



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Análisis del comportamiento mecánico y microestructural
en juntas soldadas por medio del proceso G.M.A.W en
aceros disimiles**

**Guillermo Rodríguez
Jordany Gómez.**

Naguanagua, 06 de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Análisis del comportamiento mecánico y microestructural en juntas soldadas por medio del proceso G.M.A.W en aceros disimiles

Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor académico:
Prof. Ing. Carmelo Torres.

Autores:
Guillermo Rodríguez
Jordany Gómez

Naguanagua, 06 de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar el trabajo de grado titulado “*Análisis del comportamiento mecánico y microestructural en juntas soldada por medio del proceso G.M.A.W en aceros disimiles*”, presentada por los bachilleres: **Guillermo Rodríguez, Jordany Gómez**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **18.254.974, 17.824.282**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Ing. Carmelo Torres
Presidente del jurado

Prof. Ing. Oswaldo Urbano
Jurado

Prof. Ing. Donato Romanello
Jurado

En Naguanagua a los 06 días del mes de Mayo de 2011

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me dieron la vida y me formaron. A los que con su esfuerzo, dedicación y con todas las dificultades que se presentaron en este largo camino, me enseñaron a ser una persona honesta, luchadora y trabajadora. A ellos dedico este trabajo y todos los logros que vendrán en el futuro.

Guillermo Rodríguez

DEDICATORIA

A Irina (mi mamá) por saber cuándo decir, “sigue adelante” y haberme apoyado en los momentos malos y en los momentos buenos, a ti, te dedico todos los éxitos de este trabajo.

A mi padre (Arcadio), por siempre haber dicho “hay que estudiar”, espero que desde el cielo estés muy orgulloso de mí.

A mi abuela, abuelo y tías por haber estado pendiente en el desarrollo de mi carrera.

Aquellas personas que de forma directa e indirecta me ayudaron a finalizar los diversos objetivos de este trabajo.

Jordany Gómez

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios Todopoderoso, que diariamente con sus bendiciones me ilumina el camino que conduce al éxito por un sendero de sabiduría y paz.

A mi familia, quienes con su ayuda incondicional, persistencia y preocupación contribuyeron a que alcanzara una nueva meta de superación en mi vida.

A Lourdes, quien con su amor y cariño me brindaba calma y paciencia en los momentos adversos a lo largo de mi carrera. Igualmente a mis compañeros y amigos, los cuales siempre estuvieron pendientes de apoyarme con su amistad y conocimientos para lograr el mismo objetivo que todos tenemos en común, ser Ingenieros.

A todos los docentes que a lo largo de nuestra estadía por esta casa de estudio, dedicaron su tiempo a convertirnos en profesionales, mediante sus lecciones y enseñanzas.

A todos... Gracias.

Guillermo Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Primeramente a DIOS por haberme dado vida y salud, durante todos estos años de estudio. A dios le agradezco por darme a Irina como madre.

A mi mamá por haber ayudado durante toda mi carrera, sin importar los diferentes tropiezos que se presentaron, siempre estuvo incondicional, gracias Irina.

A mis hermanos, en especial Jonathan por ayudarme en aquellos momentos donde solo él sabe que lo necesite.

A todos los compañeros que aportaron mucho apoyo, durante esta carrera. A los técnicos de los laboratorios de la universidad, gracias por su ayuda en el desarrollo de este trabajo de grado.

Jordany Gómez

INTRODUCCIÓN

La estructura del presente trabajo de investigación, está destinada al estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales en juntas soldadas de acero estructural A36 y acero naval A131, mediante el proceso de soldadura GMAW por arco pulsado. En el capítulo 1, se plantea y se formula el problema y los objetivos de la investigación, los cuales están enfocados en la determinación del comportamiento mecánico y microestructural de las juntas estudiadas. Como objetivos específicos se tienen, el caracterizar los metales base y de aporte en su estado inicial, determinar los parámetros a emplear en el proceso de soldadura, caracterizar las juntas soldadas para luego determinar sus propiedades y finalmente realizar un análisis comparativo de estas para obtener los parámetros óptimos bajo los cuales se deben soldar estos aceros. El espesor de ambos aceros fue constante de 5.15mm. Respecto a los parámetros de soldadura, se emplearon tres niveles distintos de amperaje y voltaje para cada par de aceros soldados.

En el capítulo 2 se presentan las bases teóricas y prácticas relacionadas con el trabajo de investigación. En el capítulo 3 se describe la metodología realizada con el fin de lograr los objetivos propuestos. En el capítulo 4 se tienen los resultados obtenidos luego de la realización de la soldadura y los ensayos de tracción, doblado, microdureza Vickers, macroscopía y microscopía óptica con el fin de determinar el comportamiento de las juntas soldadas y obtener los parámetros mas apropiados para este tipo de uniones. Finalmente en el capítulo 5 se muestran las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo está orientado a la determinación del comportamiento mecánico y microestructural de aceros disímiles soldados mediante el proceso GMAW por arco pulsado, en el cual se emplearon dos tipos de aceros (ASTM A36 y ASTM A131) y se realizaron uniones soldadas de aceros del mismo material y aceros disímiles. Para llevar a cabo la investigación, se soldaron a tope las láminas de 5,15 mm de espesor, con un biselado de 30° y un talón de 2mm. Se establecieron como parámetros de trabajo para la soldadura, tres niveles de amperaje y voltaje distintos: un primer parámetro 90 Amperios y 20 Voltios, segundo parámetro 93 Amperios y 22 Voltios, y tercer parámetro 110 Amperios y 24 Voltios. Estos parámetros se determinaron mediante la inspección visual de cordones de prueba realizados previamente al estudio. Posterior a esto, se efectuó la preparación y corte de las probetas, siguiendo el método establecido en la norma ASME sección IX QW – 463.1. Para la evaluación de las propiedades mecánicas de estas probetas, se realizaron ensayos de tracción según la norma ASME sección 9 QW – 462.1, ensayos de doblado según la norma ASME sección 9 QW – 462.3, ensayos de Microdureza según la norma ASTM E-92. Otra evaluación en la soldadura y material base, fue a través del estudio metalográfico que se realizó según la norma ASTM E384-99, bajo los ensayos de macroscopía, microscopía óptica y análisis químico por medio de un ensayo de espectroscopia por chispa. Una vez concluidos los ensayos se determinó que los aceros disímiles presentan un mejor comportamiento al soldarlos con 90 Amperios y 20 Voltios, ya que el cordón de soldadura no mostró defectos visuales frente al ensayo de doblado, la dureza en la zona de fusión fue de 226.6 HV, y una

resistencia máxima a la tracción de 390.37 MPa, además de una microestructura widmanstatten en la zona del cordón. Al unir aceros de la misma clasificación, tanto en combinaciones de A36-A36 como A131-A131, se obtiene una buena microestructura y propiedades mecánicas al soldar con 93 Amperios y 22 Voltios, mostrando la primera combinación una ductilidad satisfactoria y buen aspecto físico en la zona de la soldadura, una dureza en la zona de fusión de 199.43 HV, y una resistencia máxima a la tracción de 402.80 MPa, además de una microestructura widmanstatten en la zona del cordón, y la segunda (A131-A131), una buena ductilidad y apropiado aspecto físico en la zona de la soldadura, una dureza en la zona de fusión de 211.02 HV, y una resistencia máxima a la tracción de 453.90 MPa, además de una microestructura widmanstatten en la zona del cordón.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iv	
Agradecimiento	vi	
Introducción	viii	
Resumen	ix	
Índice general	xi	
Índice de figuras	xvii	
Índice de tablas	xxi	
CAPÍTULO 1	Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema,	1	
1.2 Formulación del problema,	2	
1.3 Objetivos,	3	
<i>1.3.1 Objetivo General,</i>	<i>3</i>	
<i>1.3.2 Objetivos Específicos,</i>	<i>3</i>	
1.4 Justificación,	3	
1.5 Alcance,	4	
1.6 Limitaciones,	4	
1.7 Delimitaciones,	4	
CAPÍTULO 2	Marco Teórico	7
2.1 Antecedentes de la investigación,	7	
2.2 Bases teóricas,	10	

2.2.1	Los aceros,	10
2.2.2	Fases del diagrama Hierro-Carbono,	12
2.2.3	Acero ASTM A36,	12
2.2.3.1	Ventajas y desventajas del acero estructural como material,	13
2.2.4	Acero ASTM A131,	14
2.2.5	Influencia de los elementos de aleación en las propiedades de los aceros,	14
2.2.5.1	Carbono,	14
2.2.5.2	Níquel,	15
2.2.5.3	Cromo,	16
2.2.5.4	Molibdeno,	16
2.2.5.5	Vanadio,	17
2.2.5.6	Manganeso,	17
2.2.5.7	Silicio,	18
2.2.5.8	Azufre,	18
2.3	Soldadura,	19
2.4	Partes de la soldadura,	20
2.4.1	Material base,	20
2.4.2	Material de aporte,	20
2.4.3	Cordón,	20
2.4.4	Zona afectada en la junta,	21
2.5	Clasificación de la soldadura,	21
2.5.1	Soldadura de estado sólido,	21
2.5.2	Soldadura por fusión,	22
2.6	Soldadura G.M.A.W.,	22
2.6.1	Automático,	24
2.6.2	Semiautomático,	24
2.6.3	Robotizado,	25
2.6.4	Parámetros que influyen en el proceso,	25

2.6.4.1	<i>Polaridad</i>	25
2.6.4.2	<i>Velocidad de alimentación de hilo</i>	25
2.6.4.3	<i>Naturaleza del gas</i>	25
2.6.5	<i>Soldadura MIG</i>	26
2.6.5.1	<i>Soldadura MIG por arco pulsado</i>	27
2.6.6	<i>Soldadura MAG</i>	28
2.6.7	<i>Ventajas de la soldadura G.M.A.W.</i>	28
2.6.8	<i>Limitaciones de la soldadura G.M.A.W.</i>	29
2.6.9	<i>Transferencia del material durante el proceso</i>	29
2.6.9.1	<i>Transferencia por corto circuito</i>	29
2.6.9.2	<i>Transferencia por pulverización axial</i>	30
2.6.9.3	<i>Transferencia globular</i>	32
2.7	<i>Fundamentos del proceso</i>	33
2.7.1	<i>Principios de operación</i>	33
2.7.2	<i>Equipamientos para la soldadura G.M.A.W.</i>	34
2.7.3	<i>Gases de aplicación en la soldadura G.M.A.W.</i>	38
2.7.3.1	<i>Método MIG</i>	38
2.7.3.2	<i>Método MAG</i>	40
2.8	<i>Ensayos Mecánicos</i>	43
2.8.1	<i>Ensayo de tracción</i>	43
2.8.2	<i>Ensayo de doblado</i>	45
2.8.3	<i>Ensayo de dureza</i>	46
2.9	<i>Ensayos metalográficos</i>	49
2.9.1	<i>Ensayo de macroscopía</i>	49
2.9.2	<i>Ensayo de microscopía</i>	50
2.9.3	<i>Ensayo de análisis químico</i>	51

CAPÍTULO 3 Marco Metodológico

53

3.1	<i>Nivel de la Investigación</i>	53
3.2	<i>Diseño de la Investigación</i>	53

- 3.3 Población y muestra, 54
- 3.4 Tipo de muestreo, 54
- 3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos, 55
- 3.6 Técnicas de procesamiento de datos, 55
- 3.7 Materiales y equipos utilizados, 55
- 3.8 Procedimiento experimental, 59
 - 3.8.1 *Caracterización de los materiales base*, 61
 - 3.8.2 *Preparación de juntas y aplicación de la soldadura*, 62
 - 3.8.3 *Corte de las probetas y ejecución de ensayos*, 62
 - 3.8.3.1 *Ensayos Mecánicos*, 64
 - 3.8.3.2 *Ensayos Metalográficos*, 66
 - 3.8.4 *Análisis de resultados y conclusiones*, 67

CAPÍTULO 4 Resultados y Análisis

69

- 4.1 Ensayo de Espectroscopía, 69
- 4.2 Ensayo de Macroscopía, 71
- 4.3 Ensayo de Microscopía Óptica, 73
 - 4.3.1 *Caracterización de los metales base*, 73
 - 4.3.2 *Análisis de las probetas soldadas*, 74
 - 4.3.2.1 *Combinación de aceros A36-A36*, 74
 - 4.3.2.2 *Combinación de aceros A131-A131*, 80
 - 4.3.2.3 *Combinación de aceros A131 y A36*, 85
- 4.4 Ensayo de Tracción, 91
 - 4.4.1 *Caracterización de los metales base*, 91
 - 4.4.1.1 *Material A36*, 91
 - 4.4.1.2 *Material A131*, 92
 - 4.4.2 *Análisis de las probetas soldadas*, 93
 - 4.4.2.1 *Ensayo de tracción unión soldada A36 - A36*, 93
 - 4.4.2.2 *Ensayo de tracción unión soldada A131 – A131*, 96
 - 4.4.2.3 *Ensayo de tracción unión soldada A131 – A36*, 98

4.5 Ensayos de Microdureza Vickers, 100	
4.5.1 <i>Análisis de los metales base, 100</i>	
4.5.2 <i>Análisis de las probetas Soldadas, 102</i>	
4.5.2.1 <i>Combinación de aceros A36 y A36, 102</i>	
4.5.2.2 <i>Combinación de aceros A131 y A131, 105</i>	
4.5.2.3 <i>Combinación de aceros A36 y A131, 107</i>	
4.6 Ensayo de Doblado, 110	
CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones	113
5.1 Conclusiones, 113	
5.2 Recomendaciones, 115	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	117
ANEXO	119

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Uniones soldadas de aceros disimiles a diferentes parámetros de soldadura	5
2.1 Diagrama de fases del sistema hierro - carbono	11
2.2 Influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero	19
2.3 Elementos que intervienen en la soldadura G.M.A.W	24
2.4 Influencia del gas en el proceso	26
2.5 Trasferencia por corto circuito	30
2.6 Transferencia por pulverización axial	31
2.7 Transferencia globular	32
2.8 Esquema del equipo para la soldadura G.M.A.W	34
2.9 Aplicación del ensayo de tracción	44
2.10 Diagrama esfuerzo – deformación en materiales dúctiles a tensión	45
2.11 Galdabini para la realización de ensayo de doblado	46
2.12 Huella Vickers	48
2.13 Penetrador Vickers	48
2.14 Microdurometro Buehler	49
2.15 Microscopio óptico	50
3.1 Limadora	56
3.2 Equipo de soldadura Lincoln Electric	57
3.3 Pulidora metalográfica	58
3.4 Desbastadora de cinta	58

3.5 Microdurometro Buehler	59
3.6 Flujograma de procedimiento experimental	60
3.7 Tipo de Soldadura	62
3.8 Distribución de probetas en las láminas soldadas	63
3.9 Probeta para ensayo de tracción	64
3.10 Probeta para ensayo de doblado	64
3.11 Representación del ensayo de doblado	65
3.12 Distribución de las zonas para el ensayo de microdureza	65
3.13 Microscopio óptico	67
4.1 Probeta 1, A36 – A36, 90 Amp. y 20 Volt.	71
4.2 Probeta 8, A131 – A36, 93 Amp. y 22 Volt.	71
4.3 Probeta 6, A131 – A131, 110 Amp. y 24 Volt.	72
4.4 Áreas de estudio de las probetas para el análisis microestructural	73
4.5 Microestructura de los metales base	74
4.6 Microestructura de la probeta 1, soldada 90 Amp. y 20 Volt.	75
4.7 Microestructura de la probeta 2, soldada 93 Amp. y 22 Volt.	76
4.8 Microestructura de la probeta 3, soldada 110 Amp. y 24 Volt.	78
4.9 Microestructura de la probeta 4, soldada 90 Amp. y 20 Volt.	80
4.10 Microestructura de la probeta 5, soldada 93 Amp. y 22 Volt.	81
4.11 Microestructura de la probeta 6, soldada 110 Amp. y 24 Volt.	83
4.12 Microestructura de la probeta 7, soldada 90 Amp. y 20 Volt.	85
4.13 Microestructura de la probeta 8, soldada 93 Amp. y 22 Volt.	87
4.14 Microestructura de la probeta 9, soldada 110 Amp. y 24 Volt.	89
4.15 Curva esfuerzo vs Deformación, acero <i>ASTM A36</i>	91
4.16 Curva Esfuerzo vs Deformación, acero <i>ASTM A131</i>	92
4.17 Curva Esfuerzo vs Deformación, unión A36 y A36	94
4.18 Curvas Esfuerzo de Fluencia vs Parámetro de soldadura, unión A36 - A36	94
4.19 Curva Esfuerzo Máximo vs Parámetro de soldadura, unión A36 - A36	95
4.20 Curvas Esfuerzo vs Deformación, unión A131 - A131	96

4.21 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Parámetro de soldadura, unión A131-A131	97
4.22 Curva Esfuerzo Máximo vs Parámetro de soldadura, unión A131 - A131	97
4.23 Curvas Esfuerzo vs Deformación de las probetas soldadas con los aceros A36 - A131	98
4.24 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Parámetro de soldadura, unión A36 - A131	99
4.25 Curva Esfuerzo Máximo vs Parámetro de soldadura, unión A36 - A131	99
4.26 Dureza de los metales base	101
4.27 Perfil de dureza de la probeta 1, A36-A36, a 90 Amp. 20 Volt.	103
4.28 Perfil de dureza de la probeta 2, A36-A36, a 93 Amp. 22 Volt.	103
4.29 Perfil de dureza de la probeta 3, A36-A36, a 110 Amp. 24 Volt.	104
4.30 Perfil de dureza de la probeta 4, A131-A131, a 90 Amp. 20 Volt.	105
4.31 Perfil de dureza de la probeta 5, A131-A131, a 93 Amp. 22 Volt.	106
4.32 Perfil de dureza de la probeta 6, A131-A131, a 110 Amp. 24 Volt.	106
4.33 Perfil de dureza de la probeta 7, A131-A36 a 90 Amp. 20 Volt.	108
4.34 Perfil de dureza de la probeta 8, A131-A36, a 93 Amp. 22 Volt.	108
4.35 Perfil de dureza de la probeta 9, A131-A36, a 110 Amp. 24 Volt.	109

ÍNDICE DE TABLAS

1.1 Numero de probetas a extraer de cada par de láminas soldadas	5
3.1 Distribución de las muestras por ensayo	54
3.2 Composición química del acero ASTM A36	61
3.3 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	61
3.4 Composición química del acero ASTM A131	61
3.5 Propiedades mecánicas del acero ASTM A131	61
3.6 Parámetros de soldadura seleccionados	62
3.7 Identificación de las muestras	63
4.1 Composición química de los elementos que constituyen a los aceros ASTM A131 y A36	69
4.2 Composición química de los elementos que constituyen el electrodo ER70S - 6	70
4.3 Resultados del ensayo de tracción, ASTM A36	92
4.4 Resultados del ensayo de tracción, ASTM A131	93
4.5 Resultados del ensayo de tracción, A36 – A36	93
4.6 Resultados del ensayo de tracción, A131 – A131	96
4.7 Resultados del ensayo de tracción, A36 – A131	99
4.8 Microdureza Vickers en los materiales base puro, A36 y A131	101
4.9 Promedio de Microdureza Vickers de cada área de la probeta, A36 – A36	102
4.10 Promedio de Microdureza Vickers de cada área de la probeta, A131 – A131	105

4.11 Promedio de Microdureza Vickers de cada área de la probeta, A131 – A36	107
4.12 Muestras ensayadas por doblado de unión A36 – A36	110
4.13 Muestra ensayadas por doblado de unión A131 – A131	111
4.14 Muestras ensayadas por doblado de unión A131 – A36	112

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente en la industria metalmecánica se utiliza un proceso de soldadura que se desarrolló a partir de los años 40 y el cual fue denominado como proceso GMAW, el cual ofrece muchas ventajas al momento de soldar materiales como cobre, aluminio, titanio, aceros al carbón, entre otros, con la finalidad de satisfacer las necesidades del mercado industrial.

Muchos equipos industriales, requieren uniones permanentes de materiales ferrosos y no ferrosos de distinta naturaleza, lo cual trae repercusiones en los parámetros utilizados comúnmente en las soldaduras.

A pesar de los avances técnicos, todavía se presentan inconvenientes con respecto a la rentabilidad de algunos procesos de soldadura de materiales disímiles, por ejemplo, en algunas juntas soldadas, se observa la presencia de escoria, deficiencias en las propiedades mecánicas y degradación de la microestructura en la base de los metales soldados.

Para cubrir tales imperfecciones, en los últimos años se ha acudido a la técnica GMAW, la cual además de no producir escoria en su cordón de soldadura, aumenta la productividad, para unir un gran número de partes, asociadas a una alta velocidad de deposición con un elevado factor de operación, es decir, cumple con los requerimientos esperados para soldar aceros de distintas propiedades.

Frente a esta tendencia, es de vital importancia conocer a fondo esta técnica, analizando cuidadosamente los parámetros inherentes en el proceso; el nivel de amperaje aplicado, la composición química de los gases de protección, el tipo de transferencia metálica, la conformación del cordón, entre otros.

La correcta selección de tales especificaciones y la eficiente evaluación de las propiedades mecánicas a través de ensayos mecánicos, tales como, dureza, doblado y de tracción, permitirán ofrecer los lineamientos recomendados para la efectiva aplicación de este proceso de soldadura.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Para brindar una solución al problema expuesto, se presenta entonces la necesidad de responder la siguiente interrogante:

¿Cuál es el comportamiento mecánico y microestructural en las juntas soldadas por medio del proceso GMAW en aceros disímiles? Con la presente investigación, se da respuesta a la interrogante planteada anteriormente.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento mecánico y microestructural al soldar aceros disímiles por medio del proceso G.M.A.W.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los metales base y de aporte a ser utilizados en el estudio.
- Definir los parámetros a utilizar durante el proceso de soldadura.
- Caracterizar las juntas soldadas por medio del proceso G.M.A.W. en aceros disímiles.
- Realizar el análisis comparativo de las propiedades mecánicas y microestructurales, para la selección de los parámetros óptimos de la soldadura GMAW en aceros disímiles.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

El estilo actual de uso intensivo de procesos de soldadura con protección a gas en materiales disímiles, conlleva a la necesidad de adquirir adiestramiento acerca del comportamiento mecánico y metalúrgico originado en juntas soldadas de aceros disímiles mediante el proceso GMAW.

Además este proceso permite determinar cuál es la metodología correcta de aplicación de esta técnica de unión permanente; ofreciendo así una guía, para

estudiantes y docentes de los resultados y beneficios que aporta este modo de soldadura. En función a lo antes descrito, se hace necesario crear una matriz de información sobre las distintas propiedades mecánicas y microestructurales al soldar aceros disímiles mediante el proceso GMAW.

1.5 ALCANCE.

- Se realizarán ensayos de dureza, tracción, doblado y análisis metalográficos a las probetas obtenidas, con el fin de caracterizar a los metales.
- La microestructura de la junta soldada obtenida, será comparada con la microestructura de los metales base.
- En el proceso de soldadura el flujo de gas y la velocidad de soldeo serán parámetros constantes.
- Las soldaduras se realizarán a tres niveles de amperaje y voltaje.

1.6 LIMITACIONES.

- La disposición de los laboratorios para realizar los ensayos de doblado, dureza, tracción y metalografía.
- Disposición en el mercado, del material de estudio.
- El personal que aplique las soldaduras debe ser calificado para este tipo de trabajos.

1.7 DELIMITACIONES.

- Los aceros a soldar serán distribuidos en las siguientes combinaciones:

Acero Naval – Acero Estructural (A131-A36).

Acero Naval – Acero Naval (A131-A131).

Acero Estructural – Acero Estructural (A36-A36).

- El acero estructural que se utilizará será el ASTM A36.
- El acero naval a emplear será el ASTM A131.
- Se fabricarán probetas de ambos materiales en su estado inicial, para la posterior comparación con las probetas una vez sometidas al proceso de soldadura.
- Se soldarán láminas con espesor de 5.15mm.
- De cada par de láminas soldadas se removerán las probetas, según la norma ASME sección 9 QW – 463.1, para láminas de menos de 3/4” de espesor, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.1. Numero de probetas a extraer de cada par de láminas soldadas.

<i>Ensayo</i>	<i>Nº Probetas</i>
<i>Tracción</i>	<i>3</i>
<i>Doblado</i>	<i>2</i>
<i>Análisis Químico</i>	<i>1</i>
<i>Macroscopía y Microscopia</i>	<i>1</i>
<i>Microdureza</i>	<i>1</i>

- Cada unión permanente aplicada a los pares de láminas, se repetirá a tres diferentes niveles de amperaje, es decir, se fabricarán 24 probetas por cada combinación de aceros (Ejemplo de la figura 1.1, combinación A36-A131).

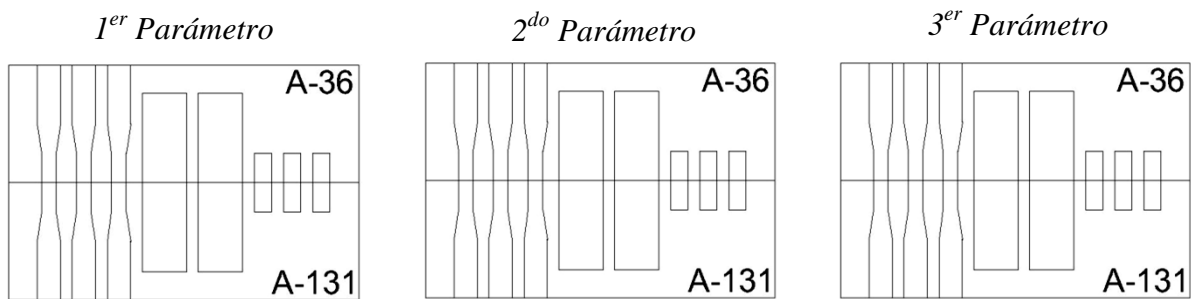


Figura 1.1. Uniones soldadas de aceros disímiles a diferentes parámetros de soldadura.

- El procedimiento se repetirá para las otras dos combinaciones (A36-A36 y A131-A131) resultando un total de 72 probetas soldadas para el estudio planteado y 16 probetas de los aceros sin soldar.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Erdal K, Ugur O, Ceyhan Y. (2005). *The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes*. Sakarya University y ISE Automotive Company.

La corriente de soldadura, voltaje del arco y velocidad de soldadura se eligieron como parámetros variables. La profundidad de la penetración se midió para cada muestra después de las operaciones de soldadura y los efectos de estos parámetros en la penetración fueron investigados. Las corrientes de soldadura fueron elegidos como (95, 105, 115) A, las tensiones de arco fueron elegidas como (22, 24 y 26) V y las velocidades de soldadura fueron elegidas como (40, 60 y 80) cm / min, para todos los experimentos.

De acuerdo con lo investigado y después de haber realizado los correspondientes ensayos, se tiene como conclusión más importante lo siguiente:

- Al realizar un aumento de la corriente durante el proceso de soldadura, se registra un aumento en la profundidad de la penetración.

- La tensión de arco es otro parámetro que afecta de forma directa la penetración.
- La penetración más alta se observó con una velocidad de soldadura de 60 cm / min.

E. Zumelzu, J. Sepúlveda, M. Ibarra. (1999). *Influence of microstructure on the mechanical behaviour of welded 316 L SS joints*. Universidad Austral de Chile.

Este artículo refleja cómo se llevó a cabo un estudio del comportamiento mecánico de las uniones soldadas del material AISI 316. Los materiales de base son los cupones estándar de soldadura 316 L SS preparada con los procedimientos de soldadura SMAW y GMAW, los electrodos son del tipo E 308 L-16 y E 316 L-16, y el tipo ER 316 L metal de soldadura continua, respectivamente. Mediante este estudio se puede realizar la selección adecuada de los materiales para la realización de los procesos de soldadura.

M. Suban, J. Tusek. (2001). *Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used*. University of Ljubljana, Slovenia.

En este artículo se explica cómo se realizó un estudio sobre la productividad de la soldadura, es decir, la eficiencia de fusión del material de relleno (sólido con núcleo de cables) en distintos medios de protección (cuatro gases de blindaje y un flujo de soldadura). También se realizó una comparación de modelos matemáticos para la soldadura MIG / MAG en la mezcla de gas y la mezcla de Argón y CO₂. El principal criterio para la selección de la mezcla de gases, es la aplicación y la calidad que se desea que tenga la unión soldada.

Elizabeth, C. y Fandino, S. (2005). *Determinar las causas que afectan el proceso de soldadura en industrias metalúrgicas VAN DAM, C.A.* Trabajo de Grado. Instituto Universitario Tecnológico de Puerto Cabello.

Para el desarrollo de este trabajo se determinó las causas que afectan el proceso de soldadura en la industria VAN DAM C.A, debido a que esta empresa realiza equipos como tanques a presión, intercambiadores, estructuras para edificaciones, puentes, entre otros, para sectores químicos, petroquímicos, petroleros, siderúrgicos, vial, construcción civil, etc.

Y muchos de estos equipos que construye la empresa, son expuestos a ambientes agresivos, lo cual afecta la unión de la soldadura, además de la degradación que sufrió el material durante el proceso de soldadura. Para determinar que parte afectaba mas al material se utilizo métodos de inspección y ensayos no destructivos para determinar errores y/o defectos durante la fabricación del producto.

Manuel, B. y Johan, V. (2003). *Defectologia en perfiles doble 'T' de acero ASTM A36, recuperados por soldadura MIG, en la empresa PROPERCA, C.A*". Trabajo de grado. Instituto Universitario Tecnológico de Puerto Cabello.

Se utilizó la soldadura MIG (Argón – CO₂), que permite la incorporación para un mejor proceso térmico, a pesar de que cuenta con un inconveniente al tener que fijar los parámetros típicos de la soldadura convencional, es decir, intensidad de fondo, ancho del pulso y frecuencia de los mismos, datos que no dependen solo del material sino también del gas de protección utilizado.

Al realizar la soldadura MIG, se evaluó cada zona de recuperación para observar la presencia de algún defecto y fallas que se originan. Se aplicaron estudios y ensayos

con la finalidad de identificar defectos en los perfiles en el área de recuperación por la soldadura MIG.

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Los Aceros.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita.

La ferrita; blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita; un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita; es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes.

El carbono se puede encontrar en las aleaciones hierro-carbono, tanto en estado ligado (Fe_3C), como en estado libre (C, es decir, grafito). Para estudiar las transformaciones que tienen lugar en aceros y fundiciones blancas se emplea el diagrama Fe- Fe_3C .

El diagrama de equilibrio Fe-C (Figura 2.1), es una gráfica que representa las fases y estados en las que se encuentran las aleaciones de Hierro-Carbono para una temperatura y composición dadas. En este diagrama, las proporciones de Carbono y de Carburo de Hierro (CFe_3) se representan en el eje de abscisas, en un rango

porcentual que va desde (0 – 67) % de Carbono, el límite de solubilidad de éste en la cementita. A la temperatura ambiente, salvo una pequeña parte disuelta en la ferrita, todo el carbono que contienen las aleaciones Fe-C está en forma de carburo de hierro.

El carburo de hierro se descompone de una manera muy lenta en hierro y carbono (grafito), lo cual requiere un periodo de tiempo muy largo a temperatura ambiente. El carburo de hierro se considerará entonces metaestable, por lo tanto, el diagrama hierro-carburo de hierro, aunque técnicamente representa condiciones metaestables, puede considerarse como representante de cambios en equilibrio, bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentas.

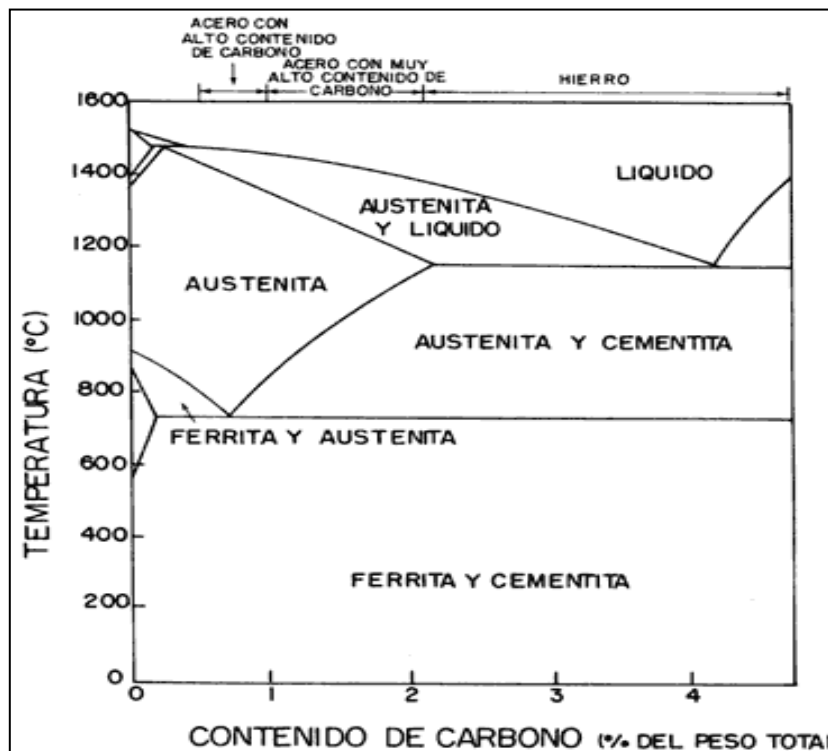


Figura 2.1. Diagrama de fases del sistema hierro-carbono

Fuente: Manual de prácticas del laboratorio de materiales, departamento de materiales y procesos de fabricación.

2.2.2 Fases del diagrama Hierro-Carbono.

A 1495 °C existe una reacción peritética, la cual casi nunca es considerada a los fines prácticos. A menor temperatura, el carbono forma una solución homogénea con el hierro, formando la austenita. A medida que desciende la temperatura una parte del carbono pasa de las celdas fcc a bcc, por tanto, parte del carbono queda en solución sólida homogénea con el hierro alfa, formando ferrita y la otra parte se combina con hierro para formar cementita. Durante la reacción eutectoide, que ocurre a 727 °C, se forman estas mezclas, que tienden a formar pequeñas laminillas, pero como se produce en el estado sólido, las velocidades de difusión son menores y por ello las laminillas son aun mas delgadas, dando origen a la perlita.

Mezcla eutéctica: Durante su formación se produce la solidificación por laminillas intercaladas de cada metal o elemento, dando la sensación visual de líneas intercaladas.

Mezcla eutectoide: Durante la transformación alotrópica del hierro, cuando en el enfriamiento lento se transforma de hierro gamma a hierro alfa, el carbono se reubica de la austenita, para formar capas muy finas de ferrita y cementita intercaladamente, dando origen a una apariencia similar a una huella dactilar. A menor velocidad de enfriamiento mas separadas estarán las líneas.

2.2.3 Acero ASTM A36.

Acero ASTM A36 o acero estructural, utilizado en la industria de la construcción. Dependiendo de la aplicación de este acero, puede ser tratado térmicamente, una de sus características es que tiene buena ductilidad; esto trae como consecuencia que se pueden conformar piezas complejas, se usa en la fabricación de láminas, chapas, barras y otras piezas con complejidad de conformado y tiene buena

soldabilidad. Este acero se aplica en general en las industrias de la construcción, industria petrolera, tanques, y soldadura en barras, láminas, chapas. Su dureza teórica es de: 110 – 150 HB.

2.2.3.1 Ventajas y desventajas del acero estructural como material.

- ***Ventajas***

- Alta resistencia. La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.
- Uniformidad. Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- Durabilidad. Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.
- Ductilidad. La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- Tenacidad. Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades. Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad.

- **Desventajas**

- Costo de mantenimiento. La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
- Costo de la protección contra el fuego. Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.
- Susceptibilidad al pandeo. Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indico previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

2.2.4 Acero ASTM A131.

Este acero es de bajo porcentaje de carbono hipo-eutectoide utilizado en la industria naval. Su composición química y características mecánicas están expresadas en la designación A 131/A 131M – 01 de la normas ASTM.

2.2.5 Influencia de los elementos de aleación en las propiedades de los aceros.

2.2.5.1 Carbono.

La principal influencia que posee el carbono sobre las aleaciones de hierro, se observa en el cambio de los niveles de dureza de estas. Siendo este el elemento

aleante mas importante, debido a las grandes repercusiones que trae su porcentaje de composición dentro de una aleación.

El hierro puro debido a sus propiedades tiene muy pocas aplicaciones técnicas. Estas propiedades, se pueden mejorar si se añade carbono. Según la cantidad de carbono que se agregue al hierro se pueden distinguir las aleaciones en:

- Hierro dulce ($C < 0.1\%$. Es blando debido al poco porcentaje de carbono).
- Aceros ($0.1\% < C < 2\%$. Se moldean, en estado sólido frío o caliente).
- Fundiciones ($2\% < C < 5\%$. Fabricación de piezas complicadas en moldes).

Dentro de la clasificación de las aleaciones, existe una subdivisión, de los aceros al carbono (sin alear), y estos a su vez se componen según su contenido de carbono en:

- Aceros inoxidables: Añadiendo un 12% de cromo se considera acero inoxidable, debido a que este aleante crea una capa de óxido de cromo superficial que protege al acero de la corrosión o formación de óxidos de hierro.

2.2.5.2 Níquel.

Una de las ventajas más grandes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad. El níquel además hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los

aceros aleados con níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación.

En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para maquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno.

2.2.5.3 Cromo.

Es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidable y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas, entre (0.3% – 30%), según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidable, etc.

2.2.5.4 Molibdeno.

Mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad y la resistencia a la fatiga de los aceros. Añadiendo solo pequeñas cantidades de molibdeno a los aceros cromo-níqueles, se disminuye o elimina casi completamente la fragilidad Krupp, que se presenta cuando estos aceros son revenidos en la zona de 450° a 550°.

El molibdeno aumenta también la resistencia de los aceros en caliente y reemplaza al wolframio en la fabricación de los aceros rápidos, pudiéndose emplear

para las mismas aplicaciones aproximadamente una parte de molibdeno por cada dos de wolframio.

El molibdeno se disuelve en la ferrita, pero tiene una fuerte tendencia a formar carburos. Es un potente estabilizador de los carburos complejos y tiende a retarde el ablandamiento de los aceros, durante el revenido.

2.2.5.5 Vanadio.

Se emplea principalmente para la fabricación de aceros de herramientas, tiende a afinar el grano y a disminuir la templabilidad. Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene una gran tendencia a formar carburos.

El vanadio tiene una gran tendencia muy fuerte a formar carburos, por esta razón, basta con añadir pequeñas cantidades, y pocos aceros, excepto los de herramientas, contienen más de 0.02% de vanadio. Una característica de los aceros con vanadio, es su gran resistencia al ablandamiento por revenido.

2.2.5.6 Manganeso.

Aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material.

Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981° aprox.) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación.

2.2.5.7 Silicio.

Este elemento aparece en todos los aceros, lo mismo que el manganeso, porque se añade intencionadamente durante el proceso de fabricación. Se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero los poros y otros defectos internos. Los aceros pueden tener porcentajes variables de 0.20 a 0.34% de Si.

Se emplean aceros de 1 a 4.5% de Si y bajo porcentaje de carbono para la fabricación de chapas magnéticas, ya que esos aceros, en presencia de campos magnéticos variables, dan lugar solo a pérdidas magnéticas muy pequeñas, debido a que el silicio aumenta mucho su resistividad.

Mejora ligeramente la templabilidad y la resistencia de los aceros a disminuir la tenacidad, y en ciertos casos mejora también su resistencia a la oxidación.

2.2.5.8 Azufre.

Junto con el fósforo, el azufre es el elemento más problemático, ya que prácticamente es insoluble en el hierro y se presenta fundamentalmente en forma de sulfuro de hierro (FeS). Al ser la temperatura tan baja, en procesos de laminación o forja se funde el eutéctico, volviéndose más frágil el acero en los límites de grano,

propiedad conocida como fragilidad en caliente. Para evitarlo se utiliza manganeso, favoreciendo la formación de MnS en lugar de FeS.

En la figura 2.2 se muestra un resumen de Influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero.

Influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero															
Elemento de aleación	Propiedades mecánicas								Velocidad de enfriamiento	Formación de carburos	Resistencia al desgaste	Forjabilidad	Maquinabilidad	Escamación (Oxidación) a alta temperatura	Resistencia a la corrosión
	Dureza	Resistencia	Límite de elasticidad	Alargamiento	Reducción de área	Valor de impacto	Elasticidad	Estabilidad a alta temperatura							
Silicio	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	—
Manganeso en aceros perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓	↑	↓	~	—
Manganeso en aceros austeníticos	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	—	—	—	↓↓	—	—	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	—
Cromo	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	—	↓↓↓	↑↑↑
Níquel en aceros perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	—	↑	↓↓	—	↓↓	↓	↓	↓	—
Níquel en aceros austeníticos	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	—	↑↑↑	↓↓	—	—	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
Aluminio	—	—	—	—	↓	↓	—	—	—	—	—	↓↓	—	↓↓	—
Tungsteno	↑	↑	↑	↓	↓	~	—	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	—
Vanadio	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	—	↓	↑
Cobalto	↑	↑	↑	↓	↓	↓	—	↑↑	↑↑	—	↑↑↑	↓	~	↓	—
Molibdeno	↑	↑	↑	↓	↓	↑	—	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	—
Cobre	↑	↑	↑↑	~	~	~	—	↑	—	—	—	↓↓↓	~	~	—
Azufre	—	—	—	↓	↓	↓	—	—	—	—	—	↓↓↓	↑↑↑	—	↓
Fósforo	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	—	—	—	—	—	↓	↑↑	—	—

↑ Incremento ↓ Reducción ~ Constante — sin características o desconocido varias flechas efecto más intenso

Figura 2.2. Influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero.

2.3 SOLDADURA.

Es la aplicación adecuada de calor o presión para fundir la superficie de dos o más materiales, cuya finalidad es de unir de forma permanente el material. La integración de las partes que se unen se denomina ensamble soldado.

Durante el proceso de soldadura se realiza un aumento de la temperatura en el material base, esta temperatura mayormente es mayor que la temperatura de fusión del material, haciendo uso del estado líquido se mezclan para formar una unión de la fusión de todas las partes envueltas, incluyendo el material de aporte, este último su existencia depende del proceso de soldadura que se aplica.

2.4 PARTES DE LA SOLDAURA.

2.4.1 Material base.

El material base es otra clasificación que compone las juntas soldadas. El material que se le realiza la soldadura debe tener un estudio acerca de la aplicación y de su soldabilidad, ya que a pesar de hoy en día la mayoría de los materiales se soldan, se debe hacer una selección adecuada del material según el proceso de soldadura que se le va a realizar.

2.4.2 Material de aporte.

Durante el proceso de la soldadura el material de aporte es el agregado durante el proceso con el propósito de facilitar la fusión

2.4.3 Cordón.

Es la zona que por algún proceso de soldadura ha sido fundida y ésta formada con metal base y material de aporte; esto puede variar según el tipo de soldadura que se aplique para la unión, ya que por medio del proceso de soldadura de resistencia no hace falta material de aporte.

2.4.4 Zona afectada en la junta.

Durante el desarrollo de cualquier proceso de soldadura, la generación de calor afecta la zona del material base, debido a que está en contacto con el metal fundido.

Aplicando ciclos térmicos se puede determinar los defectos metalúrgicos que sufre en dicha zona el material, los ciclos están en función de la geometría del material que se va a soldar, y durante el proceso; el calor que se suministra, controlando estos parámetros se puede variar las propiedades de las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

La micro estructura del material es una de característica que se altera debido al calor en la soldadura, entre las cuales están; la precipitación de fase, crecimiento del grano, aumento el proceso de corrosión, también se observan cambios en las propiedades mecánicas en cuanto a la dureza, resistencia a la tracción, entre otros.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA.

La Sociedad Americana de Soldadura (*American Welding Society*) cataloga diversos procesos de soldadura, entre los cuales se encuentran:

2.5.1 Soldadura de estado sólido.

- Soldadura con rodillo (*ROW*)
- Soldadura por difusión (*DFW*)
- Soldadura por fricción (*FRW*)

2.5.2 Soldadura por fusión.

- Soldadura con oxígeno y gas COMBUSTIBLE (*OFW*)
 - Soldadura con oxiacetileno (*OAW*)
 - Soldadura por gas a presión (*PGW*)

- Soldadura por arco eléctrico
 - Soldadura metálica con Arco Protegido (*SMAW*)
 - Soldadura con arco sumergido (*SAW*)
 - Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas (*GTAW*)
 - Soldadura por arco de plasma
 - Soldadura metálica con arco eléctrico y gas (*GMAW*)

- Soldadura por resistencia (*RW*)

- Soldadura con rayo láser (*LW*)

2.6 SOLDADURA GMAW.

A partir de 1948 es que este proceso de soldadura estuvo disponible comercialmente, a pesar de que el concepto básico de GMAW (gas metal arc welding) fue introducido en los años 20.

El proceso de soldadura de arco eléctrico con protección gaseosa, une los metales realizando un calentamiento del material con un arco eléctrico que se establece entre un electrodo consumible y la pieza. Una mezcla de gases o un gas suministrado externamente actúan para brindar protección al arco y al depósito del metal fundido.

Al inicio del desarrollo del proceso, era considerado principalmente una alta intensidad de corriente, diámetro pequeño del electrodo y protección del electrodo metálico usando gas inerte para proteger el arco. Su aplicación inicial era para la soldadura del aluminio, posteriormente se catalogo como soldadura MIG por la abreviatura del metal y el gas inerte.

Durante el desarrollo de este proceso se dieron progresos como las densidades de corriente baja y la corriente directa pulsada, la aplicación a una gama de materiales diferentes y el uso de los gases reactivos, especialmente el dióxido de carbono (CO) y las mezclas de gases.

El proceso de soldadura GMAW puede ser de aplicación automática y semiautomática. Todos los metales como los acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, cobre, acero de baja aleaciones y alta resistencia, las aleaciones de níquel, entre otras, pueden ser soldados en todas las posiciones con la apropiada protección gaseosa, los electrodos y los parámetros del proceso más adecuados.

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (proceso MIG) o por un gas activo (proceso MAG) (figura 2.3). Los elementos más importantes que constituyen en el proceso de la soldadura GMAW son los siguientes:

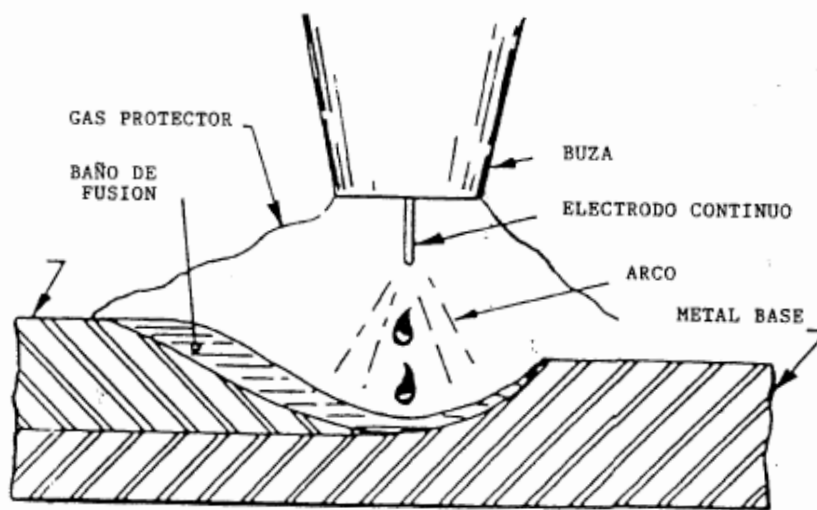


Figura 2.3. Elementos que intervienen en la soldadura G.M.A.W.

Fuente: Procesos de Fabricación por arranque de viruta.

El desarrollo de este proceso puede ser:

2.6.1 Automático.

Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y su aplicación en el proceso es de forma automática.

2.6.2 Semiautomático.

La velocidad de alimentación del hilo, la tensión de arco, la intensidad de soldadura y el caudal de gas, se regulan previamente. El avance de la antorcha de soldadura se realiza manualmente.

2.6.3 Robotizado.

Todos los parámetros de soldeo, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la efectúa un robot al ejecutar esta programación.

2.6.4 Parámetros que influyen en el proceso.

2.6.4.1 Polaridad.

Esta afecta a la forma de transferencia, penetración y velocidad de fusión del hilo. Normalmente se trabaja con polaridad inversa o positiva, es decir, la pieza al negativo y el alambre de soldadura al positivo. En este punto, es interesante comentar el hecho de que ya que los electrones viajan del polo negativo al positivo, es este último el que se calienta más, concretamente el polo positivo se calienta un 65% más que el negativo. Esta condición podría ser particularmente útil para aquellos trabajos donde se requiera un mayor aporte térmico en la pieza que en el hilo de soldadura, lo que se conseguiría empleando la polaridad directa o negativa.

2.6.4.2 Velocidad de alimentación de hilo.

En esta técnica no se regula previamente la intensidad de soldadura, sino que es el ajuste de la velocidad de alimentación del hilo el que provoca la variación de la intensidad gracias al fenómeno de la autorregulación.

2.6.4.3 Naturaleza del gas.

El gas utilizado en el proceso, presenta una notable influencia sobre la forma de transferencia del metal, penetración, aspecto del cordón y proyecciones. En la

siguiente figura (Figura 2.4), se muestran las formas de los cordones y las penetraciones típicas de este proceso, en función del tipo de gas:

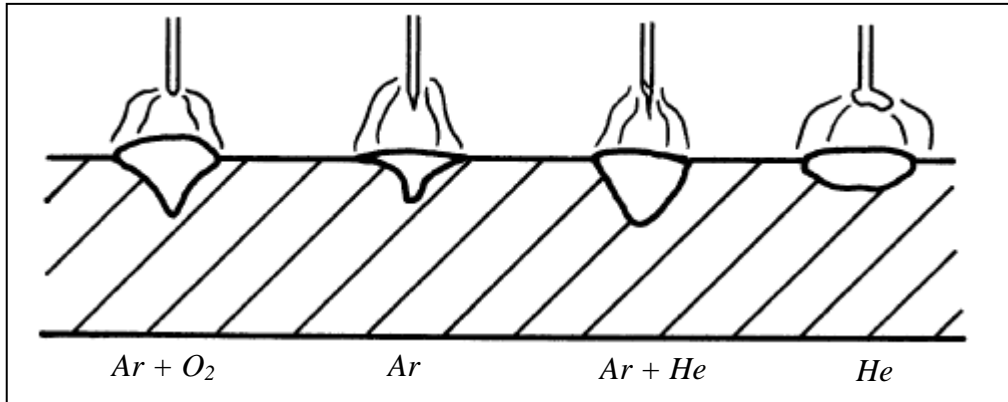


Figura 2.4. Influencia del gas en el proceso

Fuente: www.metallactual.com, procesos de soldadura.

2.6.5 Soldadura MIG.

De los seis gases inertes existentes (argón, helio, neón, criptón, xenón y radón) el argón es el más empleado en Europa, mientras que es el Helio el que se utiliza en Estados Unidos. El argón se ioniza fácilmente, de manera que la tensión del arco bajo argón es sensiblemente inferior que bajo helio.

El argón puro solo se utiliza en la soldadura del aluminio, el cobre, el níquel o el titanio. Si se aplica al acero, se producen mordeduras y cordones de contorno irregular. La soldadura con gas helio produce cordones más anchos y con una penetración menor que cuando se suelda con argón. Existe otro tipo de mezcla de argón con cantidades inferiores al 5% de oxígeno que no modifica el carácter de inerte de la mezcla y que mejora la capacidad de "mojado", es decir, la penetración,

ensanchando la parte inferior del cordón, y todo esto debido a que el oxígeno actúa sobre la tensión superficial de la gota.

2.6.5.1 Soldadura MIG por Arco Pulsado.

Este es un proceso que se diseñó para trabajar por debajo de la intensidad de corriente de umbral, donde la corriente pulsa y cada pulso impele una gota de soldadura, manteniendo una transferencia tipo spray con bajos valores de corriente. Se puede decir que es una mezcla entre la transferencia spray y globular.

La fuente de energía entrega dos niveles de salida: Un nivel de fondo constante, muy bajo en magnitud como para producir la transferencia, pero capaz de mantener un arco; y un nivel pulsado de alta intensidad que produce la fusión de las gotas del electrodo, que son luego transferidas a través del arco. Este pulso de salida (peak) se da en intervalos regulares controlados.

La corriente puede tener ciclos entre un valor alto y bajo hasta varios cientos del ciclo, por segundo. El nivel bajo de corriente promedio resultante permite la soldadura de metales base menores de 1/8" pulgada de espesor (3 mm) con una transferencia de metal del tipo spray. La soldadura spray pulsada se puede utilizar para soldar en todas las posiciones.

Mediante este método se obtiene un control más preciso de la transferencia metálica con valores de corriente promedio más bajos y en consecuencia un aporte calórico menor, lo que se traduce en posibilidad de soldar materiales delgados con baja salpicadura y cordones de muy buena apariencia.

Esta mejora permite transferir el metal de aporte por rociado sobre el metal base en forma de pulsos de corriente que se mantienen durante un tiempo específico; por

lo tanto no se produce un daño microestructural significativo si comparamos con métodos de transferencia convencional, los cuales aportan una gran cantidad de energía de forma continua.

Otra de las grandes ventajas es la versatilidad del proceso pudiendo ejecutar la soldadura en cualquier posición inclusive sobre cabeza.

MIG Pulsado genera un aumento en la productividad, ya que permite aumentar la velocidad de alimentación de alambre, con menores valores de corriente y voltaje, la penetración y aspecto visual del cordón también mejoran.

2.6.6 Soldadura MAG.

Es un gas protector químicamente activo (dióxido de carbono, argón más dióxido de carbono o argón más oxígeno). Se utiliza básicamente para aceros no aleados o de baja aleación. No se puede usar para soldar aceros inoxidable ni aluminio o aleaciones de aluminio.

2.6.7 Ventajas de la soldadura GMAW.

- Durante el proceso el cordón de la soldadura no presenta restricciones, en cuanto a la longitud, debido a que la alimentación del electrodo es continua.
- El tamaño del cordón de soldadura puede importar poco igual que su resistencia, debido a que este proceso posee altos niveles de penetración.
- La soldadura no presenta escoria, por lo tanto, no requiere limpieza después del proceso.

- El material depositado y la velocidad de la soldadura es alta, con respecto a otros procesos.
- La utilización de los gases como atmosfera protectora, garantiza estabilidad durante el desarrollo del proceso.

2.6.8 Limitaciones de la soldadura GMAW.

- Se debe aplicar protección al medio donde se realiza el proceso de soldadura, debido a que los gases de protección pueden perderse debido a ráfagas de viento.
- Los costos son elevados en comparación con otros procesos de soldadura.
- La manipulación del equipo para la soldadura GMAW, posee mayor dificultad que la presenta en otros procesos.
- Para la aplicación de la soldadura se requiere espacios amplios, debido a que el equipo posee varias piezas de tamaños considerables.
- Durante el proceso el operador debe tener los requerimientos de seguridad necesario, debido a que los niveles de radiación que se generan debido al calor son altos.

2.6.9 Transferencia de material durante el proceso.

2.6.9.1 Transferencia por corto circuito.

Comprende a los diámetros del electrodo correspondiente al proceso GMAW, y corriente baja. Esta transferencia por corto circuito (Figura 2.5), genera un pequeño depósito de material fundido, que tiene un rápido enfriamiento. Habitualmente es utilizado para ensamblar secciones finas, para soldadura fuera de la posición plana, y

para puntear las aperturas de raíz en piezas de grandes espesores. La transferencia del metal se realiza del electrodo al material soldado.

El electrodo entra en contacto con el depósito del metal fundido a una velocidad constante entre 20 a 200 veces por segundo. El alambre al estar en contacto con el depósito del metal fundido, se produce un aumento en la corriente y el metal líquido en el extremo del alambre se contrae generando el arco. Para promover la transferencia del metal y calentar el electrodo se requiere un aumento en la velocidad de corriente suficiente, pero adecuadamente baja para minimizar al mínimo las salpicaduras causadas por la separación violenta de la gota fundida. Si se ajusta la inductancia de la fuente de energía, se controla la velocidad del aumento de la corriente. Al iniciar el arco, el electrodo se funde mientras se sigue alimentando el alambre hasta el próximo corto circuito.

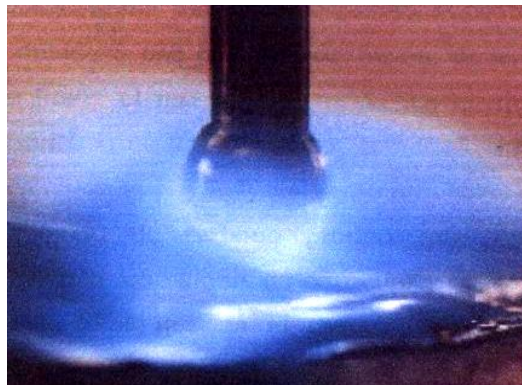


Figura 2.5. Transferencia por corto circuito

Fuente: Influencia del oxígeno sobre las propiedades mecánicas del acero inoxidable.

2.6.9.2 Transferencia por pulverización axial.

En este caso la transferencia se realiza en forma de gotas muy finas que se depositan sobre el metal base de forma ininterrumpida, similar a una pulverización

por spray, de ahí que se conozca también este método por Arco Spray, (Figura 2.6). Se caracteriza por un cono de proyección muy luminoso y por un zumbido característico.

Para que un arco se comporte de esta manera, es necesario que:

- Se utilice polaridad inversa o positiva.
- El gas de protección sea “Ar” o mezcla de “Ar” con algo de “O₂” ó de “Ar” con “CO₂”.
- Exista una tensión de arco relativamente elevada y una densidad de corriente también elevada.

El efecto de la utilización de la polaridad positiva se traduce en una enérgica acción limpiadora sobre el baño de fusión, que resulta particularmente útil en la soldadura de metales que producen óxidos pesados y difíciles de reducir, como el Aluminio o el Magnesio. La penetración que se consigue es buena, por lo que se recomienda para soldar piezas de espesor grueso. Uno de los inconvenientes, es que el baño de fusión resulta relativamente grande y fluido, por lo que no se controla con facilidad en posiciones difíciles.

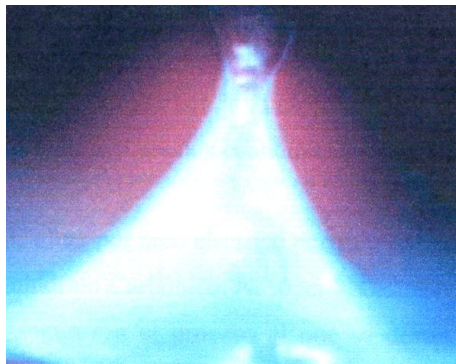


Figura 2.6. Transferencia por pulverización axial

Fuente: Influencia del oxígeno sobre las propiedades mecánicas del acero inoxidable.

2.6.9.3 Transferencia globular.

Cuando se opera con este tipo de arco, el hilo se va fundiendo por su extremo a través de gotas gruesas de un diámetro hasta tres veces mayor que el del electrodo. Al mismo tiempo, se observa como las gotas a punto de desprenderse van oscilando de un lado hacia otro. Como puede deducirse, la transferencia del metal es dificultosa, y por lo tanto, el arco es inestable de poca penetración y se producen numerosas proyecciones.

Se trata de un método que no se utiliza en la práctica, pero que puede aparecer cuando se efectúa el reglaje de un equipo de soldadura. El arco suele comportarse de esta forma cuando hay valores grandes de tensión y bajos de intensidad, o también cuando se utiliza polaridad directa o negativa (Figura 2.7).

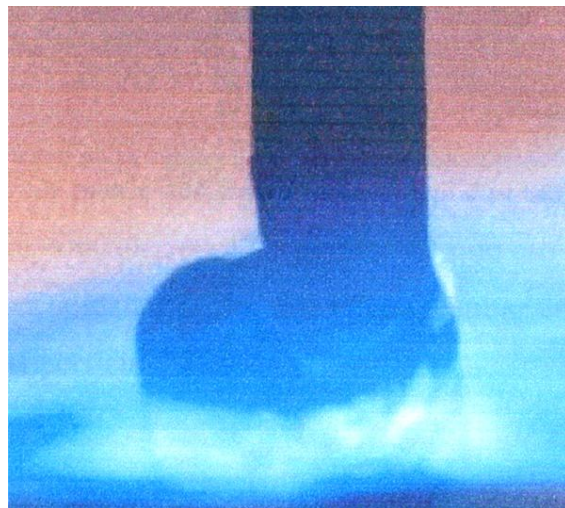


Figura 2.7. Transferencia globular

Fuente: Influencia del oxígeno sobre las propiedades mecánicas del acero inoxidable.

2.7 FUNDAMENTOS DEL PROCESO.

2.7.1 Principios de operación.

La soldadura GMAW establece un arco entre el electrodo que es alimentado continuamente y la pieza. Siempre y cuando se realicen las operaciones apropiadas por el operador en el equipo, la longitud de la soldadura se mantiene en una magnitud aproximadamente constante, a pesar de los cambios de distancias que se puedan dar entre la pistola del equipo a la pieza durante una operación normal. La regulación automática del proceso se puede dar de dos métodos;

La alimentación del electrodo a velocidad constante (ajustable) con una fuente de corriente variable (a voltaje constante); a modo que si se disminuye la longitud del arco, la fuente de energía proporciona más corriente o menos corriente si aumenta la longitud del arco, esta variación de corriente provoca cambios correspondiente en la velocidad de quemado del electrodo, manteniendo así la longitud del arco deseado.

Utilización de una fuente de energía de corriente constante y velocidad variable, con un detector de tensión en el alimentador del electrodo; De esta manera las modificaciones de la longitud del arco corresponden directamente a un cambio en el voltaje a través del arco. Al momento de revelar este cambio del voltaje, la velocidad de la unidad de alimentación del electrodo cambia, para suministrar más o menos electrodo por unidad de tiempo. Para esta aplicación se limita a electrodos más grandes con velocidades de alimentación más baja.

2.7.2 Equipamientos para la soldadura GMAW.

- *Máquina para soldar con arco y cables*

En la soldadura GMAW se necesita una máquina soldadora de diseño especial. En lugar del ciclo usual de trabajo de 60%, funciona con un ciclo de trabajo de 100%. Se utiliza un rectificador para cc o un generador, que funcionan con corriente continua de polaridad inversa (CCPI). Estas máquinas también son de voltaje constante, lo que significa que el voltaje cambiará muy poco, incluso con gran cambio en el amperaje, (Figura 2.8). Cuando se utiliza una máquina de voltaje constante con el proceso GMAW, el amperaje se controla por velocidad de alimentación del alambre; cuanto mayor sea la velocidad, más alto será el amperaje. Con ello, el arco se ajusta por sí solo.

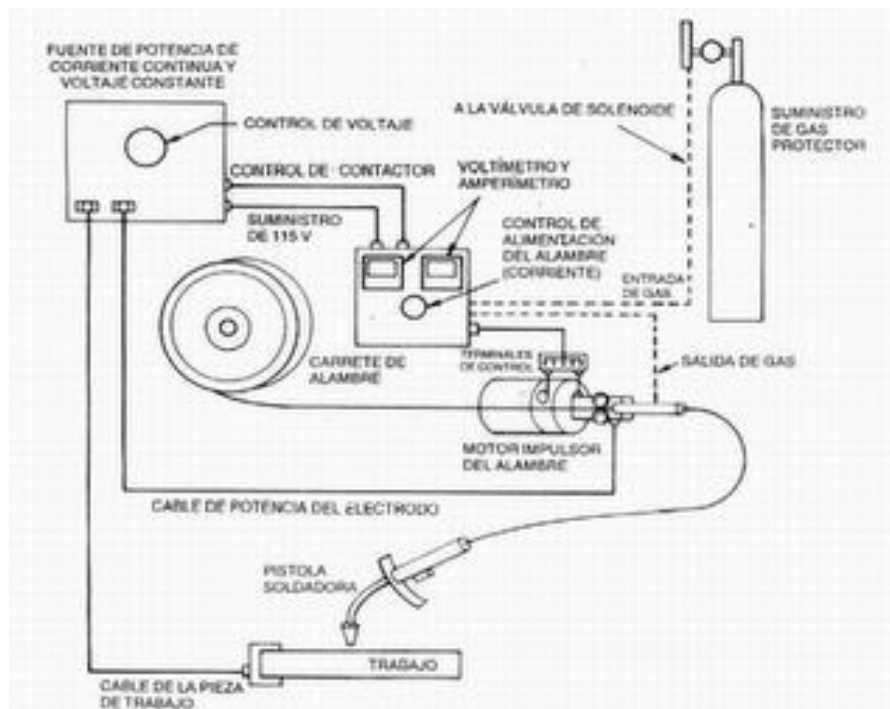


Figura 2.8. Esquema del equipo para la soldadura G.M.A.W.

Fuente: Monografía-equipo-básico-para-soldar-al-arco.

- ***Gases protectores***

La finalidad de los gases protectores, igual que en otros tipos de soldadura con arco, es evitar la contaminación del metal de soldadura. Los gases protectores también influyen en el arco y en la profundidad de penetración. Los tres principales gases que se emplean en GMAW son *argón*, *helio* y *dióxido de carbono* (o una mezcla de ellos), que genere el gas más eficaz y menos costoso que sea posible. El helio es el más costoso, seguido por el argón y el dióxido de carbono; sin embargo, el costo no es el único factor por considerar. El argón produce un cordón muy estrecho y el helio uno ancho. El dióxido de carbono produce un cordón más grueso que el argón, pero más delgado que el helio. El gas protector que utilice depende del proceso de soldadura, el tipo de metal base y los resultados deseados.

- ***Mecanismo alimentador del electrodo***

El mecanismo alimentador de electrodo consta de un sistema de rodillos y engranes movidos por un motor. Si se gira el cuadrante en el alimentador de electrodo (alambre) para aumentar la cantidad que alimenta a la zona de soldadura, el amperaje se incrementa en forma automática. Los mecanismos actuales de alimentación son más complicados y no sólo controlan el amperaje sino también el flujo de gas y agua entre otras funciones. Hay tres métodos para mover el electrodo: "empuje", "tracción" y una combinación de ambos. El método de empuje se emplea para alambres duros, como los de acero; el método de tracción es para alambres (electrodos) blandos, como los de aluminio. El método combinado de empuje y tracción se utiliza, a veces, en trabajos de construcción en donde no es posible llevar toda la máquina al sitio de trabajo y se necesitan cables largos. Los rodillos alimentadores se deben cambiar de acuerdo con el tipo y tamaño del electrodo que se emplee.

- ***Electrodos***

Los electrodos para la soldadura GMAW, igual que los normales para soldadura con arco, se fabrican para que coincidan con el tipo de metal que se va a soldar. Según sea el proceso que se utilice, los electrodos pueden ser de alambre macizo, desnudo, con recubrimiento de fundente o con núcleo de fundente (alambre hueco con fundente en su interior). Los electrodos de alambre se designan con las clasificaciones CSA W48-4 y AWS A45-18.

La especificación AWS A5.18, la cual trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) denomina los alambres de la siguiente forma:

ER70-SX

Donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco (para MIG/MAG).

R: Indica aporte que funde por un medio diferente que el conducir la corriente del arco eléctrico (para TIG y plasma)

70: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura la cual es igual para todas las referencias.

S: Indica el alambre sólido.

X: Es un número que indica la composición química del alambre.

- ***Caretas o cascos***

Para protegerse contra los rayos se usa una protección para la cara (careta o casco protector). El casco es más seguro para los principiantes; pero la careta o pantalla de mano se emplea con más frecuencia en la industria.

Las caretas se deben hacer de un material aislante fuerte, como la fibra, con piezas laterales de cuando menos 50 mm (2 in) de anchura. Deben ser ligeras de peso. El casco o yelmo más adecuado es el que tiene la parte delantera movable, de modo que le permita levantar el lente o vidrio oscuro cuando no está soldando. Con esto, puede ver su trabajo sin tener que quitarse todo el casco.

Todos los cascos tienen bandas ajustables para la cabeza. Cada soldador puede comprar también sus bandas para el sudor. Si el casco está demasiado apretado o demasiado flojo (en el movimiento descendente) se puede ajustar con facilidad girando los tornillos en el exterior del casco con un destornillador.

- ***Lentes***

Para permitir que el soldador pueda ver mientras está soldando y para filtrar los rayos perjudiciales de la soldadura de arco, se utiliza un lente de color en el casco o en la careta. Estos lentes suelen ser verdes, están graduados por número y están disponibles en tamaños estándar. Por ejemplo, los del núm. 6 son de color claro y los del núm. 12 son de color oscuro. El grado más popular es el núm. 10. Debido a que estos lentes son muy costosos, se protegen con un vidrio o placa de plástico incoloros. También se fabrican lentes con graduación y bifocales para quienes necesitan corrección de la vista.

- ***Guantes***

Los guantes que tienen guanteletes largos protegen las manos y las muñecas contra los rayos del arco. Se suelen hacer con piel curtida al cromo y están

disponibles como guantes normales con dedos o manoplas. Es importante que tengan un refuerzo entre el pulgar y el índice para evitar desgaste excesivo y para detener las chispas cuando se hace la soldadura en posición incómoda. Se deben usar los guantes cuando se está soldando, pero no es pertinente usarlos para agarrar metal caliente. El calor hace que los guantes se pongan rígidos, duros e incómodos para usarlos.

- ***Cortinas***

Todas las zonas o casetas para soldadura deben estar equipadas con cortinas de asbesto (amianto) o de lona resistente al fuego. El soldador que utiliza la caseta debe correr estas cortinas para evitar el peligro de un deslumbramiento para quienes pasen o trabajen en las inmediaciones. En la industria no siempre es posible rodear el área de soldadura con una cortina de asbesto. En estos casos, se utilizan cortinas portátiles. El soldador es el responsable de ver que estén colocadas antes de soldar.

2.7.3 Gases de aplicación en la soldadura GMAW.

2.7.3.1 Método MIG.

- ***Gas comercial ARCAL 1.***

Se trata de un gas argón de alta calidad que se utiliza para soldaduras de aleaciones ligeras y aleaciones cuprosas. Este gas comercial facilita una excelente protección y un arco estable a baja intensidad de corriente.

Puede revelarse como insuficiente cuando se trata de obtener fuertes penetraciones, una buena productividad o de asegurar una buena compacidad. A elevada intensidad, la radiación del arco bajo atmósfera de argón puede plantear el

problema de la emanación de ozono, particularmente en la soldadura de aluminio puro.

- ***Gas comercial ARCAL 12.***

Mezcla muy polivalente utilizado en soldaduras de aceros inoxidable en todos los regímenes de arco, con la garantía de un fácil cebado y de una buena estabilidad de arco. Adecuado tanto para soldadura monopasada o multipasada. Su bajo contenido de CO_2 permite limitar las emisiones de humos.

- ***Gas comercial ARCAL 31.***

Tan polivalente como el ARCAL 1, es mayormente manejado en soldaduras de aleaciones ligeras y cuprosas. El ARCAL 31 contiene una adición de helio con el objeto de reducir la emanación de Ozono.

- ***Gas comercial ARCAL 32.***

Sobre todo destinado a la soldadura manual, en aleaciones ligeras, esta mezcla permite:

- a) Sensibles ganancias de productividad (hasta el 30 %)
- b) Mejora la compacidad de las uniones.
- c) Disminuye las emisiones de ozono y de óxido de nitrógeno

- ***Gas comercial ARCAL 37.***

Aconsejado para la soldadura automática, en aleaciones ligeras y de las aleaciones cuprosas, esto aporta:

- Una ganancia de productividad de hasta el 80%.
- Una disminución de las temperaturas de precalentamiento.
- Una reducción de óxidos de nitrógeno y del ozono hasta más del 60%.
- La penetración muy masiva permite una mejor tolerancia del centrado de la zona fundida, una compacidad irreprochable en plano, una mejor resistencia a la fisuración en caliente y una economía de achaflanado costosa.
- ***Gas comercial CARGAL 1.***

Mezcla polivalente utilizable en todos los regímenes de arco, sobre aceros inoxidable austeníticos (AISI 304, 316, etc.) normales y de bajo carbono. Fácil cebado y de una buena estabilidad de arco, presenta adecuada penetración y velocidad de soldadura. Puede ser aplicado tanto para soldadura monopasada o multipasada.

2.7.3.2 Método MAG.

- ***Gas comercial ARCAL 14.***

Este gas es empleado para soldar aceros no aleados y débilmente aleados. Mezcla especialmente optimizada para el régimen pulsado, utilizable también en régimen no pulsado sobre pequeños espesores. Su bajo poder de oxidación permite soldar con una emisión de humos particularmente reducida, obteniéndose soldaduras de excelentes estados superficiales.

- ***Gas comercial ARCAL 21.***

Adaptado a los regímenes de cortocircuitos y pulverización axial, se utiliza para unir aceros no aleados y débilmente aleados. Puede ser utilizado también en régimen

pulsado. Permite obtener una soldadura bien penetrada con una tasa de proyecciones y humos particularmente reducida. Asociado a una regulación de tensión baja y elevadas velocidades de hilo, el ARCAL 21 permite obtener velocidades de soldadura elevadas en aplicaciones automatizadas o robotizadas.

- ***Gas comercial ARCAL 112.***

Soldadura MAG pulsada (GMAW-P) de los aceros inoxidable austeníticos. Debido a los contenidos de hidrógeno y de helio incrementa la productividad en régimen pulsado (penetración, velocidad de soldadura) y permite disminuir los efluentes nocivos.

- ***Gas comercial ARCAL 121.***

Es aplicable en aceros inoxidable, este producto aporta una mejora del aspecto de la soldadura y de la productividad. Los cordones obtenidos están poco oxidados y gracias a la presencia de helio, la velocidad de avance puede elevarse entre un 10 y un 15% a la vez que se conserva un excelente mojado. ARCAL 121 es adecuado tanto para soldadura monopasada como multipasada. Puede ser utilizado con todos los regímenes de arco. Su contenido en helio es suficiente para reducir de forma significativa los efluentes nocivos.

- ***Gas comercial ATAL 20/25.***

Para aceros no aleados y débilmente aleados. Su alto contenido de CO_2 le permite obtener buenas penetraciones y buenas compacidades. Esta mezcla es

utilizable en todas las posiciones de la soldadura. Se asocia muy bien con los hilos tubulares. Se recomienda cuando la compacidad y las características mecánicas constituyen criterios prioritarios.

También utilizable en la soldadura MAG (FCAW) de los aceros inoxidable con hilos tubulares.

- ***Gas comercial ATAL 5A.***

Para los aceros no aleados y débilmente aleados, es aplicable en todas las propuestas de soldadura MAG de aceros al carbono que requieran altos niveles de exigencia. Su bajo nivel de impurezas (H_2O , O_2 , etc.) y su específico contenido de dióxido de carbono lo hacen muy versátil tanto para soldaduras con hilos sólidos como tubulares. Apto para toda posición de soldadura y tipo de transferencia en procesos manuales o automáticos.

- ***Gas comercial DIOXIDO DE CARBONO.***

Para aceros no aleados y débilmente aleados, utilizado también con algunos de hilos tubulares para la soldadura FCAW de los aceros. Debido a la elevada emisión de humos y de proyecciones de metal fundido cuando se utiliza en la soldadura de los aceros con hilos macizos, en su lugar, se utilizan mezclas de argón con CO_2 e inclusive con O_2 como ATAL, ARCAL 21, ARCAL 14, que estabilizan mucho mejor el arco de soldadura y disminuyen la emisión de efluentes nocivos.

- **Gas comercial TERAL 23.**

Para aceros no aleados y débilmente aleados. La adecuada dosificación de CO_2 y O_2 la convierte en una mezcla polivalente con la que se pueden obtener buenas velocidades de soldadura y fluidez.

Es un producto muy adecuado sobre todo para los hilos macizos, con reducido nivel de salpicaduras. Especialmente aplicable para procesos automáticos.

2.8 ENSAYOS MECANICOS.

La aplicación de los ensayos mecánicos permite caracterizar a los metales, desde el punto de vista de su respuesta a la deformación plástica, endurecimiento y tipo de fractura. Los ensayos mecánicos se pueden clasificar como destructivos y no destructivos. Entre los ensayos destructivos se mencionan los siguientes:

2.8.1 Ensayo de tracción.

Para la determinación de las propiedades mecánicas, el ensayo de tracción es el más utilizado. Este ensayo es de fácil aplicación, ya que trata básicamente en la aplicación de esfuerzos a tracción a un material, hasta obtener la ruptura del mismo. Durante la realización del ensayo se miden repetidamente las cargas aplicadas y el alargamiento que presenta la probeta. De aquí se obtiene el diagrama de esfuerzo deformación. La fuerza ejercida sobre la probeta se divide por el área transversal nominal y se obtiene el esfuerzo al cual se somete la pieza. Para el cálculo de la deformación se divide el alargamiento total producido en la pieza por la longitud inicial presente en la probeta. Una de las máquinas universales que se aplica para este ensayo se muestra en la figura 2.9.

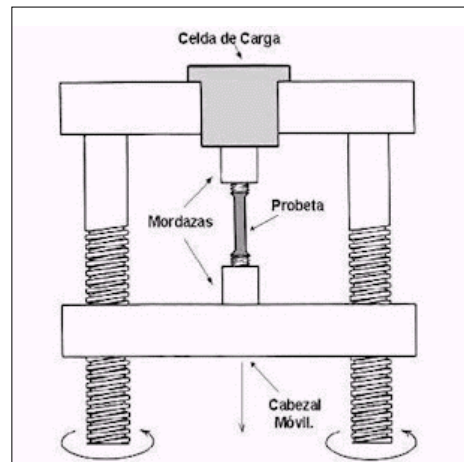


Figura 2.9. Aplicación del ensayo de tracción
Fuente: Tópicos sobre Conformado de Metales.

En un ensayo de tracción, cuya curva característica se muestra en la figura 2.10, pueden determinarse diversas características de los materiales, tales como:

- *Módulo de elasticidad o Módulo de Young.*
- *Coefficiente de Poisson:* cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- *Límite de proporcionalidad:* es el valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- *Límite de fluencia o límite elástico aparente:* es el valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.

- *Límite elástico*: valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado. Figura 2.9
- *Carga de rotura o resistencia a la tracción*: es la carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.
- *Alargamiento de rotura*: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

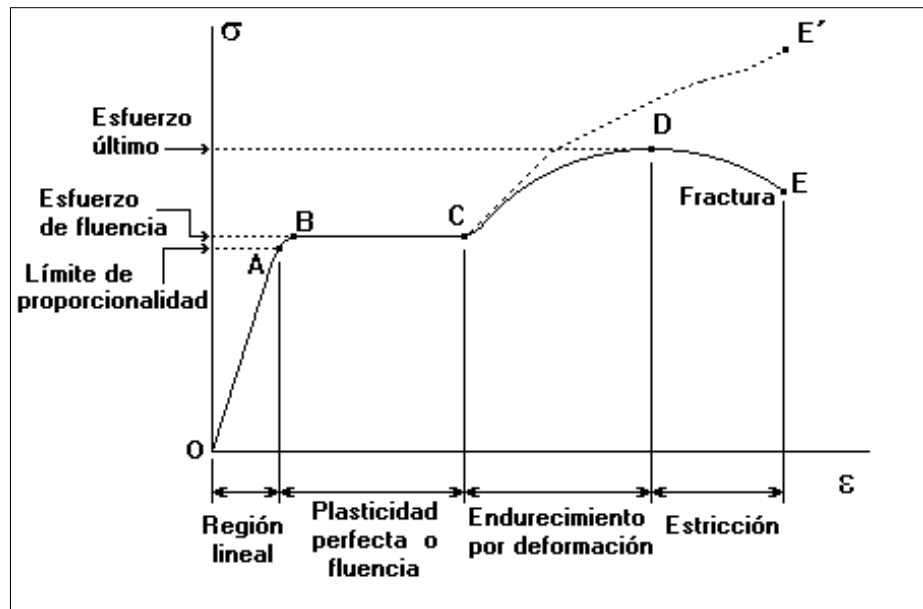


Figura 2.10. Diagrama Esfuerzo – Deformación de materiales dúctiles en tensión

Fuente: Tópicos sobre Conformado de Metales.

2.8.2 Ensayo de doblado.

La realización del ensayo de doblado el material se deforma plásticamente, al extraer los esfuerzos que causaron deformación, el material toma una forma permanente. Una de las características del proceso de doblado es que genera la

disminución del espesor, ya que debe mantener el mismo volumen. Las fibras externas del material doblado presentan un estado de tensión, mientras que las fibras internas se presentan en compresión.

La línea neutra del material se mantiene, siempre y cuando el radio al doblado es relativamente grande, mientras que cuando se dobla con radios pequeños, la línea neutra se desplaza hacia el lado que se encuentra en estado de compresión. Uno de los equipos destinados al ensayo de doblado, es la prensa universal como la mostrada en la figura 2.11.



Figura 2.11. GALDABINI para realización de ensayo de doblado
Fuente: Laboratorio de materiales y procesos de fabricación, UC.

2.8.3 Ensayo de dureza.

La dureza de un material se puede definir como; la resistencia de un material a ser penetrado. En la aplicación de este ensayo de dureza se utiliza un penetrador, que

puede ser del tipo; pirámide, esfera o cono. El material de estos penetradores deben ser mucho más duro que el material al cual se le está realizando el ensayo.

Los métodos de para aplicar este ensayo, utilizan diferentes penetradores y cargas, se clasifican e identifican de la siguiente forma:

- Ensayo Brinell (dureza Brinell – HB)
- Ensayo Rockwell (dureza Rockwell – HR)
- Ensayo Vickers (dureza Vickers – HV)
- ***Ensayo de Microdureza.***

Este ensayo de micro dureza se considera cuando se emplean cargas de 2Kg o menos. Este ensayo es del tipo Vickers, fue introducido en Inglaterra en 1925. La figura 2.12 muestra una típica huella Vickers. Con el término Vickers también se refiere a la pirámide de diamante.

El método Vickers se deriva directamente del método Brinell. Se emplea mucho en laboratorio y en particular para piezas delgadas y templadas, con espesores mínimos hasta de 0,2 mm. Para realizar el ensayo, se utiliza un microdurómetro (Figura 2.14), el cual posee un penetrador con punta piramidal de base cuadrangular y ángulo en el vértice entre caras de 136° .

Este ángulo se eligió para que la bola Brinell quedase circunscrita al cono en el borde de la huella.

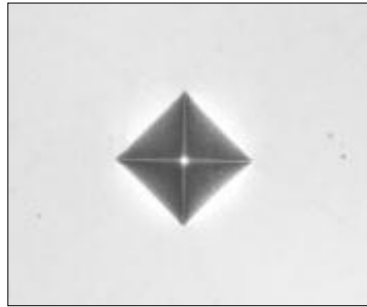


Figura 2.12. Huella Vickers.

Fuente: www.construnario.com/catalogo/abello-linde-sa/productos

La geometría del penetrador Vickers es la misma que para los ensayos convencionales de “macro” dureza. La figura 2.13 muestra el esquema de un penetrador Vickers donde la profundidad de penetración es $1/7$ de la diagonal.

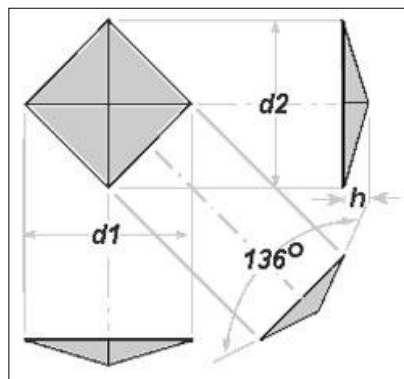


Figura 2.13. Penetrador Vickers

Fuente: www.construnario.com/catalogo/abello-linde-sa/productos

Ventajas del método Vickers:

- Las huellas Vickers son comparables entre sí; independientes de las cargas.
- Pueden medirse una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta muy duros, llegándose hasta una dureza de 1.150 HV.

- Se pueden medir piezas muy delgadas con cargas pequeñas, hasta espesores de 0,05 mm.
- Puede medirse dureza superficial, como para determinar recubrimientos de los materiales.
- La escala Vickers es más detallada que la Rockwell.
- Al realizar el ensayo se retira para examinar la huella y puede comprobarse el estado del penetrador.



Figura 2.14. Microdurometro Buehler.

2.9 ENSAYOS METALOGRAFICOS.

2.9.1 Ensayo de macroscopía.

Este ensayo tiene por objeto detectar los defectos que pueden presentarse en una sección o parte de una pieza metálica detectables a simple vista o utilizando elementos de observación con aumento máximos de 10X.

Suministra información sobre la macro estructura, es decir, se puede apreciar las siguientes características:

- Segregaciones.
- Inclusiones no metálicas.

- Tratamientos termoquímicos.
- Orientación de los granos.
- Penetración del temple.

La realización de este ensayo se puede llevar a cabo sobre:

- Superficies naturales (fracturas).
- Superficies preparadas sin ataque.
- Superficies preparadas con ataque.

2.9.2 Ensayo de microscopía.

Se emplea un microscopio óptico, (Figura 2.15), este ensayo proporciona información sobre la macro y micro estructura acerca de:

- Las estructuras de las aleaciones (tratamientos térmicos).
- Tamaño y forma de los granos.
- Naturaleza de las inclusiones no metálicas.
- Defectos microscópicos.
- Corrosiones intergranulares.
- Capas superficiales.



Figura 2.15. Microscopio óptico.

Fuente: Laboratorio de materiales y procesos de fabricación, UC

2.9.3 Análisis químico.

El Análisis Químico en aceros se aplica específicamente para la determinación de la cantidad de carbono, azufre, oxígeno y nitrógeno presente en estos materiales. Es evidente la importancia que tienen estos elementos cuando se presentan en los aceros, ya que de su cantidad, dependerán las propiedades finales de los mismos.

Tanto el carbono como el nitrógeno actúan sobre la dureza y resistencia del acero en general a través de actuar sobre la presencia de determinados microconstituyentes. En cambio el oxígeno y el azufre, están asociados al control del tipo de inclusiones y también del control de los elementos de aleación.

Dentro de los métodos existentes para la determinación de la composición química de un acero, se cuenta con la espectroscopía, el cual es un proceso que emplea un espectrofotómetro que analiza la muestra mediante la emisión de una chispa, generada por una fuente de alto voltaje (13000 V). Ésta chispa, excita la zona atacada a fin de captar mediante un monocromador y una serie de fototubos el espectro de la zona atacada.

CAPÍTULO 3

Marco Metodológico

3.1 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

Para llevar a cabo la ejecución del trabajo que se plantea, de una forma progresiva y que arroje los mejores resultados posibles, es esencial la identificación de los niveles a estudiar, durante el tiempo destinado a la realización de la investigación. El nivel que identifica a este proyecto, es el de una investigación descriptiva, es decir, mediante la ejecución del procedimiento experimental que este requiere, se logra caracterizar las juntas soldadas de estudio, con el fin de establecer su microestructura y comportamiento mecánico.

Al mismo tiempo se abordará el tema con una investigación exploratoria debido a que el análisis del comportamiento mecánico y de la microestructura en las juntas de estudio, poseen escasos estudios referentes.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Es de suma importancia adoptar una estrategia donde se aplique una investigación experimental. Debido a la necesidad que existe, de practicar distintos

ensayos mecánicos y metalúrgicos normalizados, a las juntas sometidas a soldadura GMAW con diferentes niveles de amperaje, para satisfacer los objetivos planteados.

3.3 POBLACION Y MUESTRA.

La población para la realización de la investigación, estará dada por dos materiales, los cuales serán: *Acero Estructural (A36)* y *Acero Especial Naval (A131)*.

Las muestras se distribuirán en; 66 probetas para ensayos mecánicos, y 22 probetas para ensayos metalúrgicos. El número de probetas por ensayo estará dado según lo indicado en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Distribución de las muestras por ensayo.

<i>Ensayo</i>	<i>Nº Probetas</i>
<i>Tracción</i>	<i>33</i>
<i>Doblado</i>	<i>22</i>
<i>Espectroscopía</i>	<i>11</i>
<i>Macroscopía y Microscopía</i>	<i>11</i>
<i>Microdureza</i>	<i>11</i>

3.4 TIPO DE MUESTREO.

Para este caso, el muestreo será del tipo probabilístico, ya que se conoce que las probetas fabricadas integran en un 100% a la muestra considerada.

3.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

Los resultados se obtendrán mediante la aplicación de ensayos mecánicos y metalúrgicos. A demás, se llevarán a cabo técnicas como la observación directa de las muestra, grafica de curvas, entre otras.

Para la aplicación de recolección de datos, los instrumentos que se emplearán serán:

- Computadores para la recuperación bibliográfica.
- Equipo universal para el ensayo de materiales (Galdabini 20 Ton).
- Tablas de observación para el ensayo de doblado.
- Durómetro para realizar los ensayos de dureza.
- Entre otros

3.6 TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.

Las técnicas de procesamiento que se utilizarán en la investigación serán analizadas con diferentes parámetros de trabajo (amperaje y voltaje), utilizando recursos como; tablas y gráficas de análisis, a fin de obtener las tendencias de la información registrada, realizar comparaciones y de esta manera obtener diferencias entre las variables estudiadas.

3.7 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS.

Para la preparación de las juntas soldadas y ensayos requeridos para la investigación, se emplearán dos tipos de material base, el acero estructural A36 y el

acero naval A131; ambos en planchas de 5.15 mm de espesor de diferentes dimensiones, de donde se extraerán la cantidad de láminas necesarias.

Para el diseño y preparación de las juntas, se utilizaran los siguientes equipos y materiales:

- Sierra vertical.
- Sierra cinta de acero rápido, 1/2”
- Limadora.
- Herramienta de corte de acero rápido.



Figura 3.1. Limadora.

Fuente: Laboratorio de materiales y procesos de fabricación, UC.

Para la aplicación de la soldadura, se contará con la colaboración del Ingeniero Metalúrgico Ildefonso Zambrano, quién es soldador calificado del Centro Tecnológico de Soldadura de Lincoln, Soldaduras de Venezuela C.A. En este proceso se utilizaran los siguientes implementos y equipos:

- Carrete de alambre, electrodo ER70S-6, de 0.45” de diámetro.
- Fuente de poder multipropósito Invertec V350-PRO Lincoln Electric.

- Gas de protección inerte ARGOMIX 20 Ar-CO₂.
- Equipo de soldadura LN 25-PRO Dual Power, Lincoln Electric.



Figura 3.2. Equipo de soldadura Lincoln Electric.

Fuente: Centro Tecnológico de Soldadura de Lincoln, Soldaduras de Venezuela C.A.

Para el corte de las probetas a partir de las láminas soldadas se solicitará el servicio de la empresa GUADAGNINI C.A, ubicada en Turmero, Estado Aragua, en donde utilizan una maquina de corte por chorro de agua y polvo de diamante, Marca Flow, Modelo IFB-6012 con bomba intensificadora 50 HP, año 2007.

Para la preparación de las probetas y la práctica de los ensayos mecánicos y metalográficos, se dispondrá de los siguientes equipos y herramientas:

- Desbastadora de cinta.
- Papeles abrasivos de diferentes medidas granulares (240, 320, 400 y 600).
- Alúmina fina y gruesa en suspensión acuosa y reactivo de ataque Nital al 2 %.
- Banco de Pulido metalográfico y paños de pulido.



Figura 3.3. Pulidora Metalográfica. **Figura 3.4.** Desbastadora de cinta.

Fuente: Laboratorio de materiales y procesos de fabricación, UC.

- Equipo Universal de ensayos mecánicos GALDABINI; para los ensayos de tracción y doblado.
- Microscopio óptico. Marca UNION, modelo MC8267; para el ensayo metalografico de los materiales.
- Microdurómetro Vickers. Marca BUEHLER, modelo Indentamet 1100; para el ensayo de dureza en los materiales.



Figura 3.5. Microdurómetro Buehler.

Fuente: Laboratorio de materiales y procesos de fabricación, UC.

Para la determinación de la composición química del material y de la soldadura se hará uso del siguiente equipo:

- Espectrofotómetro marca ELECTRON.

3.8 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Ésta investigación contó con el desarrollo de cuatro fases metodológicas que describen los pasos realizados para dar cumplimiento de los objetivos planteados.

Fase 1: Caracterización de los metales base y material de aporte.

Fase 2: Preparación de las juntas y aplicación de la soldadura.

Fase 3: Corte de las probetas y ejecución de ensayos.

Fase 5: Análisis de resultados y conclusiones.

Para explicar de manera más amplia el procedimiento con que se desarrolla cada fase, se plantea a continuación el siguiente flujograma (Figura 3.6):

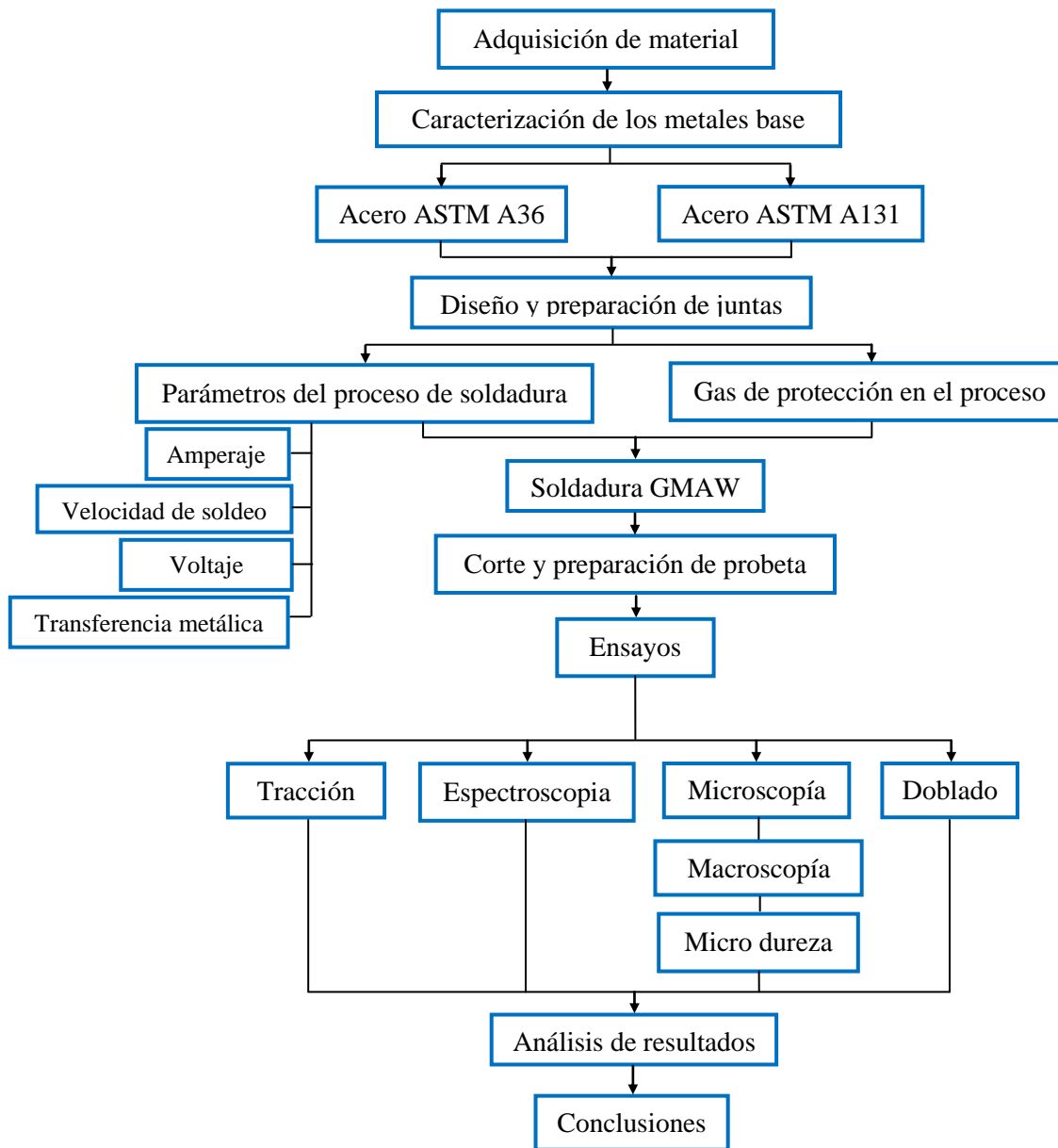


Figura 3.6 Flujograma del procedimiento experimental.

3.8.1 Caracterización de los metales base.

Las propiedades químicas y mecánicas de los materiales base que se utilizarán en el estudio (tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.4), fueron proporcionadas por los proveedores en sus certificados de calidad de material.

Tabla 3.2. Composición química del acero ASTM A36.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	V (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)
0.152	0.007	1.17	0.051	0.016	0.0085	0.001	0.02	0.02	0.02	0,001

Fuente: Certificado de Inspección Acero ASTM A36, MOTASA VALENCIA. ANEXO 1

Tabla 3.3. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

Material	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)
ASTM A-36	260	435

Fuente: Certificado de Inspección Acero ASTM A36, MOTASA VALENCIA. ANEXO 1

Tabla 3.4. Composición química del acero ASTM A131.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0.21	0.50	0.52	0.035	0.035

Fuente: Certificado de Inspección Acero ASTM A131, DIANCA. ANEXO 2

Tabla 3.5. Propiedades mecánicas del acero ASTM A131.

Material	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)
ASTM A-131	235	400-520

Fuente: Certificado de Inspección Acero ASTM A131, DIANCA. ANEXO 2.

3.8.2 Preparación de las juntas y aplicación de la soldadura.

Inicialmente se cortaron láminas de (340x100) mm de cada material base para conformar los pares a soldar. Seguidamente se mecanizó un biselado de 30° con un talón de 2mm a las láminas mencionadas, en donde se aplicó el cordón de soldadura a tope, con una velocidad de avance de 13 in/min, y un gas de protección inerte AR-CO₂ con una presión de 27 pie³/h, según lo establecido en la norma ASME sección IX QW – 200.1. Además se realizó un pase de refuerzo por la parte posterior del bisel.

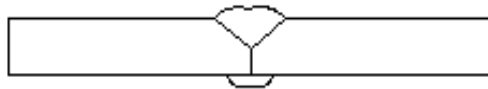


Figura 3.7. Tipo de soldadura.

En el proceso de determinación de los parámetros adecuados para la soldadura, se realizaron 5 cupones de prueba, de donde se seleccionaron tres (3) parámetros de soldeo que formaran cordones con mejor aspecto visual, es decir, buena penetración en el material y mínima presencia de salpicadura. Estos se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Parámetros de soldadura seleccionados.

<i>Tipo de Soldadura</i>	<i>Amperaje (Amp.)</i>	<i>Voltaje (Volt.)</i>	<i>Vel. de Avance (in/min)</i>
<i>S₁</i>	<i>90</i>	<i>20</i>	<i>13</i>
<i>S₂</i>	<i>93</i>	<i>22</i>	<i>13</i>
<i>S₃</i>	<i>110</i>	<i>24</i>	<i>13</i>

3.8.3 Corte de las probetas y ejecución de ensayos.

Después de haber aplicado la soldadura, se diseñó la distribución de las probetas según la norma ASME sección IX QW – 463.1. El corte de las láminas se realizó mediante un proceso de chorro de agua con polvo de diamante.

Las probetas se distribuyeron para ensayos mecánicos bajo las normas ASME sección 9 QW – 462.1 y ASME sección 9 QW – 462.3. Las muestras correspondientes a ensayos metalográficos, según la norma ASTM E384-99. En la figura 3.8 se muestra la distribución de las probetas.

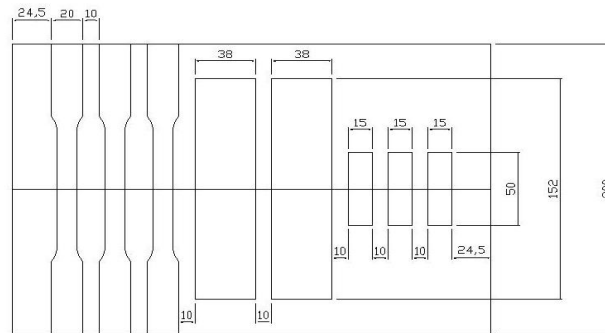


Figura 3.8. Distribución de probetas en las láminas soldadas.

Con la finalidad de establecer un orden en las probetas, según los materiales y parámetros de soldadura, se realizó la siguiente numeración en las muestras:

Tabla 3.7. Identificación de las muestras.

Probeta	Material de la Probeta	Tipo de Soldadura
1	A36 – A36	S₁
2	A36 – A36	S₂
3	A36 – A36	S₃
4	A131 – A131	S₁
5	A131 – A131	S₂
6	A131 – A131	S₃
7	A131 – A36	S₁
8	A131 – A36	S₂
9	A131 – A36	S₃
A36	A36	Sin soldar
A131	A131	Sin soldar

3.8.3.1 Ensayos Mecánicos.

Estos ensayos están divididos de la siguiente manera:

- *Ensayo de Tracción.*

Las probetas se diseñaron para este ensayo bajo la norma ASME sección 9 QW – 462.1, como lo presenta la siguiente figura:

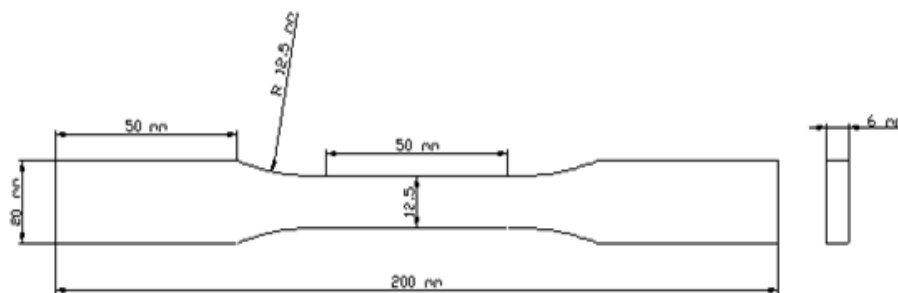


Figura 3.9. Probeta para el ensayo de tracción.

Este ensayo se efectuó, haciendo uso del equipo de ensayos universal Galdabini aplicando una carga máxima de 20000 N a una velocidad de 2 mm/min.

- *Ensayo de Doblado.*

El diseño de las probetas para el ensayo de doblado se realizó según la norma ASME sección 9 QW – 462.3. La siguiente figura muestra las dimensiones de la probeta:

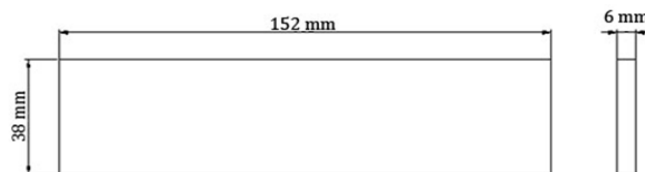


Figura 3.10. Probeta para el ensayo de doblado.

Este ensayo se practicó en el equipo de ensayos universal Galdabini, donde se aplicó una carga sobre la probeta, deformándola hasta que esta tomara la forma del punzón. Debido a que son dos probetas por cada lámina soldada, se realizó un doblado de cara y un doblado de raíz.

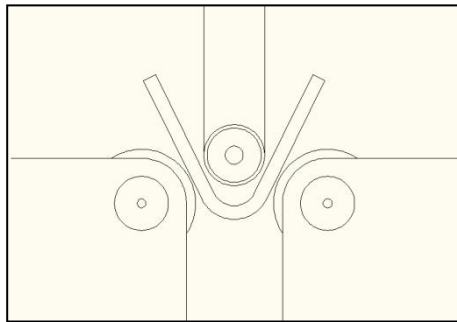


Figura 3.11. Representación del ensayo de doblado.

- *Ensayo de Microdureza.*

El ensayo se efectuó según lo especificado en la norma ASTM E384-99. Esta especifica que debe realizarse un desbaste de las probetas, haciendo uso de diferentes papeles abrasivos y del banco de pulido. Además se aplicó un ataque químico a la superficie pulida de la probeta, con la finalidad de diferenciar las zonas características (metal base, zona afectada y zona de fusión).

Para la lectura de la Microdureza en las probetas, se aplicó una carga de 100 gramos durante 5 segundos, haciendo uso del penetrador o indentador de diamante de forma piramidal de base cuadrada, con ángulo en el vértice de 136° , marca LEITZ. La siguiente figura muestra las zonas estudiadas para el ensayo de dureza.

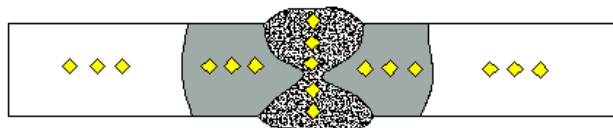


Figura 3.12. Distribución de las zonas para el ensayo de microdureza.

3.8.3.2 Ensayos Metalográficos.

Estos ensayos están divididos de la siguiente manera:

- *Ensayo de Macroscopía.*

Este ensayo mostró a un aumento máximo de 10X las imperfecciones, numero de pases de soldadura, entre otros defectos. Para ello se aplicó un desbaste de la superficie de la probeta y posteriormente se realizó un ataque químico, haciendo uso de Yoduro de Potasio (KI) Yodo (I) al 10% en. Esto se aplicó hasta observar diferencias apreciables entre el cordón de soldadura y el metal base.

- *Ensayo de Microscopía.*

Para el análisis de la microestructura de las zonas características de las probetas soldadas, se utilizó el microscopio óptico, a un aumento de 400X. La preparación de estas probetas se realizó según las normas ASTM E3-01. La metodología del ataque químico, se aplicó bajo la norma ASTM E407-99. El procedimiento que se utilizó para la preparación de las probetas fue el siguiente:

Primeramente se utilizó una desbastadora de cinta con granulometría de 180 y posteriormente papeles abrasivos de diferentes granulometrías (240, 320, 400 y 600), esto para el proceso de desbaste. El pulido de las probetas se efectuó en el banco de pulido, haciendo uso de alúmina fina y gruesa (0.1 μm y 0.05 μm respectivamente). Con la finalidad de revelar la microestructura del acero, se realizó un ataque químico al área pulido con nital al 2%, durante 8 segundos, después se aplicó agua y etanol.



Figura 3.13. Microscopio óptico.

- *Ensayo Espectroscopia*

La realización de este ensayo se logró a través de la Empresa Cooperativa de Producción de Moldes, S.RL. en el espectrofotómetro ELECTRON. Las probetas pasaron por un proceso de desbaste y posteriormente se efectuó el ensayo de espectroscopia por chispa, resultando el porcentaje de cada elemento aleante de los aceros estudiados.

3.8.4 Análisis de los resultados y conclusiones.

Se realizó una comparación de las juntas soldadas de un mismo material, pero a diferentes parámetros de trabajo, para verificar de que manera los valores de voltaje y amperaje afectaban las propiedades mecánicas y microestructurales de los materiales analizados.

CAPÍTULO 4

Resultados y Análisis

4.1 ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA.

La siguiente tabla muestra la composición en porcentaje de todos los elementos que constituyen los metales base (ASTM A36 y A131), según lo obtenido al realizar el ensayo de espectroscopia por chispa.

Tabla 4.1. Composición Química de los elementos que constituyen a los aceros ASTM A131 y ASTM A36.

	<i>Material ASTM A36</i>	<i>Material ASTM A131</i>
<i>Elementos</i>	<i>Composición (%)</i>	<i>Composición (%)</i>
<i>C</i>	<i>0,157</i>	<i>0,200</i>
<i>Mn</i>	<i>0,438</i>	<i>0,628</i>
<i>Si</i>	<i>0,002</i>	<i>0,295</i>
<i>S</i>	<i>0,037</i>	<i>0,086</i>
<i>P</i>	<i>0,064</i>	<i>0,068</i>
<i>Cr</i>	<i>0,011</i>	<i>0,050</i>
<i>Ni</i>	<i>0,019</i>	<i>0,021</i>
<i>Mo</i>	<i>0,002</i>	<i>0,002</i>
<i>Al</i>	<i>0,002</i>	<i>0,002</i>
<i>V</i>	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>
<i>Mg</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>

Al analizar los datos obtenidos en el estudio de la composición química y compararlos con los del certificados de calidad (anexo 1 y 2), se notaron ciertas diferencias en las cantidades de cada uno de los componentes, sin embargo están bajo los límites permisibles que catalogan a estas aleaciones como acero ASTM A36 y acero ASTM A131.

La tabla 4.2, presenta la composición química obtenida a través del ensayo de espectroscopia por chispa, en el electrodo ER70S – 6 para cada parámetro de soldadura de las tres combinaciones de aceros, con el fin de caracterizar el material de aporte empleado y determinar la influencia de la soldadura sobre los aceros.

Tabla 4.2. Composición química de los elementos que constituyen el electrodo ER70S – 6, por cada combinación de aceros.

Parámetro de Soldadura	S₁ (A36-A36)	S₂ (A131-A131)	S₃ (A36-A131)
Elementos	Composición %	Composición %	Composición %
C	0,204	0,258	0,291
Mn	0,589	0,597	0,627
Si	0,293	0,306	0,304
S	0,045	0,041	0,048
P	0,064	0,062	0,065
Cr	0,038	0,040	0,039
Ni	0,021	0,020	0,022
Mo	0,002	0,002	0,002
Al	0,002	0,002	0,002
V	0,002	0,002	0,003
Mg	0,001	0,001	0,001

Los valores obtenidos en la composición química del electrodo utilizado a los tres diferentes parámetros de soldadura (tabla 4.2), presentan poca diferencia respecto a los porcentajes de cada elemento indicado por el fabricante del mismo (anexo 3).

En la tabla 4.2 se aprecia que los elementos tales como el carbono (C) y el manganeso (Mn), presentaron un aumento a medida que los parámetros de soldadura eran mayores, es decir, de S_1 a S_2 , y S_3 (tabla 3.6), posiblemente debido a la gran concentración de calor presente en el cordón de soldadura, esto genera un mayor flujo de material afectado hacia la zona de fusión, lo que provoca un aumento en las proporciones de los elementos aleantes en los metales base.

4.2. ENSAYO DE MACROSCOPIA.

El resultado de los ensayos de macroscopía se aprecian en las siguientes figuras (4.1, 4.2 y 4.3). Estas muestras están dadas por cada combinación de aceros (A36–A36, A131–A131 y A131–A36).



Figura 4.1. Probeta 1, A36- A36, 90 Amp. y 20 Volt.



Figura 4.2. Probeta 8, A131 – A36, 93 Amp. y 22 Volt.

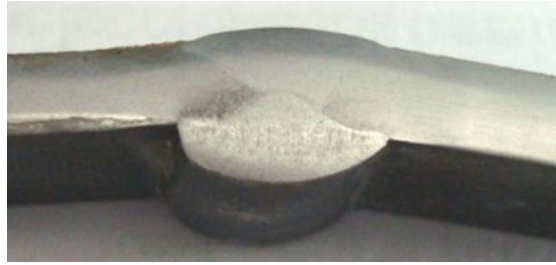


Figura 4.3. *Probeta 6 A131 – A131, 110 Amp. y 24Volt.*

En la figura 4.1, Probeta 1 unida a 90 Amp. y 20 Volt., se puede apreciar que hubo una buena unión entre ambos cordones de soldadura, lo que demuestra una buena penetración. Se observa a su vez que la cristalización del metal de aporte está orientada hacia el centro lo cual es favorable para evitar grietas y mejorar las propiedades mecánicas del cordón. El cordón de la parte inferior de la lámina se hizo con la finalidad de reforzar la unión, a pesar de que a éstas se les realizó un biselado de 30°. Para este parámetro (S_1), las probetas recibieron un sobrepase de soldadura, lo cual se pudo observar por este ensayo. En términos generales, se nota una excelente unión entre los metales.

La figura 4.2 probeta 8, unida a 93 Amp. y 22 Volt., presenta una apariencia muy similar a las probetas de la misma combinación, esto aunado a la poca variación en los parámetros de trabajo (tabla 3.6), entre el primer y segundo caso. En esta figura, se puede apreciar que fue necesario haber realizado un pase de soldadura tanto en la parte superior como en la parte inferior de las laminas, para el refuerzo de la unión en los materiales, lo que influyó en la buena penetración de ambos cordones de soldadura. En la frontera del metal base con la zona de fusión, se observa una tonalidad negra, lo que posiblemente sea de precipitados de carburo.

La figura 4.3, refleja que la probeta 6, posee la zona afectada por el calor más pequeña de las tres muestras observadas, lo que demuestra que hubo gran cantidad de fundición del metal base debido al aporte de calor, y una excelente penetración del

cordón de soldadura. Se observa una zona negra en la frontera del metal base y la zona de fusión, significando posiblemente acumulación de precipitados de carburo.

Mediante el análisis macroscópico se observó que todas las muestras presentaron una buena penetración del cordón de soldadura en ambas secciones de la lámina. Además se obtuvo una buena apariencia a lo largo de la unión.

4.3 ENSAYO DE MICROSCOPIA ÓPTICA.

Para realizar el análisis de microscopía óptica de las probetas soldadas, fue necesaria la preparación metalográfica de cada una de ellas. Este ensayo se practicó con un aumento de 400 X en cada área de las muestras.

La denominación de cada área de trabajo, se especifica a continuación:

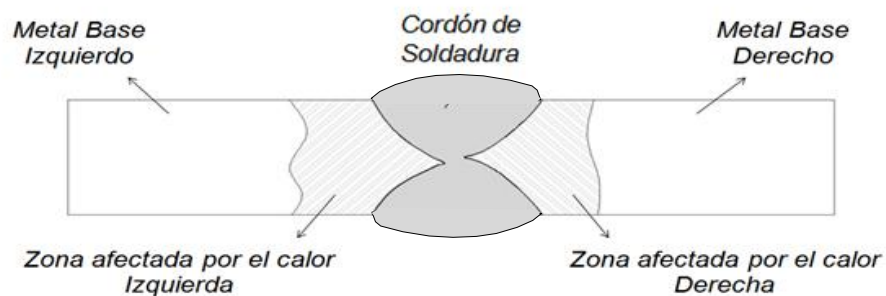


Figura 4.4. Áreas de estudio de las probetas para el análisis microestructural.

4.3.1 Caracterización de los Metales Base.

A continuación en la figura 4.5 se muestra la microestructura obtenida en las probetas de ambos metales base, atacada con Nital al 2% y observada con un aumento de 400X.

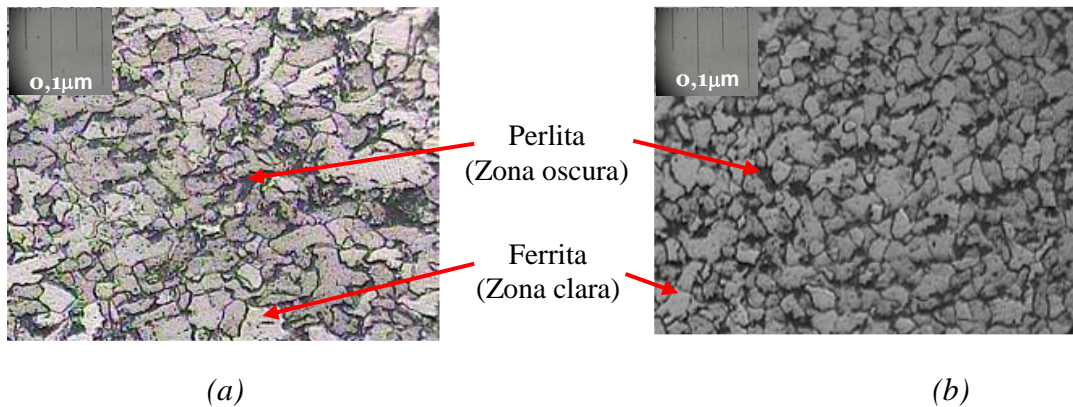


Figura 4.5. Microestructura de los Metales Base. (a) Acero A36, (b) Acero A131, a 400X.

Acero A36: En la muestra observada (a) se presenta una estructura de granos de perlita (parte oscura), dispuestos de forma alargada, lo que evidencia un laminado en caliente y ferrita (parte clara) de tamaño desigual. Se evidencian algunos precipitados de carburo (puntos negros en los granos de ferrita).

Acero A131: Se observa en esta probeta (b), una estructura de granos de tamaño homogéneo, además de perlita alargada y equiaxial, lo que demuestra su fabricación por un proceso de laminado en caliente, con gran presencia de ferrita (parte clara) y abundante perlita (parte oscura).

Se observa que el acero A131 presenta una microestructura de granos mas pequeños y homogéneos que el acero A36.

4.3.2 Analisis de las probetas soldadas.

4.3.2.1 Combinación de aceros A36 - A36.

En la figura 4.6 se muestran las áreas observadas en el estudio microscópico realizado a la *Probeta 1*, soldada a 90 Amp. y 20 Volt., atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

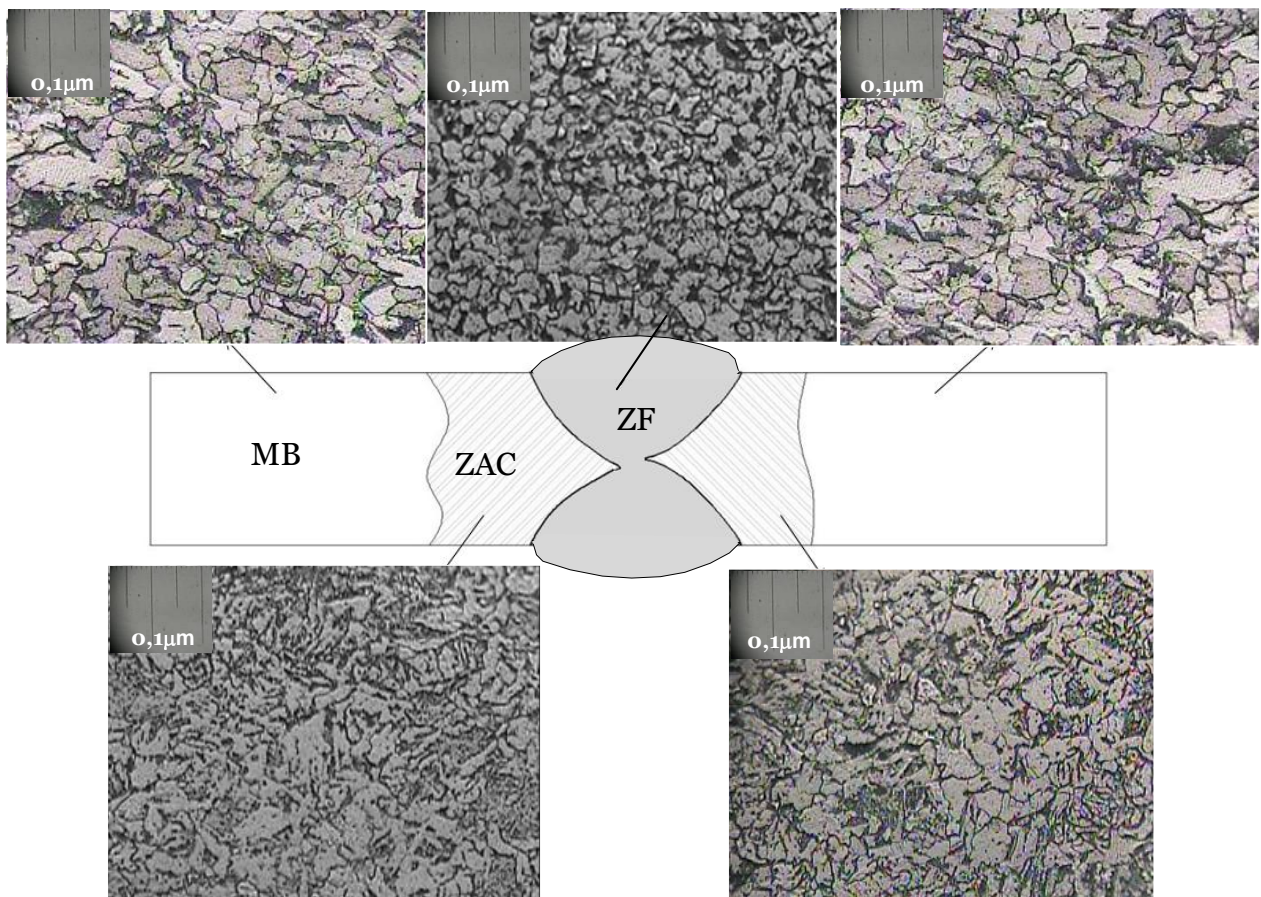


Figura 4.6. Microestructura de la probeta 1 soldada a 90 Amp. y 20 Volt.

Metal Base (MB): Se presenta una estructura de granos de ferrita (parte clara) de tamaño desigual y de perlita (parte oscura) dispuestos de forma alargada, evidencia del laminado en caliente. Se evidencian algunos precipitados de carburo (puntos negros en los granos de ferrita).

Zona afectada por el calor (ZAC): En estas áreas se observa una disminución en el tamaño del grano y el alargamiento de algunos provocado por el calentamiento del metal y posterior enfriamiento (Widmanstatten). Esta zona posee granos de ferrita (Parte clara) y perlita (Parte oscura). Se nota también, presencia de precipitados de carburo.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa la presencia de una estructura ferrítica de granos equiaxiales, y presencia de perlita en los bordes de los granos. También se notan algunos precipitados de carburo.

En la figura 4.7 se muestra la microestructura resultante en la *Prueba 2*, unida a 93 Amp. y 22 Volt, atacada con Nital al 2% y observada con aumento de 400X.

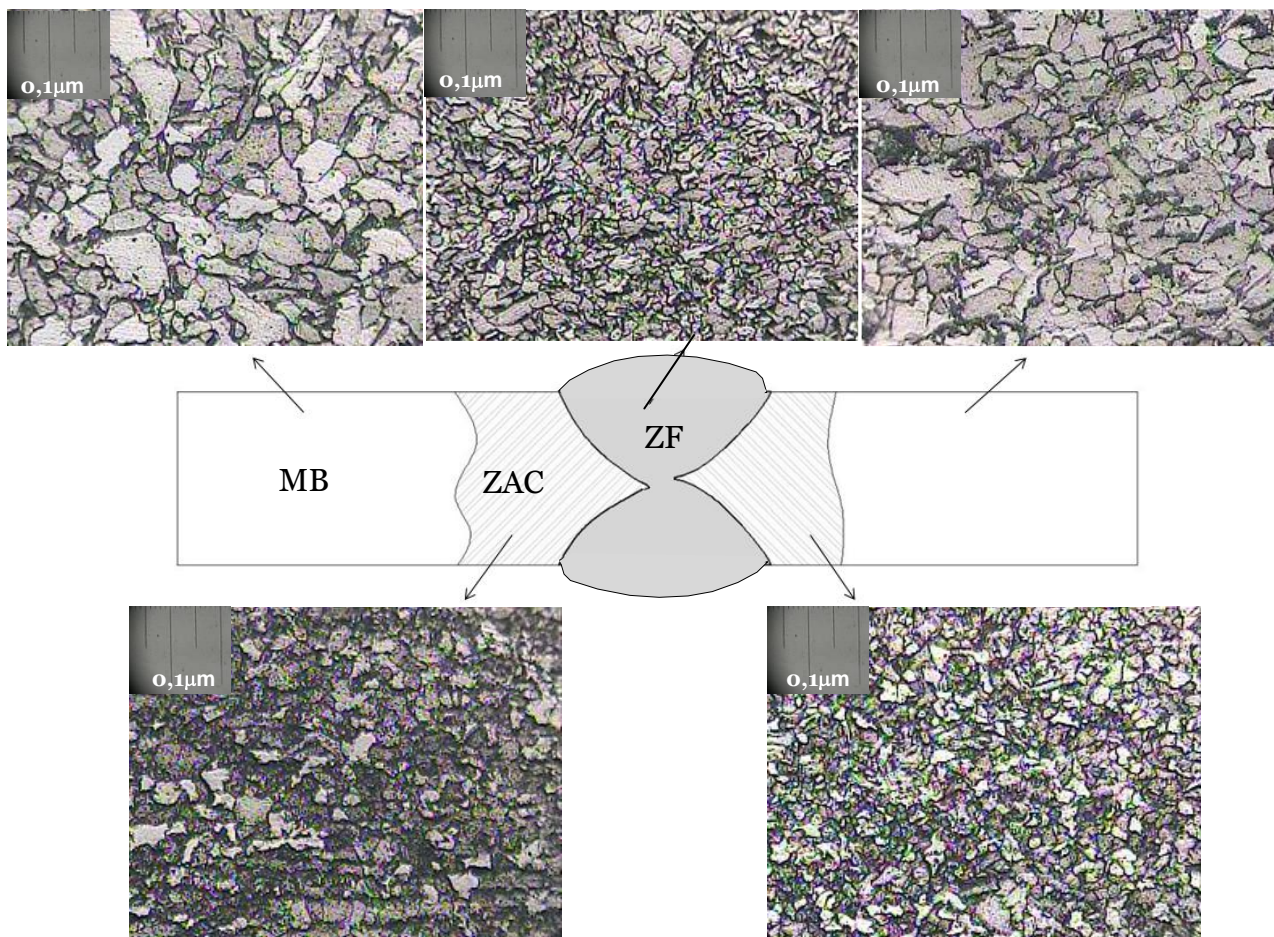


Figura 4.7. Microestructura de la probeta 2, soldada a 93 Amp. y 22 Volt.

Metal Base (MB): Se presenta una estructura de granos de ferrita (parte clara) de tamaño desigual y de perlita (parte oscura) dispuestos de forma alargada, evidencia

del laminado en caliente. Se evidencian algunos precipitados de carburo (puntos negros en los granos de ferrita).

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una disminución del tamaño de los granos, además del arreglo homogéneo de estos, provocado por el efecto de calor de la soldadura. Esta zona posee algunos granos de ferrita y abundante perlita producida por el enfriamiento lento. Se nota también, presencia de precipitados de carburo.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstätten, de granos desordenados y con un tamaño reducido originada por el calor generado en la soldadura y el posterior enfriamiento lento.

A continuación, en la figura 4.8 se observan las zonas de estudio de microscopía de la *Probeta 3*, unida a 110 Amp. y 24 Volts. atacada con Nital al 2% y observada con aumento de 400X.

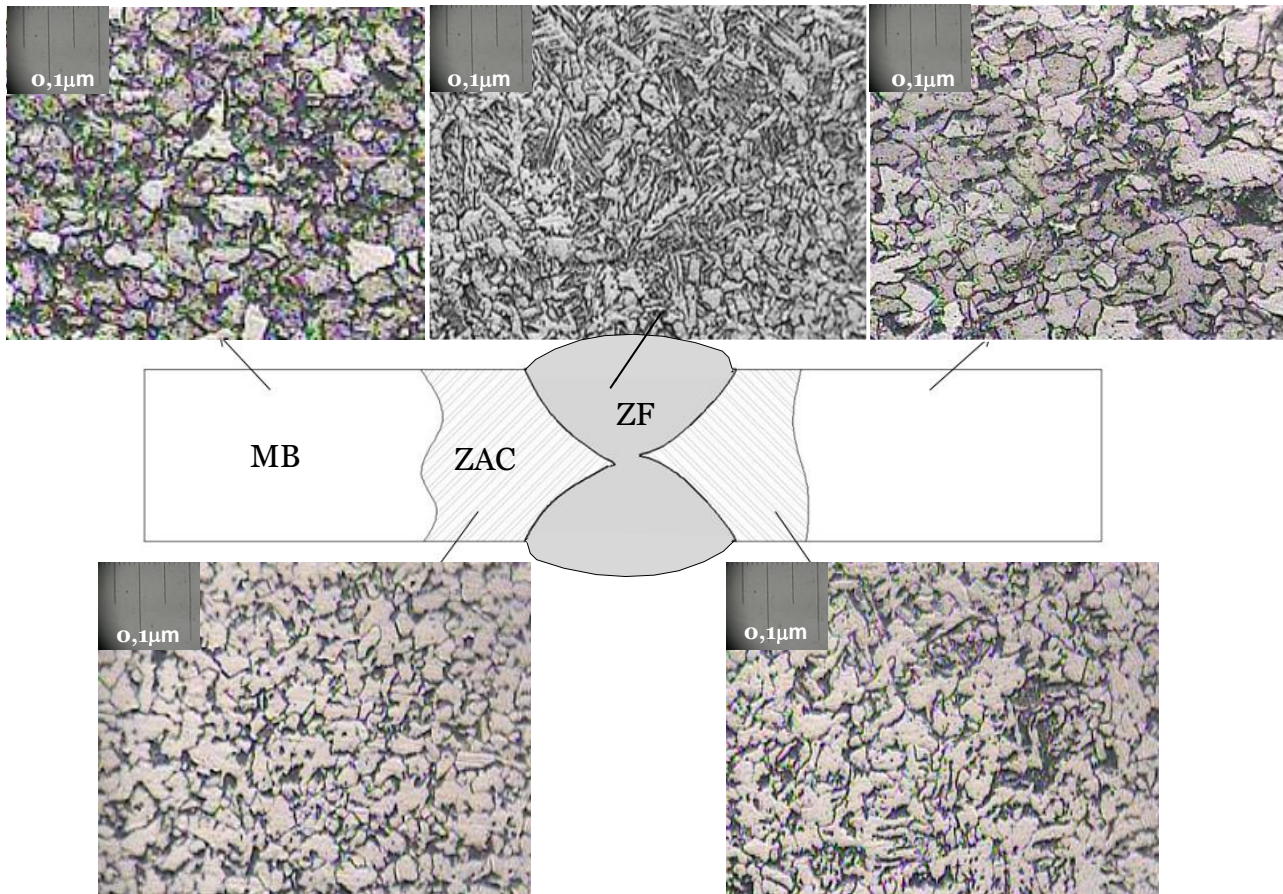


Figura 4.8. Microestructura de la probeta 3, soldada a 110 Amp. y 24 Volt.

Metal Base (MB): Se presenta una estructura de granos de ferrita (parte clara) de tamaño desigual y de perlita (parte oscura) dispuestos de forma alargada, evidencia del laminado en caliente. Se evidencian algunos precipitados de carburo (puntos negros en los granos de ferrita).

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una disminución del tamaño de los granos. Esta zona posee abundante ferrita y algunos granos alargados, además granos de perlita reordenada producida por el enfriamiento lento. Se nota, presencia de precipitados de carburo finamente dispersos en los granos de ferrita.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): En esta foto se observa una disminución del tamaño de grano y una formación de estructuras dendríticas dispersas. Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstätten, de granos asiculares, originada por el calor generado en la soldadura.

En general se observan buenos resultados en el análisis microscópico realizado a las tres probetas de la combinación A36-A36, en especial las zonas afectadas por el calor, donde se notó la disminución del tamaño de grano producido por el aporte de calor ofrecido por el proceso de soldadura.

Cabe destacar que el metal base conservó su microestructura inicial, tal cual como se obtuvo en el proceso de fabricación por laminación en caliente, ya que no fue afectado por el aporte de calor.

4.3.2.2 Combinación de aceros A131 y A131.

En figura 4.9 se observa la microestructura de la *probeta 4*, soldada a 90 Amp. y 20 Volt, atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

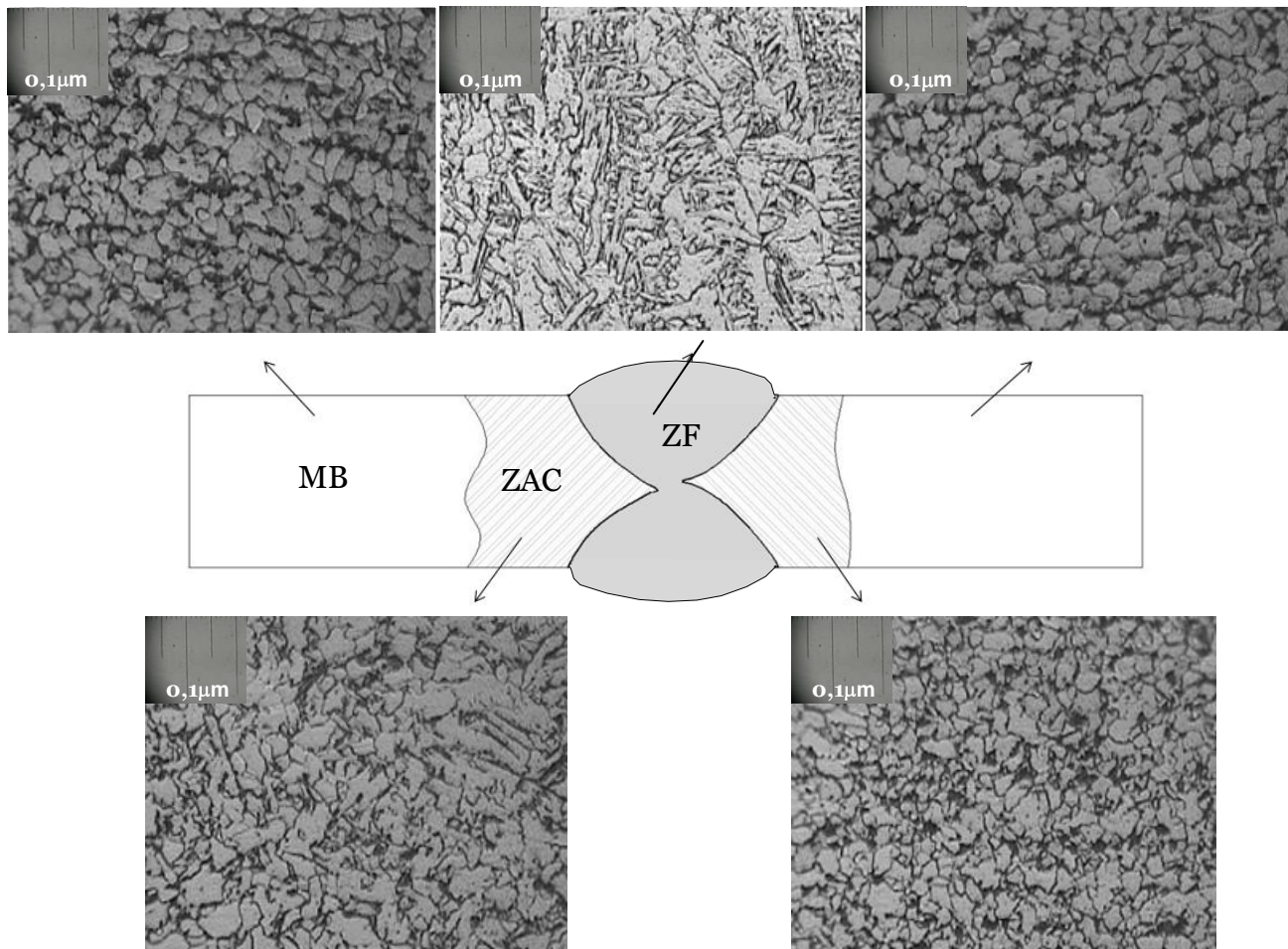


Figura 4.9. Microestructura de la probeta 4, soldada a 90 Amp. y 20 Volt.

Metal Base (MB): Se observa en el metal base una estructura de granos homogéneos y equiaxiales, con una matriz ferrítica y presencia de perlita alargada debido a un proceso de laminación en caliente. Existe la presencia de precipitados de carburo.

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una disminución del tamaño de los granos. Esta zona posee una matriz casi completamente ferrítica. Se nota también, presencia de precipitados de carburo.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa una disminución del tamaño de grano y una formación de estructuras dendríticas dispersas. Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstatten, originada por el calor generado en la soldadura y el posterior enfriamiento lento.

En la siguiente figura 4.10 se encuentra la microestructura de la *probeta 5*, unida a 93 Amp. y 22 Volts. atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

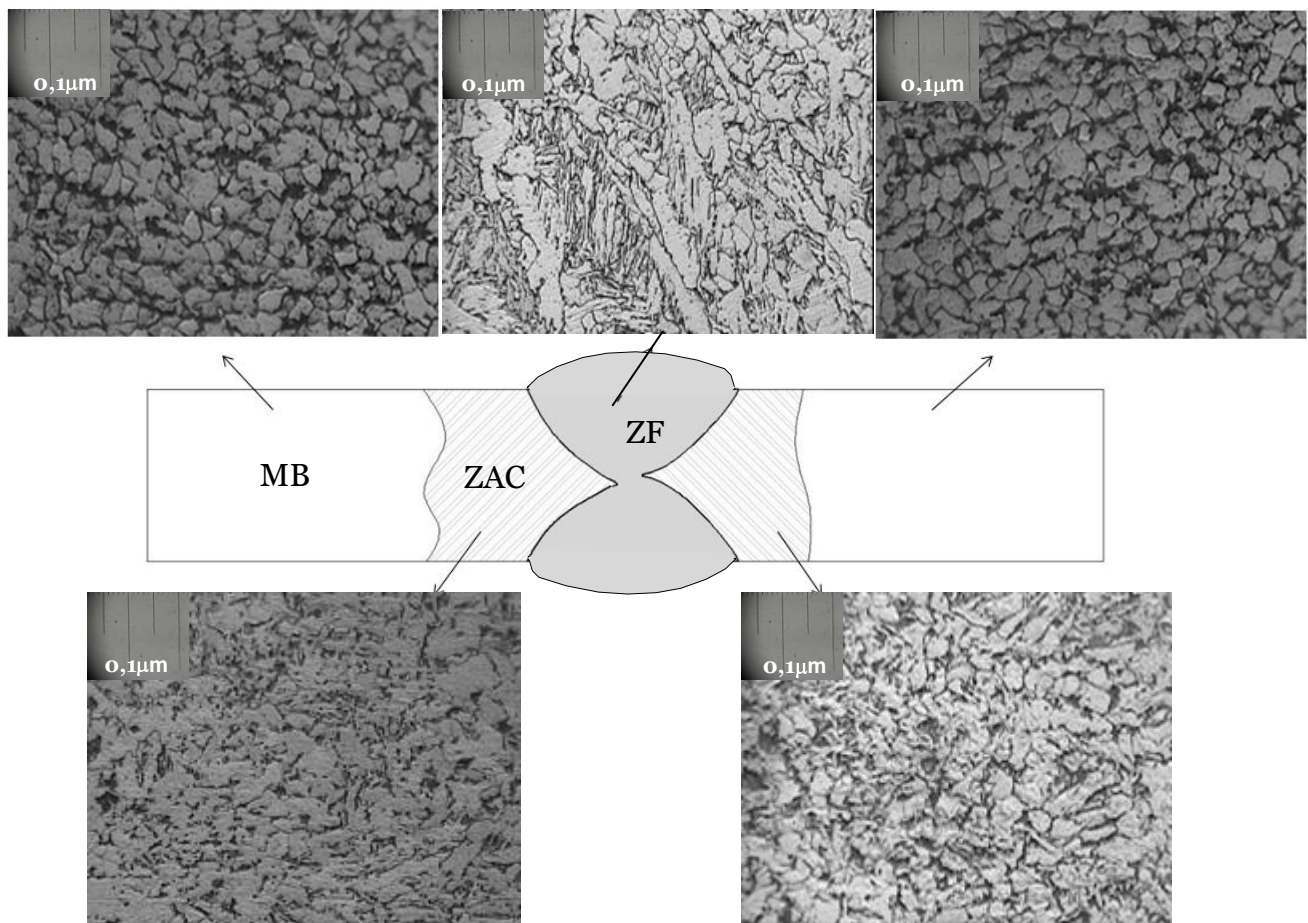


Figura 4.10. Microestructura de la probeta 5, soldada a 93 Amp. y 22 Volt.

Metal Base (MB): Se observa en el metal base una estructura de granos homogéneos, perlita con tendencia equiaxial, producto de la laminación en caliente y una matriz ferrítica y presencia de precipitados de carburo.

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una disminución importante del tamaño de los granos. Esta zona posee una matriz casi completamente ferrítica, a excepción de pequeños granos de perlita. Se nota también, presencia de precipitados de carburo.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa una disminución del tamaño de grano respecto a la ZAC debido al calor ofrecido por el material de aporte. Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstätten con granos aciculares.

El siguiente grupo de fotos conforman la figura 4.11, la cual muestra las zonas observadas microscópicamente de la *probeta 6*, soldada a 110 Amp. y 24 Volt. atacada con Nital al 2%, y observada aumento de 400X.

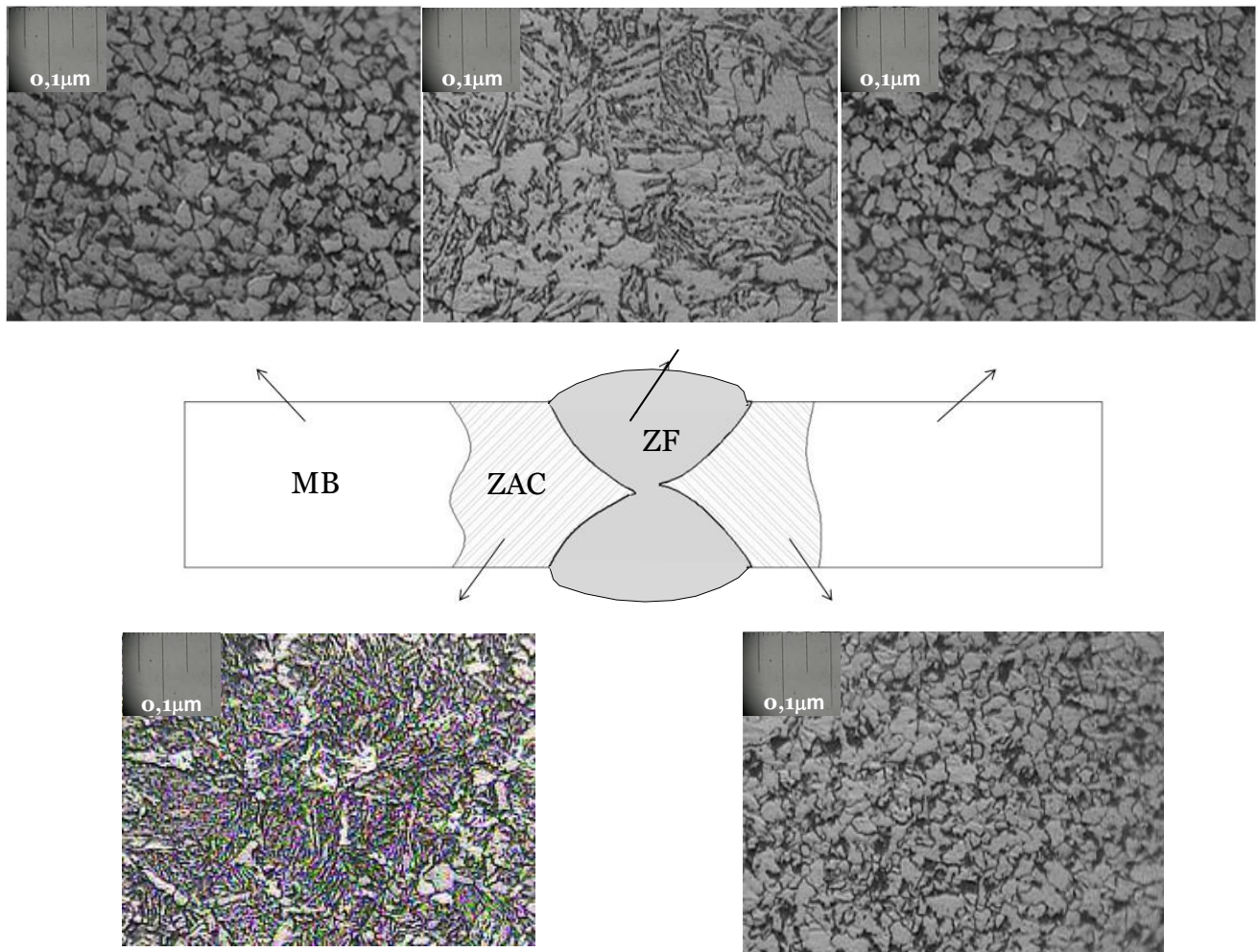


Figura 4.11. Microestructura de la probeta 6, soldada a 110 Amp. y 24 Volt.

Metal Base (MB): Se observa en el metal base una estructura de granos homogéneos y equiaxiales de perlita con una matriz ferrítica y presencia de precipitados de carburo.

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una formación de granos desordenada. Esta zona posee una matriz ferrítica, con zonas de perlita. Se nota también, presencia de estructura widmanstatten.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa una gran disminución del tamaño de grano respecto a la ZAC debido al calor ofrecido por el material de aporte y el mayor amperaje de trabajo. Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstatten producto del enfriamiento lento.

En esta combinación de aceros se pudo apreciar una microestructura favorable en casi todas las muestras, la zona afectada por el calor (ZAC) si se vió influenciada por el aumento de temperatura durante la soldadura, presentó una disminución del tamaño del grano como era de esperarse. Por su parte la zona de fusión presentó estructuras de ferrita asicular (Widmanstatten).

4.3.2.3 Combinación de aceros A131 y A36.

En este conjunto de probetas observa la unión de aceros disímiles, (las imágenes del MB y la ZAC del lado derecho pertenecen al material A36), mientras que las áreas mencionadas del lado izquierdo pertenecen al material A131.

En la figura 4.12 se observa la microestructura de la *probeta 7*. Unida a 90 Amp. y 20 Volt., atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

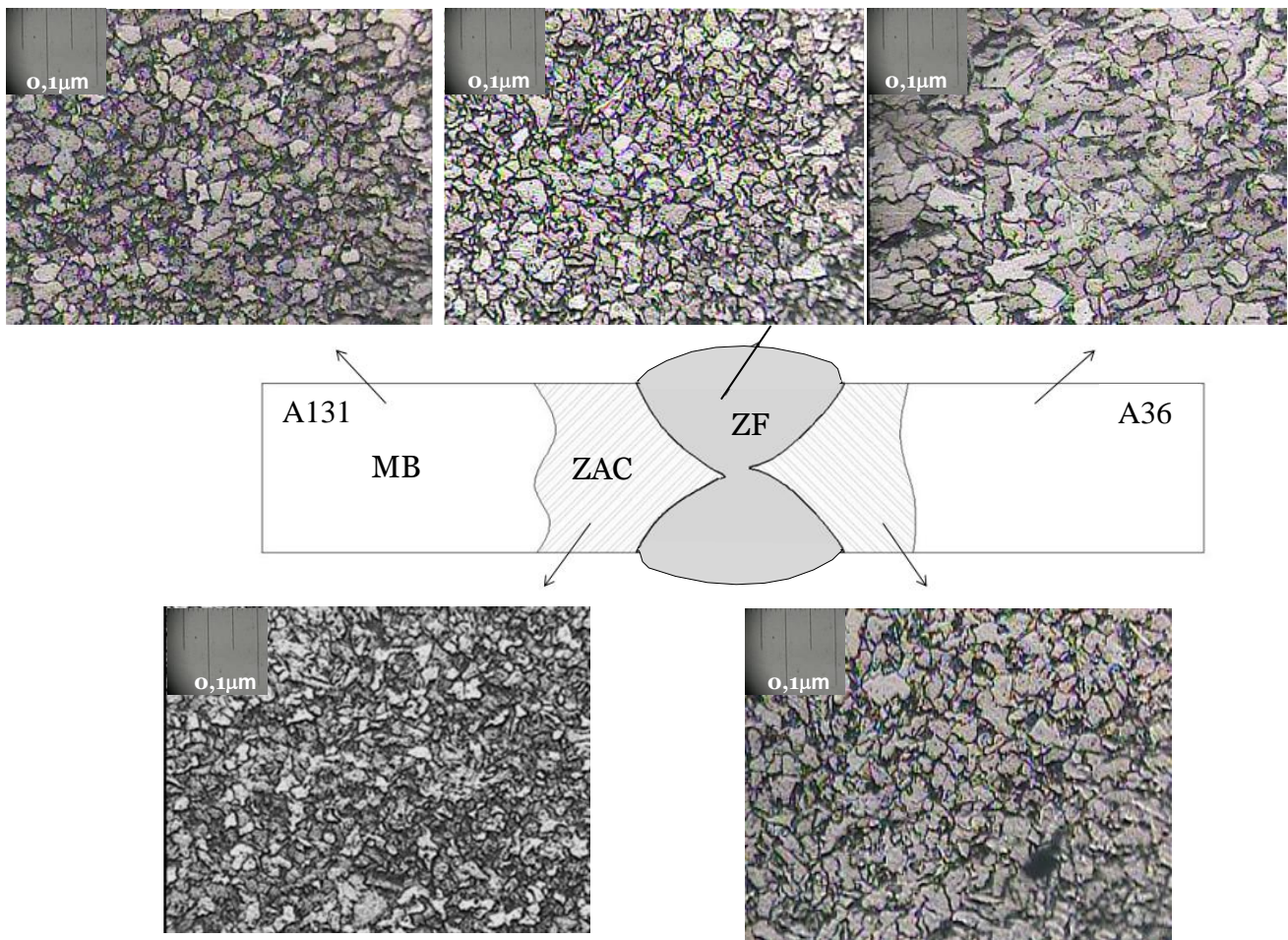


Figura 4.12. Microestructura de la probeta 7, soldada a 90 Amp. y 20 Volt.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observa una disminución del tamaño de grano, con algunas excepciones de granos asiculares de la estructura ferrítica de Widmanstatten debido al calor ofrecido por el material de aporte de la soldadura.

Análisis material A36 (Lado derecho):

Metal Base (MB): La microestructura del metal base no presentó modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afectada por el calor (ZAC): Existe una formación de granos reordenados. Esta zona posee una matriz ferrítica, con granos perlíticos. También presencia de precipitados de carburo.

Análisis material A131 (Lado izquierdo):

Metal Base A131 (MB): La microestructura del metal base no presentó modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afectada por el calor (ZAC): Existe una formación dendrítica y grandes cantidades de granos perlíticos. Se observan algunos granos alargados de ferrita.

En la figura 4.13 se observa la microestructura de la *probeta 8*, unida a 93 Amp. y 22 Volts, atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

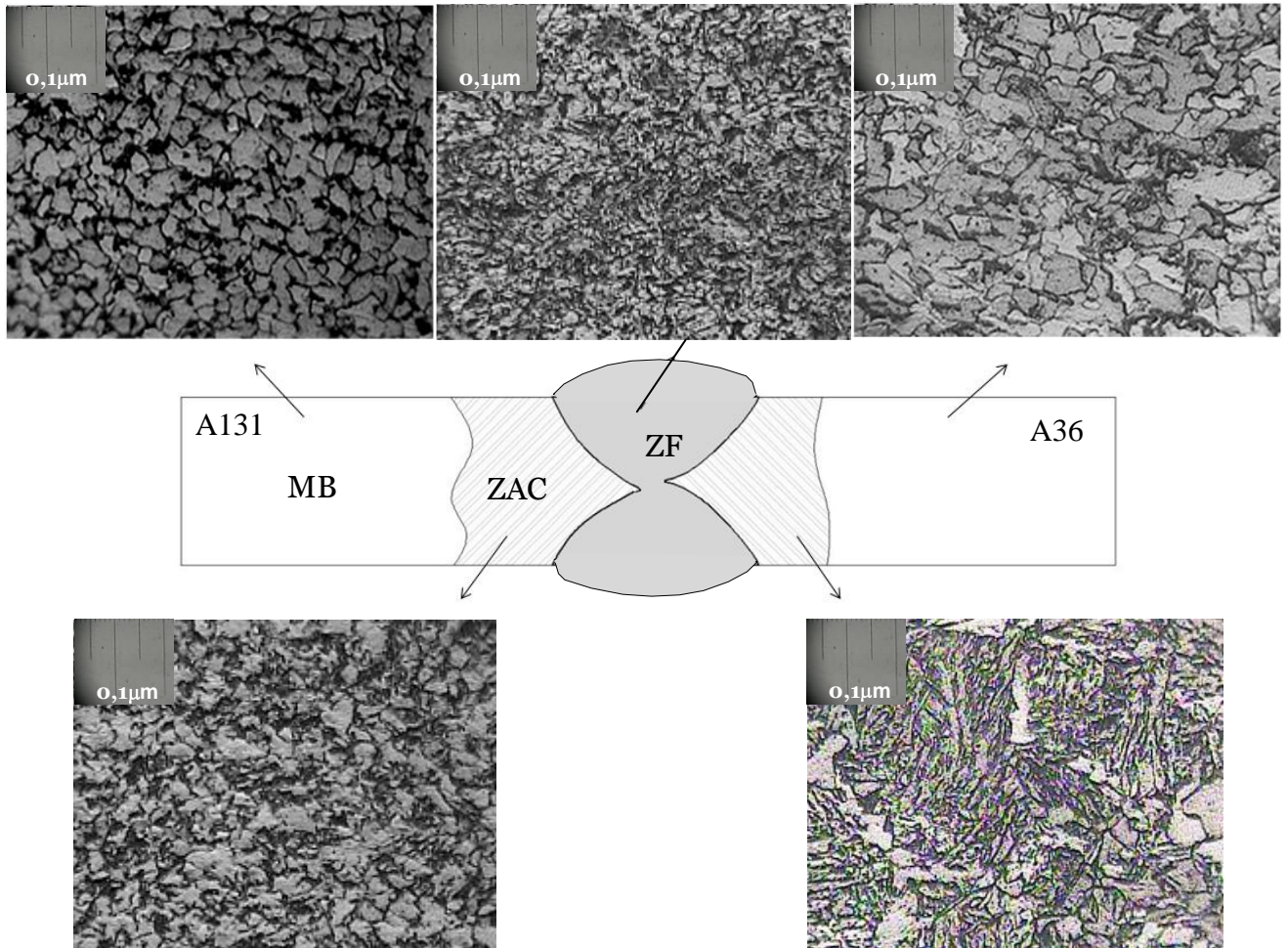


Figura 4.13. Microestructura de la *probeta 8*, soldada a 93 Amp. y 22 Volt.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se observan granos de perlita y ferrita en iguales proporciones y de tamaño reducido respecto a la ZAC. Se observa la presencia de una estructura ferrítica de Widmanstätten de granos asiculares, provocada por el aporte de calor y posterior enfriamiento lento.

Analisis material A36 (Lado derecho):

Metal Base (MB): La microestructura del metal base no presento modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afecta por el calor (ZAC): Existe una formación de granos con una estructura dendrítica de granos alargados (Widmanstätten). Esta zona posee una matriz ferrítica, con algunas areas perlíticas. También presencia de algunos precipitados de carburo.

Analisis material A131 (Lado izquierdo):

Metal Base A131 (MB): La microestructura del metal base no presento modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afecta por el calor (ZAC): Se aprecia una estructura de granos de tamaño reducido respecto al metal base, con una matriz ferrítica y abundantes precipitados de carburo.

En las siguiente figura se encuentra la microestructura de la *probeta 9*, unida a 110 Amp. y 24 Volts, atacada con Nital al 2%, y observada con aumento de 400X.

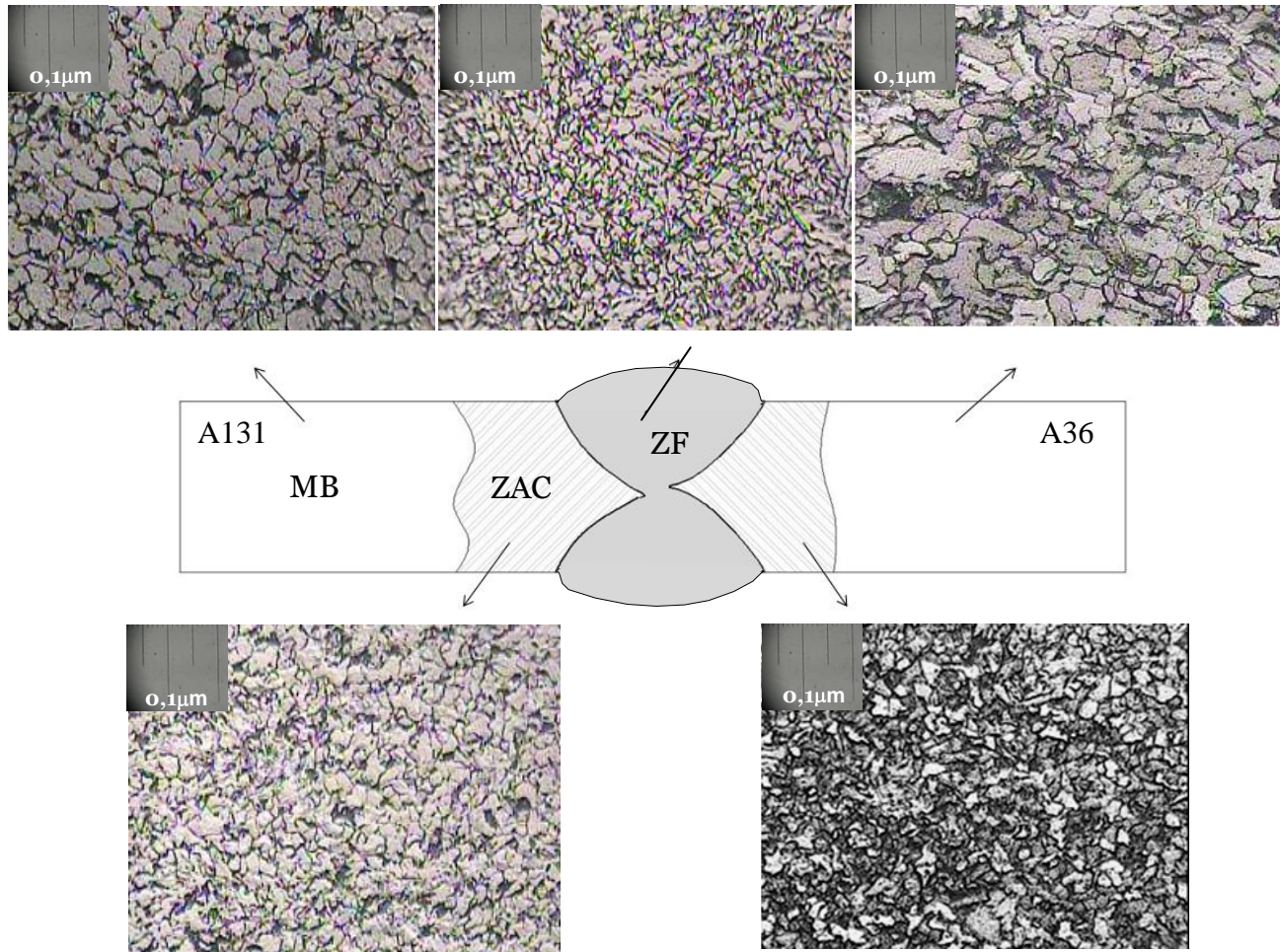


Figura 4.14. Microestructura de la probeta 9, soldada a 110 Amp. y 24 Volt.

Cordón de soldadura o Zona de fusión (ZF): Se aprecia en esta imagen una matriz ferrítica, y granos de perlita con presencia de algunos precipitados de carburo. Los granos tienen un arreglo desordenado pero de tamaño esperado en un cordón de soldadura.

Análisis material A36 (Lado derecho):

Metal Base (MB): La microestructura del metal base no presentó modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afectada por el calor (ZAC): Existe una formación de granos de tamaño reducido provocado por el calor de la soldadura. Esta zona posee una matriz ferrítica, con áreas perlíticas en gran proporción. También existe, presencia de algunos precipitados de carburo.

Análisis material A131 (Lado izquierdo):

Metal Base A131 (MB): La microestructura del metal base no presentó modificaciones al no verse influenciada por el calor.

Zona afectada por el calor (ZAC): Se aprecia una estructura de granos de tamaño reducido respecto al metal base, pero donde se observa aún la tendencia equiaxial, con una matriz ferrítica en su totalidad, además de algunos granos de perlita.

Las probetas de esta combinación de aceros disímiles (A36-A131), presentaron una microestructura satisfactoria en la mayoría de las zonas de estudio, donde las zonas afectadas por el calor (ZAC) y la zona de fusión (ZF), mostraron el resultado esperado, una disminución del tamaño de los granos y una estructura de Widmanstätten respectivamente. Exceptuando a la *probeta 8* unida a 93 Amp. y 22 Volt., donde la ZAC, mostró una estructura de granos de perlita alargados y desordenados (Widmanstätten); condición desfavorable para el buen comportamiento mecánico de la unión.

4.4 ENSAYO DE TRACCIÓN.

4.4.1 Caracterización de los Metales Base.

4.4.1.1 Material A36.

Para poder determinar si el material empleado en el estudio, es correctamente el acero ASTM A36, se procedió a verificar los datos ofrecidos por el ensayo realizado a las probetas del material puro y compararlos con la información suministrada por el distribuidor (anexo 1). La curva del comportamiento y los valores obtenidos del ensayo mencionado se muestran a continuación en la figura 4.15 y en la tabla 4.3 respectivamente.

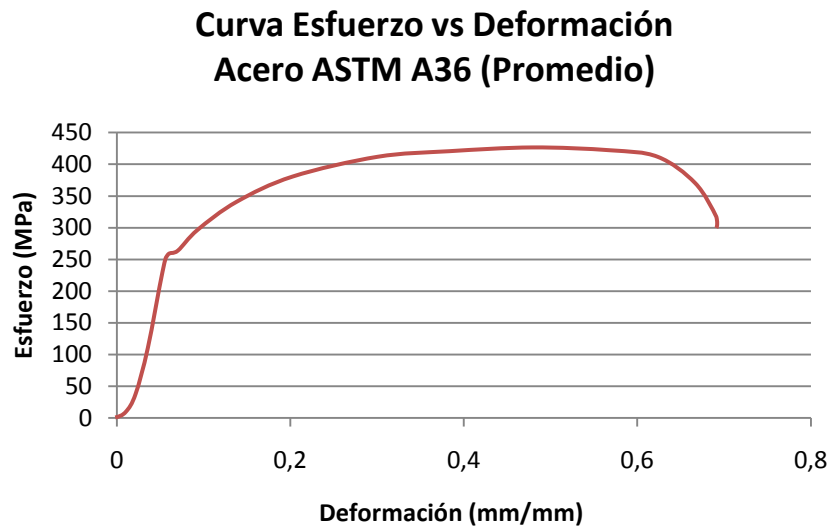


Figura 4.15. Curva Esfuerzo vs Deformación, acero ASTM A36 (Promedio).

Tabla 4.3. Resultados del ensayo de tracción, acero ASTM A36.

Probeta	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_{rupt} (MPa)
A36-1	261,21	426,79	310,12
A36-2	272,18	411,36	309,98
A36-3	251,43	430,07	305,76
Promedio	261,27	422,74	308,62

Se observó cierta diferencia con respecto a los valores suministrados por el certificado de calidad del distribuidor (tabla 3.3), sin embargo las propiedades registradas están dentro del límite de valores admisibles para esta aleación de acero.

4.4.1.2 Material A131.

Para caracterizar el acero ASTM A131, se procedió a verificar los datos ofrecidos por el ensayo realizado a las probetas del material sin soldar y compararlos con la información suministrada por el distribuidor (anexo 2). Los valores obtenidos del ensayo mencionado se muestran a continuación en la figura 4.16 y en la tabla 4.4 respectivamente.

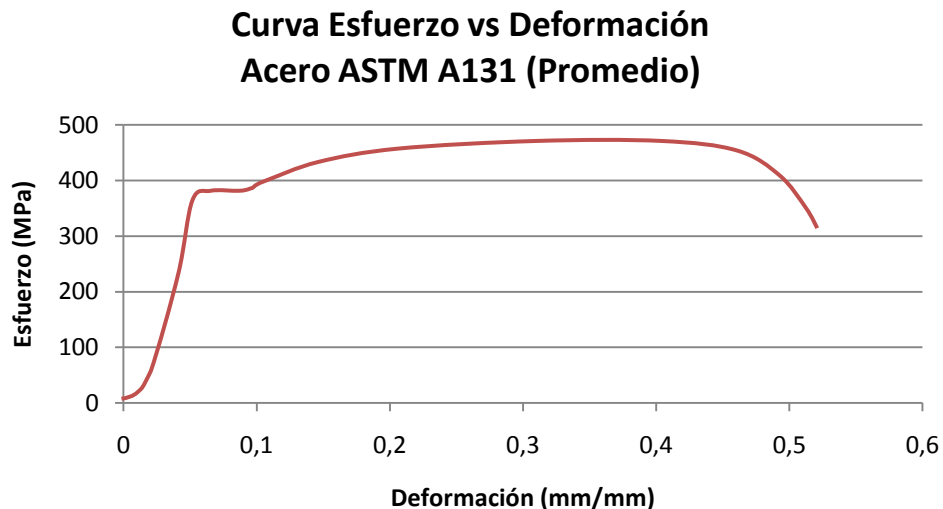


Figura 4.16. Curva Esfuerzo vs Deformación, acero ASTM A131 (Promedio).

Tabla 4.4. Resultados del ensayo de tracción, acero ASTM A131.

<i>Probeta</i>	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_{rupt} (MPa)
A131-1	370,15	459,79	308,15
A131-2	370,68	460,36	300,20
A131-3	383,43	474,07	299,52
Promedio	374,75	464,74	302,62

Habiendo analizado los resultados obtenidos en el promedio de los ensayos, se observó una cierta variación respecto a los valores de las propiedades del material, suministrados por el certificado de calidad del distribuidor (tabla 3.2), sin embargo las propiedades registradas están dentro del límite de valores admisibles para esta aleación de acero. Además de esto, se nota que los valores de resistencia del acero A131 son mayores a los del acero A36, esta propiedad se ve influenciada por la mayor cantidad de los elementos Silicio (Si), Cromo (Cr), Manganeso (Mn) y Níquel (Ni) que el segundo acero posee.

4.4.2 Análisis de las probetas soldadas.

4.4.2.1 Ensayo de tracción en probetas de la unión soldada A36 - A36.

En la tabla 4.5 se muestran los resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas 1, 2 y 3, bajo los parámetros S_1 , S_2 y S_3 (tabla 3.6), pertenecientes a la combinación de aceros A36-A36 (tabla 3.7).

Tabla 4.5. Resultados del ensayo de tracción, unión A36 - A36.

<i>Probeta</i>	<i>Tipo de Soldadura</i>	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_{Rupt} (MPa)
1	S_1	270,82	398,21	308,12
2	S_2	271,13	402,80	306,27
3	S_3	232,95	373,92	280,51

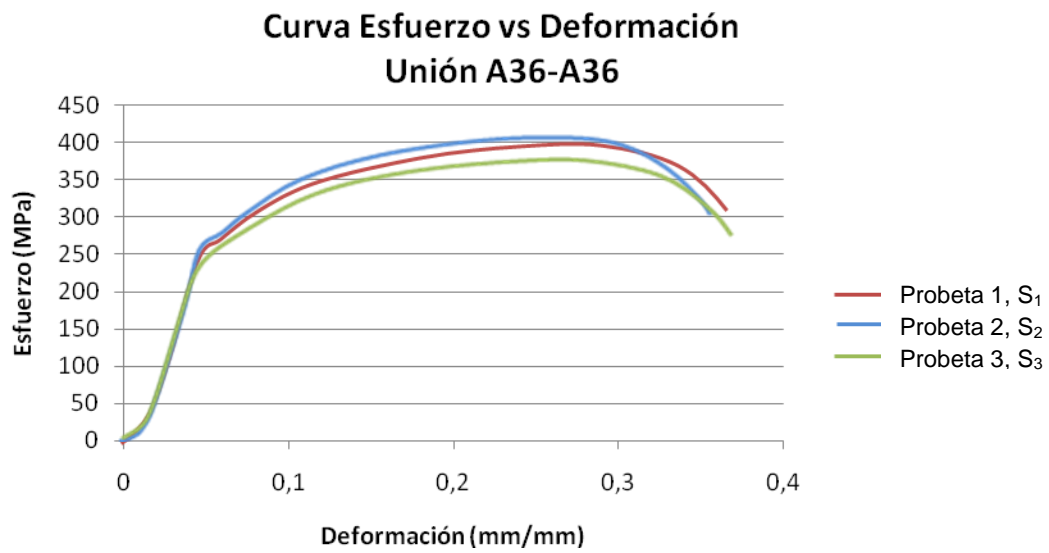


Figura 4.17. Curvas Esfuerzo vs Deformación, unión A36 y A36.

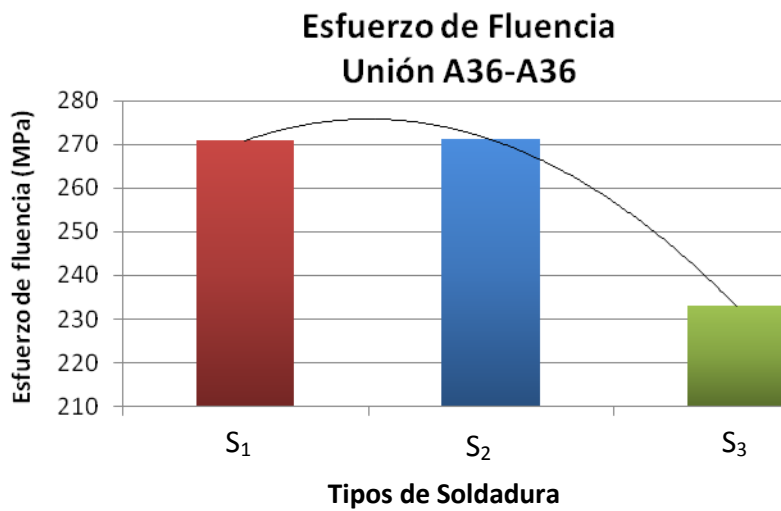


Figura 4.18. Curva Esfuerzo de Fluencia vs Tipo de soldadura, unión A36 - A36.

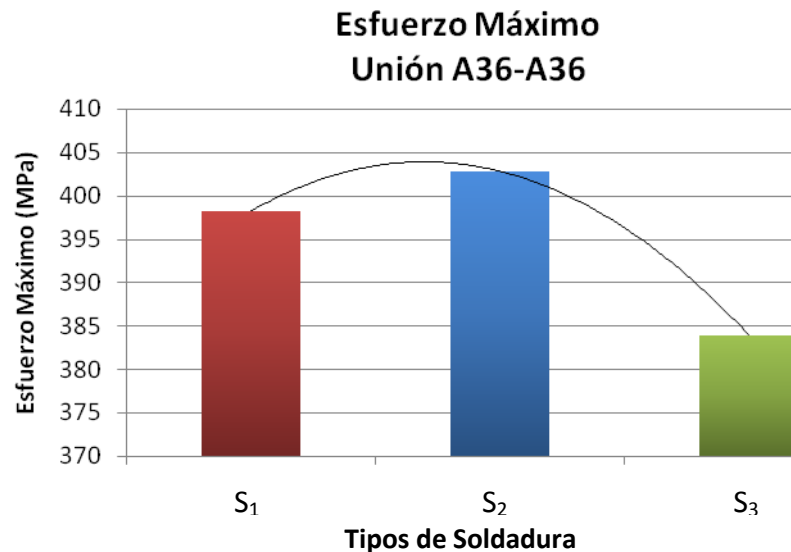


Figura 4.19. Curva Esfuerzo Máximo vs Tipo de soldadura, unión A36 - A36.

Mediante el análisis realizado a las curvas resultantes del ensayo de tracción en los pares de A36-A36, se pudo observar cierta variación en los valores de esfuerzo resultantes, destacando que los menores valores de resistencia a la fluencia y resistencia máxima, se registraron en la probeta 3, soldadas con un amperaje de 110 Amp. y 24 Volt. (S₃), debido a que este parámetro de trabajo, aumentó el calor aportado a las láminas unidas, lo que afectó de forma directa a la microestructura del material, provocando un reordenamiento de los granos, y un aumento de su tamaño, generando aumento de su fragilidad y una disminución de su elasticidad, mientras que para los otros parámetros de soldadura (S₁ y S₂), las probetas mostraron similitudes en cuanto a los valores de resistencia alcanzados.

Resultando para la probeta 1 un valor de resistencia a la tracción $\sigma_y = 270.82$ MPa y una resistencia máxima $\sigma_{max} = 398.21$ MPa, unida con el parámetro S₁. Mientras que en la probeta 2 soldada con el parámetro S₂, se registraron esfuerzos de 271.13 MPa y 402.08 MPa respectivamente. En la probeta 3 se obtuvo valores de 232.95 MPa y 373.92 MPa.

Ninguna probeta de esta combinación presento fractura en el cordón durante la realización del ensayo de tracción, lo que garantiza la calidad de la soldadura.

4.4.2.2 Ensayo de tracción en probetas de la unión soldada A131 – A131.

En la tabla 4.6 se muestran los resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas 4, 5 y 6, bajo los parámetros S_1 , S_2 y S_3 (tabla 3.6), pertenecientes a la combinación de aceros A131-A131 (tabla 3.7).

Tabla 4.6. Resultados del ensayo de tracción, unión A131 - A131.

Probeta	Tipos de Soldadura	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_{Rupt} (MPa)
4	S_1	340,27	417,12	255,10
5	S_2	360,55	453,90	285,43
6	S_3	349,79	440,00	283,09

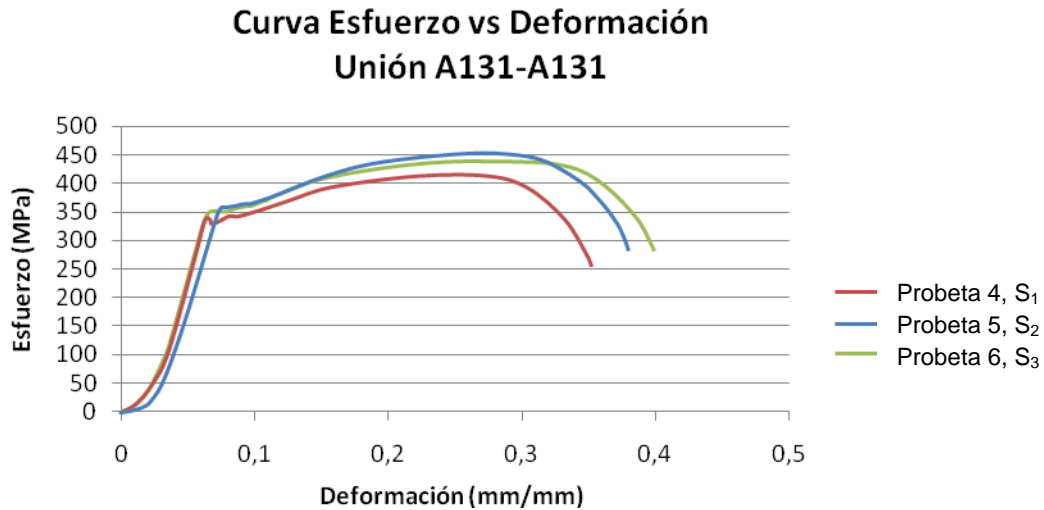


Figura 4.20. Curvas Esfuerzo vs Deformación, unión A131 - A131.

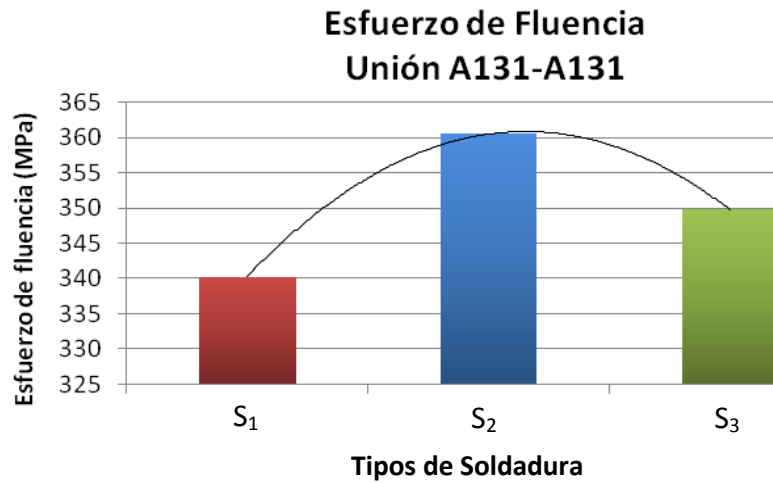


Figura 4.21. Curva Esfuerzo de Fluencia vs Tipo de soldadura, unión A131 - A131.

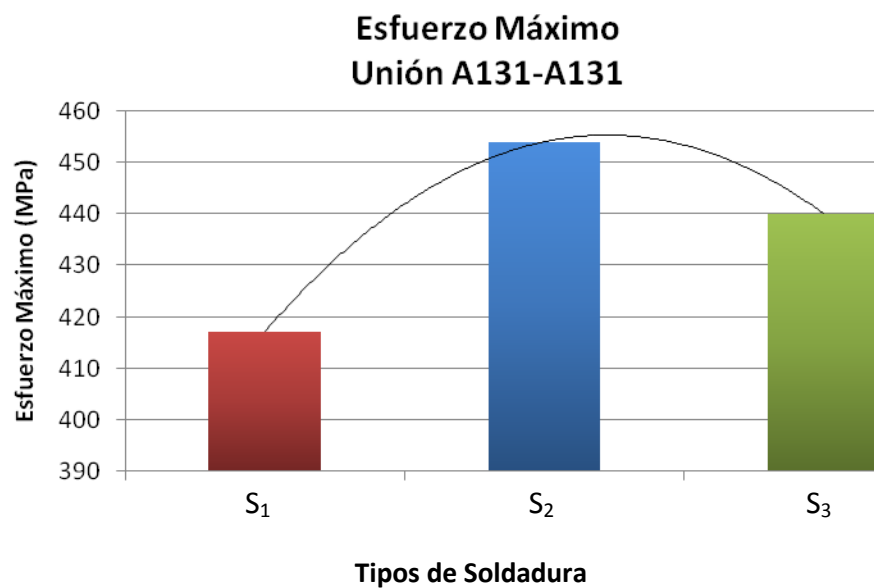


Figura 4.22. Curva Esfuerzo Máximo vs Tipo de soldadura, unión A131 - A131.

Luego de observar las curvas que resultaron del ensayo de tracción en los pares A131, se distingue otro tipo de variación distinto al observado en el caso de la unión anterior, ya que la diferencia entre los valores de esfuerzo son muy amplios respecto al comportamiento del metal en estado inicial. En este grupo nuevamente se evidencia

los mayores valores de esfuerzo en la muestra soldada bajo el segundo parámetro de trabajo 93 Amp. y 22 Volt. (S_2), probeta 5; siendo los resultados para esta, $\sigma_y = 360.55$ MPa y su resistencia máxima $\sigma_{max} = 453.9$ MPa. Mientras que el mínimo registrado fue en la probeta 4 soldada con el parámetro S_1 , reflejando unos esfuerzos de $\sigma_y = 340.27$ MPa y $\sigma_{max} = 417.12$ MPa.

Las probetas de A131 – A131, soldadas a los tres diferentes parámetros de trabajo (tabla 3.6), no presentaron fractura en la soldadura, durante la realización del ensayo de tracción.

4.4.2.3 Ensayo de tracción en probetas de la unión soldada A131 – A36.

Los siguientes valores de la figura 4.23 y tabla 4.7, corresponden a los resultados obtenidos del ensayo de tracción en la soldadura en los aceros disimiles, probetas 4, 5 y 6 (tabla 3.7), soldadas bajo los parámetros S_1 , S_2 y S_3 (tabla 3.6).

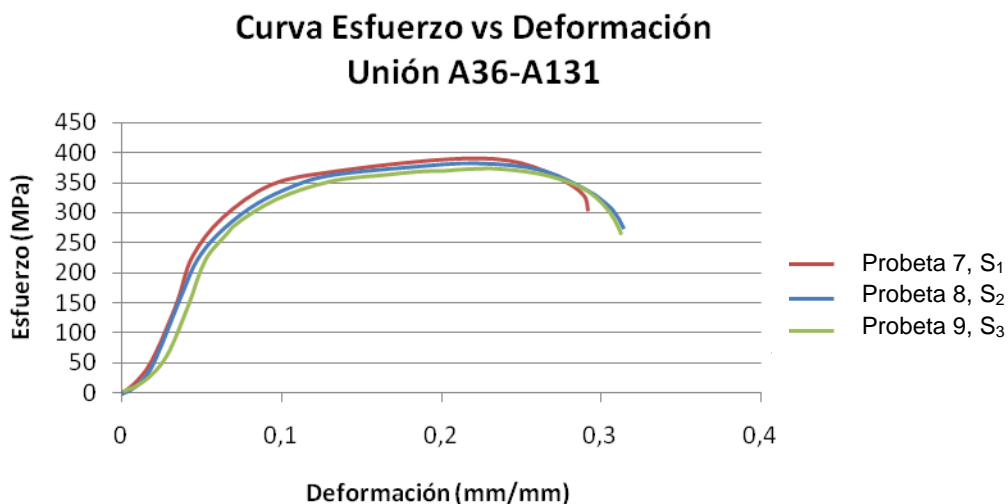


Figura 4.23. Curvas Esfuerzo vs Deformación de las probetas soldadas con los aceros A36 - A131.

Tabla 4.7. Resultados del ensayo de tracción, unión A36 - A131.

Probeta	Tipos de Soldadura	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_{Rupt} (MPa)
7	S ₁	260,22	390,37	290,05
8	S ₂	235,42	380,07	273,78
9	S ₃	232,49	372,94	264,71

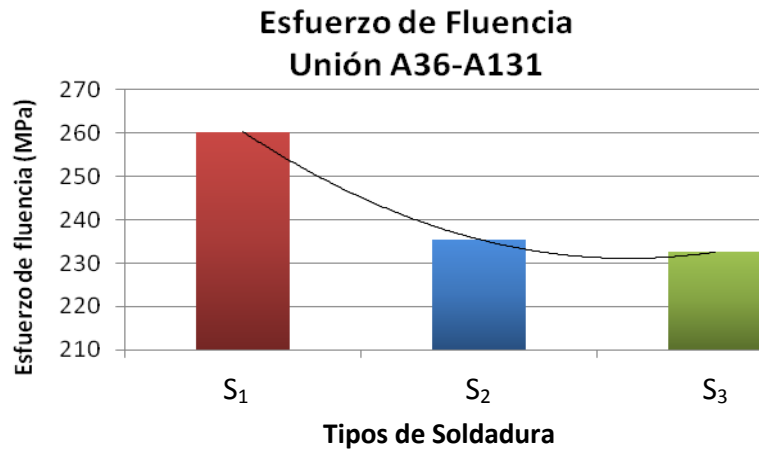


Figura 4.24. Curva Esfuerzo de Fluencia vs Tipo de soldadura, unión A36 - A131.

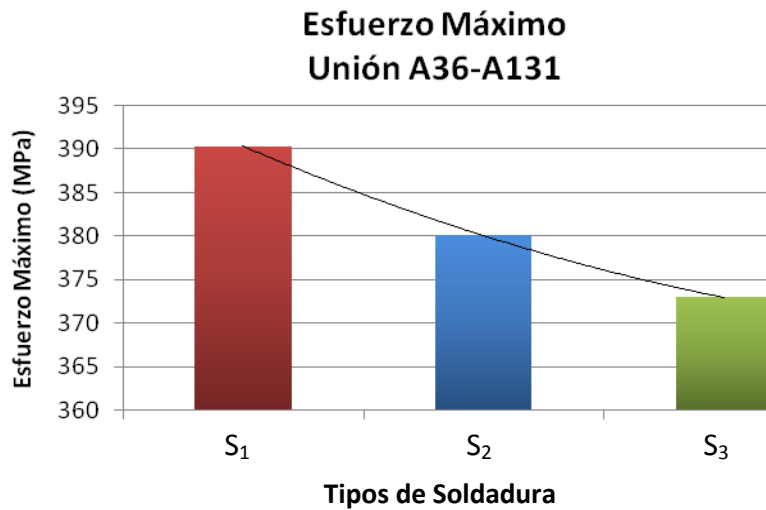


Figura 4.25. Curva Esfuerzo Máximo vs Tipo de soldadura, unión A36 - A131.

En este caso, la soldadura fue aplicada a aceros disímiles (A131 – A36). Se observa en este grupo, una tendencia decreciente para los valores de esfuerzo, a medida que el amperaje y voltaje de trabajo se aumentaba. En tal sentido, los resultados mostrados en este grupo, fueron los menores de las 3 combinaciones de aceros. Por ejemplo para la probeta 7, soldada con el parámetro S_1 , el valor de resistencia a la fluencia fue $\sigma_y = 260.22$ MPa y una resistencia máxima $\sigma_{max} = 390.37$ MPa. Para la probeta 8, unida bajo el parámetro S_2 el resultado de resistencia a la tracción fue $\sigma_y = 235.42$ MPa y una resistencia máxima $\sigma_{max} = 380.07$ MPa. Mientras que la probeta 9, soldada bajo el parámetro S_3 , fue la que registró los menores datos de esfuerzo, en donde los valores fueron, $\sigma_y = 232.49$ MPa y una resistencia máxima $\sigma_{max} = 372.94$ MPa, debido a que en este caso el aporte de calor de la soldadura fue mayor, lo que provocó un aumento del tamaño de grano en el material, aumentando su fragilidad y disminuyendo así su elasticidad.

El cordón de soldadura en los aceros disímiles no presentó fractura, en la realización del ensayo de tracción. La ruptura de las probetas 7, 8, 9 se evidenció del lado del acero A36, debido que este acero presenta una menor resistencia que el acero A131 (tablas 4.3 y 4.4), la composición química de los aceros es un factor que contribuye, ya que el acero A131 presenta en mayor porcentaje carbono y manganeso (tabla 4.1), elementos que contribuyen en las propiedades mecánicas. Por otro lado, la microestructura de los materiales, indicó una mejor calidad del acero A131.

4.5 ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS.

4.5.1. Análisis de los Metales Base.

Como parte fundamental del análisis del comportamiento mecánico de los materiales utilizados, se procedió a caracterizar los aceros A-36 y A-131. A

continuación en la tabla 4.8, se muestran los valores obtenidos en el estudio de Microdureza Vickers realizado a los metales base. Tomando tres mediciones a lo largo de la probeta sin soldar, para luego obtener un promedio de esta propiedad.

Tabla 4.8. Microdureza Vickers en los materiales base puro, A-36 y A-131.

<i>Material</i>	<i>Microdureza Vickers</i>			<i>Promedio</i>
	<i>HV₁</i>	<i>HV₂</i>	<i>HV₃</i>	
A36	120,7	126,4	121,6	122,9
A131	183,4	173,4	146,3	167,7

En la siguiente gráfica se observa una comparación de la dureza de los metales bases (A131 y A36).

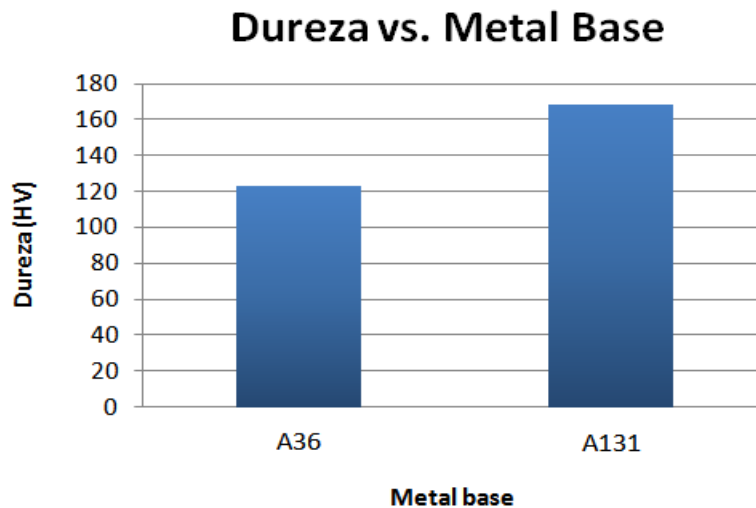


Figura 4.26. Dureza de los metales base.

Los valores de dureza obtenidos en los metales base, muestran claramente que la dureza promedio del acero A131 es igual a 167.7 HV, mayor a la ofrecida por el acero A36 igual a 122.9 HV (tabla 4.8), lo que es obvio, debido a que el primero de estos posee mayor cantidad de carbono (C), manganeso (Mn), Silicio (Si), Cromo

(Cr) y Níquel (Ni) (tabla 4.1), elementos que contribuyen a aumentar la dureza de los aceros, por otra parte, la microestructura del acero A131, se presentó de forma equiaxial y con tamaños de granos mas uniformes, esto contribuye a la dureza del material, a diferencia del acero A36 donde se mostró una estructura mas desordenada.

4.5.2. Análisis de las Probetas Soldadas.

Los resultados proporcionados por el ensayo de Microdureza Vickers en cada probeta, se representaron en las gráficas de perfil de dureza, donde las áreas de estudios fueron; metal base, zona afectada, cordón de soldadura, zona afectada y metal base (figura 3.12).

4.5.2.1 Combinación de aceros A-36 y A-36

Las probetas 1, 2 y 3 pertenecientes a este grupo, fueron unidas bajo el primero, segundo y tercer parámetros de soldadura respectivamente (tabla 3.6). Estas mostraron los valores de microdureza reflejados en la tabla 4.7. Además desde la figura 4.27 hasta la figura 4.29, se encuentran los perfiles de durezas de las probetas según el área de estudio de las mismas.

Tabla 4.9. Promedio de Microdureza Vickers en cada área de estudio de la probeta, material A36 – A36.

<i>Probeta</i>	<i>Tipo de soldadura</i>	<i>MB</i>	<i>ZAC</i>	<i>ZF</i>	<i>ZAC</i>	<i>MB</i>
<i>1</i>	<i>S₁</i>	<i>141,5</i>	<i>161,7</i>	<i>185,63</i>	<i>159,9</i>	<i>135,7</i>
<i>2</i>	<i>S₂</i>	<i>148,43</i>	<i>161,1</i>	<i>199,43</i>	<i>159,53</i>	<i>145,58</i>
<i>3</i>	<i>S₃</i>	<i>147,8</i>	<i>172,4</i>	<i>183,85</i>	<i>169,26</i>	<i>147,1</i>

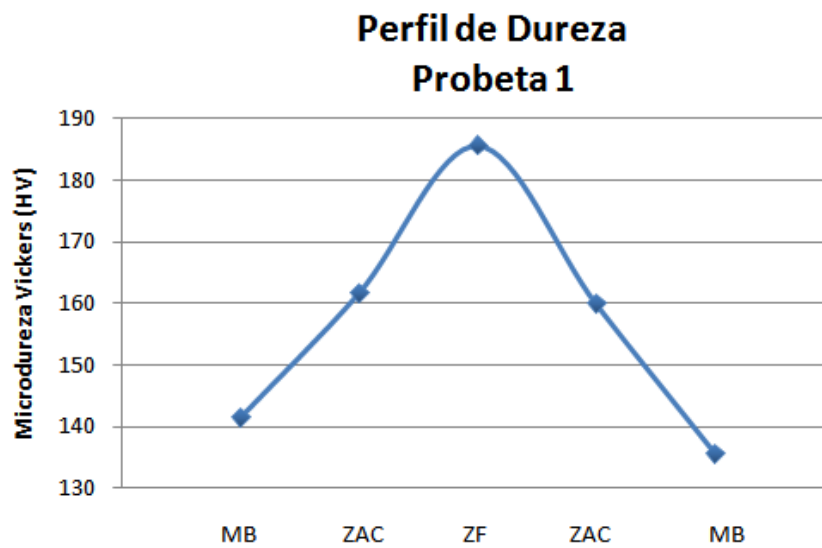


Figura 4.27. Perfil de Dureza de la probeta 1, A36-A36, a 90 Amp. y 20 Volt.

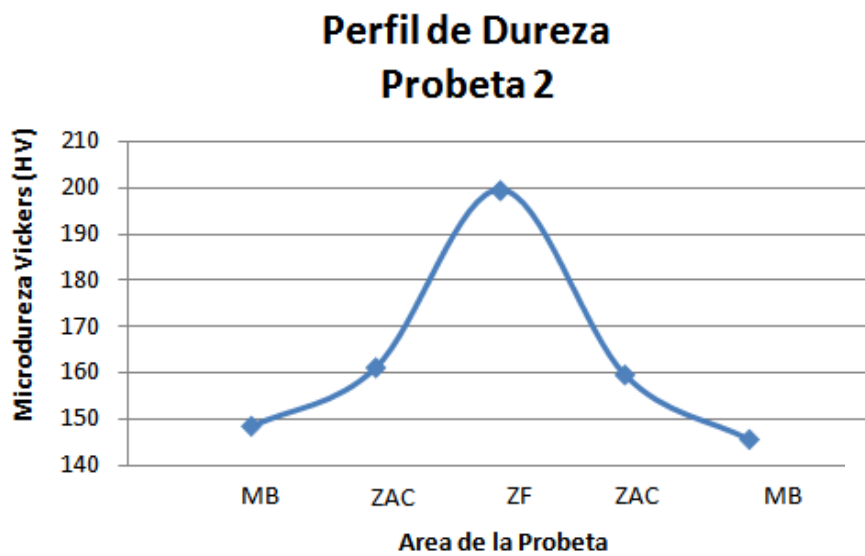


Figura 4.28. Perfil de Dureza de la probeta 2, A36-A36, a 93 Amp. y 22 Volt.

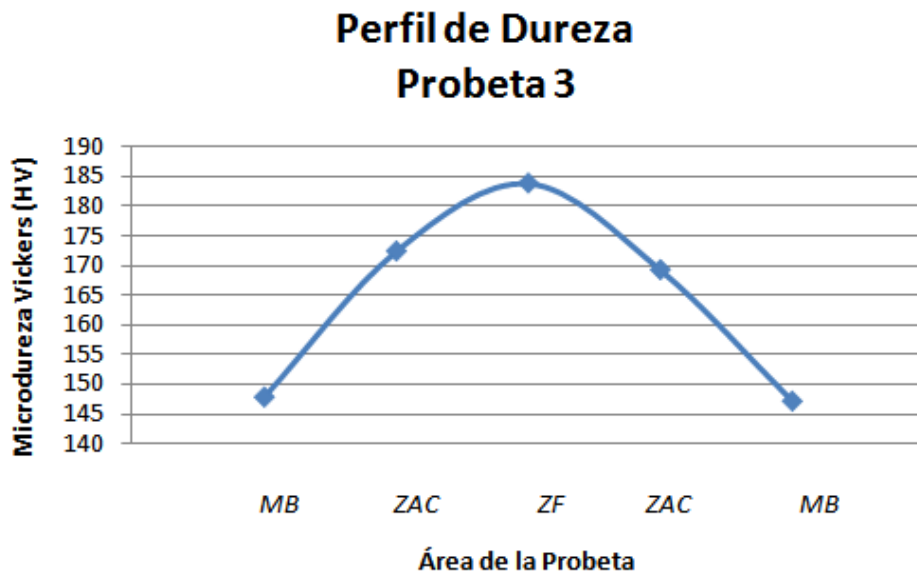


Figura 4.29. Perfil de Dureza de la probeta 3, A36-A36, a 110 Amp. y 24 Volt.

La probeta 1, presentó una dureza similar en ambas zonas del metal base, en esta probeta se apreció un aumento de la dureza en el material a medida que se registraban los valores desde el metal base hacia el cordón de la soldadura ó zona de fusión (ZF). Las probetas 2 y 3, presentaron también un aumento de la dureza en la zona de fusión respecto al metal base y a la zona afectada por el calor.

Las probetas 1, 2 y 3, presentaron entre sí, el mismo comportamiento en el metal base, la zona afectada por el calor (ZAC) presentó una disminución en la dureza a medida que se aumentaron los parámetros de soldadura (tabla 3.6), la mayor diferencia observada con respecto a la dureza en la ZAC, se presencié en el tercer parámetro de soldadura (110 Amp. 24 Volt.), arrojando un valor de 172 HV. De la misma manera, la zona de fusión (ZF) o cordón de soldadura presentó una disminución de dureza al incrementar los parámetros de soldeo. Siendo el mayor registro, el arrojado por la probeta 2, con una dureza de 199,43 HV. Esto se debe que al aumentar los parámetros de trabajo (tabla 3.6) se registra un mayor calor aportado

para el proceso, lo que genera un aumento del tamaño del grano de la microestructura del material, esto produce una disminución de la dureza.

4.5.2.2 Combinación de aceros A-131 y A-131

La combinación de aceros A-131 y A-131, representada por las probetas 4, 5 y 6, presentan los siguientes valores de dureza, según el área estudiada, en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Promedio de Microdureza Vickers en cada área de estudio de la probeta, material A131 – A131

<i>Probeta</i>	<i>Tipo de Soldadura</i>	<i>MB</i>	<i>ZAC</i>	<i>ZF</i>	<i>ZAC</i>	<i>MB</i>
4	S_1	175,12	181,07	213,5	183,7	165,4
5	S_2	182,55	192,43	211,02	195,5	175,88
6	S_3	181,37	185,77	207,75	183,52	175,25

Estas probetas presentaron el siguiente perfil de dureza (desde la Figura 4.30 hasta la Figura 4.32) a lo largo de la probeta (metal base, zona afectada y cordón de soldadura).

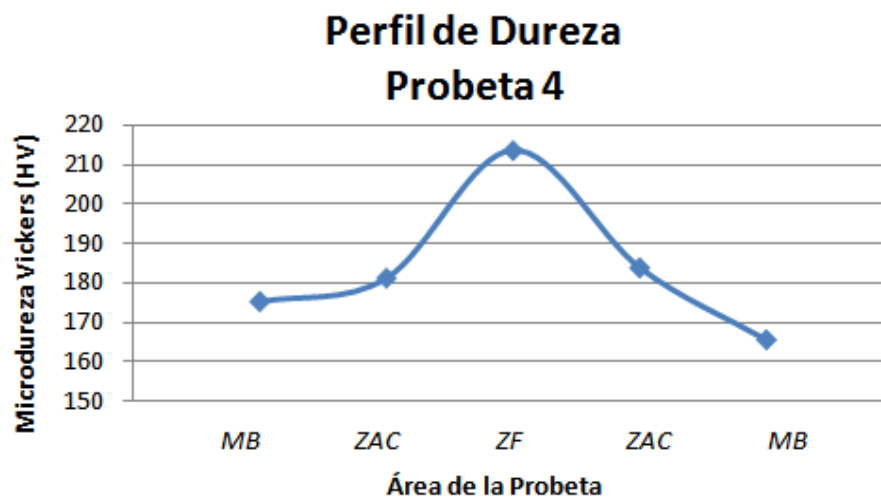


Figura 4.30. Perfil de Dureza de la probeta 4, A131-A131, a 90 Amp. y 20 Volt.

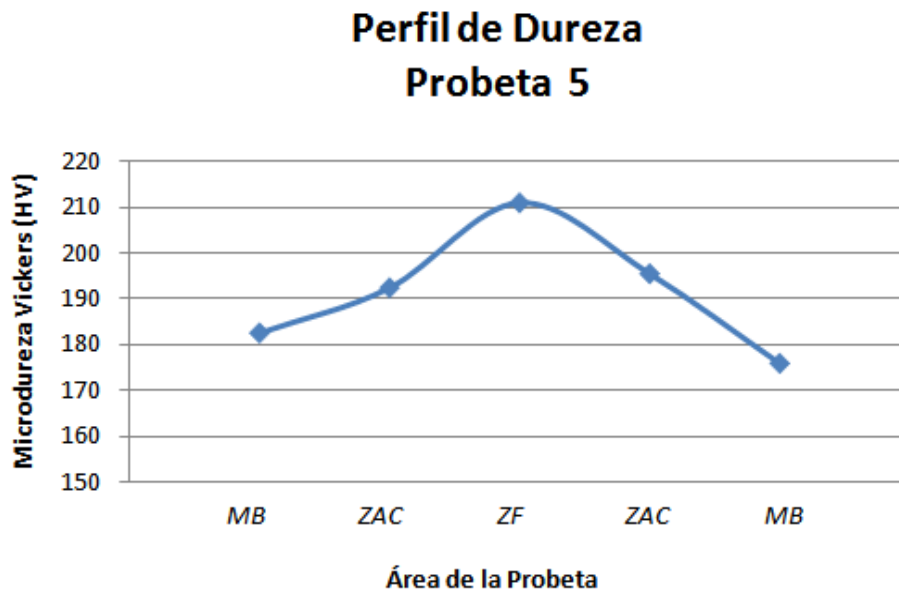


Figura 4.31. Perfil de Dureza de la probeta 5, A131-A131, a 93 Amp. y 22 Volt.

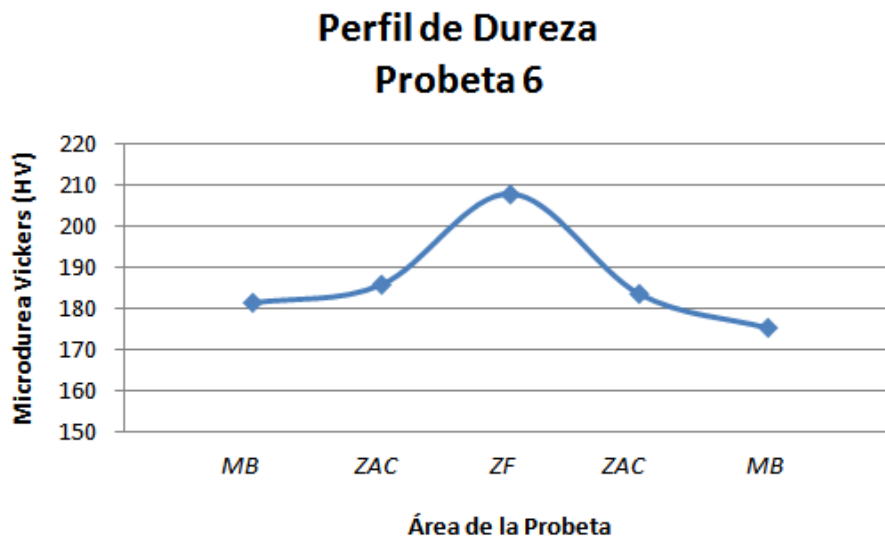


Figura 4.32. Perfil de Dureza de la probeta 6, A131-A131, a 110 Amp. y 24 Volt.

Esta combinación de aceros A-131, presentó un comportamiento similar al anterior grupo de probetas, es decir, se presencié un aumento en la dureza de la zona,

desde el metal base hasta el cordón de soldadura. La dureza en la zona afectada por el calor se presento menor con respecto a la zona de fusión.

En la tabla 4.10, se puede observar que las variaciones en los niveles de dureza de la zona afectada por el calor respecto al metal base, fueron poco significantes, razón por la cual el perfil de dureza graficado, presenta una menor diferencia entre el valor mínimo y máximo de esta propiedad.

La zona de fusión ó cordón de soldadura presentó una disminución progresiva de la dureza a medida que se aumentaba los parámetros de soldadura, se puede observar en la tabla 4.10 que la dureza en la zona fusión es mayor para la soldadura del acero A131, que en la soldadura del A36 (tabla 4.9), esto se debe que el acero A131 posee mayor porcentaje de carbono y manganeso, otro factor es la dureza registrada en los aceros (tabla 4.8, figura 4.26)

4.5.2.3 Combinación de aceros A-131 y A-36

Este grupo de probetas estuvo compuesto por las muestras 7, 8 y 9. A continuación en la tabla 4.11, se reflejan los resultados del ensayo de Microdureza Vickers practicado.

Tabla 4.11. Promedio de la Microdureza Vickers en cada área de estudio de la probeta, en materiales disimiles A131 – A36.

<i>Tipo de Soldadura</i>	<i>Probeta</i>	<i>MB (A-131)</i>	<i>ZAC (A-131)</i>	<i>ZF</i>	<i>ZAC (A-36)</i>	<i>MB (A-36)</i>
<i>S₁</i>	7	175,33	210,58	228,81	180,11	139,37
<i>S₂</i>	8	192,86	204,13	226,60	184,23	176,47
<i>S₃</i>	9	183,53	209,35	226,10	168,41	142,42

Estas probetas mostraron el siguiente perfil de dureza a lo largo de toda la probeta (el lado izquierdo representa al acero A-131 y lado derecho al acero A-36).

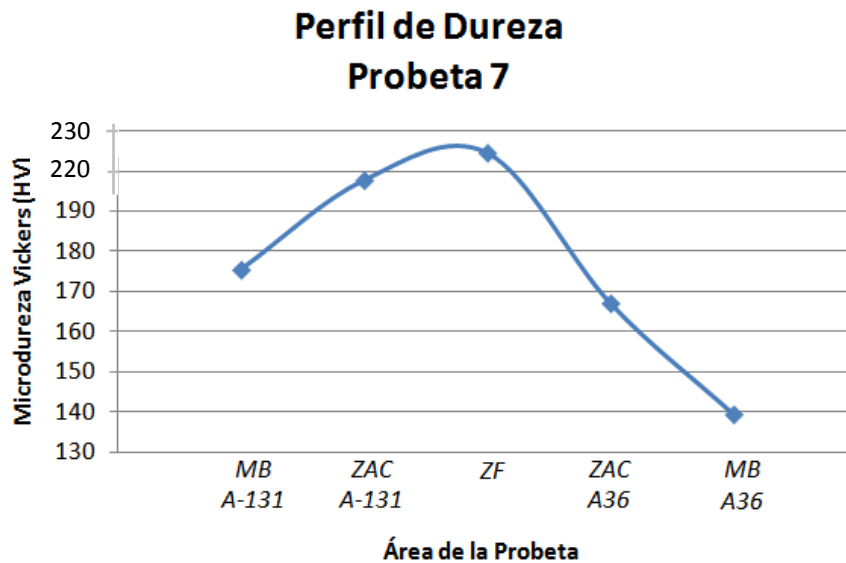


Figura 4.33. Perfil de Dureza de la probeta 7, A131-A36, a 90 Amp. y 20 Volt.

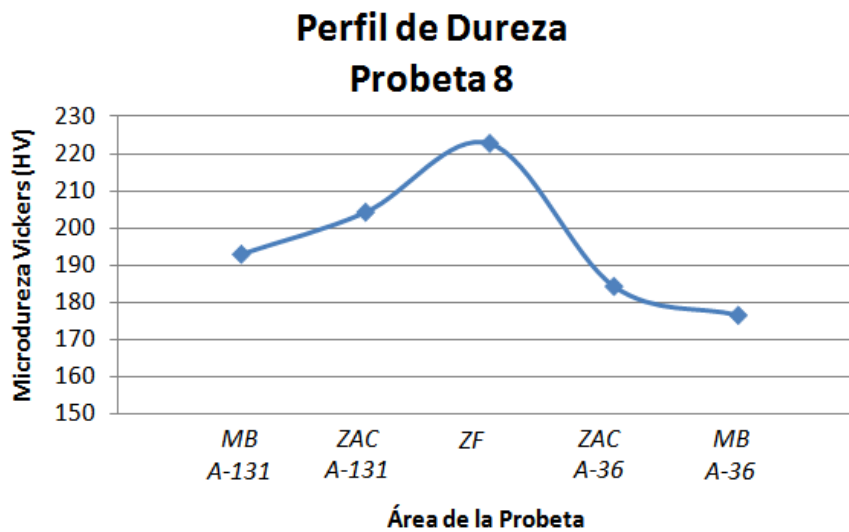


Figura 4.34. Perfil de Dureza de la probeta 8, A131-A36, a 93 Amp. y 22 Volt.

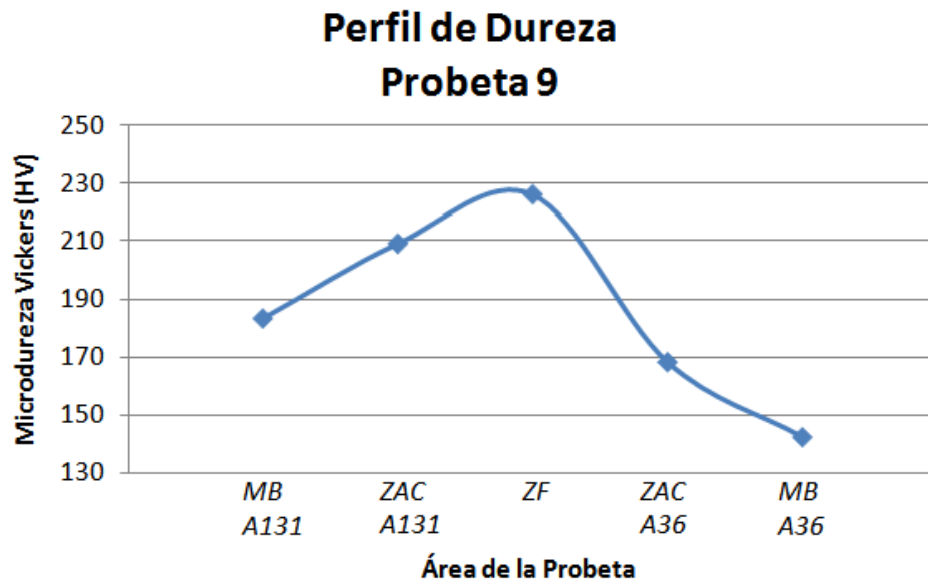


Figura 4.35. Perfil de Dureza de la probeta 9, A131-A36, a 110 Amp. y 24 Volt.

Todas las muestras presentaron la misma tendencia que en el resto de los ensayos realizados, es decir, el perfil de dureza refleja que el mayor valor se encuentra en la zona de fusión, debido al aumento de la temperatura en el material, disminuyendo esta a lo largo de la probeta hasta llegar al metal base.

En estas tres gráficas (figuras 4.33, 4.34, y 4.35) se puede apreciar que la dureza del metal base y zona afectada del material lado izquierdo (A131) es mayor a la dureza del metal base y zona afectada que presenta el material lado derecho (A36). Esto verifica los análisis realizados en la caracterización de los metales (tabla 4.8), donde el A131 presenta mayor dureza que el A36.

La dureza de la zona de fusión en la soldadura de los materiales disimiles, presento valores similares a los obtenidos en la soldadura de A131 – A131 (tabla 4.10 y 4.11), esto se debe que este material presenta mayor porcentaje en varios elementos

que lo conforman y proporcionan mejores propiedades en los aceros (tabla 4.1) y a su vez la composición química del electrodo se asemeja a la del acero A131

4.6 ENSAYO DE DOBLADO.

A continuación, en las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 se observan los resultados de las probetas después de haber realizado el ensayo de doblado.

Tabla 4.12. Muestras ensayadas por doblado de unión A36 – A36.




<i>Numero de Probeta</i>	<i>Muestra Ensayada</i>	<i>Observación</i>
1		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado de cara</i>
2		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado de Raíz.</i>
3		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado de Cara</i>

Tabla 4.13. Muestras ensayadas por doblado de unión A131 – A131.







Número de Probeta	Muestra Ensayada	Observación
4		<p><i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura.</i> <i>Doblado de Raíz.</i></p>
5		<p><i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura.</i> <i>Doblado de Cara.</i></p>
6		<p><i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura.</i> <i>Doblado de Raíz.</i></p>

Tabla 4.14. Muestras ensayadas por doblado de unión A131 – A36.

<i>Probeta</i>	<i>Muestra Ensayada</i>	<i>Observación</i>
7		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado de Raíz</i>
8		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado Raíz.</i>
9		<i>Sin presencia de grietas, ni separación de la soldadura. Doblado Cara.</i>

Durante y después de la realización del ensayo de doblado, se apreció una apariencia satisfactoria del cordón de soldadura, para todas las probetas unidas mediante el proceso G.M.A.W por arco pulsado. No hubo presencia de grietas, socavamiento, ni algún otro tipo de defecto que afectara la buena calidad de la soldadura, en las probetas dobladas de cara ni de raíz.

La calidad de la aplicación de la soldadura queda demostrada, después de haber realizado el ensayo de doblado, debido que este es el más crítico para la unión. Lo que confirma los resultados observados en cuanto a la buena microestructura de las probetas, y la excelente penetración del material de aporte como se notó en la macroscopía.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

La veracidad de los materiales utilizados, fue corroborada por la realización del ensayo de espectroscopia, donde se verifica, que los materiales base y material de aporte eran los correctos, según los certificados de los proveedores.

Los parámetros de soldadura y el flujo de gas seleccionados, se consideran satisfactorios, ya que las juntas realizadas no presentaron defectos, lo que reflejó buenos resultados en los ensayos practicados, y un buen comportamiento de todas las muestras observadas para el espesor de lámina seleccionado.

Se estableció como parámetros óptimos de soldadura, 93 Amp. y 22 Volt. para las juntas de aceros A36-A36 y A131-A131. Y 90 Amp. y 20 Volt. para las juntas de los aceros disímiles. Ya que estos conformaron el cordón con mejor apariencia y mejores propiedades mecánicas y microestructurales.

La resistencia máxima a la tracción de las juntas de A131-A131, fue mayor en 14% con respecto a la resistencia de las juntas de los aceros disímiles. Mientras que la

combinación A36-A36, presentó una mayor resistencia máxima a la tracción en 3,1% que la resistencia de los aceros disímiles.

La dureza de la soldadura de los aceros disímiles fue mayor en 12,8% que la dureza registrada en las juntas de A36-A36. Por otro lado, la dureza de la soldadura de aceros disímiles fue mayor en 7,78% que la dureza de las juntas de A131-A131.

A nivel microestructural se pudo corroborar que al aumentar el amperaje de trabajo, el calor aportado al material era mayor, lo que provocó una deformación por aumento de temperatura, reflejado en un aumento del tamaño del grano de la microestructura del material.

En todas las probetas se observaron matrices ferríticas y zonas perlíticas que contribuyen a la preservación de las propiedades mecánicas de los aceros. Además, Las zonas afectadas por el calor y las zonas de fusión presentaron las variaciones esperadas respecto al aporte de calor.

5.2 Recomendaciones.

Es muy importante que el soldador sea calificado y tenga experiencia en el proceso de soldadura GMAW, para descartar errores en el proceso, y es recomendable la utilización de cupones de prueba para la determinación de los parámetros de soldadura a utilizar.

Trabajar con parámetros de soldadura que se encuentren en rangos más amplios, para así poder apreciar mejor las diferencias existentes entre las propiedades mecánicas y microestructurales de cada grupo de probetas en el estudio.

Realizar un PQR a las probetas ensayadas por doblado.

Realizar el proceso de soldadura modificando la velocidad de soldeo.


Estudiar el comportamiento mecánico y microestructural, haciendo uso de los mismos parámetros de trabajo pero con aceros de mayor espesor.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

1. Porta, C., Ignoto, V., Cerpa, S. et al., 2003. Soldadura de un acero inoxidable dúplex 2205 por GMAW mediante el uso de la técnica de arco pulsado. Revista Latinoamérica de Metalurgia y Materiales, Vol.23.
2. Miller, L., Navas, H., 2009. Influencia de la velocidad de pasada sobre las propiedades mecánicas en juntas soldadas por un proceso GMAW en láminas de acero inoxidable AISI 304.
3. www.indura.net. MANUAL DE SOLDADURA MIG – MAG.
4. www.infra.com.mx.
 - MANUAL DE CONCEPTOS MASICOS EN SOLDADURA Y CORTE, SOLDADOR, SOLDADURA Y OXICORTE CON GAS DE PROTECCIÓN.
 - MANUAL DE ELECTRODOS PARA SOLDAR
5. Tomas W. Frankland. MANUAL DEL MONTADOR Y SOLDADOR DE TUBERIAS.
6. GERDAU AZA, primera edición 2002. Normas para Productos de Aceros.


ANEXO

Anexo 1



MITTAL STEEL GALATI S.A. - ROMANIA

INSPECTION CERTIFICATE/CERTIFICAT DE INSPECTIE



CUSTOMER / CLIENT : *TO WHOM IT MAY CONCERN*

PRODUCT / PRODUS : *PRIME HOT ROLLED STEEL PLATES*

STEEL GRADE/MARCA OTEL : A 36

WORK / STANDARD : ASTM A 36/2000

INSPECTION CERTIFICATE 20167192

ACCORDING TO : EN 10204/2004/3.1

DATE : 09.01.2007

ORDER / COMANDA : 988591/50005227

DISPATCH / AVIZ EXPEDITIE : 6811281

WAGON / ID TRANSPORT : M/V EPDM HOPE

TRACKING NO. : 5611350033

TOTAL NUMBER OF PIECES: 163 / TOTAL WEIGHT: 554.647,00 KG

NO	PLATE	HEAT NO	DIMENSIONS	PC	TEST NO	MTS YTS		L0	E1
						MPa	MPa		
			MMxMMxMM					mm	%
37	267010/13/03	Y915695	6,00x2400x12000	1	319	435	260	2	23
38	266161/01/01	Y924588	25,00x2400x12000	1	584	546	399	2	28
39	266161/01/03	Y924588	25,00x2400x12000	1	584	546	399	2	28
40	266550/03/02	Y924708	16,00x2400x12000	1	9609	545	398	2	26
41	203862/01/01	Y924766	25,00x2400x12000	1	426	550	391	2	28
42	267175/01/01	Y924768	25,00x2400x12000	1	430	530	359	2	28
43	203862/01/01	Y924825	31,00x2400x6000	1	391	530	367	2	30
44	203862/01/02	Y924825	31,00x2400x6000	1	391	530	367	2	30
45	203862/02/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
46	203862/02/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
47	203862/02/03	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
48	203862/03/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
49	203862/03/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
50	203862/04/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
51	203862/04/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
52	203862/05/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
53	203862/05/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	391	530	367	2	30
54	203862/06/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	392	538	359	2	26
55	203862/06/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	392	538	359	2	26
56	203862/07/01	Y924825	25,00x2400x12000	1	392	538	359	2	26
57	203862/07/02	Y924825	25,00x2400x12000	1	392	538	359	2	26
58	203791/09/01	Y924843	19,00x2400x12000	1	379	488	362	2	30
59	203791/08/02	Y924843	19,00x2400x12000	1	379	488	362	2	30
60	203930/01/02	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
61	203930/02/01	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
62	203930/02/02	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
63	203930/02/03	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
64	203930/03/01	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
65	203930/03/02	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32
66	203930/03/03	Y924847	8,00x2400x12000	1	836	520	400	2	32

CHEMICAL COMPOSITION (%)

HEAT NO	C	Si	Mn	P	S	Al	As	Ti	V	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	B	H2	N2	Zn	Cs	Sn
915695	0.1520	0.0070	1.1700	0.0510	0.0160	0.0085	0.0070	0.0020	0.0010	0.0200	0.0200	0.0200	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924588	0.1900	0.3200	1.1400	0.0150	0.0080	0.0300	0.0060	0.0130	0.0010	0.0100	0.2500	0.0100	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924708	0.1700	0.2700	0.9700	0.0170	0.0230	0.0360	0.0020	0.0010	0.0150	0.0200	0.0100	0.0070	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924766	0.2000	0.2800	1.1200	0.0130	0.0140	0.0460	0.0060	0.0020	0.0100	0.0200	0.0300	0.0040	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924769	0.1900	0.2450	1.0700	0.0160	0.0070	0.0140	0.0080	0.0020	0.0010	0.0100	0.0100	0.0100	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924825	0.1700	0.2900	1.0000	0.0130	0.0100	0.0150	0.0060	0.0020	0.0010	0.0200	0.0200	0.0100	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924843	0.1800	0.2800	1.0000	0.0200	0.0110	0.0230	0.0070	0.0030	0.0010	0.0200	0.0200	0.0100	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
924847	0.1600	0.3000	0.9400	0.0150	0.0120	0.0040	0.0080	0.0030	0.0010	0.0150	0.0150	0.0150	0.0100	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000

Chemical composition heat analysis(%)

Chemical composition product analysis(%)

Steelmaking Process

Delivery condition: as rolled

Non metallic inclusion (test X + A + B + C + D)

A Sulfide; B Alumina; C Globule; D Silica

Checking of marking, surface, shape and dimensions

Result of marking, surface, shape and dimensions No remarks

Surface: EN 10163/2.19% class A sub class 1

Tolerance: Size: ASTM A 3/2000

Flatness: ASTM A 6/2000

Ultrasonic testing:

UT-Specifications:

Scaling plan:

Body: Transversal beam line spacing

Edge:

Personnel qualification:

Marking: *MITTAL GALATI PRO-CARBON*

Color marking: /Z/RED

THIRD PART INSPECTION

INSPECTOR OF QUALITY CONTROL DEPARTMENT

SIGNATURE

INSPECTOR VASILE ELENA

INSPECTOR'S STAMP

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HAS BEEN MADE BY AN APPROVAL PROCESS AND SATISFACTORILY TESTED IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS SPECIFIED IN THE SPECIFICATION.

Page 2 of 2

Anexo 2

NORMAS EQUIVALENTES PARA ACEROS ESTRUCTURALES

DESIGNACION	G R A D O	T I P O	PROPIEDADES MECANICAS (Min)			COMPOSICION QUIMICA (Max)						
			LIMITE DE FLUENCIA Mpa ?	CARGA DE ROTURA Mpa	ELONGACION % ?	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	O T R O S
ASTM A 283 (e 7 3/4")	C		205	380 - 510	22 (8") 25 (2")	0,24	0,40	0,90	0,035	0,040		
ASTM A 131	A		235	400 - 520	21 (8") 24 (2")	0,21	0,50	2,5xC (2)	0,035	0,035		E
BV	A		235	400 - 520	22 (8")	0,21	0,50	2,5xC (2)	0,035	0,035		E
LRS	A		235	400 - 520	22 (8")	0,21	0,50	2,5xC (2)	0,035	0,035		E
ASTM A 36 (e 7 3/4")			250	400 - 550	20 (8") 23 (2")	0,25	0,40		0,040	0,050	0,20 (1)	
ASTM A 36 (3/4" < e 7 1 1/2")			250	400 - 550	20 (8") 23 (2")	0,25	0,40	0,8 - 1,2	0,040	0,050	0,20 (1)	
ASTM A 1011	36	1	250	365	17 (8") 21 (2")	0,25		0,90	0,035	0,040	0,20 (1)	(*)
ASTM A 1011	36	2	250	400 - 550	16 (8") 20 (2")	0,25		1,35	0,035	0,040	0,20 (1)	(*)
ASTM A 1018	36	1	250	365	15 (8") 21 (2")	0,25		1,50	0,035	0,040	0,20 (1)	(*)
ASTM A 1018	36	2	250	400 - 550	18 (8") 21 (2")	0,25		1,50	0,035	0,040	0,20 (1)	(*)
NORMA Q 235 (e 7 5/8")	A B		235	375 - 500	26	0,14 - 0,22 0,12 - 0,20	0,30	0,30 - 0,65 0,30 - 0,70	0,045 0,045	0,050 0,045		
NORMA Q 235 (5/8" < e 7 1 1/2")	A B		225	375 - 500	25	0,14 - 0,22 0,12 - 0,20	0,30	0,30 - 0,65 0,30 - 0,70	0,045 0,045	0,050 0,045		
JIS G 3101 SS 400 (e 7 5/8")			245	400 - 510	17				0,05	0,05		
JIS G 3101 SS 400 (5/8" < e 7 1 1/2")			235	400 - 510	21				0,05	0,05		
JIS G 3116 (3)	SG255		255	400	28 (2")	0,20		0,30	0,040	0,040		
JIS G 3116 (3)	SG295		295	440	26 (2")	0,20	0,35	1,00	0,040	0,040		
ASTM A 572	50		345	450	18 (8") 21 (2")	0,23		1,35	0,040	0,050	0,20 (1)	(*)
ASTM A 588	A		345	485	18 (8") 21 (2")	0,19	0,30 - 0,65	0,80 - 1,25	0,040	0,050	0,25 - 0,40	(*)
ASTM A 992			345 - 450	450	18 (8") 21 (2")	0,23	0,40	0,50 - 1,50	0,035	0,045	0,60	(*)

(1) cuando el cobre es especificado en la Orden de Compra, hacia el Molino, para dichos Aceros

(2) MINIMO

(3) NORMA DE ACEROS PARA LA FABRICACION DE CILINDROS PARA GLP

(*) CONTIENE OTRAS FERROALEACIONES COMO, Ni, Cr, Mo, V, Cb, Ti, etc

NORMAS EQUIVALENTES PARA ACEROS ESTRUCTURALES

LIMA 14/02/2010

SuperArc® L-56
(AWS ER70S-6)

MECHANICAL PROPERTIES⁽¹⁾ – As Required per AWS A5.18/A5.18M: 2005

	Yield Strength ⁽²⁾ MPa (ksi)	Tensile Strength MPa (ksi)	Elongation %	Charpy V-Notch J (ft•lb ^f)	
				@ -29°C (-20°F)	@ -40°C (-40°F)
Requirements AWS ER70S-6 As-Welded with 100% CO ₂	400 (58) min.	485 (70) min.	22 min.	27 (20) min.	Not Specified
MIL-70S-6 per MIL-E-23765/1 As-Welded with CO ₂ and 98% Ar/2% O ₂	380 - 550 (55 - 80)	485 (70) min.	22 min.	Not Specified	Not Specified
MIL-70S-6 per MIL-E-23765/1 Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150°F) With CO ₂ and 98% Ar/2% O ₂	360 (52) min.	485 (70) min.	26 min.	27 (20) min.	Not Specified
Typical Performance⁽³⁾ As-Welded with 100% CO ₂ Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150°F)	440 (64) 395 (57)	560 (81) 510 (74)	29 29	71 (52) 95 (70)	61 (45) 68 (50)
As-Welded with 75% Ar/25% CO ₂ Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150°F)	460 (67) 415 (60)	565 (82) 540 (78)	27 31	82 (60) 140 (103)	72 (53) 122 (90)
As-Welded with 90% Ar/10% CO ₂ Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150°F)	470 (68) 440 (64)	580 (84) 550 (80)	28 32	119 (88) 183 (135)	78 (57) 156 (115)
As-Welded with 98% Ar/2% O ₂ Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150°F)	455 (66) 415 (60)	565 (82) 545 (79)	27 34	122 (90) 190 (140)	108 (80) 176 (130)

WIRE COMPOSITION – As Required per AWS A5.18/A5.18M: 2005

	%C	%Mn	%Si	%S	%P
Requirements AWS ER70S-6	0.06 - 0.15	1.40 - 1.85	0.80 - 1.15	0.035 max.	0.025 max.
Typical Performance⁽³⁾	0.08 - 0.09	1.42 - 1.65	0.81 - 0.87	0.006 - 0.010	0.004 - 0.010
	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu (Total) ⁽⁴⁾
Requirements AWS ER70S-6	0.15 max.	0.15 max.	0.15 max.	0.03 max.	0.50 max.
Typical Performance⁽³⁾	0.01 - 0.05	≤ 0.04	≤ 0.01	< 0.01	0.17 - 0.22

INTRODUCTION

STICK

MIG & TIG

METAL-CORED