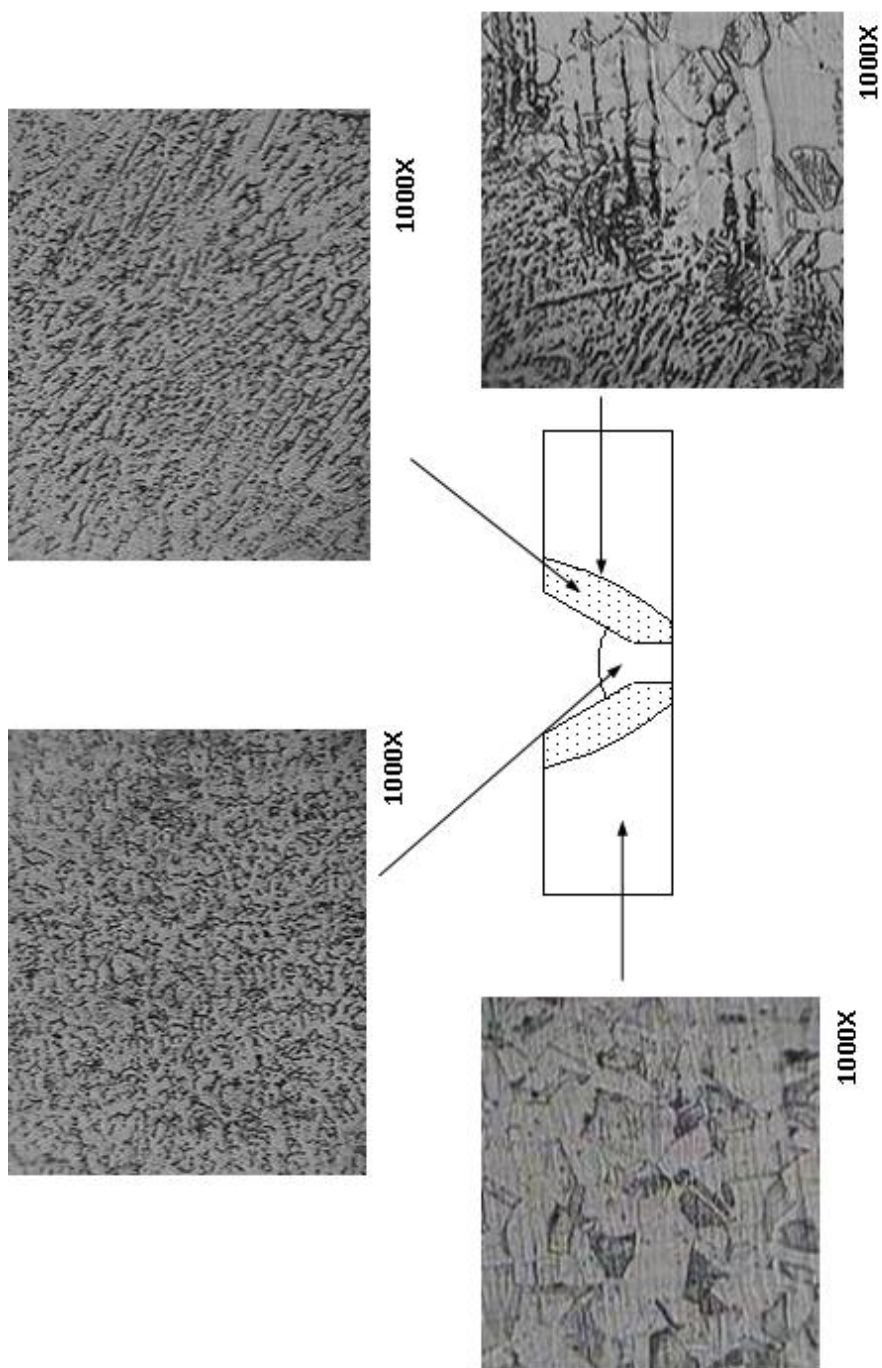


Figura 4.30 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

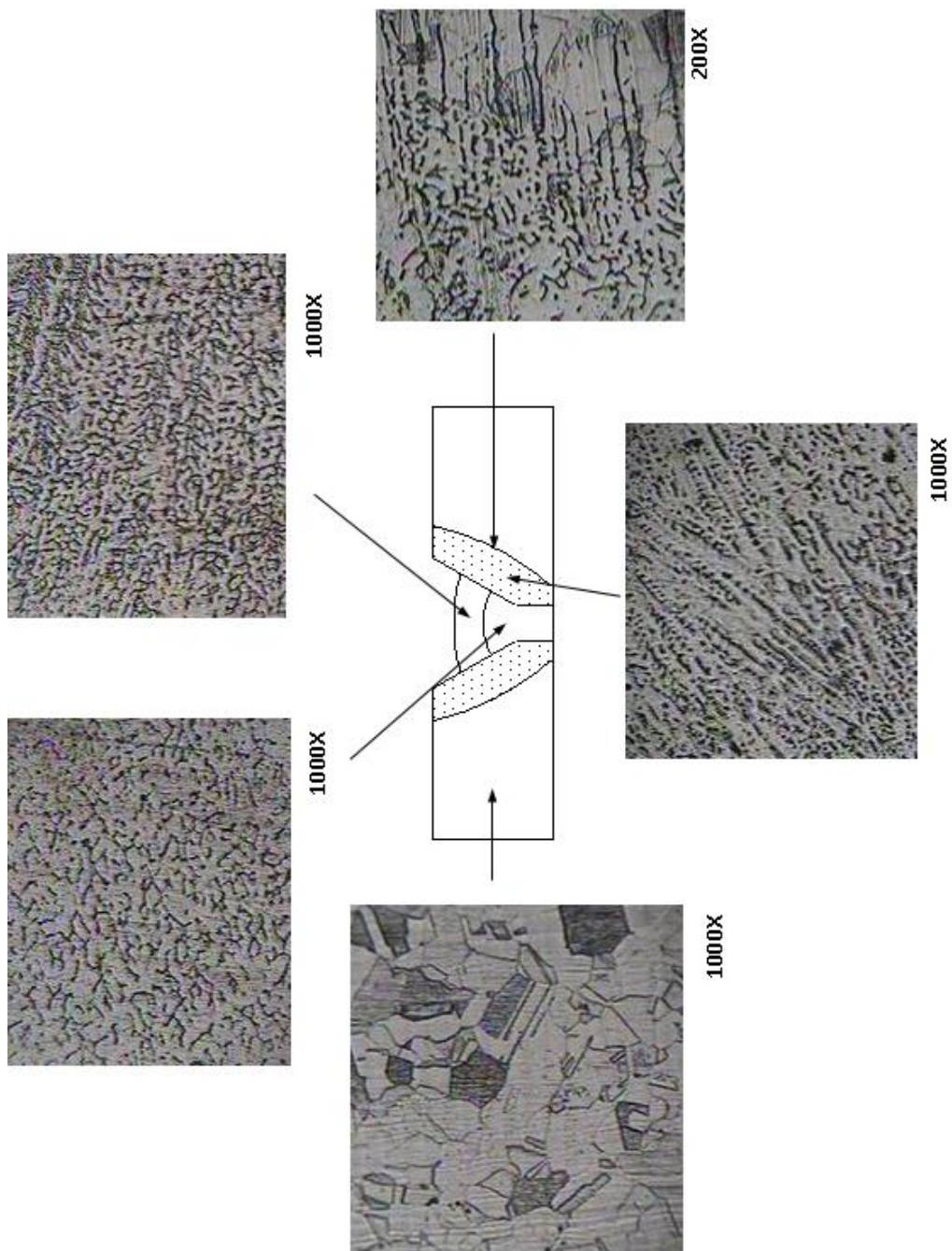


Figura 4.31 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70 Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

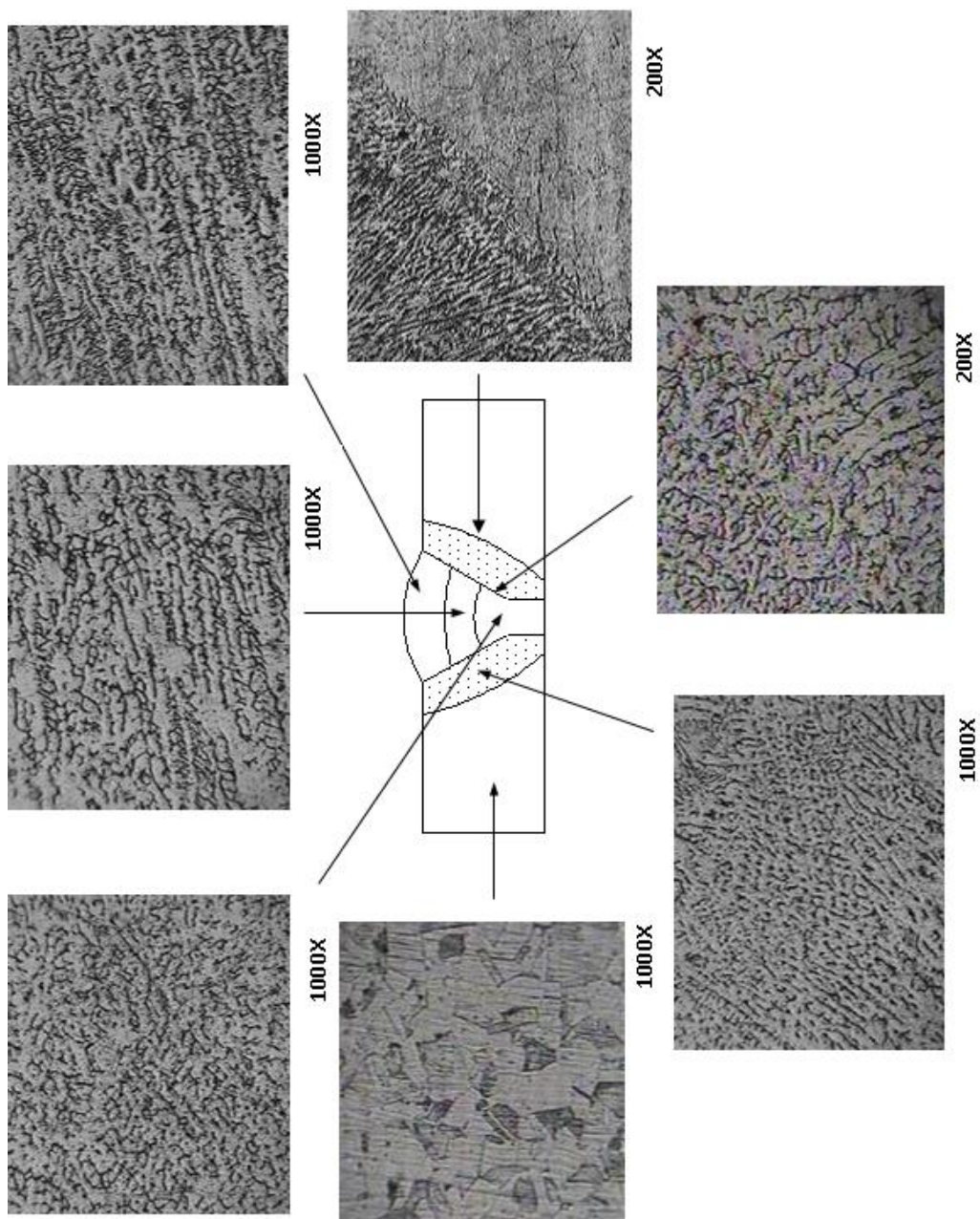


Figura 4.32 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_3 (70Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

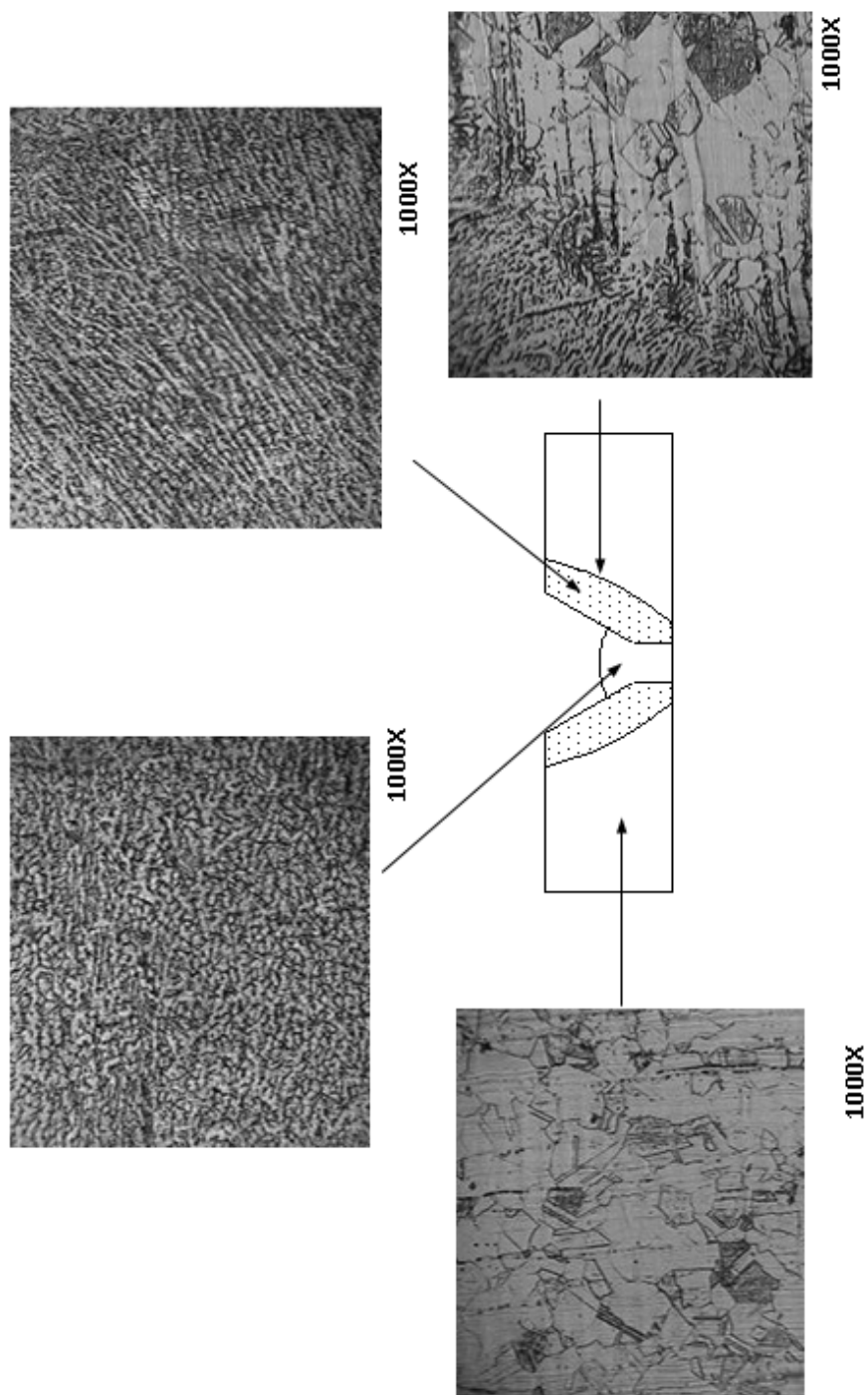


Figura 4.33 Microestructura formada luego del primer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_a (75Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

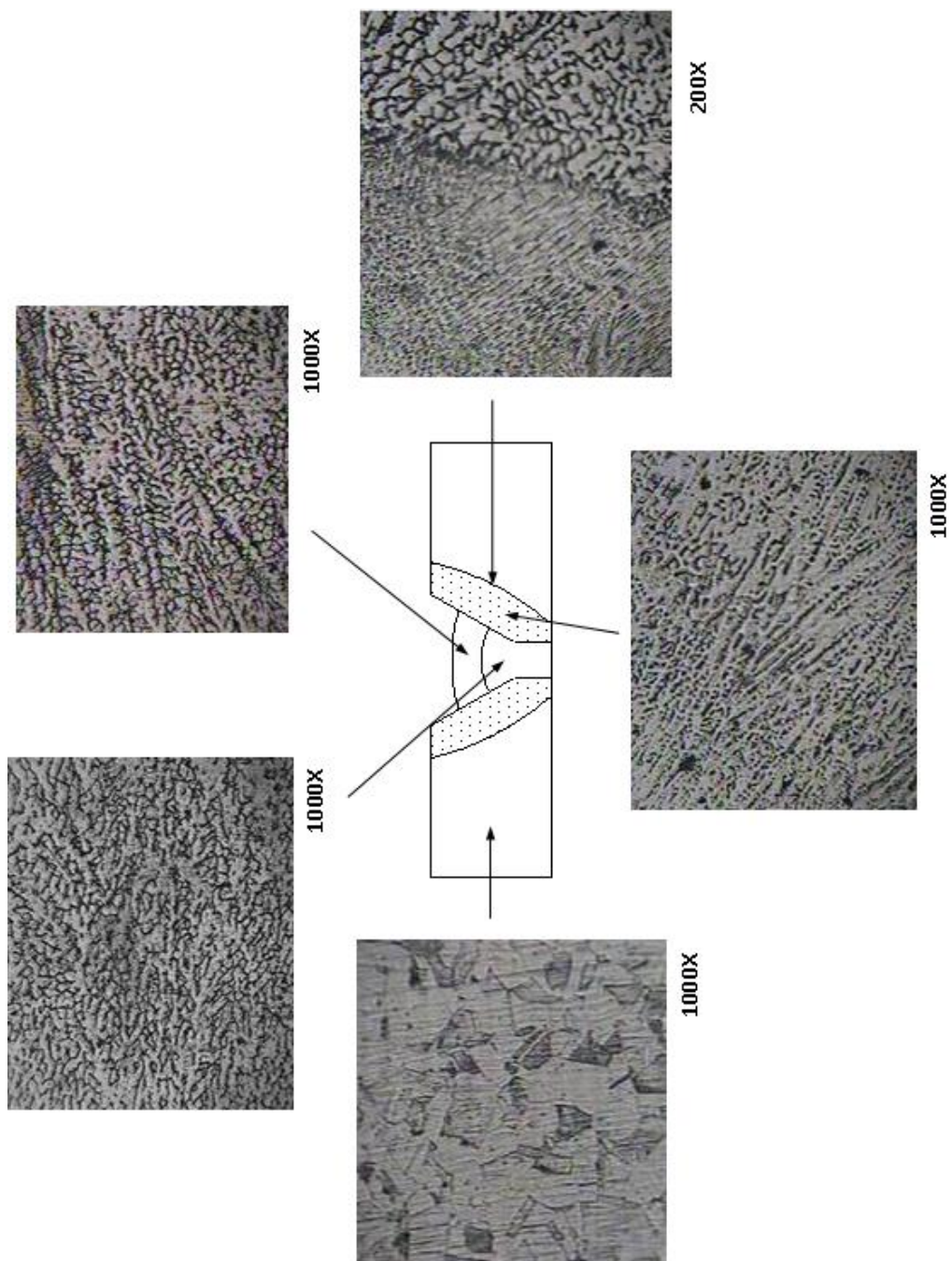


Figura 4.34 Microestructura formada luego del segundo pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_4 (75 Amp)

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

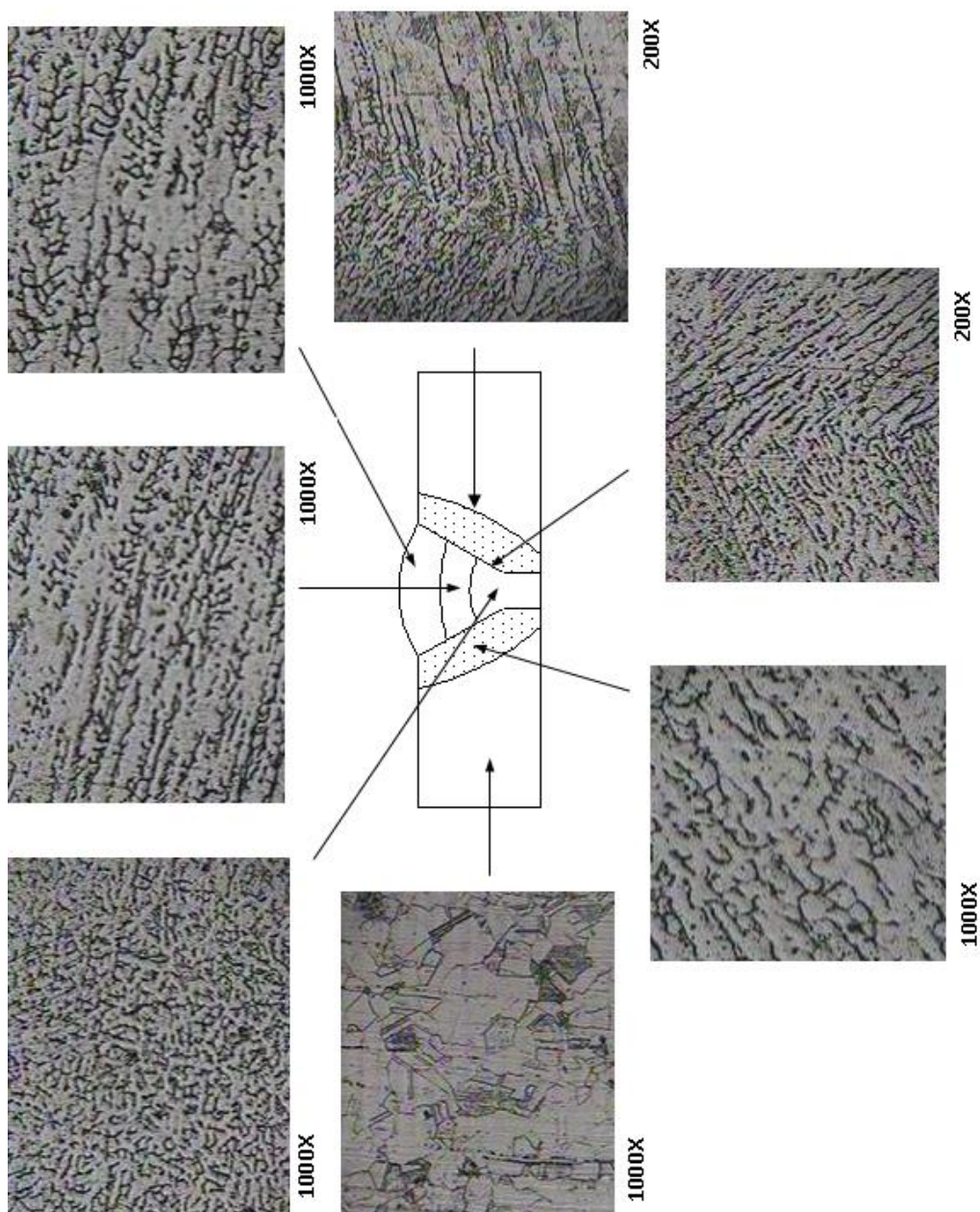


Figura 4.35 Microestructura formada luego del tercer pase de soldadura en el acero inoxidable 304 con la intensidad de corriente I_1 (75Amp)



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MICROESTRUCTURA.

4.3.1 Análisis de resultados de microestructura en el Acero AISI 1020.

4.3.1.1 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_1 (60 Amp).

En la muestra de una sola pasada se observa una estructura granular afinada en la zona afectada y estructura de ferrita afinada en el cordón. En la muestra de dos pasadas se observa una estructura mixta de granos grandes y pequeños en la zona afectada con presencia de ferrita acicular cerca del cordón y estructura de Widmanstaetten incompleta en el cordón. En la muestra de tres pases se observó estructura mixta en forma y tamaño de los granos en la zona afectada con presencia de estructura basáltica de ferrita afinada en la zona intermedia del cordón y Widmanstaetten incompleta en la zona superior. Ver figuras 4.12 pág. 50, 4.13 pág.51 y 4.14 pág.52.

4.3.1.2 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_2 (70 Amp).

En la muestra de una pasada se observa una estructura mixta de los granos en la zona afectada y estructura de ferrita afinada en el cordón. En la muestra de dos pasadas, la estructura mixta de la zona afectada se acentúa aun más en tamaño y forma de grano hacia la parte superior cercana al cordón la cual presenta una estructura basáltica de ferrita afinada. En la muestra de tres pasadas ocurre una conformación del grano en la parte inferior de la zona afectada con presencia de granos mixtos en tamaño y forma hacia la parte superior y cercana al cordón la cual posee una estructura basáltica de ferrita afinada en la zona intermedia y Widmanstaetten incompleta en la zona superior. Ver figuras 4.15 pág. 53, 4.16 pág. 54 y 4.17 pág. 55.



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.3.1.3 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_3 (80 Amp).

En la muestra de una pasada se observa un crecimiento notable de los granos mixtos en la zona afectada con presencia de estructura de ferrita afinada en el cordón. En la muestra de dos pasadas se sigue observando la estructura de granos mixtos con presencia de ferrita afinada en la parte superior de la zona afectada y Widmanstaetten incompleta en el cordón, con crecimiento del grano de la zona intermedia hacia la superior. En la muestra de tres pasadas se mantiene la estructura de granos mixtos de la zona afectada y se observa estructura normalizada de ferrita muy fina en la zona inferior del cordón con presencia de Widmanstaetten incompleta hacia la zona superior. Ver figuras 4.18 pág. 56, 4.19 pág. 57 y 4.20 pág. 58.

4.3.1.4 Acero al carbono AISI 1020 sometido a una intensidad de corriente I_4 (90 Amp).

En la muestra de una pasada se observa un incremento considerable del grano de la zona afectada formada por granos mixtos en forma y tamaño con presencia de estructura Widmanstaetten incompleta en el cordón. Para la muestra de dos pasadas y tres pasadas se observa un comportamiento similar. Ver figuras 4.21 pág. 59, 4.22 pág. 60 y 4.23 pág. 61.

En todas las muestras sometidas a intensidades de corrientes distintas se observa el metal base caracterizado por una estructura homogénea de granos de perlita (grano de color oscuro) en una matriz de granos poligonales de ferrita (grano de color claro) así como también, afinidad de los granos del metal base en la zona afectada por el calor debido al calentamiento generado por la soldadura. Además se observa la presencia de ferrita acicular (Widmanstaetten) en todas las muestras en el cordón de la soldadura y en la zona afectada por el calor límite con el cordón, debido al sobrecalentamiento y al ciclo térmico (calentamiento y enfriamiento) generado por el proceso de soldadura y a la presencia de manganeso en la composición del metal base que tiende a favorecer su formación. El



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

aumento en el tamaño de grano en la zona afectada es debido al aumento de la intensidad de corriente que ocasiona un incremento de temperatura.

4.3.2 Análisis de resultados de microestructura en el Acero inoxidable 304.

4.3.2.1 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_1 (60Amp).

En la primera pasada se observa una formación de estructura dendrítica en el cordón y en la zona adyacente al metal base debido al alargamiento de los granos de carbono como consecuencia del efecto térmico de la soldadura. La zona afectada resulta imposible visualizarla debido al cambio brusco que experimenta la estructura austenítica del metal base al realizar la soldadura. En la segunda pasada se mantiene la forma y tamaño del grano de la microestructura dendrítica y en la muestra de tres pasadas se observa una estructura más compacta en la zona inferior del cordón con bordes dendríticos. Ver figuras 4.24 pág. 62, 4.25 pág. 63 y 4.26 pág. 64.

4.3.2.2 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_2 (65Amp).

En la muestra de una pasada se observa la estructura afinada de los granos dendríticos en el centro del cordón con bordes dendríticos y para las muestras de dos y tres pasadas se mantiene la microestructura en forma y tamaño tanto en el centro como en los bordes del cordón. Ver figuras 4.27 pág. 65, 4.28 pág. 66 y 4.29 pág. 67.

4.3.2.3 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_3 (70Amp).

Se observó una estructura similar en el cordón a las obtenidas en las muestras con intensidades de corriente I_1 (60Amp) e I_2 (65Amp), con límites de granos más oscuros manteniéndose el tamaño de grano y con la presencia de dendritas adyacentes al cordón, en las muestras de uno, dos y tres pasadas. Ver figuras 4.30 pág. 68, 4.31 pág. 69 y 4.32 pág. 70.



CAPITULO IV

Resultados y Análisis de Resultados

4.3.2.4 Acero inoxidable 304 sometido a una Intensidad de corriente I_4 (75Amp).

Se observa la continuidad de la estructura dendrítica en las adyacencias del cordón y una estructura de granos con bordes a tendencia circular en el cordón en las muestras de una pasada y en la zona inferior del cordón para las muestras de dos y tres pasadas. Ver figuras 4.33 pág. 71, 4.34 pág. 72 y 4.35 pág. 73.

En todas las muestras sometidas a intensidades de corrientes distintas se observa una estructura homogénea del metal base formada por inserciones de carbono en una matriz de hierro gamma, así como también una estructura de forma ramificada en el cordón y sus adyacencias con la escasa presencia de la zona afectada delimitada por una línea que separa el metal base del cordón. La estructura dendrítica se forma debido a la baja conductividad térmica que posee el metal distorcionando de manera pronunciada la estructura del metal base al aumentar la temperatura, así como también a elementos aleantes que favorecen la formación de carburos de cromo.



Después de realizar el análisis de los resultados obtenidos puede concluirse:

Acero inoxidable 304:

- El acero inoxidable 304 pierde ductilidad al aumentar el número de pasadas de soldadura y pierde dureza al aumentar la intensidad de corriente.
- En el acero inoxidable 304 se hacen evidentes dos zonas de microestructura demarcadas por el metal base y el cordón de soldadura.
- En el cordón disminuye el tamaño de grano bruscamente en la primera pasada de soldadura y se mantiene al aumentar el número de pasadas, además se hace presente la precipitación de carburos de cromo que a su vez influye en la dureza del metal.
- La zona afectada por el calor la constituye una línea que separa el metal base del cordón y en las zonas adyacentes se forma una microestructura dendrítica que se compactan aun más hacia el centro del cordón al aumentar el número de pasadas y la intensidad de corriente.

Acero al carbono AISI 1020:

- El acero al carbono AISI 1020 aumenta su dureza con la primera pasada de soldadura y disminuye posteriormente al aumentar las pasadas y la intensidad de corriente, ganando ductilidad.



- En el acero al carbono AISI 1020 se observaron tres zonas de microestructura demarcadas por el metal base, la zona afectada por el calor y el cordón de soldadura.
- En el cordón se forma estructura frágil de Widmanstaetten (no deseada) y su tamaño de grano aumenta con el número de pasadas.
- En la zona afectada por el calor se genera una estructura mixta de granos pequeños y grandes que se forman gradualmente desde la zona de transición con el metal base y van aumentando hasta mezclarse con granos más grandes en la zona de transición con el cordón de soldadura, dichos granos aumentan de tamaño y varían su forma entre poligonal y acicular al aumentar el número de pasadas y la intensidad de corriente.



- De los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, se sugiere realizar un tratamiento térmico posterior al proceso de soldadura en el caso del acero inoxidable 304 para disminuir los carburos formados durante la soldadura.
- Realizar un tratamiento térmico no solo en la junta a soldar sino en la pieza completa previo a la soldadura en el caso del acero AISI 1020 para así disminuir en la mayor medida posible la formación de la estructura de Widmanstaetten.
- Se recomienda hacer un estudio más detallado sobre la estructura generada en el cordón de soldadura del acero inoxidable 304 para determinar el tipo de carburo de cromo que afecta la dureza del metal.
- Se recomienda a las Instituciones Universitarias amplíen y promuevan estos tipos de estudios para que las Empresas Nacionales y Privadas se beneficien de los resultados y certifique nuestros conocimientos tecnológicos



1. Sydney H. Avner. "Introducción a la Metalurgia Física". Editorial Mc Graw Hill. Edición 1978.
2. ASTM Metals Handbook. Volumen 8. Metallography, structures and Phase Diagrams. 8^{va} Edición 1973.
3. ACERIND C.A. "Manual de soldadura de los aceros inoxidables". 1997
4. Henkel Daniel, Alan Pense. "Structure and Properties of Engineering materials", Editorial Mc Graw Hill, 5th Edition. 1998
5. Di Caprio G. "Los aceros inoxidables". Editorial Grupinox. 1999
6. Lippold John, "Welding metallurgy and weldability of stainless steels". Editorial John Wiley & Sons. 2005

Apéndice A

OUTOKUMPU

CERTIFICATE OF INSPECTION
INSPECTION CERTIFICATE 3.1
SFS-EN 10204 3.1

457751/005 1(01)
 14.05.07

Delivery address: Empfänger: Lieu de livraison VENCRAFT VENEZUELA, C.A. AV.FCO. SOLANO CRUCE CON 3RA AV.LAS DELICIA S,EDF.CENTRO SOLANO,PISO 4,OPC.4-B, CARACAS-VENEZUELA, PHONE: 0212-7621981-84, FAX: 0212-7620930		VENCRAFT VENEZUELA, C.A. AV.FCO. SOLANO CRUCE CON 3RA AV.LAS DELICIA S,EDF.CENTRO SOLANO,PISO 4,OPC.4-B, CARACAS-VENEZUELA, PHONE: 0212-7621981-84, FAX: 0212-7620930																												
Requirements: Anforderungen: Exigences ASTM A240/A240M -07 ASME 2004 SEC. II PART A SA-240 A05		Our Order No. Unser Auftrag Nr. Notre commande n° 14497	Your order / Die Bestellung / Votre commande 45411/VENCRAFT																											
Product: Erzeugnisform: Produit SHEET, STAINLESS STEEL		Mark of Manufacturer: Zeichen des Lieferwerkes Marque du fabricant OUTOKUMPU	Process: Fertigungsverfahren Mode de fabrication AOD																											
Grade: Werkstoff: Nuance TYPE 304		Tolerances: Toleranzen: Tolérances 																												
Marking: Kennzeichnung: Marquage A/SA- 304 1		Marks: Versandzeichen: Marques VENCRAFT/45411 PTO. CABELLO/VENEZUELA																												
Line: Reihe: Ligne	Item: Position: Poste	Charge-test No. Schmelz-Probé Nr. Coulée n°	Size: Abmessungen: Dimensions	Quantity: Stückzahl: Nombre	Weight: Gewicht: Poids	Finish: Ausführung: Fin																								
1	13	61490 7	6,0MM X 4' X 8'	31	5794 KG	1																								
Charge no. Schmelz-Probé Nr. Coulée n°		Chemical composition: Chemische Zusammensetzung: Composition chimique <table border="1"> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> <tr> <td>0,027</td> <td>0,36</td> <td>1,60</td> <td>0,035</td> <td>0,004</td> <td>18,2</td> <td>8,2</td> <td>0,050</td> </tr> </table>					C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	%	%	%	%	%	%	%	%	0,027	0,36	1,60	0,035	0,004	18,2	8,2	0,050
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N																							
%	%	%	%	%	%	%	%																							
0,027	0,36	1,60	0,035	0,004	18,2	8,2	0,050																							
Line: Reihe: Ligne		Mechanical properties: Mechanische Eigenschaften: Caractéristiques mécaniques <table border="1"> <tr> <th>Location: Ort: Lieu</th> <th>RP0.2 N/mm²</th> <th>RP1.0 N/mm²</th> <th>RM N/mm²</th> <th>A5 %</th> <th>A50 %</th> <th>Hardness Härte: Dureté HB30</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>E 299 A 331</td> <td>352 381</td> <td>610 619</td> <td>51 51</td> <td>53 52</td> <td>170 179</td> </tr> </table>				Location: Ort: Lieu	RP0.2 N/mm²	RP1.0 N/mm²	RM N/mm²	A5 %	A50 %	Hardness Härte: Dureté HB30	1	E 299 A 331	352 381	610 619	51 51	53 52	170 179	TENSILE TEST IN ACC TO EN 10002-1 AT ROOM TEMP. IN DELIVERY CONDITION RP0.2 PROOF STRENGTH RP1.0 PROOF STRENGTH RM TENSILE STRENGTH A50 ELONGATION GL 50 MM A5 ELONGAT. GL PROPORT. SAMPLES PERPENDICULAR TO THE ROLLING DIRECTION										
Location: Ort: Lieu	RP0.2 N/mm²	RP1.0 N/mm²	RM N/mm²	A5 %	A50 %	Hardness Härte: Dureté HB30																								
1	E 299 A 331	352 381	610 619	51 51	53 52	170 179																								
Identity test: Verwechslungsprüfung: Contrôle d'identification Size: Abmessungen: Dimensions Surface: Oberfläche: Surface Test of intergran. corros. Prüfung auf interkrist. Korros. Test de corros. intercost.		ASTM A262-02A E3 PRACTICE E : OK					We certify that the above information complies with the terms of the pipe contract. Wir bestätigen dass die Lieferung den Vereinb. Bedingungen entspricht. Nous certifions que les données ci-dessus sont conformes aux conditions du contrat. This test certificate is made by computerized data system and is valid without signature. Dieses Zeugnis wird von einem elektronischen Datenverarbeitungssystem erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Ce certificat a été établi par un système informatique contrôlé et est valide sans signature.																							
Outokumpu Stainless Oy						Authorized Signature: Authorisé: RIIKARJANTO TORMA																								

Apéndice B



GRINOX 3

NORMA

AWS/ ASME:

SFA- 5.4

POSICIONES:

Todas, excepto vertical descendente.

CORRIENTE:

Continua Polo Positivo (+).

CLASIFICACIÓN

E 308-15

DESCRIPCION:

Electrodo de revestimiento básico, que presenta arco estable de fácil encendido y reencendido, con escasa salpicadura y mayor poder de penetración que su equivalente rutilico. Sus depósitos presentan buena apariencia, escoria fácil de remover y resistencia a la corrosión en general.

APLICACIONES:

Indicado para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos no estabilizados laminados o forjados de los tipos AISI: 301,302,302B,304,305,308 y de los aceros fundidos de composición similar tales como ASTM: A351 Gr. CF8,CF8A,CF8C; A297 Gr.HF. Soldadura de los aceros inoxidable austeníticos al Cr-Mn-Ni tipos AISI: 201,202,205 y ASTM: A240 tipo XM17.

Soldadura de tuberías y accesorios en las siguientes presentaciones ASTM: A182 Gr. F304, F304H; A240 Gr.302, 304, 304H; A249 Gr.TP201, TP202, TP304, TP305; A268 Gr. TP405, TP409, TP410; A358 Gr. 304; A376 Gr.TP304, TP304H; A403 Gr. WP304, WP304H; A409 Gr. TP304; A430 Gr. FP304, FP304H; A451 Gr. CPF8, CPF8C y similares. Unión de aceros inoxidable AISI 430 entre sí o con otros aceros inoxidable AISI 3XX. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde -269°C hasta 300°C.

OPERACION:

Prepare cuidadosamente la zona de la soldadura, mantenga el arco corto con avance constante y suave, evitando la oscilación excesiva del electrodo. En posición vertical llevar la progresión ascendente con electrodos de diámetro menor o igual a 3,25 mm, para posiciones plana y horizontal pueden usarse diámetros mayores. Se recomienda soldar con el mínimo amperaje posible, eliminar completamente la escoria entre. En caso de que los electrodos hayan estado expuestos excesivamente a la intemperie deben resacarse a 200°C durante 2 horas.

Composición química: C: 0.04% Mn: 1.00% Si: 0.40% Cr: 19.0% Ni: 10.0%

Resistencia a la tracción: 650 N/mm² (93.8 Ksi).

Alargamiento (L= 5d): 35%

Resistencia al impacto: 80 N.m a +20°C.

φ (mm)	φ (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (Amp)	Peso/ Paq (Kg)	Peso/Caja (Kg)
2.50	3/32	250	50 – 70	3.5	28
3.25	1/8	350	70 – 100	5	30



GRICON 15

NORMA

CLASIFICACIÓN

AWS/ ASME:	SFA– 5.1	E 7018
COVENIN:	No. 1477– 2001	E 48218
POSICIONES:	Todas,excepto vertical descendente.	
CORRIENTE:	Alterna o Continua Polo Positivo (+)	

DESCRIPCION:

Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual queda demostrado al realizar el análisis radiográfico. Presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.

APLICACIONES:

Soldadura de los aceros de bajo y medio carbono hasta 0.45%C, aceros al carbono-manganeso, aceros de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 70000 Psi, aceros con alto contenido de azufre y fósforo considerados difíciles de soldar. Soldadura de aceros fundidos, aceros de grano fino. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde – 29°C hasta 350°C.

Las aplicaciones específicas incluyen plantas de potencia, plantas petroquímicas, montajes de estructuras de acero, equipos de minería, soldadura en ambientes de baja temperatura donde las propiedades de impacto sean importantes, construcción de vagones de trenes, rieles, equipos pesados. Construcciones navales en aceros de los grados A, B, D, y E, erección de plataformas costa afuera, construcción de calderas, tanques, gasoductos y oleoductos.

OPERACION:

Suelde con arco corto, limpie bien la escoria entre pases. Para soldaduras en vertical llevar la progresión ascendente. Se recomienda almacenar los electrodos en termos a temperaturas entre 70 y 120°C para uso inmediato.

Composición química: C: 0.08% Máx. Mn: (1.0 – 1.4)% Si: (0.3– 0.6)%

Resistencia a la tracción: (510 – 560)N/mm² (73.9– 81.0 Ksi)

Alargamiento: (L = 5d) : 30%

Resistencia al impacto: 80 N.m a – 29° C

ϕ (mm)	ϕ (pulg)	Longitud (mm)
2.50	3/32	350
3.25	1/8	350
4.00	5/32	450
5.00	3/16	450
6.00	1/4	450



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



SINOPSIS DEL PROYECTO DE GRADO

TITULO DEL TRABAJO:

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS PASADAS SUCESIVAS SOBRE LA MICRODUREZA Y LA MICROESTRUCTURA EN JUNTAS SOLDADAS DE ACERO INOXIDABLE 304 Y ACERO AL CARBONO AISI 1020

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: 17/07/2007

FECHA DE EXPOSICION FINAL: 10/04/2008

FECHA DE ENTREGA DE EJEMPLARES DEFINITIVOS: 10/04/2008

SINOPSIS

En la presente investigación se estudió la influencia del número de pasadas de soldadura sobre la microestructura y microdureza en el acero al carbono AISI 1020 y acero inoxidable 304. Para ello se seleccionaron láminas de 6mm de espesor de ambos aceros, fueron biseladas en “V” y posteriormente unidas mediante soldadura manual de arco eléctrico empleando electrodos recomendados por la AWS (electrodo E308 para el acero inoxidable 304 y electrodo E7018 para el acero AISI 1020) y empleando cuatro (4) intensidades de corriente para cada acero (60, 70, 80, 90Amp para el acero al carbono AISI 1020 y 60, 65, 70, 75Amp para el acero inoxidable 304). Se tomaron muestras de uniones soldadas con una (1) pasada, dos (2) pasadas y tres (3) pasadas. Los parámetros de soldadura establecidos fueron los siguientes: tres (3) pasadas sucesivas de soldadura manteniendo la intensidad de corriente, voltaje, velocidad de avance y diámetro del electrodo constante para cada unión soldada; para un total de 24 muestras. El ensayo de

microdureza reveló que la microdureza presenta una tendencia al aumento a lo largo de la zona afectada por el calor con el número de pasadas para el acero inoxidable 304 mientras que aumenta sólo en la primera pasada para luego disminuir notablemente en el caso del acero AISI 1020. En cuanto a la microestructura el acero inoxidable mantiene una estructura homogénea a lo largo del metal y otra dendrítica en la zona fundida mientras que el acero al carbono AISI 1020 se produce un afino de los granos y varia su tamaño hasta formarse estructura de Widmanstaetten en el cordón.

CEDULA DE IDENTIDAD	NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES	FIRMA
15.398.531	Carlos Salinas	_____
15.745.064	Joel Vargas	_____
PROFESOR GUIA: Ing. Oswaldo Urbano		_____
JURADO: Ing. Donato Romanello		_____
JURADO: Ing. Luis Sidorovas		_____